



LABORATOIRE D'INFORMATIQUE DE PARIS 6

Rapport d'activités
& Perspectives

1er juillet 1997 — 30 juin 2000

Rapport d'activités & Perspectives

1^{er} juillet 1997 — 30 juin 2000

Mise en œuvre de la machine MPC	385
Bilan Projet MPC LIP6 1999	389
CAO de circuits et systèmes intégrés	393
MICRobES	401
Projet MICRobES (Bilan et Prolongation).	405
Agents intelligents pour la recherche d'information et l'aide à la décision	407
Modélisation des préférences et recherche d'information pour le conseil aux utilisateurs dans un contexte distribué.	411
Extraction de connaissances à partir de bases de données multidimensionnelles	413
Répartition et fiabilité de systèmes multi-agents	415
Ordonnancement avec pénalités d'avance et de retard.	417
Système d'exploitation des grands logiciels complexes.	419
Aide à la gestion des services hospitaliers: Analyse de l'origine des journées non-pertinentes	421
Plate-forme logicielle embarquée reconfigurable pour satellite (PLERS)	423



LE LABORATOIRE



LE MOT DU DIRECTEUR – BILAN (DANIEL LAZARD)

Trois années depuis la naissance du LIP6

Le LIP6 a été créé en janvier 1997 par fusion des anciens laboratoires d'informatique de Paris 6, le LAFORIA, le MASI et une partie du LITP. Il regroupe la quasi totalité de la recherche en informatique de l'Université Pierre et Marie Curie (UPMC) et, avec plus de 300 personnes (permanents et doctorants), constitue un des plus importants laboratoires français d'informatique.

Ces trois dernières années ont été consacrées à mettre en place ce nouveau laboratoire et à renforcer la cohérence et l'unité. Elles ont été agrémentées par les deux événements notables qu'ont été le déménagement du laboratoire nécessité par le désamiantage de Jussieu et le changement de directeur lors de l'examen à mi-parcours.

La principale question qui se pose lors de l'évaluation d'un laboratoire récent de la taille du LIP6 est de savoir si le concept est adéquat, c'est-à-dire de mesurer si une structure de cette taille apporte une plus-value scientifique malgré les inévitables lourdeurs et difficultés de fonctionnement provoquées par la taille du laboratoire aussi bien que par la fusion d'équipes d'histoire et d'habitudes différentes.

Pour cette raison, ce "message du directeur" est organisé en passant en revue les différents aspects de la vie du laboratoire et en analysant leur évolution. Il est suivi d'une analyse prospective par le futur directeur proposé, Éric Horlait.

Structure scientifique

Les activités du laboratoire recouvrent une grande partie des domaines de l'informatique. Elles dessinent un grand axe qui part de la micro-électronique pour aboutir à des applications à forte valeur ajoutée en passant par tous les composants de la chaîne informatique: réseaux, systèmes distribués, langages, simulation et programmation répartie, calcul numérique et calcul formel, traitement des données et des connaissances, prise de décision.

Ces axes de compétence et leur complémentarité font ressortir un énorme potentiel qui rend le LIP6 incontournable dans nombre de domaines. Au-delà de cette diversité thématique, une unité de vision de la science informatique se fait jour, dans laquelle la validation des avancées conceptuelles passe par leur réalisation logicielle et leur expérimentation sur des applications réelles, le plus souvent industrielles.

Cette unité de vision de l'informatique n'enlève rien à la nécessité d'une structuration qui est décrite maintenant.

Les thèmes

La structure scientifique de base du LIP6 est le thème. Le LIP6 est constitué, depuis sa création, par neuf thèmes, qui ont chacun une bonne homogénéité scientifique. Cette structuration est en grande partie imposée par l'histoire, car, sous peine de ne pas pouvoir fonctionner correctement, l'entité scientifique de base doit être constituée de chercheurs ayant suffisamment d'intérêts, de compétences et d'objectifs en commun pour pouvoir travailler ensemble.

Ces neuf thèmes sont les suivants:

- ANP: Algorithmique numérique et parallélisme (page 33),
- APA: Apprentissage et acquisition de connaissances (page 55),
- ASIM: Architecture des systèmes intégrés et micro-électronique (page 105),
- CALFOR: Calcul formel (page 143),
- OASIS: Objets et Agents pour Systèmes d'Information et de Simulation (page 163),
- RP: Réseaux et performances (page 205),
- SPI: Sémantique, preuve et implantation (page 243),
- SRC: Systèmes répartis et coopératifs (page 263),
- SYSDEF: Systèmes d'aide à la décision et à la formation (page 303).

Nous ne décrivons pas ici les problématiques de ces neuf thèmes, ni leur prospective scientifique, car la variété des domaines couverts rend illusoire de synthétiser encore les bilans synthétiques apparaissant dans la partie du rapport d'activité consacrée à chaque thème.

Cependant, une telle structuration doit pouvoir prendre en compte correctement les aspects de l'informatique qui relèvent de la problématique de plusieurs thèmes ou qui ne relèvent d'aucun, parce qu'émergents ou parce que le LIP6 n'avait pas de compétence particulière sur ces aspects.

C'est dans cet objectif, et pour renforcer la cohérence et l'unité scientifique du laboratoire, que le LIP6 a introduit les projets inter-thèmes qui sont décrits plus bas.

Il est certain qu'il viendra un moment où la structuration actuelle en thèmes ne sera plus adaptée à l'évolution. Jusqu'à présent, les thématiques nouvelles pour le LIP6, telles les bases de données ou les techniques multimédias ont été intégrées dans les thèmes existants en fonction des affinités des chercheurs et de leur proximité scientifique. Il est apparu, au cours des discussions de préparation du futur contrat quadriennal, que la structure actuelle convient aux différentes équipes concernées, et qu'il est, aujourd'hui, prématuré de la modifier.

Les projets

Pour accélérer l'intégration des différentes équipes constituant le LIP6 et améliorer la visibilité des actions de coopération scientifique, le LIP6 lance annuellement un appel d'offre pour des projets inter-thèmes (page 347).

Le financement de ces projets est limité à deux ans. Ces projets ont été au nombre de huit en 1998 (financement total 350 kF), de dix, dont cinq renouvellements en 1999 (financement 675 kF) et de huit, dont trois renouvellements, en 2000 (financement 582 kF).

Pour chacun de ces projets, un texte détaillé est inclus à la fin du rapport d'activité, texte qui est issu, selon le cas, du rapport de fin de projet, du rapport intermédiaire ou de la réponse à l'appel d'offre.

Comme on peut le voir à la lecture de ces textes, certains de ces projets ont pour objectif d'initier une collaboration inter-thèmes sur un sujet précis situé à l'interface des thèmes concernés. D'autres, comme MPC, FOC ou Microbes sont des projets fédérateurs de plus grande ampleur dont la durée va bien au-delà des deux ans de financement par le LIP6.

L'impact réel de ces projets sur l'unité et la cohérence du laboratoire est difficile à mesurer. Il est évident pour les quelques projets, tels Microbes ou FOC qui perdurent au-delà de la fin de leur financement. Même quand la collaboration se termine formellement avec le projet et quand les participants les plus actifs ont quitté le laboratoire (fin de thèse par exemple), il apparaît une meilleure connaissance réciproque entre les équipes concernées qui se traduit souvent par des participations croisées à des séminaires ou des discussions scientifiques personnelles.

Relations industrielles

Les relations industrielles occupent une grande part de l'activité scientifique du LIP6. Ces relations, outre leur apport important aux ressources du LIP6, se manifestent par une grande diversité, tant par la variété des entreprises concernées que par les modes de collaboration concernés.

Il y a, bien sûr, un grand nombre de contrats "classiques", dont l'objectif est un transfert de compétences ou de savoir-faire. Ces contrats ont souvent pour objet le financement d'une thèse effectuée principalement au laboratoire.

Un deuxième type de relations industrielles consiste en la participation à des consortiums européens ou nationaux de type ESPRIT.

Une caractéristique des trois premières années de la vie du LIP6 est l'apparition de collaborations scientifiques avec des grandes entreprises, qui peuvent être qualifiées de laboratoire commun, même quand elles n'en ont pas le label. Ces collaborations se caractérisent en effet par une durée plus grande, par la participation de personnels de ces entreprises et par l'existence d'un comité de pilotage paritaire entre l'entreprise et le LIP6.

Les principales collaborations de ce type sont, dans l'ordre de création, la collaboration avec Alcatel du thème RP, le pôle scientifique UPMC - Dassault Aviation qui implique, outre le LIP6, le Laboratoire d'Analyse Numérique et le laboratoire commun du thème ASIM avec ST-Microelectronics.

Il est à noter que ce dernier est en cours d'extension aux autres constructeurs européens de matériel électronique, et qu'une structure analogue est en train d'être mise en place dans le domaine des télécommunications.

Valorisation et diffusion de logiciels

Les aspects de valorisation sont difficiles à dissocier des relations industrielles, mais certains aspects nous amènent à traiter cette question dans un paragraphe séparé.

Bien que les logiciels ne soient brevetables que sous certaines conditions, le LIP6 participe à sept brevets déposés en France ou étendus à l'étranger en 3 ans. C'est un nombre qui apparaît comme raisonnable dans la mesure où ce mode de protection n'est que rarement adapté aux logiciels.

Le LIP6 a été, ces dernières années l'initiateur de quatre start-ups, auxquelles il faut ajouter une cinquième en cours de constitution. Ces start-ups et leur insertion dans la politique du laboratoire sont décrites dans un texte rédigé par A. Greiner dans la partie "Création d'entreprises", page 30. Il en tire un certain nombre d'enseignements qui sont valables pour l'ensemble du laboratoire, à condition de tenir compte du fait que le fonctionnement de l'activité des chercheurs et les modes de relations industrielles possibles dépendent fortement du domaine de recherche.

Parmi ces enseignements, il souligne l'importance des développements et de la diffusion de logiciels et montre comment le thème ASIM répond à cette nécessité. La réponse apportée varie selon les domaines scientifiques et donc selon les thèmes, mais l'importance de la question mérite qu'elle soit développée ici.

La réalisation et la diffusion de logiciels sont une activité très importante dans tout le LIP6. Dans un contexte où le fait que l'informatique est une science n'est pas une évidence pour les non informaticiens, il n'est pas inutile de préciser que les logiciels considérés ici sont des logiciels de recherche, introduisant des fonctionnalités ou des performances nouvelles. Ce sont donc le plus souvent des maquettes ou prototypes, et cette activité de réalisation de logiciels n'a donc aucun rapport avec celle d'un éditeur de logiciels.

Les modes de diffusion de ces logiciels sont variés. La diffusion par le réseau sous licence GNU ou analogue est la plus fréquente, mais on rencontre aussi des commercialisations sous licence, notamment via les start-ups. Un certain nombre de logiciels sont diffusés sous forme de modules de grands logiciels internationaux (Maple...). Plus récemment, est apparue la diffusion sous forme de service permettant l'utilisation du logiciel sur nos serveurs, via une interface Web.

Cette activité de diffusion de logiciels, quoiqu'importante n'a pas l'ampleur et la visibilité qu'elle devrait, à cause de plusieurs problèmes mal résolus :

- Tout d'abord, la diffusion d'un logiciel nécessite une mise au point (compilation sur architectures variées, inclusion du texte de la licence, interface...) et une aide aux utilisateurs, qui ne relèvent pas d'un travail de recherche, et pour lesquelles le LIP6 ne dispose pas du personnel technique nécessaire.
- Ensuite, la méconnaissance de la réglementation et de la nécessité de protection font que nombre de logiciels sont mis en ligne sans être enregistrés et sans faire explicitement l'objet d'une licence. Pour remédier, entre autres, à cette difficulté, le LIP6 a organisé en juin 2000 une première journée sur la protection et la valorisation.
- Ensuite, la réalisation et la diffusion de logiciels innovants sont un mode de production de résultats de recherche, qui est sous-valorisé par rapport aux publications classiques alors que, bien souvent, le logiciel nécessite, pour être performant, beaucoup plus de travail et d'invention qu'il n'en a fallu pour extraire une publication des idées de départ. Il en résulte que l'activité de réalisation de logiciels est fréquemment interrompue avant son terme, notamment par les doctorants qui ont des contraintes de temps et qui ont besoin de publications traditionnelles pour pouvoir prétendre à une carrière académique.
- Enfin, la communauté scientifique ne dispose pas, aujourd'hui, d'une méthodologie pour répertorier et évaluer les logiciels, analogue à celle qui est utilisée pour les publications.

L'opinion du directeur sortant est que c'est une tâche essentielle, pour la direction d'un laboratoire de la taille du nôtre, que d'œuvrer à la résolution de ces problèmes avec les différentes instances concernées.

Coopérations scientifiques

À côté des coopérations industrielles, le LIP6 mène de nombreuses coopérations académiques. Elles sont souvent informelles, se traduisant simplement par des publications communes ou par l'organisation commune de séminaires ou colloques. Aussi, quand il s'agit de les répertorier lors

de la préparation du rapport d'activité, on est confronté à la mémoire parfois défaillante des chercheurs, et il est certain que la description de ces activités n'est pas toujours exhaustive dans les rapports de thèmes.

Il en est de même des coopérations internationales qui ont des sources de financement très variées, qui ne passent que rarement par la direction du laboratoire.

Outre ces multiples coopérations ponctuelles et quasi individuelles, c'est ici qu'il faut mentionner les coopérations de plus grande ampleur avec les EPST autres que le CNRS.

Les thèmes d'intelligence artificielle ont des collaborations assidues et anciennes avec l'ONERA, le CEMAGREF et l'IRD (ORSTOM), ainsi qu'avec le CNET (France Telecom R&D) avec lequel collaborent d'autres thèmes, notamment RP (réseaux). La collaboration avec le CEMAGREF s'est récemment concrétisée par la mise à disposition du LIP6 d'un chercheur de cet organisme (I. Alvarez).

Mais, naturellement, c'est avec l'INRIA que les collaborations sont les plus variées et suivies. Elles se manifestent par le nombre d'enseignants-chercheurs du LIP6 qui sont collaborateurs extérieurs de projets INRIA (au moins six), par la participation du LIP6 à deux actions coopératives de l'INRIA (CFC et FIABLE), par des délégations à l'INRIA d'enseignants de Paris 6 (deux en 1999) et par des contrats divers. Il est à noter que ces collaborations impliquent la plupart des unités de recherche de l'INRIA, et pas seulement Rocquencourt.

C'est pour améliorer la visibilité scientifique de ces collaborations et leur crédit scientifique pour le LIP6 qu'une convention a été signée à leur sujet entre l'INRIA et les tutelles du LIP6.

Aujourd'hui, un chargé de recherches INRIA (F. Rouillier) est mis à la disposition du LIP6 jusqu'à la fin 2000, et deux projets ou avant-projets INRIA bi-localisés LIP6 - Rocquencourt ou LIP6 - Nancy sont à l'étude et devraient voir le jour au premier janvier 2001.

L'ampleur des coopérations du LIP6 avec l'INRIA est donc croissante. Cela nous semble très positif dans la mesure où ces collaborations sont équilibrées entre les deux parties.

Structures administratives

La direction du LIP6 a changé lors de l'examen à mi-parcours : Jean-François Perrot et ses trois adjoints Thérèse Hardin, Éric Horlait et Jean-Charles Pomerol ont été remplacés par Daniel Lazard avec Patrick Gallinari comme directeur-adjoint.

À cette occasion, les structures du laboratoire ont sensiblement évolué. Nous décrivons ici ces structures, telles qu'elles résultent de ces modifications, et renvoyons le lecteur au rapport d'activité 1998 pour la description de leur état antérieur.

Le LIP6 est doté de trois conseils, le conseil de direction, le conseil scientifique et le conseil de laboratoire.

Le conseil de laboratoire est statutaire et comprend 40 personnes. Il se réunit tous les trois mois environ.

Le conseil scientifique comprend 20 personnes et se réunit tous les mois. C'est en son sein que sont discutées toutes les questions à caractère scientifique, et notamment les choix de projets inter-thèmes ou les propositions de profils d'enseignants.

Le conseil de direction est constitué en principe de 10 membres, mais seulement de 7 ou 8 en pratique. C'est un organe exécutif qui se réunit au moins tous les quinze jours et aide les directeurs pour toutes les questions administratives et les prises de décision au quotidien.

En ce qui concerne la gestion administrative et financière, les thèmes sont regroupés en quatre pôles de gestion, qui, selon leur taille sont dotés d'un à trois membres du personnel administratif. La coordination et les tâches centrales sont assurées par la responsable administrative du LIP6 (N. Bohelay) et le secrétaire du directeur (T. Lanfroy).

Évolution des personnels

Le LIP6 comprend actuellement 101 enseignants-chercheurs permanents et 14 chercheurs d'EPST (12 CNRS, une CEMAGREF et un INRIA).

Depuis la création du LIP6, le nombre d'enseignants-chercheurs s'est sensiblement accru; cette croissance provient pour partie de l'intégration au LIP6 d'enseignants-chercheurs d'autres établissements qui effectuent leur recherche dans des équipes du LIP6.

En ce qui concerne les enseignants-chercheurs de Paris 6, il y a eu 8 arrivées et 3 départs par changement de laboratoire, cet excédent étant essentiellement dû à l'intégration en 1997 d'enseignants qui avaient initialement choisi le LIAFA. Par ailleurs 14 enseignants-chercheurs ont été nommés par concours contre 3 départs par mutation ou retraite. Cette différence provient d'une augmentation de nombre de postes (environ un par an), du remplacement par des membres du LIP6 d'enseignants hors laboratoire partis à la retraite et du remplacement, retardé d'un an, de quelques départs antérieurs à la contractualisation.

Au cours de ce contrat quadriennal, le nombre de chercheurs CNRS du LIP6 est resté stable, les quelques départs et le décès de P. Barril étant compensés par des mutations entrantes. Il faut noter que, si deux chercheurs du LIP6 ont été reçus au concours DR (Dallery et Briot) le LIP6 n'a pas recruté de chargés de recherche par concours depuis 1995.

Le LIP6 compte actuellement 15 ingénieurs et administratifs de statut universitaire et autant d'ITA. Cette égalité traduit des évolutions assez différentes : Depuis la création du LIP6, tous les départs des IATOS ont été remplacés. Il y a même eu une légère augmentation puisque certaines tâches (école doctorale, commission des thèses ont été transférées du LIP6 vers l'UFR). En ce qui concerne les ITA, seuls les agents dont le départ était catastrophique ont été remplacés, ce qui a entraîné une diminution des effectifs d'environ un ITA par an.

Pour conclure ce paragraphe, il faut souligner que ces évolutions, qui sont lentes en valeur absolue, s'accompagnent de mouvements importants : Pour 130 permanents, il y a eu en quatre ans 25 départs, 39 arrivées et 38 promotions de grade ou de corps.

Locaux et infrastructure

L'élément principal qui conditionne cette section est le déménagement pour désamianter Jussieu.

La majorité du laboratoire a, en effet, déménagé rue du Capitaine Scott pendant l'été 1998. Ces nouveaux locaux, remis à neuf pour nous accueillir, ont été pourvus d'un réseau moderne et performant (100 Mb, point à point) relié à 150 Mb au réseau de Jussieu et Renater.

Aussi, ce déménagement a résolu, pour un temps une grande partie de nos problèmes de locaux et d'infrastructure, car nous disposons d'une surface mieux adaptée à la taille du laboratoire, même si, la croissance des effectifs aidant, nous commençons de nouveau à manquer d'espace.

En contrepartie cette délocalisation pose un certain nombre de problèmes réels de fonctionnement.

D'abord, le thème ASIM n'a pas pu déménager pour des raisons d'imbrication de la recherche et de l'enseignement, ce qui a pour conséquence que les membres de ce thème vont subir pendant un certain temps une grave pénurie de locaux.

Ensuite il résulte de cette situation que le laboratoire est, pour un temps, bi-localisé, avec tous les inconvénients que cela entraîne.

De la même manière, la plupart des membres du laboratoire, y compris les doctorants, sont enseignants à Jussieu, avec toutes les pertes de temps et difficulté de gestion de planning qu'entraîne la multiplicité des déplacements.

Cette situation est aggravée du fait par le manque de salles de taille suffisante, qui oblige à faire, à Jussieu, de nombreuses réunions et cours de troisième cycle.

Tout ceci entraîne une fatigue et une tension, surtout chez les enseignants qui ne peuvent pas avoir, à la longue des conséquences néfastes sur la qualité de la recherche, d'autant plus que, malgré la promesse d'une délocalisation n'excédant pas trois ans, le retour à Jussieu n'est plus envisagé avant 2005.

Dans cette introduction, nous avons essayé de décrire les différents aspects de la vie du LIP6 en laissant les aspects proprement scientifiques aux rapports des différents thèmes. Nous nous sommes limités à un bilan, laissant le futur et la prospective au futur directeur du LIP6.

Il y a quatre ans, lors de la création du LIP6, la question que tout le monde se posait implicitement était de savoir si une structure de cette taille était viable et si la production et la visibilité scientifique de cette structure seraient à la hauteur de sa taille.

Il nous apparaît que la réponse est positive. Certes, il y a eu des difficultés de fonctionnement et des conflits, mais ils ont pu être surmontés, et dans le même temps le LIP6 est devenu un élément incontournable de la recherche informatique française. Plusieurs de ses équipes sont devenues leader de la recherche française de leur domaine.

Cette réussite du LIP6 se traduit notamment par un pouvoir attractif incontestable qui est notamment concrétisé par l'intégration en septembre prochain de G. Pujolle et P. Valduriez.



Les orientations pour 2001-2004

Le laboratoire est aujourd'hui structuré en neuf thèmes qui constituent des entités homogènes vis-à-vis de leur problématique de recherche. La période 1997-2000 a permis de donner cohérence et unité au laboratoire. Le travail quotidien au sein des thèmes et la mise en place de projets transversaux internes au laboratoire ont favorisé l'émergence et la maturation des domaines d'expertise du LIP6.

Les activités du laboratoire recouvrent une grande partie des domaines de l'informatique. Elles dessinent un grand axe qui part de la micro-électronique pour aboutir à des applications à forte valeur ajoutée, en passant par tous les composants de la chaîne informatique: réseaux, systèmes distribués, langages, simulation et programmation réparties, calcul numérique et calcul formel, traitement des données et des connaissances, prise de décision. Les axes de compétences et leurs complémentarités font ressortir un énorme potentiel et permettent d'envisager des intégrations verticales et l'émergence de centres de compétences de grande ampleur. Ces centres compléteront et feront certainement évoluer la structure actuelle du laboratoire.

Les centres de compétences

Qu'est ce qu'un centre de compétences? C'est une structure de recherche:

- qui est animée par un membre du laboratoire;
- qui possède une masse critique lui garantissant une participation active et une visibilité nationale et internationale dans un domaine donné;
- qui dispose d'une ligne scientifique claire équilibrant la recherche académique et la valorisation industrielle;
- qui regroupe des chercheurs du laboratoire et éventuellement des chercheurs extérieurs;
- qui s'appuie sur les compétences d'un ou plusieurs thèmes du laboratoire;
- qui accueille pour des durées significatives des personnalités internationales du domaine;
- qui a pour objectif de produire des résultats académiques (publications), industriels (brevets, maquettes, logiciels, etc.) et de favoriser leur exploitation;
- qui doit diffuser cette compétence par une assise dans les formations doctorales de l'université ou dans des actions concertées avec des partenaires extérieurs.

Pour la période 2001-2004, notre objectif est la mise en place effective de plusieurs centres de compétences. Deux de ces centres, celui de micro-électronique (en partenariat avec ST Microelectronics) et celui de réseaux (en partenariat avec Thomson), sont en cours de constitution.

Le laboratoire possède plusieurs axes de recherche forts qui permettront la définition d'autres centres. Les domaines qui nous semblent particulièrement propices pour cela sont:

- le traitement de l'information avec les applications multimédias, la recherche intelligente d'information et l'extraction automatique de connaissances, la gestion des connaissances, les bases de données;
- les systèmes coopératifs répartis à base d'objets et agents, par intégration de techniques provenant du génie logiciel, de l'intelligence artificielle et de l'informatique répartie;
- l'architecture des systèmes d'exploitation, avec en particulier la construction de machines virtuelles virtuelles, la conception de logiciels embarqués, la mobilité des codes d'applications;
- le calcul scientifique avec les techniques de calcul numérique, les méthodes d'optimisation, le calcul formel, les techniques de preuve et de certification, la programmation, les langages sémantiquement fondés.

Pour atteindre ces objectifs dans un contexte très compétitif, il faut progresser dans plusieurs directions: accroître la collaboration interne, développer les relations académiques avec des centres de recherche aux niveaux français et international, installer des partenariats privilégiés avec des industriels, augmenter fortement les moyens. Ce sont ces directions que nous voulons privilégier, tout en respectant la diversité des thèmes et des démarches scientifiques inhérentes à un laboratoire de grande taille.

Les autres domaines d'investigation

Les centres de compétences ne sont pas toute la recherche du LIP6. Ils constituent simplement les domaines où l'excellence est associée à une maturité des problématiques. La vocation du laboratoire est aussi d'être le creuset d'autres démarches de recherche, autour d'axes dont l'investigation est indispensable. Ces domaines seront évalués et soutenus par le LIP6 qui construira sa politique scientifique quotidienne à partir de ces travaux. Ainsi, pourront naître de nouveaux centres de compétences.

En parallèle de l'activité des centres déjà identifiés, les chercheurs du laboratoire s'attacheront à la résolution de problèmes difficiles et innovants, notamment: la résolution de problèmes non linéaires, la création de modèles liés à la vie artificielle, la robotique collective, la réalité virtuelle, le livre électronique, les infrastructures de télécommunication dynamiques, etc.

L'une des missions du laboratoire sera d'aider et de soutenir ces recherches. Pour cela, la politique de projets transversaux (dits projets LIP6) sera poursuivie et renforcée. L'aide accordée devra permettre un réel démarrage des activités (financement significatif, aide au recrutement, etc.). Le nombre de projets sera limité pour garantir une efficacité maximum et une évaluation soignée sera réalisée par le conseil scientifique du laboratoire.

La valorisation des recherches

La valorisation des résultats de la recherche du LIP6 se fait de différentes façons: publications scientifiques, brevets, logiciels libres ou sous licence, plates-formes, prototypes, etc. Cette direction fait aujourd'hui partie intégrante du métier de chercheur; elle conditionne le succès et la visibilité de nos travaux. Nous continuerons l'effort de diffusion des résultats de recherche dans le tissu industriel national et européen (programmes RNRT ou RNTL, projets IST, etc.). Enfin, les start-ups sont une marque du dynamisme d'un laboratoire d'informatique; plusieurs sont déjà issues du laboratoire.

Notre volonté est d'accroître fortement ces différentes formes de valorisation durant les quatre prochaines années. Durant cette période, le laboratoire étudiera la possibilité de création d'ERT dans la mesure où ces structures permettraient de faciliter le développement des centres de compétences. Nous rechercherons un équilibre entre la diffusion industrielle des résultats, la collaboration et le partage des connaissances et des compétences, et les recherches amonts. Ces travaux fondamentaux continueront d'occuper une part très significative de notre travail.

Recherche et formation

Le LIP6 est largement impliqué aujourd'hui dans les formations de l'école doctorale EDITE (École Doctorale d'Informatique, Télécommunications et Électronique) qui regroupe 7 DEA. Les formations de troisième cycle ne peuvent exister sans l'appui de laboratoires reconnus. Le LIP6 est l'un d'eux. Les étudiants de ces formations contribuent à la recherche en formant un vivier de doctorants. Le LIP6 continuera et intensifiera sa participation à ces formations d'excellence.

Les autres formations (premier cycle, deuxième cycle et DESS) représentent la seconde facette de l'implication des membres du LIP6 dans l'enseignement de l'informatique. La qualité de la recherche du laboratoire garantit celle de l'enseignement dispensé.

Les moyens nécessaires

Parce que nos objectifs sont ambitieux, nous avons besoin de ressources importantes en personnel administratif, en ingénieurs et en chercheurs. Ces ressources sont indispensables au développement de notre position d'excellence.

La croissance nécessaire des effectifs peut être chiffrée à 10 % annuels, ce qui représente sur les quatre années du contrat 30 à 40 postes d'enseignants-chercheurs ou de chercheurs, 15 à 20 postes d'administratifs et d'ingénieurs ainsi que les doctorants supplémentaires que ces personnes permettront d'encadrer. Cette croissance d'effectifs, à laquelle s'ajoute l'accueil permanent de chercheurs extérieurs (lié à la mise en place des centres de compétences), nécessite l'octroi de bureaux et de surfaces supplémentaires.

Toutes les composantes du laboratoire doivent être situées en un lieu unique. À terme, ce lieu ne peut être que le campus Jussieu. Les locaux actuels, rue du Capitaine Scott, sont certes parfaitement adaptés à l'activité de recherche de la majorité du laboratoire. Ils ont néanmoins le grave défaut d'éloigner les enseignants-chercheurs de leurs étudiants, ce qui génère de nombreux désagréments. Le retour du LIP6 à Jussieu doit donc être assuré durant la période 2001-2004. Il faut rapidement valider un scénario d'implantation et un calendrier de retour qui garantissent les possibilités de développement décrites dans ce document.

La prospective 2001-2004

Les neuf thèmes du laboratoire sont les lieux de développement des recherches, mais sont également le cœur des innovations qui vont articuler le travail des années à venir.

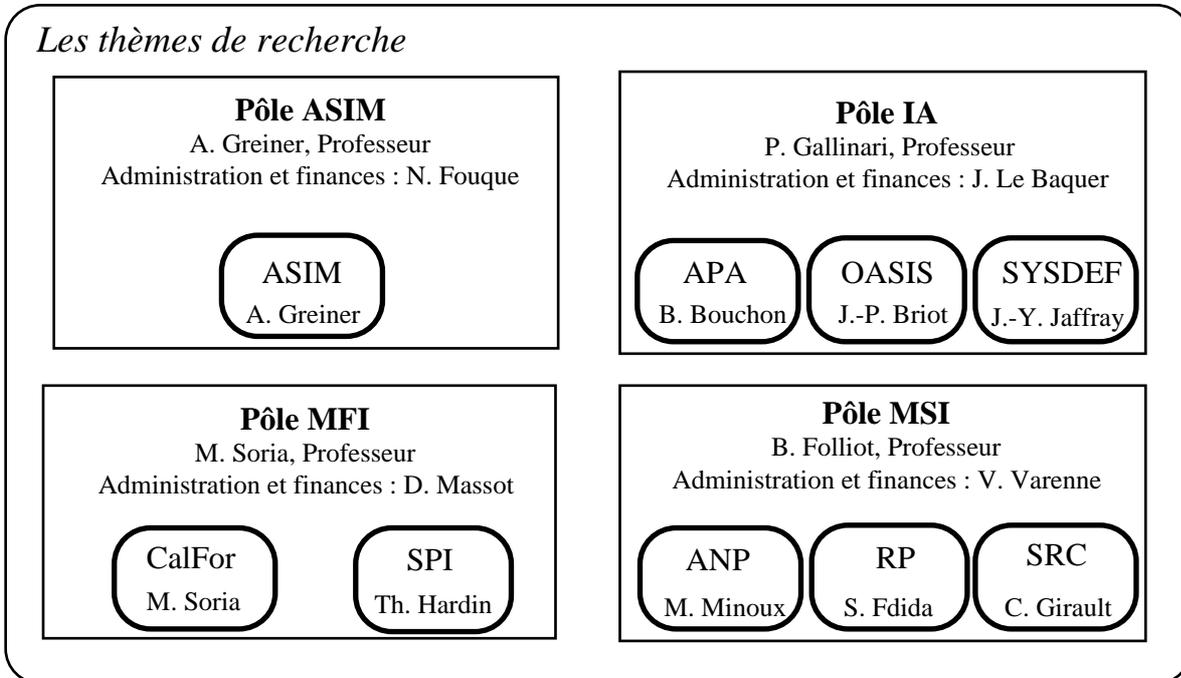
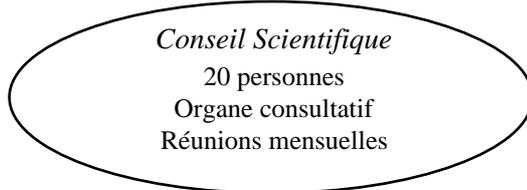
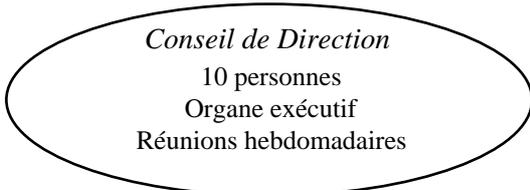
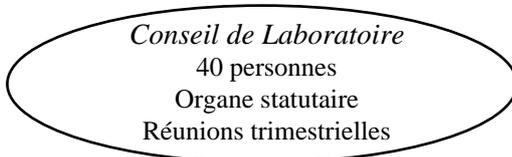
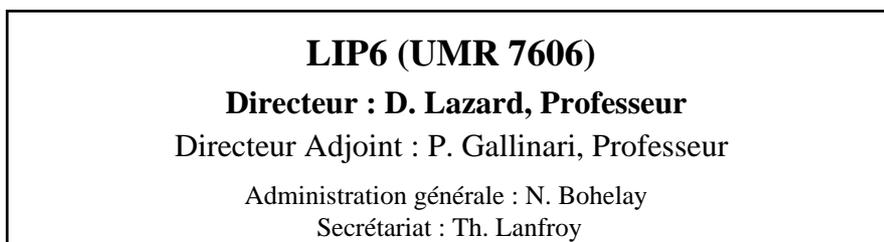
Ce rapport d'activité présente le travail réalisé et montre les pistes de recherche émergentes aujourd'hui. Il s'agit là des points de départ de la réflexion globale au LIP6. Elle permettra de construire à moyen terme une politique scientifique équilibrée et homogène.

À partir de ces éléments, notre ambition est de mettre sur pied quatre ou cinq centres de compétences pendant les quatre prochaines années.

Le LIP6 jouera ainsi son rôle de grand laboratoire de recherche reconnu et incontournable à l'échelle européenne.



ORGANIGRAMME ADMINISTRATIF 1997-2000



INSTANCES CONSULTATIVES

Comité d'évaluation

Membres

- J. Sifakis**, Directeur de recherche, VERIMAG, Grenoble, Président du comité
- G. Tulusso**, Directeur Général, Branche CRC – Alcatel CIT, Marcoussis
- J. Borel**, Directeur, Recherche et développement, ST Micro-electronics, Grenoble
- L. Gasser**, Graduate School of Library and Information Science, University of Illinois
- B. Dubuisson**, Directeur Scientifique Adjoint SPI, CNRS
- M. Glass-Maujean**, Présidente du Conseil Scientifique de l'UPMC
- P. Jorrand**, Directeur de recherche, CNRS

Membre invité

- P. Doucelance**, délégué du CNRS, secteur Paris B

Représentants des personnels du laboratoire

- Frénod Jean-Michel**, Ingénieur d'Études, CNRS
- Brézillon Patrick**, Chargé de recherche, CNRS

Conseil de laboratoire

Alt René
Bohelay Nicole
Bouchon-Meunier Bernadette
Brouard Christophe
Deleuze Christophe
Durand Gwenaél
Faugère Jean-Charles
Fouque Nicole
Gallinari Patrick
Gervais Marie-Pierre
Greiner Alain
Horlait Éric
Joab Michèle
Le Baquer Jacqueline
Meyer Jean-Arcady
Montacé Claude
Perrot Jean-François
Pomerol Jean-Charles
Saïd Clémentine
Soto Michel

Aubry Philippe
Bosq Denis
Brézillon Patrick
Cardon Alain
Derieux Anne
Encrenaz Emmanuelle
Fdida Serge
Frénod Jean-Michel
Ganascia Jean-Gabriel
Girault Claude
Hardin Thérèse
Jaffray Jean-Yves
Lazard Daniel
Louerat Marie-Minerve
Minoux Michel
Paliès Odile
Picard Françoise
Pouzet Marc
Sens Pierre

Conseil de direction

Daniel Lazard
Nicole Bohelay
Bertil Folliot
Marie-Minerve Louërat
Michèle Soria

Patrick Gallinari
Patrick Brézillon
Alain Greiner
Jean-Luc Mounier

Conseil Scientifique

Titulaires

Lazard Daniel
 Gallinari Patrick
 Bouchon-Meunier Bernadette
 Briot Jean-Pierre
 Caraty Marie-José
 Dutheillet Claude
 Faudemay Pascal
 Fdida Serge
 Gancarski Stéphane
 Girault Claude
 Greiner Alain
 Hardin Thérèse
 Jaffray Jean-Yves
 Joab Michelle
 Pomerol Jean-Charles
 Marzouki Meryem
 Minoux Michel
 Poitrenaud Denis
 Soria Michèle
 Zucker Jean-Daniel

Suppléants

Marsala Christophe
 Perrot Jean-François
 Montacié Claude
 Anelli Pascal
 Joly Philippe
 Horlait Éric
 Doucet Anne
 Bertil Folliot
 Habib Mehrez
 Marc Pouzet
 Perny Patrice
 Baron Monique
 Chrétienne Philippe
 Louërat Marie-Minerve
 Chesneaux Jean-Marie
 Ilié Jean-Michel
 Faugère Jean-Charles
 Corruble Vincent

Thème

Directeur
 Directeur-Adjoint
 APA
 OASIS
 APA
 RP
 ASIM
 RP
 OASIS
 SRC
 ASIM
 SPI
 SYSDEF
 SYSDEF
 SYSDEF
 ASIM
 ANP
 SRC
 CALFOR
 APA

LISTE DU PERSONNEL, MEMBRE DU LIP6 AU 30 JUIN 2000

Professeurs (38)

Akdag Herman	Professeur, Université de Reims
Alt René	Professeur, UPMC
Atmaca Tulin	Professeur, INT
Ben-Yelles Choukri	Professeur, IUT de Valence
Cardon Alain	Professeur, IUT du Havre
Chesneaux Jean-Marie	Professeur, UPMC
Chrétienne Philippe	Professeur, UPMC
Codognet Philippe	Professeur, UPMC
Doucet Anne	Professeur, UPMC
Fdida Serge	Professeur, UPMC
Folliot Bertil	Professeur, UPMC
Gaïti Dominique	Professeur, Université de Troyes
Gallinari Patrick	Professeur, UPMC
Ganascia Jean-Gabriel	Professeur, UPMC
Gay Valérie	Professeur, Amiens
Gervais Marie-Pierre	Professeur, Université de Paris 10
Girault Claude	Professeur, UPMC
Grabisch Michel	Professeur, UPMC
Greiner Alain	Professeur, UPMC
Hanen Claire	Professeur, Université de Paris 10
Hardin Thérèse	Professeur, UPMC
Horlait Éric	Professeur, UPMC
Huet Bernard	Professeur, Paris XIII/Faculté de Médecine
Jaffray Jean-Yves	Professeur, UPMC
Kervella Brigitte	Professeur, Amiens
Laurière Jean-Louis	Professeur, UPMC
Lazard Daniel	Professeur, UPMC
Minoux Michel	Professeur, UPMC
Munier Alix	Professeur, Université de Paris 12
Pastre Dominique	Professeur, Université de Paris 5
Perrot Jean-François	Professeur, UPMC
Pintado Michel	Professeur, INRETS
Pomerol Jean-Charles	Professeur, UPMC
Queinnec Christian	Professeur, UPMC
Rousseaux Francis	Professeur, Université de Reims
Soria Michèle	Professeur, UPMC
Valibouze Annick	Professeur, UPMC
Vignes Jean	Professeur, UPMC

Directeurs de Recherche CNRS (4)

Bouchon-Meunier Bernadette	Directeur de recherche, CNRS
Briot Jean-Pierre	Directeur de recherche, CNRS
Meyer Jean-Arcady	Directeur de recherche, CNRS
Pitrat Jacques	Directeur de recherche, CNRS

Maîtres de Conférences (80)

Agoulmine Nazim	Maître de conférences, IUT de Vélizy
Anelli Pascal	Maître de conférences, UPMC
Artières Thierry	Maître de conférences, Université de Cergy Pontoise
Auban Anne	Maître de conférences, UPMC
Aubry Philippe	Maître de conférences, UPMC
Auge Ivan	Maître de conférences, CNAM
Baron Monique	Maître de conférences, UPMC
Baynat Bruno	Maître de conférences, UPMC
Bazargan-Sabet Pirouz	Maître de conférences, UPMC
Bernardy André	Maître de conférences, UPMC

Blain Gilles	Maître de conférences, UPMC
Borgi Amel	Maître de conférences, IUT de Reims
Caraty Marie-José	Maître de conférences, HDR, UPMC
Cheminaud Marc	Maître de conférences, UPMC
Constantinescu Georges	Maître de conférences, Université de Tours
Corruble Vincent	Maître de conférences, UPMC
D'alché-Buc Florence	Maître de conférences, UPMC
Darche Philippe	Maître de conférences, IUT de Paris 5
Derieux Anne	Maître de conférences, UPMC
Drogoul Alexis	Maître de conférences, HDR, UPMC
Dromard Danielle	Maître de conférences, UPMC
Dromard François	Maître de conférences, UPMC
Dutheillet Claude	Maître de conférences, UPMC
Encrenaz Emmanuelle	Maître de conférences, UPMC
Fladenmuller Anne	Maître de conférences, UPMC
Flavigny Bruno	Maître de conférences, UPMC
Futtersack Michel	Maître de conférences, Université de Paris 5
Gańczarski Stéphane	Maître de conférences, UPMC
Giroire Hélène	Maître de conférences, UPMC
Gonzales Christophe	Maître de conférences, UPMC
Guessoum Zahia	Maître de conférences, IUT de Reims
Guillot Agnès	Maître de conférences, HDR, Université de Paris 10
Ilié Jean-Michel	Maître de conférences, IUT de Paris 5
Jacopin Éric	Maître de conférences, HDR, St Cyr
Jézéquel Fabienne	Maître de conférences, Université de Paris 2
Joab Michèle	Maître de conférences, HDR, UPMC
Joly Philippe	Maître de conférences, UPMC
Jourdan de La Passardière Brigitte	Maître de conférences, HDR, UPMC
Kant Jean-Daniel	Maître de conférences, UPMC
Kedad-Sidhoum Safia	Maître de conférences, UPMC
Kordon Fabrice	Maître de conférences, HDR, UPMC
Lamotte Jean-Luc	Maître de conférences, UPMC
Le Roch Marie-France	Maître de conférences, UPMC
Leccas Dimitri	Maître de conférences, UPMC
Loge Christophe	Maître de conférences, Amiens
Maille Michel	Maître de conférences, UPMC
Marsala Christophe	Maître de conférences, UPMC
Masson Michel	Maître de conférences, Université de Paris 9
Mathieu Jacques	Maître de conférences, Université de Rouen
Mehrez Habib	Maître de conférences, HDR, UPMC
Menissier-Morain Valérie	Maître de conférences, UPMC
Moinard Claudine	Maître de conférences, Université de Paris 8
Montacié Claude	Maître de conférences, HDR, UPMC
Morcrette Michèle	Maître de conférences, UPMC
Nguyen Van-Lu	Maître de conférences, UPMC
Nowak Gérard	Maître de conférences, UPMC
Paget Marie-Martine	Maître de conférences, HDR, UPMC
Paliès Odile	Maître de conférences, UPMC
Pavot-Adet Emmanuel	Maître de conférences, IUT de Paris 5
Pelletier Maryse	Maître de conférences, UPMC
Perny Patrice	Maître de conférences, HDR, UPMC
Person Patrick	Maître de conférences, Université du Havre
Petrot Frédéric	Maître de conférences, UPMC
Picouveau Christophe	Maître de conférences, CNAM
Poitrenaud Denis	Maître de conférences, IUT de Paris 5
Pouzet Marc	Maître de conférences, UPMC
Revault Nicolas	Maître de conférences, Université de Cergy
Rifqi Maria	Maître de conférences, Université de Paris 2
Rioboo Renaud	Maître de conférences, UPMC
Roca Vincent	Maître de conférences, UPMC
Seinturier Lionel	Maître de conférences, UPMC
Sens Pierre	Maître de conférences, UPMC
Soto Michel	Maître de conférences, HDR, Université de Paris 5 UFR Math-info

Spathis Vassiliki
Thai Kim-Loan
Vaudène Didier
Vernier-Mounier Isabelle
Wajsbürt Franck
Ziane Mikal
Zucker Jean-Daniel

Maître de conférences, UPMC
Maître de conférences, IUT de Paris 5
Maître de conférences, UPMC

Chargés de Recherche CNRS (9)

Alvarez Isabelle
Brézillon Patrick
Collinot Anne¹
Dubois Olivier
Faugère Jean-Charles
Lifchitz Alain
Louërat Marie-Minerve
Marzouki Meryem
Wang Dongming

Chargé de recherche, CEMAGREF
Chargé de recherche, HDR, CNRS
Chargé de recherche, HDR, CNRS
Chargé de recherche, CNRS

PRAG et chercheurs sous contrats (7)

Auzende-Lefevre Odette
Caetano Herculano
Foisel Rémy
Gacogne Louis
Magnin Laurent
Slodzian Aurélien
Tisseau Gérard

PRAG, Université de Paris 2
Chercheur sous contrat, UPMC
Chercheur sous contrat
PRAG, IIE CNAM
Chercheur, CRIM (Montréal)
Chercheur sous contrat
PRAG, Lycée Carnot

ITA CNRS (16)

Arranz Jean-Pierre
Barollet Gilbert²
Bohelay Nicole
Bonnaire Xavier
Carlier Janine³
Faudemay Pascal
Fouque Nicole
Frénod Jean-Michel
Kandel Danielle⁴
Mary Ghislaine
Nguyen-Kieu Le quyen⁵
Pacaud-Mangin Valérie
Penné Jean
Perrichon Chantal
Picard Françoise
Robinet Nicole⁶

Ingénieur d'études, CNRS
Ingénieur d'études, CNRS
Attaché d'administration, CNRS
Ingénieur d'études, CNRS
Ingénieur d'études, CNRS
Ingénieur de recherche, HDR, CNRS
Assistant ingénieur, CNRS
Ingénieur d'études, CNRS
Ingénieur d'études, CNRS
Adjoint technique, CNRS
Ingénieur de recherche, CNRS
Technicien, CNRS (50 %)
Ingénieur de recherche, CNRS
Ingénieur d'études, CNRS
Ingénieur de recherche, CNRS
Ingénieur de recherche, CNRS

IATOS UPMC (19)

Aubin Marie
Bourgin Pierre
Bouyer Manuel
Chaput Jean-Paul
Costes Brigitte

Secrétaire d'administration, UPMC (50 %)
Ingénieur, CDD industrie
Ingénieur, CDD, UPMC
Ingénieur d'études, UPMC
Adjoint administratif, UPMC

-
1. Congé parental
 2. Partagé entre l'UFR 922 et le thème ANP
 3. Congé longue durée
 4. Mise à la disposition de l'UFR
 5. Détachée à mi-temps au GIS Sciences de la Cognition
 6. Mise à la disposition de l'UFR

Guittard Régine ¹	Secrétaire d'administration, UPMC
Hurgues Marie-Catherine	Adjoint administratif, UPMC
Kurinckx Raymonde	Technicienne, UPMC (50 %)
Lanfroy Thierry	Adjoint administratif, UPMC
Le Baquer Jacqueline	Secrétaire d'administration, UPMC
Massot David	Adjoint administratif, UPMC
Mounier Jean-Luc ²	Ingénieur de recherche, UPMC
Musial Andrée	Agent de bureau, CDD, ADFAC (50 %)
Narboni-Collet Jacqueline ³	Adjoint administratif, UPMC
Nardy Nicole	Adjoint administratif, CDD, UPMC
Palmeira Guy	Technicien, UPMC
Saïd Clémentine	Secrétaire d'administration, UPMC
Varenne Véronique	Adjoint administratif, UPMC
Victor Marc	Ingénieur d'études, UPMC

ATER (20)

Belkouch Fatima	ATER, UPMC
Ben Othman Jalel	ATER, UPMC
Bretelle Bruno	ATER, Université de Paris 5
Cadinot Philippe	1/2 ATER, UPMC
Deleuze Christophe	ATER, UPMC
Desbarbieux Jean-Lou	ATER, UPMC
Gueguen Laurent	ATER, Université de Paris 11
Houelle Alain	ATER, UPMC
Hutzler Guillaume	ATER, UPMC
Le Calvez Caroline	ATER, UPMC
Lefevre Fabrice	ATER, Université d'Avignon
Liret Anne	ATER, Université de Paris 13
Martini-Bigolin Nara	ATER, Université de Cergy
Mellouli Nédra	ATER, Université de Cergy
Rennert Nicolas	ATER, UPMC
Saker Ilham	ATER, Université de Paris 8
Touag Athmane	1/2 ATER, Université de Reims
Wuillemin Pierre-Henri	ATER, UPMC
Zaragoza Hugo	ATER, Université de Paris 13
Zerrouki Amal	ATER, UPMC

Post-doc et Membres temporaires (21)

Aberbour Mourad	Postdoc, UPMC
Agabra Juliette	Postdoc
Aladenise Nathalie	Postdoc
Brouard Christophe	Postdoc
Caetano Herculano	Chercheur sous contrat, UPMC
Fenyo Alexandre	Postdoc, UPMC
Gérard Olivier	Postdoc
Jacomme Ludovic	Postdoc, UPMC
Lecerf Vincent	Postdoc
Magi Adam	Postdoc, Bourse Ericsson
Maroufi Walid	Postdoc, UPMC
Meyer Christophe	Postdoc
Piumarta Ian	Postdoc, Bourse CNET
Rick Andréas	Postdoc
Rouillier Fabrice	Chargé de Recherche, INRIA
Sahraoui Houari	Contrat, Dassault
Sunye Gerson	Postdoc
Thiénot Cédric	Postdoc, UPMC
Vaucher Nicolas	Postdoc, UPMC

-
1. Mi-temps ASIM, mi-temps UFR 922
 2. Partagé entre l'UFR 922, le LIP6 et le thème SRC
 3. Partagée entre l'UFR 922 et le thème SRC

Yoo Min-jung
Zerrouki Leila

Postdoc
Postdoc

Allocataires de recherche Ministère

Amini Massih-Reza	Avot Grégoire
Baillarguet Carine	Baillie Jean-Christophe
Bajot Yann	Beys Pascal
Boulmé Sylvain (Moniteur)	Bouyer Manuel
Breton Laurent	Caron Arnaud
Chapelle Olivier	Chevaleyre Yann
Chotin Roselyne	Collard Damien
Coulon Emmanuel (Moniteur)	Courtine Mélanie
Delerue Olivier	Desbarbieux Jean-Lou (ATER)
Detyniecki Marcin	Doncieux Stéphane
Douard David	Durand Gwenael
Fredon Arnaud	Hamon Grégoire (Moniteur)
Hernandez Luc	Juret Xavier
Kermia Ihseine	Knippel Arnaud
Kocik Fabrice	Landau Samuel
Laurent Anne	Le Grand Gwendal
Le Grand-Desclefs Bénédicte	Leblond Éric
Lintz Matthieu	Liret Anne
Meurisse Thomas	Moneret Régis
Nguyen Tuong Pierre	Pannerec Tristan
Peschanski Frédéric	Picault Sébastien
Piwowarski Benjamin	Quinot Thomas
Rennert Nicolas (ATER)	Rispoli Raphaël
Robisson Bruno	Safey El Din Mohab
Servat David	Sourd Francis
Spathis Prométhée	Thiré Frédéric
Thomas Franck	Tondre Nicolas
Vachon Éric	Vaillant Stéphane
Vanbergue Diane	Vinant Pierre
Wuillemin Pierre-Henri	

Doctorants CIFRE

Boughzala Imed (Cogi-Net Technopole)	Calvet Jean-Thierry
Carrive Jean (Institut National de l'audiovisuel)	Gérard Pierre (DASSAULT AVIATION)
Gureghian Emmanuel	Ilponse Fabrice
Kaplan Frédéric (Sony csl)	Parrennes Fabrice
Pasquier Laurent (RATP)	Poirier Jérôme (Stellar X)
Turier Arnaud	

Doctorants dont les ressources ne sont pas directement liées à la thèse

Bouaziz Philippe (Auto-financé)	Chabaud Cyril (Auto-financé)
Filliat David (salarié)	Lesourd Henri (Auto-financé)
Lesueur Bruno (Auto-financé)	Lewkowicz Myriam (Ingénieur d'études au LAMSADE)
Mellouli Nedra (Auto-financé)	Razavi Reza (Alloc. Form. reclassement)
Richer Nicolas (Service National)	Rozsavolgyi Gérard (Congé de Formation/PRAG)
Siolas Georges (Auto-financé)	Soulier Eddie (Auto-financé)

Boursiers

Bellili Abdelouahab (Bourse CIES)	Gourichon Stéphane (Bourse DGA)
Gülöksüz Asli (Bourse CNOUS)	Hugues Louis (Bourse AFR/Assedic)
Mustière Sébastien	Ramdani A. Abdelhafid (Bourse CIES)
Rigal Sophie Anne	

Doctorants dans l'industrie ou salariés sur contrat

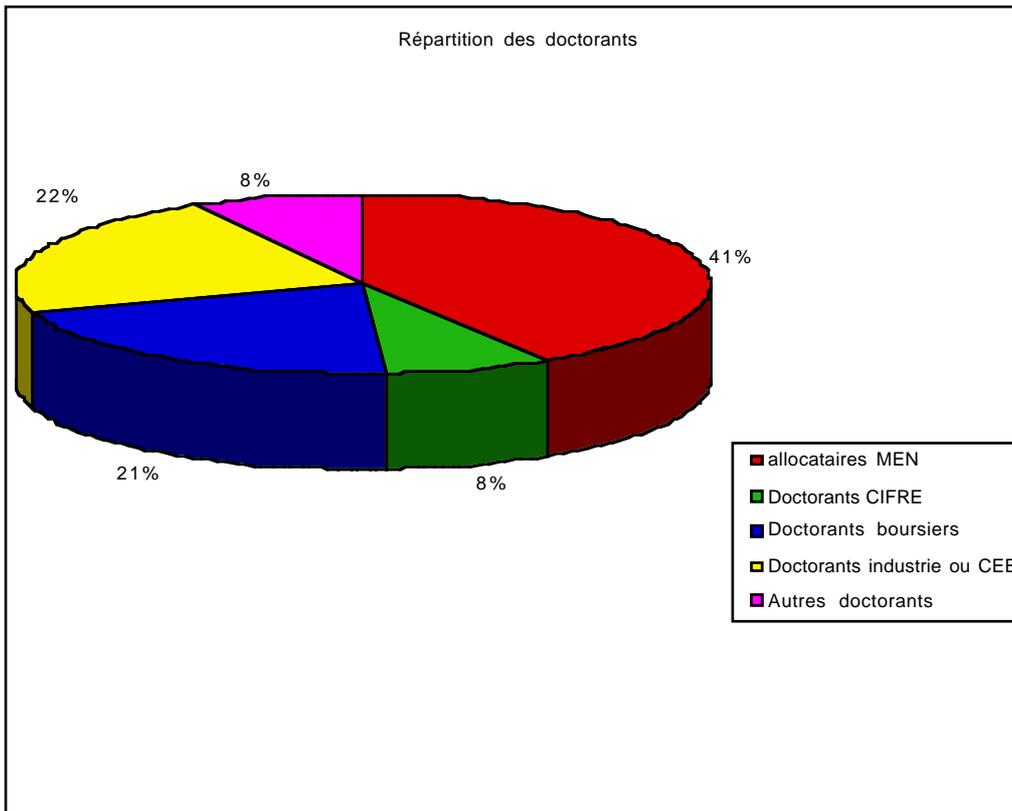
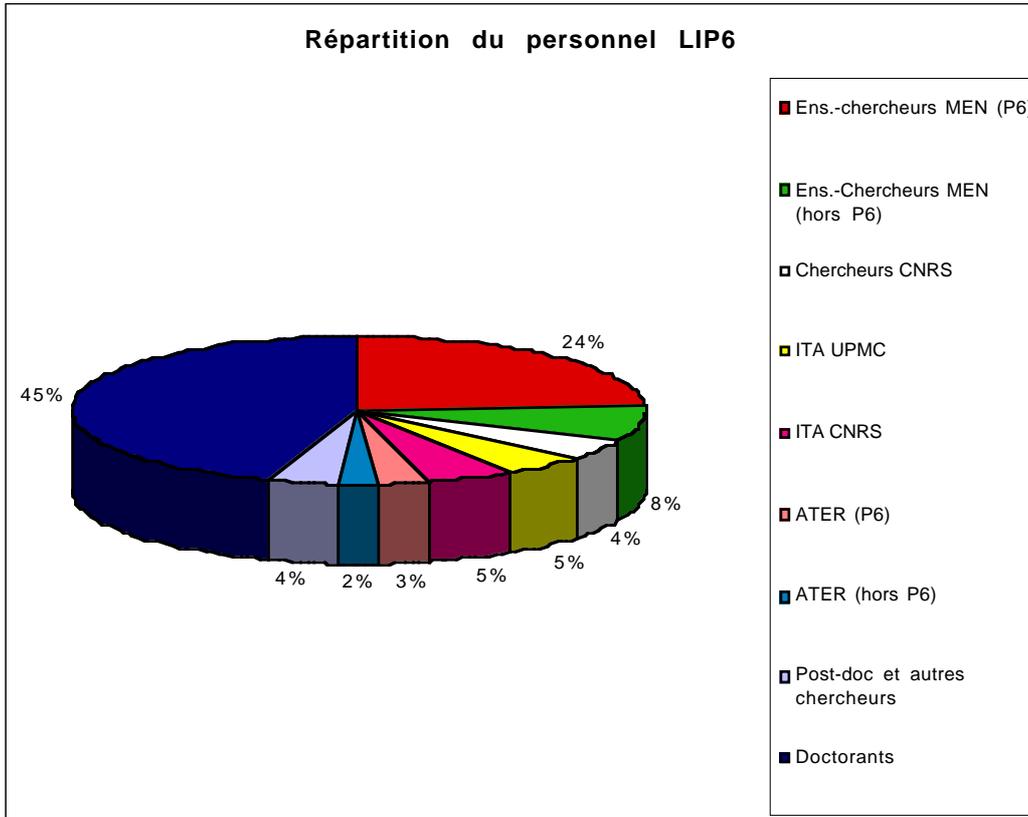
Aboushady Hassan	Adida Yoan
Ajami Khalil	Andriahantenaina Adrijean
Ben Saïd Lamjed (Bourse CNET)	Benabdenbi Mounir
Blanc Xavier	Boutros-Saab Céline
Bukovjan Peter	Denise Jérémy (Bourse INRIA)
Dessouky Mohamed	Dorta Santiago Pereira (Bourse INRIA)
Dracinschi Anca	Ducerf-Bourbon Laurent
Dumonteix Yannick	El Hadouaj Sameh (Bourse INRETS)

Doctorants dans l'industrie ou salariés sur contrat

Gérard Philippe (Bourse INRIA)	Glück Olivier
Guerrier Pierre	Hommais Denis
Huguéy Bernard (Bourse EDF)	Jacqueline David
Khouas Abdelhakim	Khoury Christian (Bourse INRIA)
Muscutariu Florin	Patarin Simon (Bourse ENS Lyon)
Regep Dan	Ruiloba Rosario
Seyrat Claude	Spasevski Cyril
Stoica Alexandru	Vida Rolland
Vuillemin Laurent	



RÉPARTITION DU PERSONNEL (NOMBRE EFFECTIF) ET DES DOCTORANTS



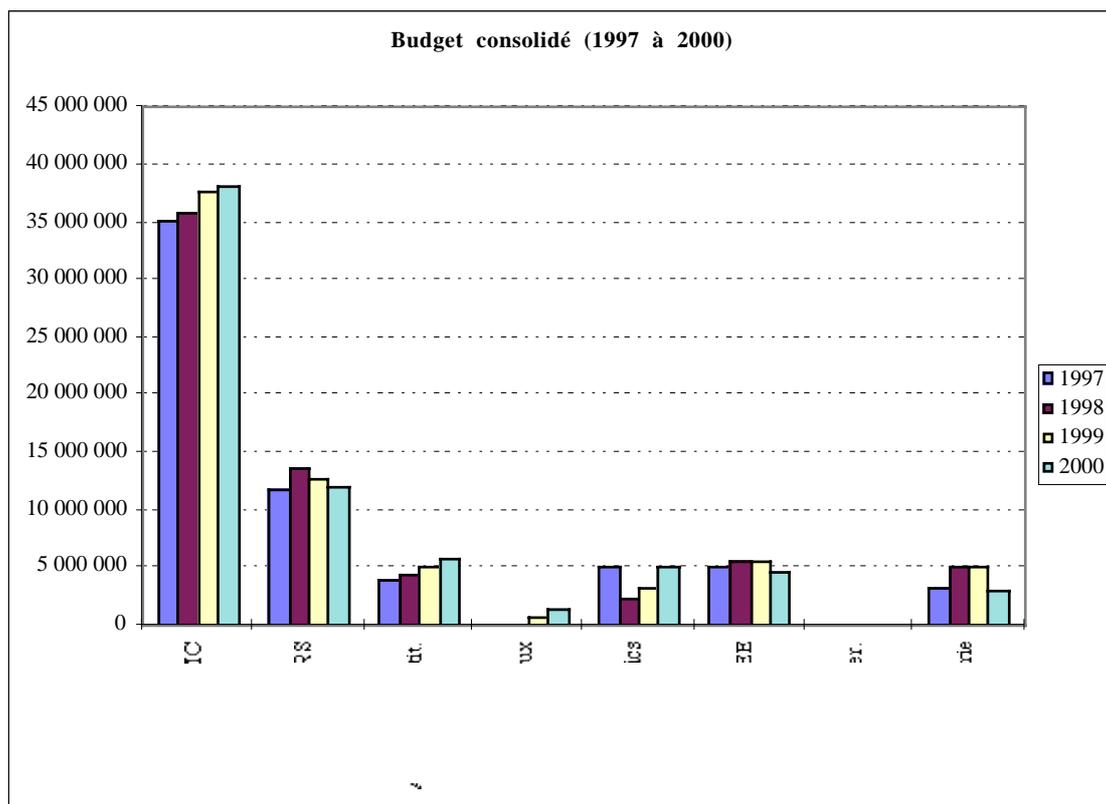
BUDGET

Budgets consolidés en Francs (1997, 1998, 1999, 2000)

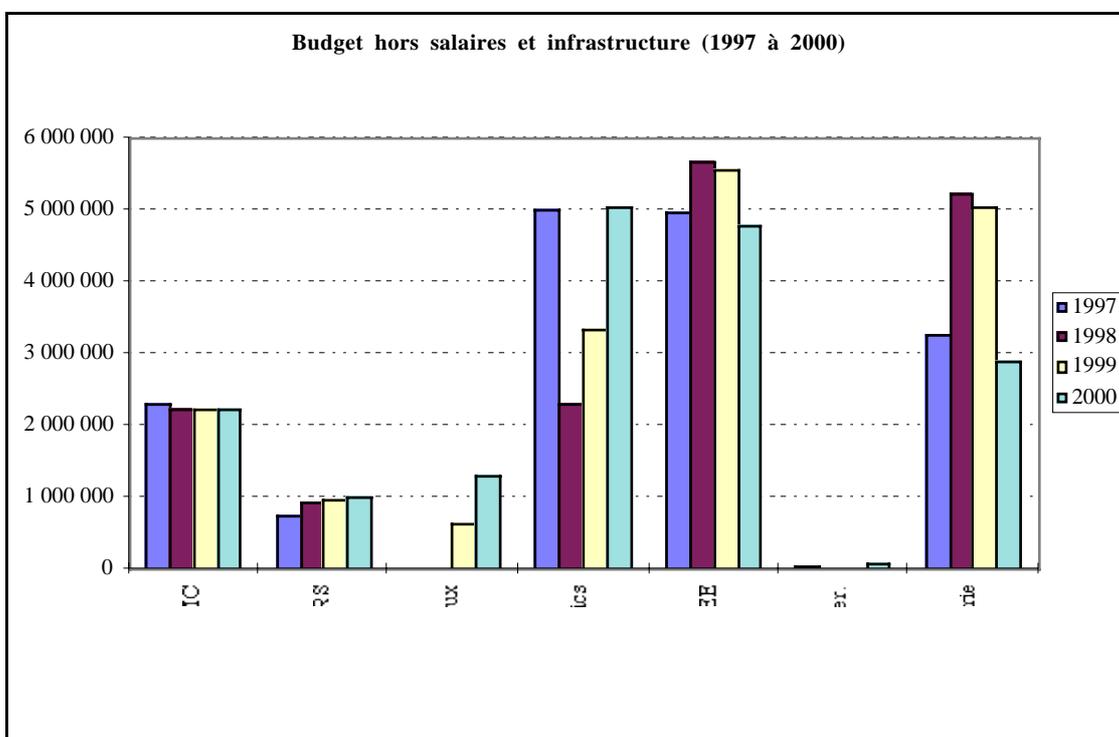
Origine des crédits			1997	1998	1999	2000
Financements institutionnels	UPMC	Vacations		85000	85000	85000
		Fonctionnement	1 191 000	1 191 000	1 175 098	1 175 098
		Infrastructure ^a	6016248	6076248	7526400	7526400
		Équipement	1 081 374	956 374	959 750	959 750
		Personnel ^b	26 867 242	27 427 493	27 907 214	28 476 749
	CNRS	Soutien de base	630 000	630 000	960 000	990 000
		Actions/programmes	100 000	300 000	380 000	198 000
		Actions internationales			96 000	26 000
		Personnel	11 100 070	12 639 124	11 149 773	10 730 320
	Autres	Bourses (évaluation)	1 805 040	1 595 760	1 974 033	2 014 320
		Enseignants-chercheurs hors UPMC	22 500 092	27 291 100	31 149 111	38 760 663
Ressources propres	Contrats européens		4 965 869	5 635 841	5 545 263	4 764 580
	Coopérations internationales		24 000	0	12 600	65 668
	Conventions avec étab. publics		4 999 723	2 303 257	3 317 596	5 013 961
	Programmes nationaux				614 000	1 289 000
	Contrats industriels		3 260 676	5 221 300	5 051 577	2 880 944
Totaux			64 291 335	66 790 498	69 869 215	70 071 853

- a. Valeur locative correspondant à la surface occupée augmentée des charges directement prises en compte par l'UPMC.
b. Ce chiffre inclut les allocataires de recherche du Ministère. À noter que cette somme est évaluée en tenant compte de la pondération pratiquée par l'université, à savoir, 50 % des salaires réels.

Budget consolidé (1997 à 2000)



Budget hors salaires et infrastructure (1997 à 2000)





BREVETS

“Procédé de gestion de bandes allouées dans les réseaux locaux à accès partagés, protocole et filtre de mise en œuvre” M. Bouyer, E. Horlait, le 19 juin 1997 (brevet n° 9707667, France).

“ATM Network Congestion Control System Using Explicit Rate Cell Marking”, A. Fichou, S. Fdida, C. Galand, M. G.A., R. O. Onvural, le 3 janvier 1997 (brevet n° RA996070, USA and Taiwan).

“Procédé de segmentation spatiale d’une image en objets visuels et applications”, P. Faudemay., G. Durand, le 4 février 1998 (brevet français n° 9801308, Surf Technology).

“Procédé de reconnaissance vocale d’un locuteur mettant en œuvre un modèle prédictif, notamment pour des applications de contrôle d’accès”, C. Montacié, M.J. Caraty, le 3 mai 1996 extension le 7 novembre 1997.

“Procédés de décomposition-recomposition d’images fixes et animées”, J.-Ch. Faugères (brevet n° 9700528 déposé en 1997, CNET France Telecom).

“Procédé de génération de descriptions de documents multimédia”, P. Faudemay, le 28 janvier 1999 (brevet n° 9900966, France).

“Dispositif d’échanges de données entre matériels informatiques”, J.-Ch. Faugère, (brevet n° 9908172 déposé en 1999 INRIA)

CRÉATION D'ENTREPRISES

Au cours des quatre années écoulées, le LIP6 a mené une politique active de valorisation des résultats de la recherche. Cette politique s'est particulièrement illustrée dans les thèmes ASIM et RP, qui sont à l'origine de la création de cinq "start-ups" entre 1997 et 2000. Ces cinq entreprises ont été constituées par d'anciens chercheurs du laboratoire, avec le soutien de la Direction des Relations Industrielles et de la Technologie de l'Université, et visent la commercialisation de résultats de recherche obtenus par le laboratoire. Ces résultats ont souvent été obtenus dans le cadre de coopérations avec de grands industriels tels que BULL, PHILIPS, ALCATEL ou SGS-THOMSON.

Dans le cas du thème ASIM, il est remarquable de noter que les entreprises sont issues d'un département qui diffuse gratuitement sous licence GPL, par le biais du réseau Internet, la chaîne Alliance qui est un logiciel de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) pour circuits intégrés. Ce gros logiciel (plus d'un million de lignes) est le résultat du travail de plusieurs dizaines de chercheurs, et il est installé et utilisé dans plus de 200 universités dans le monde. Ce résultat est la conséquence d'une politique volontariste de dissémination et de valorisation de la recherche menée depuis une dizaine d'années par le thème ASIM. Cette double politique de valorisation commerciale et de distribution gratuite via Internet montre que les deux approches ne sont pas contradictoires d'autant que certains logiciels commercialisés continuent à être distribués gratuitement par le laboratoire pour des utilisations limitées à l'enseignement et à la recherche !

Les cinq entreprises créées sont décrites brièvement ci-dessous :

Tachys Technologies

Cette entreprise a été constituée en novembre 1996 par sept chercheurs dont cinq doctorants en fin de thèse, pour commercialiser une technologie d'interconnexion à haut débit (technologie HSL), développée en collaboration avec BULL et THOMSON, dans le cadre de trois projets ES-PRIT. Tachys s'est transformée en SA (Société Anonyme) après deux années d'existence, et vient d'être rachetée par un grand groupe britannique qui souhaite utiliser cette technologie HSL pour la réalisation d'équipements Télécoms.

Advanced Electronic Design

Cette entreprise a été constituée en 1997 par trois chercheurs dont deux thésards en fin de thèse, pour commercialiser des opérateurs spécialisés utilisés dans les circuits intégrés de traitement du signal et de l'image. Cette technologie a initialement été développée par le LIP6 dans le cadre d'une coopération avec le CEA/DAM. AED développe une activité de service en conception VLSI.

Avertec

Cette entreprise a été constituée début 1998 par deux chercheurs en fin de thèse, dans le but de commercialiser deux outils de CAO/VLSI, développés en coopération avec BULL dans le cadre de différents projets européens. Les deux jeunes chercheurs concernés ont obtenu le prix Seymour Cray 1999 pour leurs travaux, ce qui prouve que la volonté de pousser la recherche jusqu'à la réalisation de démonstrateurs de qualité pré-industrielle susceptibles de convaincre les investisseurs n'est pas contradictoire avec la qualité scientifique. Avertec emploie aujourd'hui cinq ingénieurs.

Surf Technology

Cette entreprise a été constituée fin 1998 par trois chercheurs du LIP6, dans le but de commercialiser une technologie d'indexation de documents multi-média, développée dans le cadre d'un projet financé par le ministère de l'industrie.

Cette entreprise est constituée en 2000 par trois professeurs du LIP6 et deux étudiants en fin de DEA, dans le but d'exploiter les résultats obtenus dans le domaine de la qualité de service sur réseaux IP. Un partenariat avec un gros opérateur de réseau câblé supporte le démarrage de l'activité. Les produits de cette société sont fondés sur un brevet déposé par l'Université et le LIP6

Avec un peu de recul, il est possible de dégager quelques enseignements de cette expérience :

- Dans le cas d'une recherche résolument tournée vers les applications, les projets européens se sont révélés remarquablement efficaces pour orienter les recherches dans des directions répondant effectivement aux besoins industriels et ouvrant donc la voie à une exploitation commerciale.
- Le démarrage de ces cinq entreprises a été grandement facilité par la Direction des Relations Industrielles et de la Technologie de l'Université, et par la création de l'incubateur d'entreprises de l'UPMC, qui a hébergé quatre d'entre elles.
- Du point de vue de l'activité générale du laboratoire, la création d'entreprises et la politique de coopération avec celles-ci, a été bénéfique: la plupart des docteurs impliqués dans ces start-ups ont continué à faire bénéficier le laboratoire de leur expertise, en participant à la réflexion sur les directions de recherche du laboratoire, ainsi qu'à la formation des jeunes chercheurs.
- Pour un laboratoire de recherche appliquée, le meilleur critère d'évaluation des résultats de la recherche, c'est l'existence d'applications. En ce sens, la définition d'une politique volontariste de dissémination des résultats de la recherche doit faire partie de la politique scientifique du laboratoire. Deux voies non contradictoires ont été explorées par le thème ASIM du laboratoire LIP6: la valorisation commerciale, par la création d'entreprise, et la distribution gratuite de logiciel sous licence GPL.
- C'est la volonté explicite de pousser la recherche et l'expérimentation jusqu'au développement de prototypes « en grandeur réelle » qui a permis ces transferts industriels. Cette politique a un coût: la durée moyenne des thèses est plus proche de quatre ans que de trois, car la réalisation effective de prototypes (logiciels ou matériels) prend du temps. Ce « surcoût » a pu être financé par les contrats de recherche du laboratoire.
- Évidemment, les relations entre des entreprises privées et un laboratoire public posent des problèmes délicats, et ces coopérations doivent être encadrées par des conventions écrites définissant précisément les flux d'informations, les flux financiers, et les droits de propriété industrielle. À cette condition, ces coopérations se révèlent extrêmement fructueuses pour les deux parties.

ALGORITHMIQUE NUMÉRIQUE ET PARALLÉLISME

Minoux Michel

Alt René
Chesneaux Jean-Marie
Encrenaz Emmanuelle¹
Flavigny Bruno
Jézéquel Fabienne
Lamotte Jean-Luc
Maille Michel
Morcrette Michèle
Vignes Jean

Professeur, UPMC

Professeur, UPMC
Professeur, UPMC
Maître de conférences, UPMC
Maître de conférences, UPMC
Maître de conférences, Université de Paris 2
Maître de conférences, UPMC
Maître de conférences, UPMC
Maître de conférences, UPMC
Professeur, UPMC

ITA/IATOS

Barrolet Gilbert²
Kurinckx Raymonde³
Palmeira Guy⁴
Perrichon Chantal⁵
Picard Françoise⁶
Saïd Clémentine⁷
Varenne Véronique⁸

Ingénieur d'études, CNRS
Technicienne, UPMC
Technicien, UPMC
Ingénieur d'études, CNRS
Ingénieur de recherche, CNRS
Secrétaire d'administration, UPMC
Adjoint administratif, UPMC

Personnel temporaire

Le Calvez Caroline

ATER, UPMC

Doctorants présents 80 % du temps au LIP6

Knippel Arnaud (Minoux M., 1998)

Leblond Éric (Alt R., 1999)

Doctorants présents moins de 80 % du temps au LIP6

Zeghal-Mansour Farah (Minoux M. 1999)

Associés au LIP6

Abadie Jean

Professeur associé, UPMC

Invités au LIP6

Markov Svetoslav

Professeur invité, Académie des Sciences de Sofia (Bulgarie)
(mai 1998, mai 1999, mai 2000)

Rukoz Marta

Professeur invité, (juin 1999)

Tuy H.

Professeur invité, Académie des Sciences (Vietnam) (mars 1998)

-
1. Détachée à mi -temps dans le thème ASIM
 2. Partagé entre l'UFR 922 et le thème ANP
 3. Partagée entre les thèmes ANP, RP et SRC
 4. Partagé entre les thèmes ANP, RP et SRC
 5. Partagée entre les thèmes ANP, RP, SRC et ASIM
 6. Partagée entre les thèmes ANP et RP
 7. Partagée entre les thèmes ANP et RP
 8. Partagée entre les thèmes ANP, RP et SRC



PROSPECTIVE

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: R. Alt, J.-M. Chesneaux, J. Vignes)
- Projet PAN "Parallélisation des Algorithmes Numériques" (responsable: R. Alt, J.-L. Lamotte)
- Projet VISU "Visualisation des résultats de modélisations numériques" (responsable: 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)

Projet VAN "Validation des Algorithmes Numériques"

Dans le domaine de la validité numérique (VAN), des versions du logiciel CADNA utilisable avec PVM et MPI ont été réalisées. Le nouveau logiciel CADNA-MP (CADNA-Message Passing) a été testé sur des problèmes de grande taille sur le CRAY-T3E (thèse de Marc Montagnac, 1999). Ces tests doivent être poursuivis sur la machine MPC du LIP6. De plus, une étude est menée sur la parallélisation synchrone de la méthode CESTAC sur machine à mémoire partagée et distribuée (J.-L. Lamotte).

Des évolutions importantes du logiciel CADNA sont en cours d'élaboration :

- des versions adaptées aux architectures vectorielles (CRAY-SV1 et NEC) qui doivent permettre de valider des simulations numériques très coûteuses en temps calcul (J.-M. Chesneaux, F. Jézéquel).
- une version dédiée à l'environnement MatLab (F. Jézéquel, C. Le Calvez).

Deux projets importants doivent démarrer prochainement. Le premier porte sur la réalisation d'outils d'implantation automatique (cadnatisation) de CADNA dans les codes scientifiques (langages Fortran C ou ADA). Ce travail, demandé par les industriels, doit être en partie financé par l'ANVAR. Le deuxième s'inscrit dans le cadre du programme RNTL en collaboration avec les sociétés Numeral Advance et Thompson. Ce projet a pour but de développer un mailleur 3D incluant le contrôle de la précision.

Des applications du logiciel CADNA vont être poursuivies :

- sur l'impact de la superposition d'un chaos numérique dans la simulation numérique des phénomènes physiques chaotiques. Etude de la théorie de Prigogine (J. Vignes). Ceci fait l'objet d'une collaboration avec M. Pichat à l'Université de Lyon 1.
- dans le domaine de la robotique dans le cadre du projet européen PACS, actuellement soumis (J.-M. Chesneaux). Ce travail fait l'objet d'une collaboration avec l'équipe CALFOR du LIP6.

Sur le plan théorique, la formalisation des concepts et l'étude des propriétés de l'arithmétique stochastique seront activement poursuivies (J.-M. Chesneaux, F. Jézéquel). Des travaux portant sur des algorithmes prouvés de maillage adaptés à l'arithmétique finie des ordinateurs viennent de démarrer dans le cadre d'une thèse (E. Leblond).

Des études sur la comparaison des propriétés théoriques et pratiques de l'arithmétique stochastique et de l'arithmétique d'intervalles (R. Alt) sont entreprises en collaboration avec S. Markov de l'Académie des Sciences de Bulgarie (projet CNRS n° 5360).

Une thèse sur la validation de la reconnaissance de cellules biologiques (sanguines, cancéreuses, etc) en présence de données bruitées est entreprise par Ousena Baya et dirigée par R. Alt.

Projet PAN "Parallélisation des Algorithmes Numériques"

Dans le domaine de la parallélisation d'algorithmes (PAN) les travaux concernent principalement le développement d'algorithmes nouveaux (C. Le Calvez) 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 (C. Le Calvez, M. Montagnac). Pour chaque algorithme a été étudié le type de machine le mieux adapté et la complexité en temps et en espace.

Projet VISU "Visualisation des résultats de modélisations numériques"

Le troisième projet de recherche concerne la visualisation des résultats numériques. Le projet VISU est

le prolongement naturel des projets VAN et PAN qui s'attachent à améliorer les performances des applica-

tions 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 d'analyser les tableaux de résultats. Ces logiciels présentent cependant une lacune : ils ne permettent pas de visualiser sur le même graphique les résultats et leur qualité numérique. Un prototype d'outil de visualisation 2D ou 3D a été développé pour pallier cette lacune (J.-L. Lamotte). Un produit plus fini avec comme support principal OpenGL, doit prolonger les résultats prometteurs de l'actuel prototype.

Enfin, dans le prolongement des travaux concernant la validation et le contrôle des algorithmes de type

Krylov (thèse de M. Montagnac, 1999), un nouvel axe de recherche portant plus généralement sur les résolutions numériques des problèmes de l'algèbre linéaire de grande taille doit être développé. L'animation du séminaire PALM depuis octobre 1999 en collaboration avec le LAN de Paris 6 et l'ONERA s'inscrit dans cette voie. Une collaboration avec J. Erhel (INRIA) a débuté afin d'introduire une nouvelle technique de déflation dans la méthode du gradient conjugué (C. Le Calvez). De même, une collaboration avec Y. Saad (Université du Minnesota) se poursuit pour introduire de nouveaux préconditionneurs dans la résolution de systèmes linéaires creux (C. Le Calvez).

Projet MOS "Modélisation et Optimisation des Systèmes"

Dans le domaine de la modélisation et de l'optimisation des systèmes (projet MOS), il est prévu de poursuivre les recherches sur les problèmes de partitionnement de graphes de grandes dimensions, et leurs extensions possibles. 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). Se rattachent à cette problématique les travaux menés dans le cadre de la thèse (en cours) de D. Collard sur l'optimisation du placement dynamique de tâches dans les grands systèmes informatiques distribués (ces travaux s'inscrivent dans le cadre d'une collaboration avec le thème SRC : P. Sens et B. Folliot).

Un autre axe important de recherches futures pour le projet MOS concerne 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. L'amélioration de l'efficacité algorithmique des méthodes de résolution exactes, fondées sur la génération de contraintes et utilisant des techniques de combinatoire polyédrique, sera également étudiée, en particulier pour les problèmes de dimensionnement optimal de réseaux avec contraintes de sécurité.

Projet CLOVIS "Conception LOGicielle et Vérification Intégrée de Systèmes"

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) et la DGA vient de débuter (février 2000).

- 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 réduction a priori des différentes entités à composer; Il s'agit de proposer des algorithmes

efficaces permettant de construire des entités réduites préservant la propriété à vérifier et le mode de composition.

- L'interprétation des résultats de vérification obtenus sur le modèle réduit vers le modèle initial.



BILAN SYNTHÉTIQUE DES RECHERCHES

Les principaux résultats obtenus au cours de la période 1997-1999 sont les suivants :

Concernant la validation des algorithmes numériques, des versions du logiciel CADNA utilisable avec PVM et MPI ont été réalisées ainsi que pour des architectures vectorielles.

Un étude détaillée aboutissant à une nouvelle algorithmique pour le redémarrage des algorithmes de type Krylov a été finalisée (thèse de M. Montagnac, 1999).

L'action coopérative FIABLE de l'INRIA, à laquelle ont participé J.-M. Chesneaux et F. Jézéquel s'est terminée en septembre 1999. Deux stages de DEA portant sur la validation numérique d'un code d'inversion de matrices structurées (F. Kharroubi) et sur l'élaboration d'un mailleur 2D avec contrôle de la précision (E. Leblond) ont été faits dans ce cadre.

Concernant la parallélisation des algorithmes, on peut mentionner :

- 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 (thèse de D. Thibau, 1997).

Concernant la modélisation et l'optimisation des systèmes, les résultats obtenus concernent :

- l'étude de problèmes de partitionnement de graphes et d'hypergraphes de grandes dimensions : construction de nouvelles relaxations, réalisation d'un générateur de netlists et étude comparative d'algorithmes approchés pour la résolution de problèmes de très grandes tailles. Ces travaux se sont déroulés dans le cadre de la thèse de J. Pistorius (soutenue fin 99) et ont abouti à la réalisation d'un compilateur de netlists optimisé pour l'émulateur de circuits 'Celaro' de la Société Mentor Graphics (Division Metasystems) ;
- 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 ainsi que d'un algorithme de

résolution exacte (1 rapport de recherche, 2 articles parus dans des revues internationales, 1 article en cours de soumission) ;

- L'étude de problèmes d'allocation de fréquences dans les réseaux de télécommunications (réseaux hertziens, réseaux cellulaires). De nouvelles approches pour le calcul de bornes pour le problème de satisfaction maximale de contraintes (MAX-CSP) ont été développées et expérimentées sur une série de problèmes-test difficiles provenant d'applications pratiques et de tailles importantes (plusieurs centaines de nœuds, plusieurs milliers de contraintes). (1 article à paraître dans 'Encyclopedia of Optimization', Kluwer).
- l'étude de propriétés combinatoires dans l'algèbre des semi-anneaux et des dioïdes (3 articles de revues internationales, 1 revue nationale, et 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 - 99, à trois thèses soutenues, et à 7 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, adaptation de protocoles de bus).



BILAN DÉTAILLÉ DES RECHERCHES

Projet VAN : Validation des Algorithmes Numériques

J. VIGNES, R. ALT, F. JÉZÉQUEL, J.-M. CHESNEAUX, J.-L. LAMOTTE, C. LE CALVEZ, E. LEBLOND.

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 stochasti-

que 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 donné lieu à un logiciel appelé CADNA (Control of Accuracy and Debugging for Numerical Applications) qui implante la méthode CESTAC dans les programmes scientifiques écrits en Fortran, C, C++ et Ada. 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.

Par ailleurs pour les programmes parallèles, les nouveaux types définis par CADNA pour la validation des logiciels numériques, ont été ajoutés aux bibliothèques d'envoi de messages PVM et MPI. Ceci permet maintenant de valider numériquement les programmes parallèles (J.-L. Lamotte, M. Montagnac).

Le logiciel CADNA permettant de détecter en cours d'exécution d'un programme les instabilités numériques dues d'une part aux arrondis de calcul et d'autre part aux incertitudes de données, s'est avéré être un outil très intéressant pour étudier les systèmes dynamiques chaotiques. C'est ainsi qu'avec CADNA par exemple, la partie exacte de la trajectoire dynamique du système peut être très aisément déterminée, ainsi que les points de doublement de période et la périodicité de la trajectoire. CADNA permet donc de faire une étude qualitative et quantitative des systèmes chaotiques (J. Vignes, M. Pichat).

Projet PAN : Parallélisation des Algorithmes Numériques

R. ALT, F. JÉZÉQUEL, J.-L. LAMOTTE, C. LE CALVEZ, T. LEDUC, D. THIBAU

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 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 :

- 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 inter-

polution 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 le cadre de la résolution de systèmes linéaires creux sur machines parallèles, une nouvelle méthode de Krylov, visant à pallier les pertes d'informations de GMRES redémarré, a été proposée. Cette méthode appelée IDGMRES (C. Le Calvez et B. Molina de l'université Centrale de Caracas) tire partie d'une technique de déflation (IRA) originellement utilisée dans le cadre de la résolution de valeurs propres, ce qui permet non seulement de réduire le nombre total d'itérations

mais également le coût d'une itération. Cette méthode est actuellement en cours de validation (J.-M. Chesneaux, F. Jézéquel et C. Le Calvez).

- 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. (thèse de D. Thibau, 1997).

Projet VISU : VISUalisation des résultats de modélisations numériques

M. MORCRETTE, 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 for-

mat 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".

Un premier prototype de logiciel de visualisation de tableau 2D de résultats obtenu avec CADNA a été réalisé. Ce programme a confirmé l'importance de la visualisation pour une analyse rapide des résultats et de leur qualité. Cependant, ce prototype présente des lacunes, notamment au niveau de l'interface graphique qui est peu conviviale.

Projet MOS: Modélisation et Optimisation des Systèmes

M. MINOUX, E. ENCRENAZ, V. GABREL, A. KNIPPEL, D. COLLARD

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).
- 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 approchés pour la résolution de problèmes de très grandes tailles. Ces travaux se sont déroulés dans le cadre de la thèse de J. Pistorius (soutenue fin 99) et ont conduit à un ensemble de logiciels très efficaces implantés sur l'émulateur de systèmes 'Celaro' développé par Mentor-Graphics (Division Meta-systems). Les résultats obtenus ont permis de réduire de 10 à 20 % en moyenne les ressources matérielles nécessaires pour implémenter des netlists réelles de taille importante (jusqu'à une centaine de milliers de cellules). (1 article de conférence internationale avec actes et un article de revue internationale en cours de soumission).

- Dans le domaine de l'optimisation des 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 contexte 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 programma-

tion 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. Pour la résolution exacte de ces problèmes, un algorithme de génération de contraintes de type 'méthode de Benders' a été mis au point et expérimenté avec succès sur une série importante de problèmes-test réalistes, comprenant des réseaux jusqu'à 20 sommets et 30 à 40 arêtes. (1 rapport de recherche, 2 articles publiés dans des revues internationales).

- 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 Borchart, 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). Un article de synthèse sur la théorie et les applications des semi-anneaux a été également publié dans la Revue TSI.

Projet CLOVIS: Conception Logicielle et Vérification Intégrée de Systèmes

E. ENCRENAZ, R. BAWA, G. DECUQ, F. RAHIM, M. MINOUX

Ce projet vise 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'arbres 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). Il a également été utilisé sur des systèmes réels, et a notamment permis de tester la non-régression d'une correction métal sur un circuit fondu développé au laboratoire (PCI-DDC FSM de 109 états avec 45 entrées et 56 sorties décrit en 1800 lignes de code VHDL). Ce test de non-régression n'aurait pu être effectué en simulation, car il survenait après deux heures de fonctionnement réel, ce qui aurait nécessité plusieurs années de simulation pour repositionner le modèle dans l'état défectueux puis corrigé...

Depuis 1997, les recherches se sont orientées vers la vérification modulaire de systèmes matériels : il s'agit alors de considérer le système comme une in-

terconnexion 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 au développement d'un outil de réduction de chaque composant (outil MUST). Une étape importante concerne maintenant l'interprétation des résultats obtenus sur le modèle réduit : comment reconstruire, à partir d'un état défectueux du modèle réduit, un état défectueux et accessible dans le modèle initial ?

Parallèlement, d'autres études concernent la définition et l'expérimentation de structures de données étendant les diagrammes de décisions binaires pour pouvoir représenter simultanément des systèmes à variables booléennes et entières (éventuellement bornées, mais que l'on veut éviter de transposer dans le domaine booléen). Une première approche se fondant sur les DDD (diagrammes de décision de données) proposés par le LaBRI (Université de Bordeaux I), est en cours d'expérimentation.

PUBLICATIONS ANP

Livres

- (1) M. Soria, M. Morcrette, A. Brygoo, O. Palies : "Initiation à l'informatique par Word et Excel", ITP 97 (International Thomson Publishing Paris) ed: ITP-Vuibert, 1997.
- (2) J.-C. Bajard, O. Beaumont, J.-M. Chesneaux, M. Dumas, J. Erhel, D. Michelucci, J.-M. Muller, B. Philippe, N. Revol, J.-L. Roch, J. Vignes : "Précision des calculs sur ordinateur", Editions Masson Paris ed, 1997.

Articles de revues

- (1) N. C. Albertsen, J.-M. Chesneaux, S. Christiansen, A. Wirgin : "Comparison of four software packages applied to a scattering problem", Math. and Comp. in Sim., vol. 48, pp. 307-318, 1999.
- (2) R. Alt, J. Vignes : "Validation of results of collocation methods for ODEs with the CADNA library", Applied Numerical Mathematics, vol. 20, pp. 1-21, 1996.
- (3) E. Boros, P. L. Hammer, M. Minoux, D. Rader : "Optimal Cell-Flipping to Minimize Channel Density in VLSI Design and Pseudo-Boolean Optimization", Discrete Appl. Math, vol. 90, pp. 69-88, 1999.
- (4) J.-M. Chesneaux, F. Jezequel : "Dynamical control of computations using the Trapezoidal and Simpson's rules", Journal of Universal Computer Science, vol. 4, pp. 2-10, 1998.
- (5) V. Gabrel, A. Knippel, M. Minoux : "Exact Solution of Multicommodity Network Optimization Problems with General Step Cost Functions", Operations Research Letters, vol. 25, pp. 15-23, 1999.
- (6) V. Gabrel, M. Minoux : "LP Relaxations better than Convexification for Multicommodity Network Optimization Problems with Step Increasing Cost Functions", Acta Mathematica Vietnamica, vol. 22, pp. 123-145, 1997.
- (7) M. Gondran, M. Minoux : "Valeurs propres et fonctions propres d'endomorphismes à diagonale dominante en analyse Min-Max", C.R.A.S., vol. 325, pp. 1287-1290, 1997.
- (8) M. Gondran, M. Minoux : "Eigenvalues and Eigenfunctionals of Diagonally Dominant Endomorphisms in Min-Max Analysis", Linear Algebra and its Appl, vol. 282, pp. 47-61, 1998.
- (9) M. Gondran, M. Minoux : "Dioides et Semi-Anneaux : Algèbres et Analyses pour le XXIe siècle ?", Techniques et Science Informatique, 2000.
- (10) F. Jezequel : "A validated parallel across time and space solution of the heat transfer equation", Applied Numerical Mathematics, vol. 31, pp. 65-79, 1999.
- (11) J.-L. Lamotte, F. Delay : "On the Stability of 2D-interpolation algorithms with uncertain data", Maths. and Comp. in Simul, vol. 43, pp. 183-201, 1997.
- (12) C. Le Calvez, B. Molina : "Implicitly restarted and deflated GMRES", Numerical Algorithms, vol. 21, pp. 262-285, 1999.
- (13) C. Le Calvez, Y. Saad : "Modified Krylov acceleration for parallel environments", Applied Numerical Mathematics, vol. 30, pp. 191-212, 1999.
- (14) N. Maculan, M. Minoux, G. Plateau : "An $O(n)$ Algorithm for Projecting a Vector on the Intersection of a Hyperplane and R^n ", RAIRO-Recherche Opérationnelle, vol. 31, pp. 7-16, 1997.
- (15) M. Minoux : "Bideterminants, Arborescences and Extension of the Matrix-Tree Theorem to Semirings", Discrete Mathematics, vol. 171, pp. 123-145, 1997.
- (16) M. Minoux : "A Generalization of the All Minors Matrix Tree Theorem to Semirings", Discrete Mathematics, vol. 199, pp. 139-150, 1999.
- (17) M. Minoux, P. Mavrocordatos : "Relaxations and Upper Bounds for Maximum Constraint Satisfaction. Application to Large Frequency Assignment Problems", Encyclopedia of Optimization, Kluwer, 2000.
- (18) M. Montagnac, J.-M. Chesneaux : "Dynamic control of a BICGStab algorithm", Applied Numerical Mathematics, vol. 32, pp. 103-117, 2000.
- (19) M. Pichat, J. Vignes : "Validité des résultats numériques dans les processus à comportement chaotique. Un outil d'évaluation : le logiciel CADNA", C.R.A.S., vol. 322, pp. 681-688, 1996.

Communications avec actes

- (1) R. Alt and J. L. Lamotte, "On the Evaluation of functional Ranges using a random interval arithmetic," presented at Interval'96, Wuerzburg (Germany), 1996, pp. 11-13.
- [2] R. Alt, "On the optimal solution of collocation methods for ODEs," presented at CESA'96 Multiconference on computational engineering in systems and applications, Lille, 1996, pp. 1128-1133.
- [3] R. Alt and J. L. Lamotte, "Parallel Integration across time of initial value problems using PVM," presented at EuroPVM'96, Munich, 1996.
- [4] R. Alt, "Parameter identification with uncertain data and floating-point arithmetic," presented at Proceedings First Congress on Math. Models and Methods Approach to Biology and Medicine, Alicante (Spain), 1997.
- [5] R. Alt, "How to check the Accuracy of the solution of an iterative process," presented at Proceedings SCAN'98 congress, Budapest, 1998.

- [6] R. Bawa and E. Encrenaz, "Formal verification of VHDL descriptions by symbolic state space exploration applied to finite state machine," presented at VHDL International user forum, spring '96, Santa-Clara (USA), 1996.
- [7] R. Bawa and E. Encrenaz, "VMC : a tool for model-checking VHDL descriptions," presented at VHDL User Forum in Europe, SIG-VHDL spring'96 working conference, Dresde (Allemagne), 1996.
- [8] R. Bawa and E. Encrenaz, "A plate-form for the Formal Verification of VHDL Programs," presented at SMACD'96 (4th international workshop on symbolic methods and application in circuit design), Heverlee (Belgique), 1996.
- [9] R. Bawa and E. Encrenaz, "A Tool for translation of VHDL descriptions into a formal model and its application to formal verification and synthesis," presented at FTRTFT'96 (4th international symposium on formal techniques in real-time and fault-tolerance systems), Uppsala (Suède), 1996, pp. 11-35.
- [10] J.-M. Chesneaux and F. Jezequel, "Dynamical numerical validation of quadrature methods," presented at SCAN'97 Conference, Lyon, 1997, pp. 17-20.
- [11] J.-M. Chesneaux, "On the Probability of the Confidence Interval of the CESTAC Method," presented at XVth World IMACS Congress, Berlin, 1997.
- [12] F. Jezequel, "A time and space parallel algorithm for the heat equation : the implicit collocation method," presented at Euro-Par'96 Parallel Processing, Lyon, 1996, pp. 97-100.
- [13] F. Jezequel, "Propagation de l'erreur d'arrondi lors de la resolution de l'equation des ondes," presented at Real Numbers and Computers, Marseille, 1996, pp. 215-231.
- [14] J.-L. Lamotte and Y. Epelboin, "Study of the numerical stability of a X-RAY diffraction model," presented at Computational Engineering in Systems Applications, IMACS Multiconference, Tunisia, 1998.
- [15] J.-L. Lamotte, "a new approach for the study of surface interpolation with uncertain data using the CADNA software," presented at workshop Reliable Computations and Interval Algebra, Bulgaria, 1999.
- [16] C. Le Calvez and B. Molina, "Implicitly restarted and deflated Krylov methods," presented at ICNMPDE, Morocco, 1998.
- [17] C. Le Calvez and Y. Saad, "Modification du produit scalaire pour l'acceleration de FOM et GMRES sur architectures paralleles," presented at Troisième séminaire sur l'algorithmique numérique appliquée aux problèmes industriels, Rennes (France), 1999.
- [18] T. Leduc, "Parallelisation d'Automates Cellulaires uni- et bi-dimensionnels et application a la modelisation du processus de subduction-erosion en tectonique des plaques," presented at RenPar'10, Strasbourg, France, 1998.
- [19] T. Leduc, "A One-Dimensional Discrete Computer Model of the Subduction Erosion Phenomenon," presented at CESA'98 Conference, Tunisia, 1998.
- [20] M. Minoux, "Optimum Network Design Models and Algorithms in Transportation and Communication," presented at ICIL'99, St Petersburg, 1999.
- [21] M. Montagnac, "Dynamic restarting strategy for a BICGSTAB algorithm using discrete arithmetic stochastic," presented at SCAN'98, Budapest (Hungary), 1998.
- [22] M. Pichat and J. Vignes, "The numerical study of unstable fixed points in a chaotic dynamical system," presented at 15th IMACS World Congress on Scientific Computation, Berlin, 1997, pp. 341-346.
- [23] J. Pistorius, E. Legai, and M. Minoux, "Generation of Very Large Circuits to Benchmark the Partitioning of FPGAs," presented at IPSD99, Monterey (CA), 1999.
- [24] F. Rahim-Sarwary, E. Encrenaz, M. Minoux, and R. Bawa, "Modular Model-Checking of VLSI Design Described in VHDL," presented at Conf. On Computer and their Applications, U.S.A., 1998.
- [25] F. Rahim-Sarwary, R. Bawa, and A. Amara, "VHDL Based formal verification of 32 bit RISC Pipelined Processor," presented at IEEE/ACM Workshop on Logic Synthesis, U.S.A., 1998.

Autres publications

- (1) V. Gabrel, M. Minoux : "Large-scale LP relaxations for minimum cost multicommodity flow problems with step increasing cost functions and computational results", 17, RR-MASI, 1996 1996.
- (2) F. Jezequel, J.-M. Chesneaux : "Etude de la stabilite numerique du code OPA-version 8.0", Institut Pierre Simon Laplace, Paris 1998.
- (3) T. Leduc : "Modelisation par un systeme dynamique discret du processus de subduction-erosion en tectonique des plaques : premiere approche uni-dimensionnelle", LIP6, 1997 1997.
- (4) M. Minoux : "Résolution de systèmes linéaires dans les semi-anneaux et les dioïdes", Rapport LIP6 1998/051, Laboratoire d'Informatique de Paris 6 1998.
- (5) M. Minoux : "Propriétés combinatoires des matrices sur les (pré)-semi-anneaux", Rapport LIP6 1998/050, Laboratoire d'Informatique de Paris 6 1998.
- (6) M. Minoux : "Algèbre linéaire dans les semi-anneaux et les dioïdes", Rapport LIP6 1998/052, Laboratoire d'Informatique de Paris 6 1998.
- (7) F. Rahim-Sarwary, E. Encrenaz : "Property-dependant bisimulation for compositional model-checking", 028, LIP6, 1997 1997.
- (8) F. Terras : "Etude de la stabilite numerique du code ORCA", Institut Pierre Simon Laplace, Paris, 10/1999 1999.



FORMATION PAR LA RECHERCHE ANP

Thèses

- (1) R. K. Bawa : “Un environnement intégré pour la vérification formelle et l’analyse de programmes VHDL”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 12/12/1996, encadrée par M. Minoux et E. Encrenaz.
- (2) F. Jezequel : “Parallélisation et distribution de résolution d’équations aux dérivées partielles”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 28/11/1996, encadrée par R. Alt.
- (3) T. Leduc : “Modélisations par réseaux d’automates cellulaires et simulations parallèles du phénomène de subduction-érosion en tectonique des plaques”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 05/07/1999, encadrée par R. Alt.
- (4) M. Montagnac : “Application aux équations de Navier-Stokes de l’algorithme CGS via les polynômes orthogonaux formels avec contrôle de la précision”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 07/10/1999, encadrée par J.-M. Chesneaux.
- (5) J. Pistorius : “Partitionnement de très grandes netlists sur architectures hiérarchiques multi-niveaux”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 16/11/1999, encadrée par M. Minoux.
- (6) F. Rahim-Sarwary : “Techniques symboliques pour la réduction d’automates d’états finis et application à la vérification formelle modulaire et l’optimisation de circuits séquentiels VLSI”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 27/05/1999, encadrée par M. Minoux et E. Encrenaz.
- (7) S. Tricot : “Analyse comparative et mise en oeuvre numérique d’algorithmes de programmation quadratique sous contraintes linéaires.”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 05/04/1996, encadrée par M. Minoux.



ANIMATION DE LA RECHERCHE ANP

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).
- SIAM Monographs on Discrete Mathematics (Editorial Board).
- Editeur d'un numéro spécial de la revue internationale 'Discrete Applied Mathematics' n° 90, 1999, Special Issue on VLSI (avec A.J. Hoffman et A. Vannelli).

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.

Vignes J., Chesneaux J.-M., Lamotte J.-L., Jézéquel F., Saïd C.

- Organisation du Congrès RNC3. Real Number and Computers N° 3, Paris, avril 1998.

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.
- 4 th 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.
Chesneaux J.-M.
- RNC3, Real Number and Computer N° 3, Paris, 27, 28, 29 avril 1998.
- RNC4, Real Number and Computers N° 4, Dagstuhl (Allemagne), 17 au 18 avril 2000.

Membre de comité scientifique

Vignes J.

- 16 th IMACS World Congress, Lausanne, Suisse, 21 au 25 août 2000, session : Computer arithmetic and validated numerics

Président de session

Vignes J.

- 15 th 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 Phénomena, Hammamet (Tunisie), 1998.

Organisateur et Président de session

Vignes J.

- CESA'96 IMACS Multiconference, session : Numerical Software Validation, Lille, 9-12 juillet 1996.

Alt R. et Vignes J

- 16 th IMACS World Congress, Lausanne, Suisse, 21 au 25 août 2000, session: Computer arithmetic and validated numerics

PROJETS ET CONTRATS

Contrats avec les établissements publics

Projet FIABLE

Responsable scientifique: Chesneaux J.-M., Jézéquel F.

- Etude d'algorithmes numériques fiables pour la résolution de problèmes de géométrie analytique, la détermination du signe d'expressions arithmétiques, la localisation de valeurs propres.

Partenaire(s): *INRISA-Rennes, INRIA-Nancy, INRIA-Sophia-Antipolis.*

DGA-DSP: Vérification de systèmes à données booléennes et entières

Responsable scientifique: Encrenaz Emmanuelle, durée: 28/02/2000 - 31/08/2001, financement 114 kF.

- Méthode de vérification de systèmes électroniques complexes utilisant les diagrammes de décision binaires étendus au traitement des types finis.

Partenaire(s): *LaBRI, Université Bordeaux I.*

Contrats industriels

METASYSTEMS

Responsable scientifique: Minoux Michel, durée: 1/10/1996 - 30/09/1999, financement 200 kF.

- Algorithmes de partitionnement pour la Meta Machine.

Validation numérique du code OPA 8.0 simulant la circulation océanique

Responsable scientifique: Chesneaux J.-M., Jézéquel F., durée: 1/09/1997 - 1/01/1998, financement 30 kF.

- L'étude portait sur l'évolution du nombre de chiffres significatifs dans le temps de certaines variables telles que la température, la vitesse des courants, la pression hydrostatique. Les instabilités numériques survenues lors de l'exécution du code ont également été analysées.

Partenaire(s): *Institut Pierre Simon Laplace.*

EDF

Responsable scientifique: Minoux Michel, durée: 1/02/2000 - 30/09/2000, financement 120 kF.

- Etude de synthèse sur les algorithmes de résolution de problèmes combinatoires.

Partenaire(s): *EDF.*

Activités internationales

ECOS NORD (Venezuela)

Responsable scientifique: Alt René.

- Modélisation numérique et résolution informatique de problèmes d'écoulements biphasiques dans des canalisations verticales ou obliques.

Partenaire(s): *Universidad Central de Venezuela.*

Académie des Sciences de Bulgarie

Responsable scientifique: Alt René.

- Fiabilité des logiciels numériques.



APPRENTISSAGE ET ACQUISITION DE CONNAISSANCES

Bouchon-Meunier Bernadette

Akdag Herman
Artières Thierry
Borgi Amel
Caraty Marie-José
Corruble Vincent
D'alché-Buc Florence
Gacogne Louis
Gallinari Patrick
Ganascia Jean-Gabriel
Kant Jean-Daniel
Lifchitz Alain
Marsala Christophe
Montacié Claude
Pitrat Jacques
Rifqi Maria
Zucker Jean-Daniel

Directeur de recherche, CNRS

Professeur, Université de Reims
Maître de conférences, Université de Cergy Pontoise
Maître de conférences, IUT de Reims
Maître de conférences, HDR, UPMC
Maître de conférences, UPMC
Maître de conférences, UPMC
Professeur Agrégé, IIE CNAM
Professeur, UPMC
Professeur, UPMC
Maître de conférences, UPMC
Chargé de recherche, CNRS
Maître de conférences, UPMC
Maître de conférences, HDR, UPMC
Directeur de recherche, CNRS
Maître de conférences, Université de Paris 2
Maître de conférences, UPMC

ITA/IATOS

Arranz Jean-Pierre¹
Aubin Marie²
Le Baquer Jacqueline³
Mary Ghislaine⁴
Nguyen-Kieu Le quyen
Pacaud- Mangin Valérie⁵

Ingénieur d'études, CNRS
Secrétaire d'administration, UPMC
Secrétaire d'administration, UPMC
Adjoint technique, CNRS
Ingénieur de recherche, CNRS
Technicien, CNRS

Personnel temporaire

Aladenise Nathalie	Postdoc
Brouard Christophe	Postdoc
Gérard Olivier	Postdoc
Lecerf Vincent	Postdoc
Lefevre Fabrice	ATER, Université d'Avignon
Mellouli Nédra	ATER, Université de Cergy
Meyer Christophe	Postdoc
Musial Andrée ⁶	Agent de bureau, CDD, ADFAC
Nardy Nicole ⁷	Adjoint administratif, CDD, UPMC
Rick Andréas	Postdoc
Zaragoza Hugo	ATER, Université de Paris 13
Zerrouki Leila	Postdoc

Doctorants présents 80% du temps au LIP6

Amini Massih-Reza (Gallinari P., 1997)	Baillie Jean-Christophe (Ganascia J.-G., 1998)
Breton Laurent (Ganascia J.-G./Zucker J.-D., 1998)	Chevaleyre Yann (Ganascia J.-G./Zucker J.-D., 1998)
Courtine Mélanie (Ganascia J.-G./Zucker J.-D., 1999)	Detyniecki Marcin (Bouchon-Meunier B., 1997)
Huguency Bernard (Bouchon-Meunier B., 1999)	Kermia Ihseine (Gallinari P., 1998)
Kocik Fabrice (Pitrat J., 1998)	Laurent Anne (Bouchon-Meunier B., 1999)
Li Haifeng (Gallinari P., 1997)	Marukat Sanparith (Gallinari P., 1999)
Mellouli Nedra (Bouchon-Meunier B., 1997)	Pannerec Tristan (Pitrat J., 1998)

1. Partagé entre les thèmes APA, OASIS et SYSDEF
2. Mi-temps, partagée entre les thèmes APA, OASIS et SYSDEF
3. Partagée entre les thèmes APA, OASIS et SYSDEF
4. Partagée entre les thèmes APA, OASIS et SYSDEF
5. Mi-temps, partagé entre les thèmes APA, OASIS et SYSDEF
6. Partagée entre les thèmes APA, OASIS et SYSDEF
7. Partagée entre les thèmes APA, OASIS et SYSDEF

Doctorants présents 80% du temps au LIP6

Piwowarski Benjamin (Gallinari P., 1999)	Reis Dos Santos Lopes Alda (Gallinari P., 1999)
Robisson Bruno (Ganascia J.-G., 1998)	Siolas Georges (Bouchon-Meunier B./D'alché-Buc F., 1999)

Doctorants présents moins de 80% du temps au LIP6

Bellili Abdelouahab (Gallinari P., 1997)	Chapelle Olivier (Gallinari P., 1999)
Fredon Arnaud (Pitrat J., 1996)	Lesourd Henri (Pitrat J., 1995)
Moneret Régis (Pitrat J., 1996)	Mustière Sébastien (Ganascia J.-G./Zucker J-D., 1997)
Thiré Frédéric (Ganascia J.-G., 1994)	

Associés au LIP6

Dormoy Jean-Luc	Ingénieur-Chercheur, EDF
Laurière Jean-Louis	Professeur, UPMC
Lucas Jean-Yves	Ingénieur-Chercheur, EDF
Masson Michel	Maître de conférences, Université de Paris 9
Pastre Dominique	Professeur, Université de Paris 5
Périaux Jacques	Expert émérite, Dassault Aviation
Pintado Michel	Professeur, INRETS
Ramdani Mohamed	Enseignant, Faculté des Sciences et techniques de Mohammadia

Invités au LIP6

Coletti Giulianella	Professeur invité, (février 1999)
Giordana Attilio	Professeur invité, Université de Turin (Italie) (janvier-février 1997)
Goldberg David	Professeur invité, Université d'Illinois Urbana-Champaign (USA) (juin 1998)
Jordan Michael	Professeur invité, Depart of Brain and Cognitive Sciences (mai 1998)
Kallala Moncef	Professeur invité, Université d'Ifrane (Maroc) (mai 2000)
Mesiar Radko	Professeur invité, Faculté de Bratislava (Slovaquie) (mars 2000)
Ramer Arthur	Professeur invité, (avril 1999)
Saitta Lorenza	Professeur invité, Université de Turin (Italie) (janvier-février 1997)
Yager Ronald	Professeur invité, Iona college (USA) (juin 1998)



PROSPECTIVE

L'apprentissage est au centre du thème APA, où il est à la fois étudié sous des aspects de recherche fondamentale et utilisé dans des domaines applicatifs qui sont, pour la plupart, communs à plusieurs groupes : le diagnostic, la reconnaissance de l'écrit, l'analyse textuelle, la biologie, le domaine médical, la musique, la parole, l'indexation multi-média. Il est constitué de deux domaines de recherche qui se sont développés à grande vitesse dans la communauté scientifique ces dernières années, essentiellement à cause de l'accroissement du nombre et de la taille des bases de données et de la prolifération de l'information électronique : la

recherche intelligente d'information et l'extraction de connaissances.

Cinq groupes de compétence composent le thème APA sur les sujets suivants : apprentissage symbolique automatique et acquisition des connaissances (ACASA), apprentissage numérique et réseaux de neurones (Connexionnisme), logique floue et traitement des incertitudes en IA (LOFTI), Utilisation des connaissances et monitoring (Métaconnaissances), reconnaissance de la parole et du locuteur (Parole et Indexation Audio).

Noyau commun

La recherche intelligente d'information

La recherche intelligente d'information consiste en l'identification d'information pertinente pour les besoins de l'utilisateur. Avec le web, le développement des bibliothèques et des publications électroniques, le multimédia, elle est devenue un enjeu majeur de l'informatique. Elle nécessite une synergie entre les techniques de recherche d'information et l'intelligence artificielle, essentiellement parce que l'apprentissage automatique de la pertinence du contenu d'un document par rapport aux attentes d'un utilisateur ou d'un groupe d'utilisateurs est fondamental, mais également pour le traitement massif de données, la généralité des outils, l'adaptation à de multiples instances des différents problèmes et à l'utilisateur, etc.. Les compétences du thème APA le conduisent donc tout naturellement à s'investir dans ce domaine, non seulement en raison de ses recherches en apprentissage et en indexation audio, mais aussi parce que des incertitudes doivent souvent être gérées, que des appartenances partielles à plusieurs catégories conduisent à

utiliser des ensembles flous, que des agrégations d'avis différents doivent être réalisées, ces tâches entrant également dans les compétences d'APA. Nous travaillons en particulier sur l'objet textuel qui constitue 95 % de l'information accessible et connaît actuellement de profonds bouleversements. Les approches actuelles n'offrent pas de réponse aux besoins émergents, dus à de nouveaux types de demande, aux nouvelles formes de documents électroniques et à l'organisation des corpus. Une des principales caractéristiques du domaine est qu'il évolue à une vitesse considérable et pose sans cesse de nouveaux défis. Nous avons été parmi les premiers dans le monde à utiliser des méthodes statistiques pour l'analyse de corpus textuels, la reconnaissance de l'écrit, l'extraction d'informations pertinentes dans des textes. Nous entendons poursuivre et développer cette voie sur laquelle très peu d'équipes se sont penchées, en mettant au point, par exemple, des techniques propres au Web.

L'extraction de connaissances (data mining)

L'extraction de connaissances (data mining) à partir de données consiste en la détection, l'interprétation et la prédiction de schémas qualitatifs ou quantitatifs dans des bases de données généralement de grande taille. Elle passe par la recherche de lois générales, de régularités, de liaisons entre variables dans une telle base. Elle repose sur des compétences multiples, en particulier d'apprentissage non supervisé (identifiant des classes non connues à l'avance), de méthodes statistiques, d'analyse des données, de méthodes de généralisation (permettant de passer d'une base d'exemples connus à des règles qui s'appliquent à tout nouveau cas) et autres techniques d'intelligence artificielle. Ces compétences sont parfaitement maîtrisées par le thème APA, ce qui lui a permis d'être parmi les premiers également à travailler sur l'extraction de connaissances numériques. Il est internationalement

reconnu d'une part pour ses travaux sur la mise en évidence de règles linguistiquement interprétables - donc facilement compréhensibles par un utilisateur - à partir de données numériques, et d'autre part sur la découverte et la créativité (dans le domaine musical par exemple). Cette voie doit être poursuivie, en particulier en ce qui concerne l'extraction de connaissances numérique-symboliques, le traitement de données sur des phénomènes évoluant dans le temps, l'interaction avec des systèmes d'interrogation de bases de données, l'utilisation d'approximations ou de représentation floue des connaissances pour mettre en évidence certaines structures cachées dans les données, avec pour but final de mettre au point des systèmes faciles à manipuler et des résultats faciles à interpréter par l'utilisateur. Une dernière voie en cours d'exploration, sur laquelle le thème APA se situe en avancée par

rapport aux recherches actuelles, est celle des liaisons directes entre les entrepôts de données et les algorithmes

d'apprentissage numériques utilisés pour l'extraction de connaissances.

Recherches spécifiques à chaque groupe

En plus de ces recherches communes, les différentes composantes du thème APA ont des projets spécifiques, liés à la poursuite des recherches fondamentales qu'elles mènent dans leurs domaines respectifs et également aux domaines applicatifs qui leur sont propres.

Le groupe ACASA poursuivra ses travaux sur la découverte scientifique.

Le groupe Connexionnisme entend collaborer avec les bases de données qui utilisent les mêmes formats qu'elle, issus de la communauté document (XML), comme standards d'échange pour le web et entre systèmes hétérogènes.

Le groupe LOGique Floue et Traitement des Incertitudes continue à développer des recherches sur le

raisonnement non classique en présence d'incertitudes, comme le raisonnement flou à base de cas, analogique ou abductif, avec des applications en aide à la décision, par exemple dans le domaine médical ou de génie civil.

Le groupe Métaconnaissance a ainsi lancé trois projets dont le but est de réaliser des systèmes généraux plus performants parce qu'ils sont capables de monitorer leur recherche.

Les projets de recherche du groupe Parole et Indexation Audio se déclinent selon trois axes : la recherche d'information multimédia, l'approche linguistique pour le traitement de la Parole, et la reconnaissance d'informations non linguistiques de stress.

Projet fédérateur

Les diverses compétences du thème APA seront fédérées par des recherches sur les objets qui apprennent à s'adapter à leur utilisateur, à identifier ses besoins et à lui fournir des solutions adéquates. Un exemple de tel objet, le livre électronique, se présente comme un écran tactile plat et autonome sur lequel on peut lire des textes et prendre des notes à l'aide d'un stylet. Même si personne ne songe à remplacer définitivement le livre en papier par le livre électronique, les applications en sont innombrables, depuis le livre-cahier de l'écolier, jusqu'au carnet d'observation de l'expérimentateur en biologie, en passant par les journaux électroniques, la documentation technique ou les dossiers administratifs. Or, pour chacune de ces utilisations, des techniques informatiques spécifiques sont requises (reconnaissance d'écriture, accès à l'information textuelle, outils de guidage ou d'archivage, jeux de signets, annotations graphiques, etc). Il existe

actuellement un prototype français de livre électronique sur lequel il reste à développer des environnements intelligents de lecture (des outils de reconnaissance d'écriture manuscrite en ligne, ou d'annotations des pages de livres, ou de recherche dans le texte, ou d'analyse de texte, ou encore d'extraction de connaissances à partir de textes...), des outils de recherche (des techniques de catégorisation pour l'accès par mots-clefs, ou des agents intelligents fondés sur le principe du filtrage coopératif pour conseiller des ouvrages...), une modélisation de l'utilisateur afin de rendre aussi efficaces et adaptés que possibles les services proposés, enfin des outils d'aide à l'écriture d'ouvrage lisibles sur ces supports.

Le thème APA entend participer activement au développement de tels objets, sur lesquels se penche actuellement un très petit nombre de laboratoires, essentiellement américains.

BILAN SYNTHÉTIQUE DES RECHERCHES

Le thème APA s'intéresse aux méthodes numériques et symboliques d'apprentissage, à la fouille de données et à la recherche intelligente d'information. Des recherches sont effectuées sur le développement de systèmes symboliques-numériques d'apprentissage et d'aide à la décision, l'aide à la découverte scientifique et à la créativité, l'utilisation de connaissances et de métaconnaissances déclaratives, des méthodes

en reconnaissance des formes et en intelligence artificielle appliquées au traitement automatique de la parole. Des travaux portent sur le connexionnisme, des méthodes de généralisation, des techniques d'apprentissage basées sur l'explication, la logique floue et la théorie des possibilités, l'acquisition des connaissances.

Groupe ACASA

Les recherches du groupe ACASA s'articulent autour de la notion de découverte de connaissances. La fouille de données - où les techniques d'apprentissage automatique jouent un rôle clef - est l'une de ces formes de découverte de connaissances qui nous intéresse tout particulièrement. Après l'explosion des recherches sur les algorithmes d'apprentissage des deux dernières décennies, le champ de l'apprentissage s'est considérablement élargi. Du point de vue de la recherche internationale, la course à l'efficacité dans la construction d'algorithmes d'apprentissage passe maintenant au second plan derrière des questions de représentation et de structure des données ainsi que l'étude de nouveaux paradigmes d'apprentissage. Fort de l'expérience du groupe dans la problématique de l'apprentissage symbolique automatique, ACASA entend concentrer ses efforts sur ces questions nouvelles.

Au sujet de la représentation des données, le groupe s'intéresse à l'apprentissage à partir de données :

- structurées : c'est le cas d'exemples de molécules dont on étudie la mutagénicité,
- temporelles et multimédia : pour l'analyse de séquences musicales et vidéo, la détection de motifs récurrents, l'accès par le contenu de base de données musicales,
- abstraites : c'est le cas où l'on simplifie la représentations initiale des données pour faciliter l'apprentissage,

Groupe Connexionnisme

Le groupe Connexionnisme travaille sur l'adaptation et le développement d'outils issus de l'apprentissage statistique pour répondre aux nouveaux besoins et en particulier pour l'extraction automatique de l'information par le contenu, l'accent étant mis sur les nouvelles formes de document électronique. Les voies que nous explorons sont :

- le développement d'outils génériques adaptables à différentes instances du même type de problème,
- la prise en compte des nouveaux standards de documents électroniques (XML, ou autres standards en gestation),

Au sujet des paradigmes d'apprentissage, le groupe entend développer ses recherches autour de :

- l'apprentissage multi-agent où plusieurs robots doivent apprendre en collaborant,
- l'apprentissage multi-instance où chaque exemple d'apprentissage est représenté par un ensemble de vecteurs plutôt qu'un vecteur unique : c'est le cas d'un patient représenté par plusieurs visites à l'hôpital.
- la prise en compte des exceptions dans l'apprentissage.

Une autre forme de découverte de connaissances - et pour laquelle le groupe ACASA bénéficie d'une reconnaissance internationale - est la découverte scientifique automatique. Cette discipline utilise des techniques de l'intelligence artificielle (apprentissage et raisonnement automatique) pour simuler le raisonnement de scientifiques ou aider au développement de nouvelles théories. Le groupe ACASA s'est intéressée au domaine médical pour la reconstruction des raisonnements du XIXe siècle, et pour l'aide à la découverte de facteurs prédictifs de l'efficacité des traitements anti-dépresseurs. Elle s'attaque aussi au domaine de la physique pour la modélisation des forces dans les milieux granulaires (projet CNRS GRANULAB) et la découverte de nouveaux circuits en électronique de puissance, ainsi qu'à la linguistique computationnelle pour la découverte de taxinomies de caractères chinois.

- de structures relationnelles ou logiques entre les documents d'un corpus ou au sein d'un même document (Web, XML...),
- l'extraction automatique de structure,
- le développement d'applications liées aux bibliothèques, au web, aux mobiles (e.g. livre électronique)

Un autre projet du groupe Connexionnisme concerne la conception de nouvelles modalités d'interfaces, qui connaît un développement très rapide avec l'essor des portables et des mobiles (téléphones, agendas électroniques, livres électroniques avec prise de notes, cahiers électroniques...). L'année 1999 a ainsi vu

apparaître les premiers produits commerciaux grand public offrant des interfaces conviviales du type stylo ou tablettes "intelligents". Ces systèmes sont équipés de capteurs permettant de capturer la dynamique des mouvements réalisés avec le stylo et ils la stockent sous forme d'encre électronique ou l'analysent. Partant de notre expérience dans le domaine de la reconnaissance d'écriture "en-ligne", nous développons un nouveau projet qui entre dans le cadre plus général des nouvelles interfaces pour les mobiles. Nous nous plaçons dans le contexte de la prise de note par des interfaces stylos (cadre de la métaphore du cahier électronique, de la lecture active - voir notre projet sur le livre électronique). L'information à traiter est multiple, il peut s'agir d'écriture, de dessins, d'annotations etc. L'exploitation de ce type de système demande de

gérer simultanément l'information séquentielle (suite de mots, de symboles ou de traits) et l'information spatiale (relation entre les différents éléments d'une page) présentes sur une page. Les techniques de traitement de l'information ne permettent pas aujourd'hui d'exploiter la richesse de l'information mémorisée. La plupart des questions que nous nous posons sur ces interfaces n'a jamais été abordée.

Le groupe Connexionnisme étudie des problèmes tels que: la représentation des documents et standards (encre électronique, livres.), l'extraction automatique de structure, la reconnaissance des composants, la gestion simultanée des différents composants et de leurs relation, la reconnaissance de l'écriture et de tracés, le développement de ses outils dans différents cadres applicatifs liés aux interfaces mobiles.

Groupe Logique floue et traitement des incertitudes (LOFTI)

Le groupe LOFTI a travaillé sur l'apprentissage inductif, l'agrégation d'information et l'étude de similarités, qui participent aux recherches sur l'extraction de connaissances, ainsi que sur le raisonnement approximatif et l'aide à la décision.

L'apprentissage inductif, basé sur la construction d'arbres d'attributs, constitue un des moyens les plus efficaces pour mettre en évidence des lois générales à partir d'un ensemble d'exemples. Nous avons mis au point une méthode, basée sur une représentation floue des connaissances et une forme générale de mesures d'incertitudes, pour exploiter des connaissances mal définies ou décrites par des variables numériques caractérisées imprécisément ou linguistiquement. Il reste à la développer dans le cas où les classes à identifier sont elles-mêmes floues, à l'adapter au cas de données évoluant dans le temps, à poursuivre son interopérabilité avec une base de données de grandes dimensions. Nous avons aussi abordé l'extraction de connaissances dans des bases de données multidimensionnelles par une collaboration avec des chercheurs en bases de données du thème OASIS.

L'agrégation d'information est prépondérante dans toutes les situations où l'on dispose de plusieurs avis d'experts ou de clients. Nous avons étudié depuis plusieurs années des méthodes d'agrégation adaptables aux besoins de l'utilisateur, en faisant varier leur comportement en fonction de paramètres interprétables. Une étude est en cours pour exploiter ces méthodes dans une application multimédia, en collaboration avec le groupe de P. Faudemay du thème ASIM. D'autres développements de ces méthodes conduiront à des utilisations en recherche d'information ou en extraction de connaissances.

Le groupe LOFTI a mené depuis plusieurs années une étude formelle et également méthodologique des similarités, concept clé dans tous les problèmes de regroupement, classification, prototypage, catégorisation, généralisation, où des connaissances sont imprécises, des classes mal délimitées, des valeurs de variables mal connues, des associations subjectives, liées à une appréciation humaine. Les modèles que nous avons mis au point doivent encore être développés et raffinés pour s'adapter aux types de problèmes complexes que l'on rencontre en data mining par exemple.

Le raisonnement approximatif est au cœur des recherches du groupe LOFTI et constitue un axe qu'elle entend maintenir, en particulier en ce qui concerne la logique floue et les méthodes de raisonnement non classique: raisonnement analogique, abductif, interpolatif, graduel, prototypique... Si le raisonnement déductif, basé sur des règles de production de la forme "si... alors...", apporte des solutions à bien des problèmes, il s'avère insuffisant ou inadapté dans bien des cas en raison de la complexité du phénomène considéré, de l'absence de connaissances expertes, de la variabilité de la structure étudiée, etc. Les méthodes de raisonnement non déductif prennent alors le relais de façon autonome ou en synergie avec du raisonnement déductif pour des problèmes d'aide à la décision, de diagnostic, de classification. La plupart des problèmes étant soumis à des incomplétudes, des imprécisions, des incertitudes, nous avons déjà étudié des versions floues de ces méthodes de raisonnement et nous avons l'intention d'approfondir les résultats obtenus.

Groupe Métaconnaissances

Les recherches du groupe Métaconnaissances ont été centrées sur les diverses façons d'introduire des

métaconnaissances dans un système pour le rendre à la fois plus général et plus performant.

Plusieurs réalisations ont eu pour but l'utilisation de métaconnaissances pour utiliser des connaissances déclaratives. C'est ainsi que DIACODEX (Masson 1996) et Indigo (Bouzy 1996) ont montré qu'il était possible d'utiliser des connaissances sous une forme très déclarative dans les domaines de la médecine et du jeu de Go. MACISTE (Pitrat 1996) comporte essentiellement des métaconnaissances pour utiliser des connaissances déclaratives qui sont elles aussi déclaratives, donc qui se traitent elles-mêmes ; elles peuvent aussi manipuler les métaconnaissances déclaratives qui indiquent comment résoudre des problèmes avec contraintes, ce qui se fait dans le sous-système MALICE (Pitrat 1998). Le but d'Hammourabi (Lesourd 1999) est de comprendre les problèmes de l'utilisateur d'un ordinateur. Dans les cas favorables, il résout ces difficultés automatiquement ; sinon, il donne à un expert humain les informations qui lui permettraient de trouver facilement la cause des ennuis. C'est un problème de diagnostic où les connaissances modélisant partiellement les systèmes d'exploitation sont données déclarativement.

Un autre cas où il est utile de travailler sur deux niveaux est l'abstraction. Gobelin (Ricaud 1997) a montré la possibilité et l'intérêt pour un système de raisonner sur des situations abstraites. Le système transforme la situation réelle en une situation abstraite, résout le problème ainsi abstrait, puis transfère cette solution au niveau de base. Cela a été appliqué au jeu de Go.

Les métaconnaissances pour créer de nouvelles connaissances sont à la base de méthodes d'apprentissage. On a la généralité puisque les métaconnaissances ne sont pas liées à un domaine particulier et l'efficacité puisque les connaissances créées sont spécifiques à chaque domaine. Introspect (Cazenave 1996) crée la plus grande partie du système Gogol, programme de jeu de Go qui a tenu tête à des systèmes améliorés depuis de nombreuses années par des programmeurs humains ; mais Introspect a été utilisé pour d'autres applications que le Go. Il apprend des connaissances tactiques et un nouveau système jouant au Go (Moneret 2000) l'a complété en apprenant cette fois des connaissances stratégiques ; bien

que basé sur des méthodes générales, il a surtout été appliqué au jeu de Go. Ces systèmes sont naturellement capables d'utiliser efficacement les connaissances déclaratives qu'ils engendrent. Les travaux précédents utilisent l'apprentissage basé sur l'explication (EBL) : on comprend ce qui s'est passé ce qui permet de généraliser avec certitude à partir d'un seul exemple. Genécom (Nigro 1996) examine la découverte des explications en engendrant des commentaires pour une partie de tarot ; il traite des connaissances déclaratives pour analyser et commenter ce qui s'est passé. Mais, pour améliorer les performances, il ne suffit pas d'apprendre des connaissances en expliquant ce qui s'est produit, mais aussi apprendre les métaconnaissances qui permettront par la suite de mieux choisir les essais ; pour cela il faut savoir métaexpliquer les raisons des essais que l'on a faits (Pitrat 1998).

Une variété intéressante de métaconnaissances sont celles que l'on a sur les connaissances des autres. Cela est indispensable si l'on veut les comprendre pour les aider. C'est ainsi que SYGEP (Pecego, 1998) crée de nouveaux problèmes dans des domaines variés en leur donnant un intérêt pédagogique : en proposant par exemple des couples de problèmes, le système aide les élèves à comprendre la nature des phénomènes physiques plutôt que de leur faire utiliser mécaniquement des formules. On aborde ainsi le domaine de la créativité qui, pour être utile, doit tenir compte des besoins de ceux pour qui les nouveaux problèmes sont conçus.

Enfin, une activité méta fondamentale est le monitoring où l'on examine ce que l'on fait pour y détecter des anomalies, pour voir des différences entre ce qui est obtenu et ce qui était prévu. En cas de discordance, on essaye d'en comprendre les raisons et d'y remédier. Les psychologues ont montré son importance en résolution de problèmes et nous travaillons actuellement sur des systèmes capables de monitoring pour des jeux de cartes (Kocik 1999), pour des war-games (Pannérec 1999) et pour MALICE, le sous-système général de résolution de problèmes inclus dans MACISTE (Pitrat 1999).

Groupe Parole et Indexation Audio

Le groupe Parole et Indexation Audio s'est attaché au développement de nouvelles méthodes en reconnaissance des formes et en intelligence artificielle appliquées au traitement automatique de la parole et à l'indexation d'un canal audio. Les domaines d'étude essentiels sont la reconnaissance de la parole et du locuteur, l'indexation des parties bruit/musique/parole d'un canal audio. La période 1996-1999 a été consacrée en grande partie par le groupe au développement d'un système complet de dictée vocale (D-DAL). Ce fût l'un des deux systèmes qui participaient à la cam-

pagne de test de dictée vocale francophone sans contrainte de vocabulaire. Cette campagne était subventionnée par l'AUPELF-UREF dans le cadre des recherches en linguistique écrite et orale. D'importantes ressources linguistiques ont dû être développées à cet effet par le groupe. Nous développons également en collaboration avec le Musée des Sciences de la Villette, Teraspeech, une très grande base de données de parole en français et en anglais. Ce sera un outil indispensable pour toute recherche en traitement de la parole (reconnaissance de la parole et du locu-

teur, synthèse...). En reconnaissance du locuteur, un important effort de valorisation de nos recherches a abouti au dépôt d'un brevet dans de nombreux pays (Europe, Corée, Japon, Etats-Unis) ainsi qu'à un transfert de cette technologie à l'industrie sous forme de licences et de contrats de collaboration. Nous avons également abordé un nouveau domaine de recherche : la recherche d'information dans les documents multimédia. Dans ce cadre nous participons au

projet ESPRIT AVIR en collaboration avec le groupe "Indexation Multimédia" du thème ASIM. Nous avons déjà introduit de nouveaux concepts comme l'alignement de script ou le lexique dynamique, développé des outils comme la segmentation hiérarchique silence/bruit/musique/parole. La coopération avec nos partenaires internationaux s'est concrétisée par le développement de TotalAudio, un serveur d'indexation sonore.

BILAN DÉTAILLÉ DES RECHERCHES

GRANULAB

J.-D. ZUCKER, L. BRETON

GRANULAB est un projet "Jeune Equipe" en 1999, dont l'objectif est de concevoir un laboratoire d'expérimentation virtuelle sur les milieux granulaires. La jeune équipe en question, Découverte, est constituée de membres du Laboratoire d'Informatique de Paris 6 (LIP6, UMR 7606 (SPI)) et de membres du laboratoire des Milieux Désordonnés et Hétérogènes (LMDH, UMR 7603 (SPM)). C'est le Prof. Eric Clément qui coordonne la collaboration au niveau du LMDH. Un rappel des différents participants, de l'agenda et des objectifs du projet est disponible à l'adresse suivante:

<http://www-poleia.lip6.fr/~zucker/Research/Granulab.html>

Le projet de la jeune équipe Découverte est prévu pour une durée totale de 4 ans. Il a débuté en mai 1999 et devrait aboutir fin 2003. Au cours de cette première année l'un des chercheurs de l'équipe Découverte (Laurent Breton) s'est implanté dans les locaux du LMDH afin d'augmenter les interactions entre informaticiens et physiciens.

D'un point de vue théorique, cette première année a permis d'identifier trois problèmes qui seront au cœur des expérimentations virtuelles de granulab: la réponse mécanique à une sollicitation localisée (étude de la fonction de Green granulaire), l'impact de l'augmentation du coefficient de friction sur la complexité de l'algorithme de résolution (analyse d'une transition de phase dans la complexité en fonction du coefficient de friction), la re-normalisation spatiale des distributions de forces: étude explicite du passage micro-macro.

Pour mener à bien les expérimentations virtuelles autour de ces problèmes fondamentaux, nous avons conçu un certain nombre d'heuristiques permettant d'accélérer la découverte de solutions pour le réseau

de forces. Les résultats obtenus sont encourageants, des tas d'un millions de grains ont pu être résolus [Breton, Zucker & Clément, 1999; 2000a; 2000b].

En parallèle, le groupe granulaire de LMDH développe des expérimentations dont l'un des buts sera de confronter les résultats obtenus par simulation. Ces expériences sont de trois sortes: la esure des fonctions réponses dans des assemblées 2D et 3D granulaires [Clément et al. 2000], la mesure des distributions de contraintes sous un tas de sable [Vanel et al. 1999a], la mesure de l'écrantage des contraintes sous une colonne de grains [Vanel et al. 1999b; 2000]

D'un point de vue informatique, un prototype du futur environnement granulab a été développé. Celui-ci intègre les fonctionnalités suivantes; la saisie d'une configuration type de problèmes à résoudre (c'est-à-dire les divers paramètres d'une expérimentation virtuelle: la taille du tas, les conditions limites, l'heuristique de résolution, etc.), l'exécution et l'affichage en temps réel ou pas à pas de la résolution du problème, la sauvegarde et le chargement de solutions déjà calculées, l'impression d'un tas et la sauvegarde de l'image du tas résolu, des statistiques sur les problèmes (distribution de la charge d'une couche du tas en fonction de la profondeur, distribution des valeurs de forces normalisées sur tout le tas, etc), l'affichage selon plusieurs modes correspondant à des descripteurs de grains ayant un sens physique pour les experts (ici charges des grains en blanc), la possibilité de modifier les conditions limites sur un grain en cliquant dessus, un grand choix d'heuristiques de résolution correspondant toutes à des notions physiques du domaine: de haut en bas (dans le sens de la gravité), suivant le grain qui subit le plus de pression de ses voisins (loi action/réaction), etc.

Découverte scientifique

V. CORRUBLE, J.-G. GANASCIA, B. ROBISSON, J.-C. BAILLIE

Nous faisons appel aux techniques d'apprentissage symbolique développées dans l'équipe ACASA depuis plusieurs années, pour faire de la découverte scientifique, c'est-à-dire pour reconstruire rationnellement les processus mis en œuvre dans la construction de théories scientifiques. Ces travaux s'inscrivent directement dans la lignée de ceux qui ont été développés aux Etats-Unis par Herbert Simon et Pat Langley, cependant, nous abordons des domaines scientifiques originaux, comme la médecine ou l'élec-

tronique de puissance, qui ne l'avaient pas été auparavant. Nos premiers travaux nous ont conduits à simuler la découverte dans le champ médical pour mieux comprendre les résistances passées à l'établissement d'une thérapeutique pour deux maladies graves, le scorbut et la lèpre. Cette recherche avait permis de publier un article dans la revue "Artificial Intelligence". Nous voudrions poursuivre actuellement sur l'aide à la découverte dans le domaine médical, en faisant appel à des techniques d'induction automatique

pour faire de la fouille de données. (Corruble, Ganascia 1997)

Toujours dans le domaine de la découverte scientifique, nous travaillons actuellement sur les sciences physiques, pour reconstruire rationnellement certains processus de découverte. Deux étudiants, Bruno Robisson et Jean-Christophe Baillie ont fait leur DEA sur ces questions ; ils poursuivent actuellement en thèse sous la direction de Jean-Gabriel Ganascia. Le premier travaille sur les circuits d'électronique de puissance. Après avoir modélisé et simulé un diagnostic qualitatif de ces circuits, il aspire aujourd'hui à engendrer automatiquement toutes les topologies "intéressantes" pour retrouver les circuits connus et en inventer de nouveaux. Le second travaille sur une modélisation qualitative de la physique naïve de l'es-

pace. Il s'agit de retrouver des lois élémentaires et approchées de la dynamique des corps à partir d'une simple analyse d'images. Nous avons d'abord travaillé en deux dimensions, sur un billard, pour retrouver les lois approchées du mouvement, dans différentes conditions (billard plat, billard incliné, rebonds plus ou moins élastiques...). Nous sommes maintenant en train d'étendre ces simulations en trois dimensions et de les corrélérer avec ce que l'on sait actuellement de la psychologie du développement de l'enfant. Plus précisément, nous donnons des images vidéo et le système que nous développons engendre une description symbolique des mouvements afin de dégager des concepts élémentaires comme prendre, tirer, pousser, ... (Baillie, Ganascia 1999, 2000), (Baillie, Ganascia 1999).

Données séquentielles

J.-G. GANASCIA, P.-Y. ROLLAND

Extraction de motifs musicaux

Nos travaux relatifs à la détection de motifs récurrents dans les données séquentielles, nous ont d'abord conduits, à perfectionner les algorithmes d'extraction de motifs musicaux développés antérieurement et appliqués couramment à la détection d'homologies dans les séquences biologiques. Rappelons qu'il s'agit de repérer des séquences musicales répétitives dans l'œuvre de solistes afin de dégager les caractéristiques spécifiques de styles personnels ou d'écoles. Pour cela, les modèles d'édition issus de la programmation dynamique ont été généralisés afin de

traiter de multiples dimensions (mélodique, rythmique,...), ce qui a donné naissance à un "modèle d'édition multi-valué". Ces algorithmes ont été testés sur l'œuvre de Charlie Parker et les motifs obtenus ont été comparés à ceux qu'un musicologue américain, David Owen, avait dégagés après une dizaine d'année de travail.

Ce travail a donné naissance au programme IMPROLOGY conçu par Pierre-Yves Rolland et Jean-Gabriel Ganascia, puis programmé par Pierre-Yves Rolland. (Rolland, Ganascia 1999)

Accès par le contenu

La localisation de motifs étant une étape clef du processus d'extraction que nous avons mis en œuvre, nous avons voulu tirer parti de notre compétence dans la conception de tels algorithmes pour construire un mécanisme original d'accès par le contenu dans les bases de données multimédias. En résumé, étant donné une brève séquence musicale, il s'agit de repérer les pièces d'une base de données musicales où cette séquence apparaît plus ou moins transposée. Les applications pratiques au commerce électronique sur le web sont évidentes.

Bien évidemment, pour réaliser un tel accès par le contenu, il faut aussi recueillir la séquence musicale source. À cette fin, nous avons fait collaborer à notre projet Gailius Raskinis, actuellement doctorant à l'université de Vilnius en Lituanie, au cours du séjour

de six mois qu'il a passé au LIP6 pendant l'année 1999. Gailius Raskinis travaillant sur la transcription automatique de chants folkloriques, nous avons pu appliquer les techniques qu'il développe à la transcription du chant, du sifflotement ou du fredonnement d'airs de musique. Cette transcription sous forme d'une partition est ensuite confrontée aux séquences contenues dans la base de données musicale grâce aux algorithmes de localisation que nous avons antérieurement développés, ce qui donne accès aux morceaux qui les contiennent. Ce travail amorcé en Mars dernier a déjà fait l'objet d'une publication à la conférence ACM Multimédia d'Orlando en Novembre dernier. Nous le poursuivons activement (Rolland, Raskinis, Ganascia 1999).

Applications à la fouille de données textuelles

Les techniques de détection de séquences récurrentes sont aussi appliquées à des textes en langage naturel qui ont subi un étiquetage ou une analyse morpho-syntaxique. Il s'agit là encore de trouver des motifs structuraux ou lexicaux récurrents qui seraient

propres à un style d'écriture, à une école littéraire, à une époque, à une corporation ou à une personne. L'un des tests de validité doit porter sur la caractérisation des parodies littéraires. Il existe toute une littérature d'imitation qui vise à caricaturer les traits de tel

ou tel auteur, c'est ce que l'on a coutume d'appeler les pastiches. En soumettant tant les parodies que les originaux à ce système pour confronter les traits syntaxiques des uns et des autres nous devrions comprendre ce sur quoi porte exactement le pastiche. Outre l'intérêt littéraire de ce programme informatique, nous disposerions ainsi d'une aide à l'analyse des textes. On pourrait ainsi quantifier ce que l'on a coutume d'appeler d'un mot mystérieux et grandiloquent, le "style", et devant quoi bien des écoliers, des collégiens et des lycéens se trouvent démunis.

À cette fin, les algorithmes d'extraction de motifs ont été généralisés pour porter non plus sur des sé-

Livre électronique

De plus en plus, avec la miniaturisation des processeurs, l'informatique sort des ordinateurs, ou plus exactement, les ordinateurs se font tout petits pour entrer dans les objets ordinaires, voire pour créer de nouveaux objets. C'est en particulier le cas de ce que l'on appelle le livre électronique ("e-book" en anglais) qui se présente comme un écran tactile plat et autonome sur lequel on peut lire des textes et prendre des notes à l'aide d'un styler. Des exemplaires de livre électronique sont d'ores et déjà en vente aux Etats-Unis. Une société française en fabriquera un modèle d'ici peu. Personne ne songe à remplacer définitivement le livre en papier, néanmoins les applications de ce nouvel objet sont innombrables, depuis le livre-cahier de l'écolier, qui allègera son cartable, jusqu'au carnet d'observation de l'expérimentateur en biologie ou à l'herbier du botaniste... Dans tous les

cas, des logiciels de reconnaissance d'écriture, d'accès à l'information textuelle, d'aide et de guidage sont nécessaires. Nous avons déjà acquis quelques prototypes de ces livres électroniques et nous nous proposons de les équiper de logiciels développés dans notre laboratoire ou dans des laboratoires voisins. Les logiciels de fouille de données textuelle que nous comptons développer devraient s'intégrer sans difficulté à ce nouveau livre électronique et servir à la fois au critique littéraire pour son travail d'analyse critique des œuvres et à l'écolier.

Plusieurs catégoriseurs (dont WinBrill entraîné sur des corpus français par l'INALF) et plusieurs analyseurs morpho-syntaxiques du français (dont par exemple l'analyseur développé à Caen par Jacques Vergnes) devraient être intégrés à cette détection de motifs ce qui doit conduire à de nombreuses expérimentations.

Par ailleurs, une expérimentation des usages du livre électronique est actuellement en gestation sous la direction de Jean-Gabriel Ganascia et en collaboration avec des sociologues des usages, des historiens et des spécialistes de l'étude de textes (Ganascia 2000).

Aspects formels des réseaux de neurones

T. CIBAS, P. GALLINARI, Y. GUERMEUR, P. LERAY

La capacité d'un système à apprendre est jugée à son pouvoir de généralisation sur des données inconnues. Assurer une bonne capacité de généralisation est donc un des problèmes essentiels de l'apprentissage, cela passe par le contrôle de la complexité des modèles. Nous avons travaillé sur des méthodes pratiques permettant ce contrôle pour des réseaux de neurones. Ces méthodes sont inspirées de la théorie de la régularisation et de l'apprentissage Bayésien.

Afin d'améliorer les performances des systèmes d'apprentissage, il est devenu courant d'utiliser des combinaisons de modèles. Nous avons proposé un nouvel algorithme de complexité polynomiale pour optimiser les combinaisons linéaires de classifieurs. Ces travaux ont fait l'objet d'une collaboration avec des chercheurs de l'Institut de Biologie et Chimie des Protéines de Lyon. La technique de fusion est utilisée pour faire coopérer des méthodes de prédiction de la structure secondaire des protéines. Les logiciels développés sont directement utilisables pour faire de la

prédiction "en ligne" sur le site Web à http://pbil.ibcp.fr/NPSA/npsa_mlr.html.

Choisir les bonnes variables est un problème de base pour le traitement de données. Les méthodes classiques sont mal adaptées aux modèles flexibles tels que les réseaux de neurones. Nous avons proposé plusieurs nouveaux algorithmes et réalisé des études expérimentales sur un ensemble de problèmes. Les techniques développées ont ensuite été utilisées sur plusieurs problèmes de grande taille dans le cadre de projets industriels.

Interfaces stylos et mobiles

T. ARTIÈRES, B. DORIZZI (INT), P. GALLINARI, S. GARCIA, A. LIFCHITZ, S. MARUKATAT, Z. WIMMER

Après avoir travaillé pendant plusieurs années sur la modélisation de séquences dans différents domaines d'application, nos travaux sont principalement développés aujourd'hui dans le cadre de la reconnaissance de l'écriture en ligne, i.e. de signaux issus d'un stylo ou d'une tablette électronique, domaine qui connaît un nouvel essor avec l'apparition de mobiles (téléphones, PDA, etc). Un premier système a été réalisé basé sur des modèles markoviens et eds réseaux de neurones, et un prototype est disponible sur web (www-poleia.lip6.fr/CONNEX/HWR). En dehors des publications scientifiques, ces travaux et ce prototype ont récemment donné lieu à plusieurs articles dans la presse généraliste et à des présentations à la radio. Les modèles actuels présentant de nombreuses insuffisances, nous travaillons sur la mise au point de nouveaux modèles prenant mieux en compte la notion de séquence, sur des problèmes de fusion de données temporelles, à des évaluations sur une grande base de données internationale d'écrit dynamique qui vient d'être rendue disponible.

La plupart des systèmes de reconnaissance d'écriture manuscrite cursive continue exploite une contrainte lexicale pour atteindre un taux de reconnaissance acceptable. Le lexique des mots du vocabulaire à reconnaître est stocké dans une structure de donnée arborescente dénommée "trie" qui exploite la redondance "naturelle" importante des préfixes du langage. Le temps de calcul et la mémoire nécessaires à la recherche du meilleur mot (ou phrase) sont approximativement proportionnels au nombre de nœuds de l'arbre. Nous avons proposé d'une part une structure de représentation plus compacte sous la forme de

DAWG (Directed Acyclic Word Graph) qui permet d'exploiter simultanément la redondance des préfixes et des suffixes de mots, et d'autre part un algorithme pour effectuer la recherche d'un meilleur chemin dans une telle structure, le FLCVA (Fast Lexically Constrained Viterbi Algorithm). Des tests ont révélé un temps de traitement qui est d'un facteur d'échelle inférieur à celui des implémentations sous forme de "trie" sur un lexique de 130 Kmots. Cela permet d'envisager une complexité calculatoire compatible avec une application réaliste sur nano-ordinateurs ("mobiles", "palm tops").

Plus récemment, nous avons commencé à étudier la conception d'interfaces stylo pour les portables et les mobiles (téléphones, agendas électroniques, livres électroniques avec prise de notes, cahiers électroniques...), domaine qui connaît un développement très rapide. L'année 1999 a vu apparaître les premiers produits commerciaux offrant des interfaces conviviales du type stylo ou tablettes "intelligents". Pour nos travaux, nous nous plaçons dans le cadre de la métaphore du cahier électronique. L'exploitation de ce type de document demande de gérer simultanément l'information en ligne (suite de mots, de symboles ou de traits) et l'information spatiale hors-ligne (relation entre les différents éléments d'une page). Cela pose une foule de problèmes génériques pour lesquels on ne possède aujourd'hui que quelques pistes: identification des différents composants d'une page, découverte de structure, relation structure-contenu. En collaboration avec B. Bouchon et J.-G. Ganascia, nous débutons également un projet lié au développement du livre électronique.

Accès à l'information

M. AMINI, A. DOS SANTOS, P. GALLINARI, B. PIWOWARSKI, H. ZARAGOZA

L'accès à l'information textuelle est traditionnellement le domaine des communautés Recherche d'Information et Traitement du Langage Naturel. La disponibilité de grandes bases d'information textuelle liée au développement du web et des bibliothèques électroniques a récemment fait émerger la nécessité de l'apprentissage automatique pour les différentes tâches d'accès à l'information. Ce thème émergent "texte et apprentissage" connaît depuis 2 ans un essor très important (sessions dédiées dans les conférences, workshops, projets internationaux, etc). Nous avons commencé à développer nos travaux sur "texte et apprentissage" il y a quatre ans et c'est devenu aujourd'hui une des activités principales de l'équipe. Nous sommes parmi les premiers à avoir développé le

sujet en France. Nous avons en particulier développé une famille de modèles qui couvre un ensemble de tâches allant de la recherche d'information (filtrage, routage...) à l'extraction d'information de surface (extraction des groupes de mots ou portions de textes pertinentes à un ensemble de requêtes). Ces systèmes sont basés sur des modèles de Markov cachés ou des réseaux de neurones et permettent de traiter des séquences de termes. Nous avons ainsi des systèmes d'apprentissage qui permettent de travailler au niveau séquentiel plutôt qu'au niveau des "sacs de mots" classiquement utilisés en recherche d'information textuelle, ce qui étend les possibilités d'application des méthodes automatiques pour l'analyse de texte. Nous

continuos actuellement à explorer le potentiel de ces modèles.

Pour effectuer de la recherche "ad'hoc" dans le cadre de la recherche documentaire, nous avons développé un nouveau modèle probabiliste qui intègre formellement la possibilité d'apprendre à partir d'interactions avec l'utilisateur. Ce système permet un apprentissage permanent et en ligne.

Les travaux sur le texte ont été faits sur des représentations "plates" du texte. Aujourd'hui, le document électronique change la nature du texte. Avec le déve-

loppement de standards comme SGML, XML ou même HTML, la structure logique devient une composante importante et doit être considérée simultanément au contenu. L'analyse de données structurées est un problème ouvert en apprentissage, l'analyse de documents structurés est très récente. Le développement de l'information électronique génère donc aujourd'hui des besoins nouveaux pour lesquels on ne possède pas d'outils théoriques ou pratiques. Nous avons commencé des travaux dans cette direction en 1999.

Diagnostic des systèmes complexes

F. D'ALCHÉ, P. GALLINARI, P. LERAY

Nous avons abordé des problèmes de diagnostic temps réel pour des systèmes complexes du type réseaux de télécommunication et réseaux électriques. Ces travaux ont été développés en collaboration avec

le CNET et Schneider electric. Nous avons en particulier travaillé sur la fusion spatiale de diagnostics locaux et proposé des modèles combinant réseaux Bayesiens et réseaux de neurones.

Apprentissage à partir d'exemples imprécisément décrits

C. MARSALA, S. BOTHOREL, M. RIFQI, B. BOUCHON-MEUNIER

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. Un tel apprentissage 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 considéré. 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 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 microcal-

cifications, dans une collaboration avec GEMS (Bothorel, Bouchon, Muller 1996, 1997).

Le système Salammbô (Marsala 1998) permet la construction d'arbres de décision flous en laissant à l'utilisateur le choix des divers paramètres de cette construction, en particulier la méthode de discrimination évaluant la qualité d'un attribut pour l'identification de la décision à prendre et la mesure de ressemblance qui permet de comparer des exemples imprécisément décrits. Une étude de la stabilité des arbres de décision flous a montré leur supériorité sur les arbres de décision classiques lors d'une faible variation de valeurs d'attributs (Marsala 1998).

Une méthode originale de construction de partition floue a été proposée, fondée sur l'utilisation de la morphologie mathématique bien connue en traitement d'images. Elle permet d'effectuer la phase de discrétisation des valeurs des attributs à valeurs floues dans la construction des arbres de décision. Elle peut également être utilisée à d'autres fins, pour obtenir des classes floues à partir d'un ensemble d'exemples imprécisément décrits (Marsala 2000).

Comparaison d'objets et construction de prototypes

M. RIFQI, B. BOUCHON-MEUNIER, A. RICK

Le 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 de raisonnement à partir de cas, pour le traitement d'images..., nous a conduits à proposer une formalisation des mesures de comparaison, qui établit

des familles de mesures selon leurs propriétés, conduisant à un choix adapté à chaque problème traité.

Les catégories mises en évidence sont compatibles avec une étude menée par Tversky dans le cas de la notion de similarité en psychologie et généralisent les notions classiques (distances, mesures de similarité...).

Le formalisme général que nous avons proposé pour les relations de ressemblance ou de dissemblance, à l'aide d'une approche floue, trouve 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 également étudié la puissance de discrimination de ces mesures, afin d'en faciliter le choix (Rifqi et al. 1996, 1999, 2000).

Cette étude a été prolongée par l'utilisation de certaines de ces mesures dans la construction de prototypes, avec une application au cas de détection de

microcalcifications mammaires (Rifqi et al. 1997, 2000). Nous avons aussi étudié les mesures nécessaires pour un raisonnement analogique.

Dans le cadre spécifique du traitement d'images à partir de méthodes floues, une étude a été faite pour réduire la variabilité inter-images en utilisant le contexte dans l'image (Rick 1997, 1999, 2000). A partir d'une base d'apprentissage, un prototype est construit, qui contient un modèle de la variabilité et des liens entre les paramètres.

La méthodologie originale proposée a aussi été appliquée à la mammographie numérique, dans une collaboration avec GEMSE.

Réseaux sémantiques flous et extraction d'informations pertinentes

C. BROUARD, B. BOUCHON-MEUNIER

La gradualité qui intervient dans la définition de catégories manipulées par des acteurs humains conduit à représenter celles-ci par des sous-ensembles flous ou par des coefficients de possibilité. En collaboration avec le Laboratoire de Psychologie Cognitive de l'Université Paris VIII, nous avons mis au point des réseaux sémantiques flous pour la construction d'un système d'interface entre l'homme et la machine, dans le cadre d'un contrat DRET dont le but était la conception d'interfaces de dialogue entre un agent humain et

un dispositif technique, qui apprend à reconnaître les catégories manipulées par un agent et à répondre à ses commandes (Brouard, Bouchon, Tijus 1998).

Nous avons poursuivi ce travail par une étude sur l'extraction d'information pertinente. Ce travail a donné lieu à une méthodologie basée sur la construction automatique d'un réseau d'implications et une technique d'apprentissage utilisant le principe d'association (Brouard, Bouchon 1999).

Exploitation d'informations sensorielles

B. BOUCHON, C. MARSALA, N. MELLOULI, X. MÉNAGE, M. RIFQI, C. BROUARD

Les informations sensorielles apparaissent dans bien des problèmes d'aide à la décision, de recherche de consensus, de contrôle de qualité, par exemple. Des informations sensorielles dans le domaine du goût ont ainsi été traitées sémantiquement à l'aide de réseaux sémantiques flous (Omri 1996), (Brouard 2000) en collaboration avec le Laboratoire de Psychologie Cognitive de l'Université Paris VIII.

Pour le contrôle de qualité dans le domaine automobile, nous avons élaboré un algorithme de mise en évidence progressive de règles de production reposant sur une approche possibiliste des caractérisations intervenant dans les prémisses et les conclusions. Ce travail a été effectué dans le cadre d'une collaboration avec GIE-PSA qui a conduit à une maquette d'identi-

fication des défauts dans des pièces de fonderie et de leur gravité (Ménage 1996).

Nous avons aussi mené une étude pour une ELF ANTAR sur le contrôle des odeurs indésirables dans des produits, en utilisant essentiellement la théorie de l'évidence pour agréger l'avis subjectif d'experts (Bouchon et al. 2000).

Sur ce même sujet de l'identification d'odeurs, un travail commun a été réalisé, en collaboration avec une équipe de chimistes marocains pour établir des liens d'association entre molécules et types d'odeurs, sur la base des algorithmes de construction d'arbres de décision flous que nous avons développés (Marsala et al. 1998, 2000).

Modélisation de systèmes complexes

B. BOUCHON-MEUNIER, J. DELECHAMP, V. EUDE, L. GACÔGNE, L. ZERROUKI, B. HUGUENEY

Les théories des ensembles flous et des possibilités permettent une approximation de systèmes complexes. 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'imprécisions dans les connaissances. Nous avons participé aux travaux montrant que les systèmes flous permettent d'approcher toute fonction (Hartani 1996). Néanmoins, la construction d'un système flou nécessite l'identifica-

tion d'un grand nombre de paramètres et fait appel à des méthodes d'apprentissage et d'optimisation. Les réseaux de neurones et les algorithmes génétiques ou évolutionnaires constituent des techniques intéressantes pour l'apprentissage des paramètres d'un système flou (Gacogne 1996, 1999).

Nous avons participé à diverses applications du monde réel, par exemple nous avons réalisé 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 (Bouchon, Kelman 1996). Nous avons également travaillé sur la modélisation d'autres systèmes dans un cadre militaire, 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 1997, 1998), d'autre part au sujet de l'aide à la décision de tir à partir de blindés dans

une collaboration avec GIAT Industries (Aladenise 1998, 1999).

La modélisation de réseaux de transport aérien a été effectuée dans le cadre de travaux menés à l'INRETS, dans une approche systémique utilisant des caractérisations floues des variables et une décomposition hiérarchique des systèmes (Zerrouki 1996, 1997, 1998). La régulation de réseaux d'assainissement et la gestion du taux d'accidentalité de voies publiques aux Ponts et Chaussées a fait l'objet d'une modélisation de systèmes à partir de règles graduelles (Delechamp 1997, 1999).

Un dernier problème en cours de traitement est celui de la représentation symbolique de courbes numériques en vue de l'identification de phénomènes récurrents ou de schémas généraux de fonctionnement, dans le cadre d'une collaboration avec EDF qui vient de commencer.

Extraction de connaissances et agrégation dans les bases de données

C. MARSALA, M. RIFQI, A. LAURENT, B. BOUCHON-MEUNIER, M. DETYNIIECKI

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 propriétés 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 (Rifqi 1996, Marsala 1998). Nous avons collaboré avec des chercheurs en bases de données du thème OASIS pour établir une interface entre de grandes bases de données, sous forme multidimensionnelle, et les algorithmes d'extraction d'information qui fonctionnent habituellement sur des données plus

simples. Cette recherche a été effectuée dans le cadre d'un projet interthème du laboratoire (Laurent 2000).

Divers travaux nous ont conduits à utiliser des méthodes de fusion de données, lorsque plusieurs sources fournissent des renseignements sur un même objet, ou d'agrégation d'information, lorsque plusieurs experts donnent leur avis sur un sujet donné ou lorsque plusieurs critères interviennent dans une prise de décision. Nous avons donc mené des études théoriques sur l'agrégation d'informations à l'aide de divers types d'opérateurs, en particulier faisant appel à une pondération des informations (Detyniecki 1998, 1999, 2000). Une application de certaines de ces méthodes à des informations multimedia est en cours (Detyniecki et al. 1999).

Raisonnement approximatif, abduction, analogie, interpolation, indépendance

B. BOUCHON-MEUNIER, C. MARSALA, N. MELLOULI, M. RIFQI

Nous avons abordé des problèmes de diagnostic ou d'explication de dysfonctionnements, en nous basant sur la logique floue et en développant une méthode de raisonnement abductif obtenue comme un prolongement de la méthode de raisonnement approximatif habituelle dans ce cadre, c'est-à-dire comme une inversion du modus ponens généralisé (Mellouli 2000).

Nous avons d'autre part développé une formalisation du raisonnement par analogie utilisant les notions de relation floue et de mesures de ressemblance (Bouchon, Valverde 1999). Ce concept nous a permis de mettre en évidence le caractère analogique commun à diverses formes de raisonnement approximatif (Bou-

chon et al. 1997, 1998, 2000) et en particulier celui du raisonnement déductif flou (Bouchon et al. 1999).

Le cas du raisonnement interpolatif, permettant d'obtenir des conclusions dans le cas de bases de règles incomplètes, a été traité sous deux hypothèses de gradualité et d'analogie entre les variations de variables associées et la méthode exhibée a été comparée avec succès à d'autres méthodes interpolatives (Bouchon et al. 1999, 2000).

Enfin, divers problèmes rencontrés en apprentissage inductif et agrégation d'informations nous ont conduits à étudier le concept d'indépendance dans une acception plus large que celle rencontrée en probabilités. Nous avons donc introduit un concept de condi-

tionnement possibiliste qui permet de mettre en évidence une définition d'indépendance possédant les propriétés généralement exigées de l'indépendance

probabiliste, mais qui exige moins de connaissances a priori sur les variables concernées (Bouchon et al. 2000).

Apprentissage numérique-symbolique et raisonnement approximatif

A. BORGI, H. AKDAG

Nous travaillons sur une méthode d'apprentissage à partir d'exemples qui se situe à la jonction des méthodes statistiques et de celles basées sur des techniques d'Intelligence Artificielle. Notre modélisation, qui se base sur la génération automatique de règles de classification, est multi-attributs, elle permet de prendre en compte l'éventuel pouvoir prédictif d'une conjonction d'attributs pris simultanément. Le partitionnement de l'espace des entrées permet d'avoir une représentation multi-valente des attributs et d'intégrer la notion d'imprécision des données. L'incertitude des règles, également prise en compte, est gérée aussi bien dans la phase d'apprentissage que dans celle de la reconnaissance. Afin d'introduire plus de souplesse et pour pallier les problèmes des frontières dues à la discrétisation, nous proposons la mise en œuvre d'un raisonnement approximatif. L'originalité de notre ap-

proche réside dans l'utilisation du raisonnement approximatif proposé non plus uniquement comme un mode d'inférence et de gestion de connaissances imprécises, mais pour affiner l'apprentissage et valider la base de règles.

La méthode proposée a été implémentée dans un système baptisé SUCRAGE (Borgi 1998, Borgi et Akdag 1999) et confrontée à une application réelle dans le domaine du traitement d'images. Les résultats obtenus sont très satisfaisants.

L'étude de la mise en œuvre de notre raisonnement approximatif dans un contexte flou constitue notre thème de recherche actuel. D'autre part, nous nous intéressons à la représentation linguistique des modificateurs symboliques, toujours dans une perspective de modélisation de ce raisonnement approximatif.

Analyse et classification de grands ensembles de données structurées ou partiellement structurées

F. D'ALCHÉ-BUC, G. SIOLAS

L'analyse et la classification automatique de grands ensembles de données partiellement structurées telles que les images, les séries temporelles, ou les documents issus par exemple du WEB nécessitent le développement d'outils de classification et d'extraction de connaissances, capables d'allier l'efficacité et la robustesse des méthodes d'apprentissage statistique avec des modes de représentation structurés et plus expressifs qu'une simple représentation vectorielle.

Nos travaux abordent cette problématique par la généralisation des machines à points de support (modèle

introduit par Vapnik en 1995) fondée sur la notion de fonction noyau en élargissant la définition des noyaux à des données non vectorielles.

Les premiers travaux ont porté sur la définition de noyaux dits sémantiques dans le cadre de la catégorisation de textes (Siolas et d'Alché-Buc 2000). Ils sont poursuivis par l'étude de noyaux entre différents objets structurés tels que les arbres représentant des images et des séquences modélisant des séries financières.

Utilisation de métaconnaissances pour utiliser efficacement des (méta)connaissances déclaratives

B. BOUZY, H. LESOURD, M. MASSON, J. PITRAT, P. RICAUD

Il est difficile de comprendre ou de modifier des grands ensembles de connaissances qui ont des aspects procéduraux. Pour y remédier, nous pouvons envisager des systèmes dont les connaissances sont sous une forme très déclarative. Mais il faut alors savoir comment utiliser efficacement des connaissances très déclaratives : on a besoin de métaconnaissances pour traiter des connaissances déclaratives. Nous avons ainsi des systèmes qui travaillent à deux niveaux.

Le système DIACODEX (Masson 1996) ne contient pas de règles, comme celles de MYCIN, qui sont trop souvent une 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 la maladie, que sa fiabilité est très bonne... A partir de ces connaissances et des données d'une situation particulière, il détermine les causes d'un disfonction-

nement. Ce système a été appliqué à plusieurs domaines médicaux, mais rien dans le système n'est lié à un domaine particulier.

Indigo (Bouzy 1996) joue au Go, mais le but fondamental de cette étude était de modéliser les activités cognitives d'un joueur de Go. Il a en particulier montré l'intérêt du méta?jeu, concept qu'il a implémenté. Au lieu de jouer des coups, on joue des sous-jeux comme le jeu du groupe vivant ou le jeu de l'œil. Des méta?règles permettent de fusionner les résultats de plusieurs sous-jeux de façon à avoir la valeur d'un jeu à partir de celle de ses sous-jeux. L'abstraction est ainsi abordée, le système travaillant à un niveau différent de celui où le problème a été posé : il raisonne sur des concepts élaborés au lieu d'être au niveau des pierres ou des coups.

Gobelin (Ricaud 1996, 1997) travaille aussi sur deux niveaux et un mécanisme d'abstraction y a été systématiquement développé. Au niveau de base, il joue des coups de Go mais, au deuxième niveau, il considère un goban abstrait. Il décide d'un coup abstrait à jouer à ce niveau et le traduit ensuite au niveau de base pour déterminer ainsi le coup réel qu'il va jouer finalement. Ce mécanisme lui permet de jouer des coups stratégiques, qui sont essentiels si l'on veut avoir un bon niveau à un jeu comme le Go.

Hammourabi (Lesourd 1999) est capable d'administrer un réseau d'ordinateurs. L'administration d'un réseau de PC est une tâche difficile pour laquelle il existe peu de bons spécialistes. Il est donc utile de pouvoir appliquer les techniques de l'IA à ce domaine. Le système est capable d'espionner ce qui se passe et

de faire des expériences pour mieux comprendre ce qui est arrivé. Pour cela, il faut travailler sur un modèle du comportement des éléments du réseau et être capable de raisonner dessus. Dans certains cas, il arrive à corriger lui-même ce qui n'allait pas ; sinon il donne assez d'éléments sur ce qui s'est passé pour que l'administrateur humain puisse trouver facilement les raisons des incidents qui se sont produits.

Le système MACISTE (Pitrat 1996) reçoit sous forme déclarative non seulement toutes les connaissances nécessaires pour résoudre des problèmes de type ALICE, mais aussi toutes les méta?connaissances pour utiliser les connaissances précédentes à bon escient, les méta?connaissances pour compiler les méta?connaissances précédentes et aussi pour se compiler elles-mêmes. L'amorçage du système a été constamment poursuivi en augmentant la déclarativité de ces méta?connaissances. Il est possible de donner de plus en plus facilement de nouvelles méta?connaissances puisqu'elles sont de plus en plus déclaratives. Tout ceci est aussi lié aux développements prévus en apprentissage : il est plus commode de découvrir des connaissances déclaratives que des connaissances procédurales. Encore faut-il savoir se servir efficacement de nouvelles connaissances déclaratives. La découverte et l'utilisation des connaissances sont étroitement liées ; c'est pourquoi la poursuite de l'amélioration des méta?connaissances qui utilisent des (méta)?connaissances déclaratives est une tâche de fond qui intervient continuellement au cours du développement du système.

Découverte de (méta)connaissances à l'aide de métaconnaissances

T. CAZENAVE, A. FREDON, R. MONERET, J.-M. NIGRO, G. PECEGO, J. PITRAT, C. TURLE

Une grande quantité de méta?connaissances est nécessaire dans la plupart des applications et trop souvent nous ne les connaissons pas. Aussi est-il souhaitable qu'un système les découvre plutôt qu'un humain doive essayer de les rassembler en observant des experts plus ou moins bons. Pour cela, le système a besoin de connaissances pour trouver de nouvelles connaissances, une autre variété de méta?connaissances. Il faut choisir un domaine pour expérimenter ces idées ; 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, mais notre but n'est pas la réalisation de programmes de jeux performants, mais l'étude de problèmes fondamentaux de l'IA.

Le système Introspect (Cazenave, 1996, 1997, 1998) est basé sur l'apprentissage par explication (EBL) ; il arrive à n'apprendre que des connaissances qui sont certaines. Il a surtout été 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 des 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, Gogol, le programme pour lequel Introspect a créé un million d'instructions en C, a eu d'excellents résultats lors de la compétition de programmes de Go qui a eu lieu au Japon. Mais il a aussi été appliqué avec succès à des problèmes de gestion.

Un autre système d'apprentissage (Moneret 1999, 2000) porte sur un aspect complémentaire du travail précédent. Appliqué au Go, Gogol, créé par Introspect, a montré des performances tactiques comparables à celles des meilleurs programmes d'origine humaine. Paradoxalement, son point faible était les connaissances stratégiques données par l'auteur du système. Aussi, il est apparu qu'il fallait étendre ce

travail à l'apprentissage des connaissances stratégiques. Elles sont bien plus difficiles à apprendre que les connaissances tactiques, car l'intérêt d'un coup stratégique ne se manifestera souvent que de nombreux coups plus tard ; l'effet en est caché par l'existence de nombreux coups intermédiaires, dont certains peuvent être mauvais. Il a donc fallu définir une méthode pour analyser les parties et en déduire des connaissances stratégiques. Cela a été expérimenté pour le jeu de Go, mais les méthodes proposées sont générales.

Les méthodes d'apprentissage que nous avons étudiées sont basées sur l'EBL. Le système peut généraliser à partir d'un seul exemple s'il a compris les raisons d'un succès ou d'un échec. Aussi est-il important de pouvoir expliquer ce qui s'est passé. Là encore, il est nécessaire d'avoir les connaissances sous forme déclarative 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 méta?connaissances 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.

Toujours pour le mécanisme à la base de l'EBL, l'explication, des expériences ont été faites dans le cadre de MACISTE (Pitrat 1998) pour préparer l'acquisition automatique des méta?connaissances déclaratives qu'il utilise. On est en effet devant une situation paradoxale : bien que le sous-système MALICE réussisse à résoudre les problèmes en faisant une combinatoire très faible, il ne va pas plus vite que quand il développait des arborescences plus volumineuses. La raison est qu'au lieu de perdre beaucoup de temps à faire de la combinatoire, il perd du temps à faire de la méta?combinatoire pour essayer de nombreuses méthodes dont la plupart ne mènent à rien. Mais il lui arrive de trouver une méthode qui lui permettra d'éviter de faire de la combinatoire en trouvant par exemple directement la valeur d'une variable. Il développe ainsi une arborescence réduite, mais la métaarborescence des méthodes essayées est immense. Toutefois, les essais inutiles n'apparaissent pas dans la solution : on y gagne parce que les solutions sont plus

faciles à comprendre. On pourrait dire qu'il trouve de façon peu élégante des solutions élégantes. Comme nous connaissons mal les bonnes stratégies de recherche des bons essais à tenter, il faudrait que ce soit le système qui les découvre. En utilisant les méthodes d'EBL, il faut non plus expliquer comment on est arrivé au résultat, mais métaexpliquer comment on a eu l'idée de choisir les bons essais et comment pourrait-on faire pour ne pas considérer trop souvent des essais qui ne mènent à rien et lutter ainsi contre la métacombinatoire.

Il est intéressant de créer de nouvelles connaissances dans un autre but que d'améliorer les performances d'un système. L'objectif de SYGEP (Pecego 1996, 1997, 1998) est de créer des énoncés de problèmes. Ce système est général, les caractéristiques d'un domaine sont 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 aide l'élève à apprendre à résoudre des problèmes, par exemple en les classant. Pour cela, il compose des couples de problèmes. Dans un cas, les deux énoncés apparaissent à première vue très proches alors qu'ils ont des solutions très différentes. Dans un autre cas, les deux énoncés semblent très différents et ont des solutions proches. Nous espérons ainsi que l'élève passera d'une classification du type "c'est un problème de poulie" à une classification du type "c'est un problème de conservation de l'énergie".

Un type de nouvelle connaissance particulièrement important est la découverte d'un concept nouveau. Partant des travaux de D. Lenat sur AM, Adgard (Turle 1997) a bien plus d'initiative : il ne reçoit pas des indications trop précises qui le mettraient dans des rails dont il ne pourrait s'écarter. Ces méthodes ont été expérimentées pour la découverte de concepts de la théorie des ensembles et de l'arithmétique. Un langage assez déclaratif a été défini pour donner au système les méta?connaissances générales dont il a besoin. Dans cette optique, AM n'est plus qu'un cas particulier privilégié dans l'expérimentation.

Il est souvent frappant de voir comme la façon dont un problème est formalisé pèse sur les performances du système qui résout ensuite ce problème. Les informaticiens le savent bien, eux qui passent une partie importante de leur temps à trouver une bonne formalisation du problème qui leur est posé. Mais alors, où est l'intelligence ? Dans le système d'IA ou dans la tête du chercheur qui a dû passer tant de temps pour trouver la bonne formalisation pour que ce système d'IA n'ait pas de difficulté à résoudre les problèmes ainsi préparés ? De plus, la formalisation choisie par un humain n'est pas toujours très bonne. Il est donc naturel de se demander si nous ne pouvons pas étendre le champ de l'IA à des systèmes capables de modifier la formalisation du problème qui leur est proposé, de façon à ce que leurs performances en ré-

solution soient améliorées. On a ainsi commencé l'étude (Fredon 1999) de diverses méthodes permettant de transformer la formalisation de l'énoncé d'un problème. Plusieurs méthodes pouvant changer une

formalisation ont déjà été mises en évidence ; il a aussi fallu étudier un problème lié, celui d'évaluer quand il est intéressant d'employer chacune de ces méthodes.

Monitorer la recherche de la solution

F. KOCIK, T. PANNEREC, J. PITRAT

Des travaux psychologiques, comme ceux de Schoenfeld, ont montré l'importance du monitoring en résolution de problèmes. Un sujet qui a de bons résultats, bien qu'il ne soit pas un expert du domaine, ne part pas dans la première direction qui lui vient à l'esprit. Il commence par regarder les diverses directions possibles, il les évalue, il en choisit une en prédisant ce qui va arriver. Au cours de la recherche, il compare continuellement ce qu'il a avec ce qu'il avait prédit. Si cela se révèle trop décevant, il abandonne cette voie pour en prendre une autre qu'il avait estimée moins fructueuse au départ. Un tel sujet est un méta?expert, c'est-à-dire un expert en résolution de problèmes ; sa force vient de ce qu'il monitoré de très près sa recherche d'une solution. A côté des systèmes experts, nous devons aussi réaliser des systèmes méta?experts qui sont capables de résoudre des problèmes sans qu'il ait fallu leur donner préalablement une expertise. De plus, cette approche est étroitement liée à l'apprentissage, car on acquiert au cours de cette phase les connaissances qui permettront justement de devenir un expert.

Un système capable de jouer à des jeux de cartes (Kocik 1999) est un bon domaine de mise en œuvre du monitoring. Il faut par exemple savoir s'arrêter quand toute analyse supplémentaire s'avère inutile vu l'incertitude inhérente aux jeux à information incomplète. En effet, il est parfois possible de faire un peu de combinatoire, mais il faut le faire avec discernement et éviter d'engendrer des arborescences énormes qui n'ont plus aucune utilité à partir du moment où trop d'éléments sont inconnus. Il faut également savoir faire coexister des méthodes sûres, mais qui donnent des résultats approximatifs avec des méthodes plus fines, mais qui peuvent parfois donner des résultats erronés. Le monitoring doit être capable de gérer

les désaccords éventuels entre diverses méthodes pour résoudre le même problème.

Maréchal (Pannérec 1999) joue à des war-games se passant à diverses époques historiques, donc présentant des caractéristiques très variées. Le but de cette réalisation est là aussi d'expérimenter des méthodes permettant à un système de monitorer la recherche d'une solution. Le système doit analyser régulièrement ce qu'il est en train de faire, décider s'il est utile de faire une analyse plus fine d'une situation potentielle future étant donné les incertitudes sur les actions que pourra faire l'adversaire. Il faut aussi estimer s'il y a des chances d'interférences entre deux solutions locales, ce qui conduirait à des calculs complexes pour analyser ces interférences. Le monitoring doit mener rapidement à des solutions de bonne qualité et robustes, c'est à dire qui ne conduisent pas à des catastrophes quelles que soient les actions de l'adversaire.

Le monitoring est développé actuellement pour MALICE, le résolveur général de MACISTE (Pitrat 1999). En effet, nous avons vu plus haut les difficultés dues à une méta?combinatoire exagérée : on essaye trop souvent des méthodes qui ne conduisent à rien. Le monitoring a justement pour rôle de diminuer le nombre de ces essais inutiles en tenant davantage compte de l'histoire de la résolution en cours, en évitant de passer trop de temps dans des voies prometteuses qui se sont révélées décevantes. Mais il faut prendre garde de ne pas gaspiller en faisant du monitoring le temps gagné en limitant les essais inutiles. C'est pourquoi il faudra incorporer aussi du méta?monitoring, c'est-à-dire monitorer les activités de monitoring elles-mêmes. Le but à long terme est d'utiliser la même métaexpertise à la fois pour le monitoring et le métamonitoring.

D-DAL 2000 (Dictaphone-Dactylographe du laboratoire)

M.-J. CARATY, C. MONTACIÉ

D-DAL est l'un des cinq systèmes qui a participé à la campagne de test de dictée vocale francophone subventionnée par l'AUELF-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. 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. Nos expériences dans le domaine de l'indexation audio ont montré que de tels modèles statistiques sont spécialisés sur les données d'apprentissage. Le changement du canal

de transmission (i.e., microphone...), la modification du type de sujet traité, du langage employé dégrade fortement la reconnaissance. Nous avons commencé à

développer pour cela des méthodes d'adaptation fondées sur le Maximum à Posteriori.

Modélisation non-paramétrique, le système HMM-Kppv

F. LEFEVRE, C. MONTACIÉ, M.-J. CARATY

Le but de cette étude est de remplacer dans un système markovien la modélisation par multi-gaussienne par un estimateur non paramétrique fondé sur la règle des Kppv. Cette règle consiste à estimer la probabilité d'appartenance d'une observation à une classe par la proportion parmi ses voisins dans cette classe. Malgré sa simplicité, elle est très efficace et permet de retrouver facilement l'origine d'une erreur. Son seul inconvénient est son coût de calcul prohibitif par rapport à l'utilisation de multi-gaussiennes. Nous avons résolu ce problème en développant un algorithme rapide de calcul de Kppv avec un gain de temps d'environ

99.8 %. Les algorithmes d'apprentissage (Baum-Welch) et de décodage (Viterbi) ont été adaptés à ce nouvel estimateur. Les résultats obtenus ont montré que si les performances n'augmentaient pas (encore), le nouvel estimateur modifiait fortement le comportement des modèles markoviens. Cela nous a donné un nouvel outil pour étudier plus finement le fonctionnement de ces modèles. Nous avons construit pour cela des paradigmes d'évaluation qui devrait nous permettre de mesurer plus exactement le rôle des delta-paramètres et des modèles phonétiques contextuels dans le processus de reconnaissance.

Orphée et la reconnaissance du locuteur au téléphone

C. MONTACIÉ, M.-J. CARATY

Le système Orphée de reconnaissance du locuteur a été breveté (France 1996, Japon 1997, Corée et Canada 1998, USA 1999) et licencié à la société CDV-International pour le contrôle d'accès. Des discussions sont également en cours avec la société A2IA depuis 2 ans et nous ont permis le développement d'un prototype de vérification du locuteur au téléphone. Les autres applications de ce brevet sont l'indexation, en terme de locuteurs, de bases de données multimédia, 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. Nous continuons à développer ce système basé sur les Modèles Auto-régressifs Vectoriels (MAV). Le principal axe de recherche est l'obtention d'un modèle du locuteur indépendant de la ligne de communication. Deux expériences (concours d'évaluation NIST et prototype A2IA) nous ont montré que la variabilité des lignes téléphoniques dégradent fortement les performances de reconnaissance du locuteur. Nous essayons de pallier ces difficultés en utilisant une approche multimodèle de type CART.

Le projet ESPRIT AVIR et le serveur d'indexation TotalAudio

C. MONTACIÉ, M.-J. CARATY

Nous participons au projet ESPRIT AVIR dont le but est l'indexation de documents (textes, images, sons, vidéos) pour permettre à des utilisateurs non-experts d'accéder, de stocker et de rechercher une information audiovisuelle. Notre travail est plus particulièrement l'indexation du canal son de données multimédia. Nous avons développé dans ce cadre des méthodes hiérarchiques de segmentation silence/bruit/musique/parole, des méthodes rapides d'alignement du signal sonore sur un script, une adaptation de D-DAL à la voix spontanée. Les corpus traités sont bilingues (français/anglais) et proviennent de diverses sources (bande VHS, DVD vidéo, corpus MPEG7). Un modèle de langage spécifique a été développé à partir de texte de la base de données Gutenberg (150 M-mots) et de 150 scripts de films (1 M-mots). Toutes

ces techniques ont été implémentées sur le serveur d'indexation TotalAudio.

Nous travaillons également sur la segmentation du canal audio en terme de locuteurs. La matrice de distances inter-segments nous permet 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. Cet outil va permettre un autre mode de recherche par le contenu des documents multimédia.

La base de données de parole TéraSpeech

C. MONTACIÉ, M.-J. CARATY

Les bases de données sont indispensables pour développer et évaluer les algorithmes de reconnaissance des formes, pour définir les éléments de base pour la synthèse de formes. Nous avons, en collaboration avec le Musée des Sciences de la Villette, développé deux éléments d'exposition sur la signature vocale. Sur le premier poste, les visiteurs lisent des textes aléatoires d'environ 10 secondes et construisent ainsi leur modèle. Ce modèle va leur permettre de se faire reconnaître sur le second poste en utilisant un mode libre de prononciation (lue ou spontanée). Ces visiteurs sont enregistrés avec leur accord. Notre but, au delà de la visibilité de nos travaux, est de constituer une très grande base de données de parole (i.e. 100 000 locuteurs) en français et en anglais. TéraSpeech permettra les études suivantes : typologie et topologie de la population française en terme de locuteurs, preuve ou démenti de la notion d'empreinte vocale, synthèse de la parole avec voix cible. Cette base de données qui sera en partie internationalement diffusée nous permettra également d'organiser des concours d'évaluation des systèmes de traitement de la parole (dictée vocale et reconnaissance du locuteur).



PUBLICATIONS APA

Livres

- (1) M. Benasayag, H. Akdag, C. Secroun : "Peut-on penser le monde ? Hasard et Incertitude": Editions du Félin, 1997.
- (2) B. Bouchon, L. Foulloy, M. Ramdani : "Logique floue : exercices corrigés et exemples d'applications": Cépadues-Editions, 1998.
- (3) B. Bouchon, H. T. Nguyen : "Les incertitudes dans les systèmes intelligents", vol. 3110, Presses Universitaires de France ed, 1996.
- (4) B. Bouchon, R. R. Yager, L. A. Zadeh : "Information, Uncertainty and Fusion": Kluwer Academic Pub., 1999.
- (5) B. Bouchon, R. R. Yager, L. A. Zadeh : "Uncertainty in Intelligent and Information Systems": World Scientific, 2000.
- (6) I. Bournaud, J. Mathieu : "Le regroupement conceptuel pour l'aide à l'élicitation des connaissances utilisées dans la construction de classifications", PUF ed. Paris, France, 2000.
- (7) F. Fogelman, P. Gallinari : "Industrial applications of Neural Networks": Wiley, 1996.
- (8) L. Gacogne : "512 problèmes corrigés, Pascal, C++, Lisp, Prolog", Ellipses ed, 1996.
- (9) L. Gacogne : "Eléments de logique floue": Hermès, 1997.
- (10) J.-G. Ganascia : "Les sciences cognitives": Flammarion, 1996.
- (11) J.-G. Ganascia : "Le petit Trésor de l'informatique et des sciences de l'information", Flammarion ed, 1998.
- (12) J.-G. Ganascia : "2001, l'odyssée de l'esprit", Flammarion ed, 1999.
- (13) J.-G. Ganascia : "Le bâtisseur, l'informaticien et le cognitif", Bibliopolis ed, 2000.
- (14) M. Serres, F. Farouki, J.-G. Ganascia : "Trésor des sciences": Flammarion, 1997.

Articles de revues

- (1) I. Akoulchina, C. Faron, J.-G. Ganascia : "SAGE as a new type of "active browser" agent on the Web", User Modeling and User-Adapted Interaction Journal, 1997.
- (2) I. Akoulchina, C. Faron, J.-G. Ganascia : "SAGE as a new type of " active browser " agent on the Web", User Modeling and User-Adapted Interaction Journal, 1999.
- (3) N. Aladenise, B. Bouchon : "Acquisition de connaissances imparfaites : mise en évidence d'une fonction d'appartenance", Revue Internationale de Systémique, vol. 11,1, 1997.
- (4) M. Baron, B. Bouchon-Meunier : "Comment utiliser des connaissances imparfaites ?", Cahiers de Nutrition et de Diététique, vol. 31, pp. 232-238, 1996.
- (5) M. Benasayag, H. Akdag, C. Secroun : "Titi est-il x-tolérant?", Revue de la Maison des Sciences de l'Homme, 2000.
- (6) S. Bothorel, B. Bouchon, S. Muller : "A Fuzzy Logic-based Approach for Semiological Analysis of Microcalcification in Mammographic Images", International Journal of Intelligent Systems, 1997.
- (7) B. Bouchon, O. Kosheleva, V. Kreinovich : "Fuzzy Numbers are the Only Fuzzy Sets that Keep Invertible Operations Invertible", Fuzzy Sets and Systems, 1997.
- (8) B. Bouchon, V. Kreinovich : "From interval computations to modal mathematics : applications and computational complexity", SIGSAM Bulletin, vol. 32, 2, pp. 7-11, 1998.
- (9) B. Bouchon, V. Kreinovich : "Fuzzy modus ponens as a calculus of logical modifiers : towards Zadeh's vision of implication calculus", Information Sciences, vol. 116, pp. 219-227, 1999.
- (10) B. Bouchon, V. Kreinovich, A. Lokshin, Nguyen H.T. : "On the Formulation of Optimization Under Elastic Constraints (With Control in Mind)", Fuzzy Sets and Systems, vol. 81, pp. 5-29, 1996.
- (11) B. Bouchon, C. Marsala, M. Ramdani : "Inductive Learning and Fuzziness", Scientia Iranica, International Journal of Science and Technology, vol. 2, pp. 289-298, 1996.
- (12) B. Bouchon, M. Rifqi : "A Framework to Unify and Generate Measures of Comparison", Tatra Mountains Mathematical Publications, pp. 89-98, 1997.
- (13) B. Bouchon, M. Rifqi, S. Bothorel : "Towards General Measures of Comparison of Objects", Fuzzy Sets and Systems, vol. 84, pp. 143-153, 1996.
- (14) B. Bouchon, L. Valverde : "A fuzzy approach to analogical reasoning", International Journal of Soft Computing, vol. 3, pp. 141-147, 1999.
- (15) J.-C. Boullard, B. Capelle, S. Gualandris, A. Lifchitz, J. Cibert, S. Tatarenko : "X-ray Standing Wave Study of CdTe/MnTe/CdTe(001) Heterointerfaces", Journal of Applied Physics, vol. 81, 3, pp. 1173-1179, 1997.
- (16) T. Cazenave : "Machine Introspection for Machine Learning", Journal of Consciousness Studies, 1998.
- (17) T. Cazenave : "IJCAI'97 : La troisième Coupe FOST", Bulletin de l'AFIA, vol. N°32, 1998.
- (18) T. Cazenave : "Jeu de Go. Un programme d'ordinateur construit des programmes qui jouent au Go", Pour la Science, vol. N°245, 1998.
- (19) T. Cazenave : "Controlled Partial Evaluation of Declarative Logic Programs", ACM Computing Surveys, vol. 30, 1998.

- (20) G. Chopard-Guillaumot, H. Hadj-Mabrouk : "Définition des principaux concepts relatifs à la notion de sécurité dans les transports guidés", *Revue générale des chemins de fer*, pp. 23-36, 1996.
- (21) G. Chopard-Guillaumot, H. Hadj-Mabrouk, J.-G. Ganascia : "Contribution à une meilleure définition de l'analyse préliminaire de risques pour les systèmes de transports guidés", *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, vol. 30, pp. 121-143, 1996.
- (22) G. Chopard-Guillaumot, H. Hadj-Mabrouk, J.-G. Ganascia : "Contribution à une meilleure définition de l'analyse préliminaire de risques pour les systèmes de transports guidés", *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 1997.
- (23) T. Cibas, F. Folgelman, P. Gallinari, S. Raudys : "Variable selection with neural networks", *Neurocomputing*, vol. 12, pp. 223-248, 1996.
- (24) V. Corruble, J.-G. Ganascia : "Induction and the discovery of the causes of scurvy: a computational reconstruction", *Artificial Intelligence*, vol. 91, pp. 205-223, 1997.
- (25) F. d'Alche-Buc, J.-P. Nadal : "Méthodes constructives pour l'apprentissage à partir d'exemples : les arbres neuronaux hybrides et leur comportement asymptotique", *La revue de Modulad*, vol. 16, pp. 1-19, 1996.
- (26) M. Darricau, H. Hadj-Mabrouk, J.-G. Ganascia : "Une approche pour la réutilisation des spécifications de logiciels. Application au domaine de la sécurité des systèmes de transports guidés", *Revue Génie Logiciel*, vol. N°45, pp. 2-8, 1997.
- (27) M. Detyniecki, R. R. Yager : "Ranking fuzzy numbers using alpha-weighted valuations", *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 2000.
- (28) M. Detyniecki, R. R. Yager : "A Context Dependent Method for Ordering Fuzzy Numbers Using Probabilities", *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based systems*, vol. 8, 2000.
- (29) M. Detyniecki, R. R. Yager, B. Bouchon : "Reducing t-norms and augmenting t-conorms", *Mathware*, vol. VII, 2000.
- (30) P. Gallinari, T. Cibas : "Practical complexity control in multilayer perceptrons", *Signal processing*, vol. Vol 74, N°1, pp. 29-46, 1999.
- (31) P. Gallinari, G. O. : "Statistique, apprentissage et généralisation. Application aux réseaux de neurones", *Revue d'Intelligence Artificielle*, vol. 10, N°2-3, pp. 285-344, 1996.
- (32) P. Gallinari, H. Zaragoza, M. Amini : "Apprentissage et données textuelles", , 2000.
- (33) J.-G. Ganascia : "Demain, des appareils bien élevés", *LA RECHERCHE*, vol. 285, 1996.
- (34) J.-G. Ganascia : "L'informatique et les sciences cognitives", *Technique et Sciences Informatique*, 2000.
- (35) O. Gascuel, B. Bouchon, C. Marsala : "Supervised classification , a comparison of twelve numerical, symbolic and hybrid methods", *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol. 12, pp. 517-572, 1998.
- (36) O. Gérard, J.-N. Patillon, F. d'Alché-Buc : "Discharge Prediction of Rechargeable Batteries with Neural Networks", *International Journal of Integrated Computer-aided Engineering, Special Issue on Neural Network technique for Industrial Applications*, vol. 6, pp. 41-53, 1999.
- (37) S. Grolimund, J.-G. Ganascia : "Driving Tabu search with case-based reasoning", *European journal of operationnal research*, 1998.
- (38) Y. Guermeur, C. Geourgeon, P. Gallinari, G. Deléage : "Improved Performance in Protein Secondary structure Prediction by Inhomogeneous Score Combination", *Bioinformatics*, vol. 15, N°5, pp. 413-421, 1999.
- (39) R. Hartani, H. Nguyen, B. Bouchon : "Sur l'approximation universelle des systèmes flous", *RAIRO-APII-JESA*, vol. 30, pp. 645-664, 1996.
- (40) V. Kreinovich, B. Bouchon : "Granularity via Nondeterministic Computations : What we Gain and What we Lose", *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 12, pp. 469-481, 1997.
- (41) J.-M. Labat, J.-M. Nigro, J. Caron, M. D. Fievre, J. Caron-Pargue, J.-C. Pomerol : "Computer and human solving strategies: a comparison in the case of the tower Hanoi puzzle", *Anwerp Papers in Linguistics*, vol. 85, pp. 75-90, 1996.
- (42) P. Leray, P. Gallinari : "Feature Selection with Neural Networks", *Behaviormetrika, Special Issue on Analysis of Knowledge Representations in Neural Network Models*, 1998.
- (43) P. Leray, P. Gallinari : "Feature extraction with neural networks", *Behaviormetrika*, vol. Vol 26, N°1, pp. 145-166, 1999.
- (44) A. McQuatt, P. J. D. Andrews, D. Sleeman, V. Corruble, P. A. Jones : "Discussing anomalous situations: A medical case study", *Methods of Information in Medicine, Special Issue on Intelligent Data Analysis in Medicine*, 2000.
- (45) H. t. Nguyen, V. Kreinovich, B. Bouchon : "Soft computing explains heuristic numerical methods in data processing and in logic programming", *Heuristics*, 2000.
- (46) J. Pitrat : "Implementation of a Reflective System", *Future Generation Computer Systems*, vol. 12, pp. 235-242, 1996.
- (47) J. Pitrat : "Un problème difficile : résoudre des problèmes", *Sciences*, vol. 97, 1997.
- (48) J. Pitrat : "Games: The Next Challenge", *ICCA Journal*, vol. V21, pp. 147-156, 1998.
- (49) J. Pitrat : "Intelligence Artificielle et émotions", *Revue d'Interaction Homme-Machine*, vol. 1, pp. 1-23, 1999.
- (50) G. Ramalho, P. Y. Rolland, J. G. Ganascia : "An Artificially Intelligent Jazz Performer", *Journal of New Music Research*, 1999.
- (51) M. Rifqi, V. Berger, B. Bouchon : "Discrimination power of measures of comparison", *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 110, pp. 189-196, 2000.

- (52) M. Rifqi, S. Bothorel, B. Bouchon, S. Muller : "Similarity and prototype-based approach for classification of microcalcifications", *International Journal of General Systems*, 2000.
- (53) P.-Y. Rolland, J.-G. Ganascia : "The representation and use patterns in AI systems for music", *Contemporary music review*, 1996.
- (54) P.-Y. Rolland, F. Pachet : "A framework for representing knowledge about synthesizer programming", *Computer Music Journal*, vol. 20, pp. 47-58, 1996.
- (55) P. Y. Rolland : "Discovery of Patterns in Musical Sequences", *Journal of New Music Research*, vol. V28, N°4, 1999.
- (56) A. Toudeft, P. Gallinari : "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.
- (57) B. Victorri, Y.-M. Visetti : "Modéliser les interactions entre une expression polysémique et son co-texte", *Sémiotiques*, 1997.
- (58) Y.-M. Visetti : "Fonctionnalismes", *Intellectica*, vol. 21, 1996.
- (59) M. Ying, B. Bouchon : "Quantifiers, Modifiers and Qualifiers in Fuzzy Logic", *Journal of Applied Non-classical logics*, vol. Vol 7, N° 3, 1997.
- (60) H. Zaragoza, P. Gallinari : "Multiple Multivariate Nonlinear Regression: A large Scale Thermodynamical Application", *Signal Processing*, vol. Vol. 64, N°3, 1997.
- (61) H. Zaragoza, P. Gallinari, R. Curtelin, F. Leglaye : "Multiple multivariate regression and global sequence optimization, an application to large scale models of radiation intensity", *Signal Processing*, vol. 64, pp. 371-382, 1998.
- (62) Y. Zheng, J.-C. Boullard, B. Capelle, A. Lifchitz, Lagomarsino : "Strain state in single quantum well GaAs/1ML-InAs/GaAs(100) analysed by high-resolution X-ray diffraction", *Europhysics Letters*, vol. Vol.41, N°4, 1998.
- (63) J.-D. Zucker : "Compte Rendu de la conférence IJCAI 1997", *Bulletin de l'AFIA*, vol. 32, pp. 46-48, 1998.
- (64) J.-D. Zucker, J.-G. Ganascia, I. Bournaud : "Relational Knowledge Discovery in a Chinese Characters Database", *Applied Artificial Intelligence*, vol. 12, 1998.

Chapitres de Livres

- (1) B. Bouchon : "Extension Principle", in *Handbook of Fuzzy Computation*, Institute of Physics Publishing ed, 1998, pp. 1-6.
- (2) B. Bouchon : "Uncertainty Management in Medical Applications", in *Nonlinear Biomedical Signal Processing*, M. Akay, Ed.: IEEE Press, 2000.
- (3) B. Bouchon, J. Delechamps, C. M. Marsala, M. Rifqi : "Analogy as a basis of various forms of approximate reasoning", in *Uncertainty in Intelligent and Information Systems*, B. Bouchon-Meunier, R. R. Yager, et L. A. Zadeh, Eds.: World Scientific, 2000.
- (4) B. Bouchon, D. Dubois, L. Godo, H. Prade : "Fuzzy sets and possibility theory in approximate and plausible reasoning", in *Fuzzy sets in approximate reasoning and information systems*, Kluwer Academic Pub. ed: J. Bezdek, D. Dubois, H. Prade, 1999, pp. 15-190.
- (5) B. Bouchon, C. Marsala : "Fuzzy Decision Trees and Databases", in *Flexible Query-Answering Systems*, Academic Publishers ed: Andreasen, T., Christiansen, H., Larsen, H. L., 1997, pp. 277-288.
- (6) B. Bouchon, C. Marsala : "Learning Fuzzy Decision Rules", in *Fuzzy sets in approximate reasoning and information systems*, Kluwer Academic Pub. ed: J. Bezdek, D. Dubois, H. Prade, eds., 1999, pp. 279-304.
- (7) B. Bouchon, C. Marsala, M. Ramdani : "Learning from Imperfect Data", in *Fuzzy set methods in information engineering : a guided tour of applications*, John Wiley & Sons ed: Dubois D., Prade H., Yager R.R., 1997.
- (8) B. Bouchon, M. Rifqi : "OWA Operators and an Extension of the Contrast Model", in *The Ordered Weighted Averaging Operators: Theory , Methodology and Applications*, Kluwer Academic Publishers ed: Yager R.R., Kacprzyk J., 1997.
- (9) T. Breidenstein, I. Bournaud, F. Wolinski : "Knowledge Discovery in Rule-Bases", in *Proceedings of EKAW-97*, Springer-Verlag ed, 1997, pp. 329-334.
- (10) M.-O. Bristeau, R. Glowinski, B. Mantel, J. Periaux, M. Sefrioui : "Genetic Algorithms for Electromagnetic Backscattering: Multiple Objective Optimization", in *Electromagnetic System Design Using Evolutionary Optimization*, S. a. E. Michielssen, Ed., 1999.
- (11) D. Canamero, V. Corruble : "Situating cognition: a challenge to artificial intelligence?", in *Learning Sites : Social and Technological Resources for Learning*, *Advances in Learning and Instruction Series*, R. S. Joan Bliss, Paul Light, Eds, Ed., Pergamon ed, 1999.
- (12) T. Cazenave : "Learning with Fuzzy Definitions of Goals", in *Logic Programming and Soft Computing*, Research Studies Press, J. B. Editor, Ed.: John Wiley & Sons, 1998.
- (13) H. Q. Chen, B. Mantel, J. Periaux, M. Sefrioui : "Solution of some non-linear fluid dynamics problems by means of genetic algorithms", in *Experimentation, Modelling and Computation in Flow, Turbulence and Combustion*, vol. 2, B. N. Chetverushkin, Desideri, J. A., Kuznetsov, Y. A., Muzafarov, K. A., Periaux, J., Pironneau, O., Ed., Wiley ed, 1997, pp. 181-194.
- (14) V. Corruble : "Apprentissage d'arbres de décision", in *Apprentissage Machine*, J.-G. Ganascia et J.-D. Zucker, Eds., Hermes ed, 2000.

- (15) V. Corruble, J. Bliss : "Learning and Discovering with Computational Aids", in Learning Sites : Social and Technological Resources for Learning, Advances in Learning and Instruction, R. S. Joan Bliss, Paul Light, Eds, Ed., Pergamon ed, 1999.
- (16) P. Gallinari : "Heuristiques pour la généralisation", in Statistiques et méthodes neuronales, Dunod ed, 1997.
- (17) P. Gallinari : "Méthodes neuronales de discrimination", in Statistiques et méthodes neuronales, Dunod ed, 1997, pp. 31-51.
- (18) P. Gallinari : "Predictive Models for Sequence Modelling, Application to Speech and Character Recognition", in Adaptive Processing of Sequences and Data Structures, Springer ed: Lee Giles, Gori M., 1998.
- (19) P. Gallinari, T. Cibas : "Complexity control and generalization in multilayer perceptrons", in Bio-mimetic approaches in management science, 1997.
- (20) J.-G. Ganascia : "Logique et induction : un vieux débat", in Induction symbolique et numérique, Cédapues ed, 2000.
- (21) J.-G. Ganascia : "Charade & fils : évolutions, applications et extensions", in Induction symbolique et numérique, Cédapues ed, 2000.
- (22) Lefèvre, F., C. Montacié, M.-J. Caraty : "K-Nearest Neighbours Estimator in a HMM-Based System", in Computational Models of Speech Patterns Processing, vol. 169, NATO ASI, Springer-Verlag ed. berlin, 1999, pp. 96-101.
- (23) C. Marsala : "Fuzzy partitioning methods", in Granular Computing : an Emerging Paradigm, e. W. Pedrycz, Ed.: Physica Verlag, 2000.
- (24) C. Marsala, N. M. Bigolin : "Spatial Data Mining with Fuzzy Decision Trees", in Data Mining, WIT Press ed, 1998, pp. 235-248.
- (25) C. Marsala, M. Ramdani, D. Zakarya, M. Tollabi : "Fuzzy Decision Trees to Extract Features of Odorous Molecules", in Uncertainty in Intelligent and Information Systems, B. Bouchon-Meunier, R. R. Yager, et L. A. Zadeh, Eds.: World Scientific, 2000.
- (26) I. Moulinier, J.-G. Ganascia : "Applying an existing machine learning algorithm to text categorization", in Connectionist, statistical, and symbolic approaches to learning for natural language processing, S. Wermter, E. Riloff, et G. Scheler, Eds., Springer-Verlag ed, 1996.
- (27) J. Pitrat : "Métacognition-Intelligence Artificielle", in Vocabulaire des Sciences Cognitives, PUF ed: O. Houdé, D. Kayser, O. Koenig, J. Proust et F. Rastier, 1998, pp. 262-264.
- (28) J. Pitrat : "Vers un métamathématicien artificiel", in Le concept de preuve à la lumière de l'Intelligence Artificielle, PUF ed: J.-J. Szczeciniarz et J. Sallantin, 1998, pp. 117-137.
- (29) A. Rick, S. Bothorel, B. Bouchon, S. Muller, M. M. Rifqi : "Fuzzy techniques in Mammographic Image Processing", in Fuzzy Techniques in Image Processing, E. K. e. M. Nachttegael, Ed.: Physica-Verlag, 2000.
- (30) A. Rick, S. Bothorel, B. Bouchon, S. Muller, M. Rifqi : "Fuzzy techniques in Mammographic Image Processing", in Fuzzy Techniques in Image Processing, Physica-Verlag ed: M. Nachttegael, E. Kerre (eds.), 1997.
- (31) P. Y. Rolland, J. G. Ganascia : "Musical Pattern Extraction and Similarity Assessment.", in Readings in Music and Artificial Intelligence, vol. 20, E. e. Miranda, Ed., Harwood Academic Publishers ed, 1999.
- (32) P. Y. Rolland, F. Pachet : "Représentation de connaissances sur la programmation de synthétiseurs", in Recherches et applications en informatique musicale, Hermès ed, 1998.
- (33) H. Seridi, H. Akdag : "A Qualitative Approach for Processing Uncertainty", in Uncertainty in Intelligent and Information Systems, R. R. Y. B. Bouchon-Meunier, L. A. Zadeh eds, Ed.: World Scientific, 2000.
- (34) J. Thomas, J.-G. Ganascia, P. Laublet : "Apprentissage de connaissances d'un modèle d'expertise guidé par ses structures", in Tendances actuelles en acquisition et modélisation des connaissances, N. Aussenac, P. Laublet, et C. Reynaud, Eds., Cédapues ed, 1996.
- (35) L. Zerrouki, B. Bouchon : "Fuzzy systems for air trafic flow management", in Computing with words in information/intelligent systems, Physica-Verlag ed: Zadeh, L.A. and Kacprzyk, J., 1998, pp. 525-547.

Communications avec actes

- (1) H. Akdag, N. Mellouli, and A. Borgi, "A symbolic approach of linguistic modifiers," presented at Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU), Madrid, Espagne, 2000.
- [2] H. Akdag and M. Mokhtari, "Approximative Conjunctions Processing by Multi-valued Logic," presented at IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL'96), Santiago de Compostela, 1996.
- [3] H. Akdag and M. Mokhtari, "The Approximative Multi-Valued Reasoning via The Conjunctions Processing," presented at Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU), Grenade, 1996.
- [4] I. Akoulchina, C. Faron, and J.-G. Ganascia, "SATELIT-Hypermedia system using intelligence," presented at KAI-96, fifth Russian conference with an international participation, Kazan, Russia, 1996, pp. 294-298.
- [5] I. Akoulchina and J.-G. Ganascia, "An adaptive interface construction for the SATELIT system," presented at Applications for Computer System (ACS'96), Szczecin, Poland, 1996, pp. 259-266.
- [6] I. Akoulchina and J.-G. Ganascia, "SAGE, un agent d'interface pour une navigation active du système SATELIT sur Internet," presented at Journées Francophones d'Ingénierie de Connaissances et Apprentissage Automatique (JICAA97), Roscoff, France, 1997, pp. 403-415.

- [7] I. Akoulchina and J.-G. Ganascia, "SAGE Agent for the SATELIT Web-based system," presented at The First International Conference on Web-based Modeling and Simulation, San-Diego, 1998, pp. 3-8.
- [8] I. Akoulchina and G. J.-G., "SATELIT-Agent : an Adaptive Interface Based on Learning Interface Agents Technology," presented at User Modeling Conference, Italie, 1997, pp. 21-32.
- [9] N. Aladenise, "Système d'aide à la hiérarchisation des menaces à l'aide de critères subjectifs," presented at Proceedings of the seventh international conference IPMU Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems, Paris, France, 1998, pp. 1905-1906.
- [10] N. Aladenise, "Utilisation de connaissances subjectives pour l'aide à la décision : Application à la conduite des feux du char d'assaut," presented at Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications, 1998, pp. 177-183.
- [11] M.-R. Amini, P. Gallinari, F. d'Alché-Buc, F. Bonnard, and E. Fernandez, "Automated statistical recognition of Partial Discharges in insulation systems," presented at 8th International Conference of Artificial Neural Networks, 1998.
- [12] M.-R. Amini, H. Zaragoza, and P. Gallinari, "Dynamic Models for Automatic Highlighting and Surface Information Extraction," presented at The 21st Annual Colloquium on IR Research , British Computer Society's Information Retrieval Specialist Group, 1999.
- [13] M.-R. Amini, H. Zaragoza, and P. Gallinari, "Stochastic Models for Surface Information Extraction in Texts," presented at 9th International Conference of Artificial Neural Networks, 1999.
- [14] M.-R. Amini, H. Zaragoza, and P. Gallinari, "Learning for Sequence Extraction Tasks," presented at 6th Conference on "Content-Based Multimedia Information Access", Paris, France, 2000.
- [15] P. J. D. Andrews, D. Sleeman, V. Corruble, McQuatt, A., P. A. Jones, T. Howells, and C. S. Macmillan, "Forecasting recovery after traumatic brain injury using intelligent data analysis," presented at Congrès de l'Anesthetics Research Society, 2000.
- [16] T. Artières, J.-M. Marchand, P. Gallinari, and B. Dorizzi, "Multi-modal segmental models for on-line handwriting recognition," presented at International Conference on Pattern Recognition, Barcelone, 2000.
- [17] T. Artières, J.-M. Marchand, P. Gallinari, and B. Dorizzi, "Stroke level modeling of on-line handwriting through multi-modal segmental models," presented at International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition, Amsterdam, 2000.
- [18] H. Assadi, "Interactive semantic analysis for building conceptual models from corpora," presented at ECAI'96 conference workshop on corpus-oriented semantic analysis, Budapest., 1996.
- [19] H. Assadi, "Knowledge Acquisition from technical Texts : Making the First Steps more Efficient," presented at Sixth Scandinavian Conference on Artificial Intelligence (SCAI '97), Amsterdam, 1997.
- [20] H. Assadi, "Knowledge Acquisition from Texts : Using an Automatic Clustering Method Based on Noun-Modifier Relationship," presented at 35th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, Madrid, 1997.
- [21] H. Assadi, "Une méthode et des outils pour la construction d'une ontologie du domaine à partir de textes. Application à la consultation d'une documentation technique," presented at Journées ingénierie des connaissances et apprentissage automatique, Roscoff, 1997, pp. 363-374.
- [22] H. Assadi, "Construction of a Regional Ontology from Text and its Use within a Documentary System," presented at International conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS'98), Amsterdam, 1998.
- [23] H. Assadi and D. Bourigault, "Acquisition de connaissances à partir de textes : outils informatiques et éléments méthodologiques," presented at Dixièmes Rencontres Reconnaissance de Formes et Intelligence Artificielle (RFIA '96), Rennes, 1996.
- [24] J.-C. Baillie and J.-G. Ganascia, "Segmentation qualitative sur des séries de données," presented at Conférence SFC'99, Nancy, France, 1999, pp. 315-322.
- [25] J.-C. Baillie and J.-G. Ganascia, "Qualitative descriptors and action perception," presented at AI'2000, 2000.
- [26] Y. Bennani and P. Gallinari, "Connectionist approaches for automatic speaker recognition," presented at ESCA workshop on speaker recognition, Martini, Suisse, 1998.
- [27] A. Borgi, "Apprentissage supervisé par une méthode polythétique de génération de règles. Application à la classification d'images," presented at Quatrièmes Rencontres Nationales des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle, RJCIA'98, Toulouse, 1998, pp. 37-45.
- [28] A. Borgi and H. Akdag, "Induction supervisée d'images de règles: le système SUCRAGE," presented at Conférence d'apprentissage, Palaiseau, 1999, pp. 55-62.
- [29] A. Borgi and H. Akdag, "Knowledge Based Supervised Classification: an Application to Image Processing," presented at Eusflat-Estylf Conference, Palma de Mallorca, 1999, pp. 175-178.
- [30] A. Borgi, J.-M. Bazin, and H. Akdag, "Classification supervisée d'images par génération automatique de règles," presented at Cinquièmes rencontres de la Société Francophone de Classification, Lyon, France, 1997.
- [31] A. Borgi, J.-M. Bazin, and H. Akdag, "A Numerical Approach to Approximate Reasoning via a Symbolic Interface. Application to Image Classification," presented at 5th International Workshop Fuzzy-Neuro Systems'98, Munich, Allemagne, 1998.
- [32] A. Borgi, J.-M. Bazin, and H. Akdag, "Supervised Classification by Automatic Rules Generation," presented at Fourth World Congress on Expert Systems, Application of Advanced Information Technologies, Mexico, 1998.

- [33] A. Borgi, J.-M. Bazin, and H. Akdag, "Two Methods of Linear Correlation Search for a Knowledge Based Supervised Classification," presented at 11th International Conference on Industrial & Engineering Applications of Artificial Intelligence Systems, Benicassim, Espagne, 1998.
- [34] A. Borgi and S. El Kassar, "Raisonnement à Partir de Cas et Simulation. Application au Comportement Cognitif," presented at Première Conférence Francophone de Modélisation et Simulation, MOSIM 97, Rouen, 1997, pp. 559-561.
- [35] A. Borgi and S. El Kassar, "Using Artificial Intelligence for Cognitive Simulation," presented at Second LAAS International Conference on Computer Simulation, Liban, 1997.
- [36] A. Borgi and J. Mathieu, "Vers une modélisation de l'approche qualitative de novices en statistiques," presented at Cinquièmes Journées Francophones Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur (AF CET, AFIA), EIAO'97, Cachan, 1997, pp. 197-208.
- [37] S. Bothorel, B. Bouchon, and S. Muller, "Extraction d'attributs flous pour l'analyse d'images mammographiques," presented at Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications, Nancy, 1996.
- [38] S. Bothorel, B. Bouchon, and S. Muller, "Fuzzy Logic-based Approach for Mammographic Images," presented at Congrès International EUFIT, Aachen, 1996.
- [39] B. Bouchon, "Spécificité et champs d'intérêt de la logique floue," presented at Colloque actualité et enjeux de quelques logiques non classiques, Neuchâtel, 1996.
- [40] B. Bouchon, G. Coletti, and C. Marsala, "Independence and possibilistic conditioning," presented at Workshop on Partial Knowledge and Uncertainty : independence , conditioning, inference, Rome, 2000.
- [41] B. Bouchon, G. Coletti, and C. Marsala, "Possibilistic conditional events," presented at Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU), Madrid, Espagne, 2000.
- [42] B. Bouchon, J. Delechamp, C. Marsala, N. Mellouli, M. Rifqi, and L. Zerrouki, "Analogy and Fuzzy Interpolation in the case of Sparse Rules," presented at Second International Conference on Soft and Intelligent Computing, Budapest, Hongrie, 1999, pp. 132-136.
- [43] B. Bouchon, J. Delechamp, C. Marsala, N. Mellouli, M. Rifqi, and L. Zerrouki, "Raisonnement interpolatif à partir de schéma analogique flou," presented at Journées Nationales sur les Modèles de Raisonnements, 1999.
- [44] B. Bouchon, J. Delechamp, C. Marsala, and M. Rifqi, "Several Forms of Fuzzy Analogical Reasoning," presented at 6th IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Barcelona, Espagne, 1997, pp. 45-50.
- [45] B. Bouchon, J. Delechamp, C. Marsala, and M. Rifqi, "Analogy as a basis of various forms of reasoning," presented at 7th Int. Conf. on Intelligent Systems, Fontainebleau, France, 1998.
- [46] B. Bouchon, E. Di Crescenzo, C. Marsala, N. Mellouli, and M. Rifqi, "Uncertainty management in the recognition of a new odor," presented at Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU), Madrid, Espagne, 2000.
- [47] B. Bouchon and A. Kelman, "Utilisation de la théorie des possibilités dans un cadre opérationnel," presented at 4ème Ecole sur les Systèmes d'Information et de Communication, 1996.
- [48] B. Bouchon, O. Kosheleva, V. Kreinovich, and H. T. Nguyen, "Fuzzy Numbers are the Only Fuzzy Sets that Keep Invertible Operations Invertible," presented at International Conference IPMU'96, Granada, Espagne, 1996.
- [49] B. Bouchon and V. Kreinovich, "Simulating Fuzzy Control as a New Method of Eliciting Membership Functions," presented at International Conference IPMU'96, Granada, Espagne, 1996.
- [50] B. Bouchon and C. Marsala, "Analogy and fuzzy deductive reasoning," presented at North American Fuzzy Information Processing Society, Pensacola, USA, 1998.
- [51] B. Bouchon, C. Marsala, M. Ramdani, and M. Rifqi, "Generalization from Uncertain and Imprecise Data," presented at Intelligent Systems: a Semiotic perspective, Gaithersburg, 1996.
- [52] I. Bournaud and C. Faron, "Acquisition d'une memoire structurée : l'adequation du formalisme des graphes conceptuels," presented at Ingenierie des connaissances, Pont a Mousson, 1998.
- [53] I. Bournaud and J.-G. Ganascia, "Construction de hiérarchies conceptuelles pour l'organisation de connaissances," presented at Langages et Modèles à Objets.LMO'96, 1996.
- [54] I. Bournaud and J.-G. Ganascia, "Accounting for domain knowledge in the construction of Generalization space," presented at International Conference on Conceptual Structures, 1997.
- [55] I. Bournaud and J.-D. Zucker, "Discovery in Chinese Phonetics: a Machine Learning approach," presented at European Conference on Artificial Intelligence, ECAI'98, Brighton, Royaume Uni, 1998.
- [56] B. Bouzy, "L'élaboration d'un modèle cognitif dans un domaine complexe," presented at 2ème colloque jeunes chercheurs en sciences cognitives, 1996.
- [57] B. Bouzy, "There are no Winning Moves except the Last," presented at IPMU, Granada, Espagne, 1996.
- [58] B. Bouzy, "Un modèle du jeu de Go basé sur des interactions," presented at Systèmes multi-agent et intelligence artificielle distribuée, Port-Camargue, 1996, pp. 73-84.
- [59] B. Bouzy and C. Cazenave, "Using the Object Oriented Paradigm to Model Context in Computer GO," presented at Context'97, Rio, 1997.
- [60] L. Breton, J.-D. Zucker, and E. Clement, "GranuLab : un laboratoire virtuel d'experimentations pour la découverte scientifique en physique granulaire," presented at RFIA'2000, Paris, 2000, pp. 599-606.
- [61] L. Breton, J.-D. Zucker, and E. Clément, "Une Approche Multi-Agents pour la résolution d'équations en physique des milieux granulaires," presented at Journées Françaises sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents, St-Gilles (La Réunion), 1999, pp. 281-293.

- [62] C. Brouard and B. Bouchon, "Une méthode incrémentale et associative pour l'extraction de règles floues," presented at Conference d'Apprentissage, Palaiseau, 1999, pp. 45-54.
- [63] C. Brouard, B. Bouchon, and C.-A. Tijus, "Modelling Action in Verbal Command Context with Fuzzy Subsets and Semantic Networks," presented at Twentieth Annual Meeting of the Cognitive Science Society, Madison, 1998.
- [64] C. Brouard, B. Bouchon, and C.-A. Tijus, "Modelling the Interpretation of Verbal Commands with Fuzzy Logic and Semantic Networks," presented at Second European Conference on Cognitive Modelling, Nottingham, 1998.
- [65] C. Brouard, B. Bouchon, and C.-A. Tijus, "Understanding verbal commands for Human Computer Interaction," presented at 7ème Conférence Internationale IPMU, Paris, 1998.
- [66] M.-J. Caraty, C. Barras, F. Lefèvre, and C. Montacié, "D-DAL : un système de dictée vocale développé sous l'environnement HTK," presented at 21èmes Journées d'Etudes de la Parole, Avignon, 1996, pp. 289-292.
- [67] M.-J. Caraty and C. Montacié, "Multiresolution Analysis for Speech Recognition," presented at International Conference on Spoken Language Processing, Sydney, 1998, pp. 955-958.
- [68] M.-J. Caraty, C. Montacié, and F. Lefèvre, "Dynamic Lexicon for a Very Large Vocabulary Vocal Dictation," presented at European Conference of Speech Communication and Technology, Rhodes, 1997, pp. 2691-2694.
- [69] T. Cazenave, "Automatic Acquisition of Tactical Go Rules," presented at Game Programming Workshop, Tokyo, 1996.
- [70] T. Cazenave, "Automatic Ordering of Predicates by Metarules," presented at 5th International Workshop on Metaprogramming and Metareasoning in Logic, Bonn, 1996.
- [71] T. Cazenave, "Learning to Forecast by Explaining the Consequences of Actions," presented at Proceedings of the First International Workshop on Machine Learning, Forecasting, and Optimization, Madrid, 1996, pp. 29-38.
- [72] T. Cazenave, "Learning to Manage a Firm," presented at International Conference on Industrial Engineering and Applications, Houston, 1996.
- [73] T. Cazenave, "Self Fuzzy Learning," presented at International Workshop on Logic Programming and Soft Computing, Bonn, 1996.
- [74] T. Cazenave, "Automatically Improving Agents Behaviors in an Urban Simulation," presented at Second International Conference of the Journal of Industrial Engineering and Applications, San Diego, 1997.
- [75] T. Cazenave, "Gogol (an Analytical Learning Program)," presented at IJCAI'97, Nagoya, Japon, 1997.
- [76] T. Cazenave, "Integration of Different Reasoning Modes in a Go Playing and Learning System," presented at AAAI Spring Symposium on Multimodal Reasoning, Stanford, 1998.
- [77] T. Cazenave, "La métaprogrammation Logique. Un outil pour créer et transformer de grands programmes," presented at Journées Re-Ingenierie des Systèmes d'informations, Lyon, France, 1998.
- [78] T. Cazenave, "Machine Self-Consciousness More Efficient Than Human Self-Consciousness?," presented at European Meeting on Cybernetics and Systems Research, Vienne, 1998.
- [79] T. Cazenave, "Metaprogramming Forced Moves," presented at ECAI-98, Brighton, 1998.
- [80] T. Cazenave, "Program Generation for Firms Simulation in Competitive Environment," presented at Strategic Valuation of Firms'98, Paris, 1998.
- [81] T. Cazenave, "Speedup Mechanisms for Large Learning Systems," presented at IPMU'98, Paris, 1998.
- [82] T. Cazenave, "Strategic Evaluation in Complex Domains," presented at FLAIRS 98, Sanibel, 1998.
- [83] T. Cazenave and R. Moneret, "Development and Evaluation of Strategic Plans," presented at Proceedings of the Game Programming Workshop in Japan'97, Hakone, Japon, 1997.
- [84] G. Chopard-Guillaumot, H. Hadj-Mabrouk, and J.-G. Ganascia, "Aide aux analyses préliminaires de risques des systèmes de transport guidés," presented at 10ème Colloque national de fiabilité et maintenabilité, France, Saint-Malo, 1996, pp. 378-386.
- [85] G. Chopard-Guillaumot, H. Hadj-Mabrouk, and J.-G. Ganascia, "Towards a computer aided assessment of railways preliminary hazard analyses," presented at 5e Conférence internationale sur la conception, la construction et l'exploitation assistées par ordinateur dans les systèmes de transport ferroviaires, Berlin, 1996, pp. 493-502.
- [86] V. Corruble, "Induction in a Medical Discovery: A Computational Simulation," presented at Proceedings of Information, Statistics and Induction in Science, Melbourne, Australia, 1996.
- [87] V. Corruble, "Collaborative knowledge discovery with Pasteur and Filter: A case of mixed-initiative intelligence," presented at AAAI-99 Workshop on Mixed-Initiative Intelligence, 1999.
- [88] V. Corruble and J.-G. Ganascia, "The Discovery of the Causes of Leprosy: a Computational Analysis," presented at National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-96), Portland, Oregon, 1996.
- [89] P. Coupey and C. Faron, "Towards Correspondences Between Conceptual Graphs and Description Logics," presented at ICCS'98, Sixth International Conference on Conceptual Structures, 1998.
- [90] F. d'Alché-Buc, S. Canu, T. Cibas, A. Elisseeff, P. Gallinari, and H. Paugam-Moisy, "Détermination et contrôle de la complexité dans les systèmes d'apprentissage numérique," presented at Journées du PRC IA, Grenoble, France, 1997.
- [91] M. Darricau, H. Hadj-Mabrouk, and J.-G. Ganascia, "Acquisition and structuration of knowledge of safety critical software specifications," presented at 8th IFAC Symposium on Transportation Systems, Chania, Greece, 1997, pp. 1227-1231.
- [92] M. Darricau, H. Hadj-Mabrouk, and J.-G. Ganascia, "A model for reusing specifications of safety-critical software in the field of automated people movers," presented at Congrès IEEE, Computational engineering in systems applications, Nabeul-Hammamet, Tunisie, 1998, pp. 1-4.

- [93] P. Debay, V. Eude, S. Hayat, and M. Edel, "Fuzzy control for the future automatic guidance near the bus station," presented at Fuzz-IEEE'96, New-Orleans, Louisiana, 1996.
- [94] P. Debay, V. Eude, S. Hayat, and M. Edel, "Reduction of the number of necessary sensors for the fuzzy control realisation for the automatic bus guidance," presented at Eufit'96, Aachen, Germany, 1996.
- [95] J. Delechamp and B. Bouchon, "Graduality by Means of Analogical Reasoning," presented at International Conference on Qualitative and Quantitative Practical Reasoning, 1997.
- [96] M. Detyniecki, Yager, R., "Balance Operator: A new vision on Aggregation Operators," presented at Proceedings of Eurofuse-Sic'99, Budapest, Hungary, 1999.
- [97] M. Detyniecki and B. Bouchon, "Building an Aggregation Operator with a Balance," presented at Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU), Madrid, Espagne, 2000.
- [98] M. Detyniecki, B. Bouchon, and R. R. Yager, "Discrimination power of measures of comparison," presented at Second International Conference on Soft and Intelligent Computing - EUROFUSE'99, Budapest, Hongrie, 1999, pp. 241-246.
- [99] M. Detyniecki, C. Seyrat, and R. Yager, "Interacting with Web Video Objects," presented at 18th International Conference of the North American Fuzzy Information Society, New York, USA, 1999, pp. 914-917.
- [100] G. Durand, C. Montacié, and M.-J. Caraty, "Audio-video feature correlation : faces and speech," presented at International Conference on Multimedia Storage and Archiving System, Boston, 1999, pp. 102-112.
- [101] V. Eude, "Recognition of military activities with fuzzy temporal constraints," presented at IEEE International Conference On Intelligent Engineering Systems, Vienna, Austria, 1998, pp. 251-256.
- [102] V. Eude, B. Bouchon, and E. Collain, "Reconnaissance d'activités à l'aide de graphes temporels flous," presented at Rencontres francophones sur la logique floue et ses applications, Lyon, France, 1997.
- [103] V. Eude, B. Bouchon, and E. Collain, "Choix d'opérateurs d'agrégation pour l'évaluation de structures hiérarchisée," presented at 7th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-based Systems, Paris, 1998.
- [104] C. Faron, I. Akoulchina, and J.-G. Ganascia, "Integrating knowledge in hypermedias : the system SATELLIT," presented at CESA'96 IMACS Multiconference, Lille, 1996, pp. 94-98.
- [105] C. Faron and J.-G. Ganascia, "Acquisition and maintenance of taxonomies embedding exceptions when viewed in a definitional approach in conceptual graphs formalism," presented at International symposium on knowledge representation, use and storage, Vancouver, 1997.
- [106] C. Faron and J.-G. Ganascia, "Representation of Defaults and Exceptions in Conceptual Graphs formalism," presented at International Conference on Conceptual Structures, 1997.
- [107] P. Faudemay, L. Cheng, C. Montacié, M.-J. Caraty, C. Maloigne, X. Tu, M. Ardebilian, and J.-L. Le Floch, "Multi-Channel Video Segmentation," presented at International Conference on Multimedia Storage and Archiving System, SPIE Symp., Boston, 1996, pp. 252-264.
- [108] P. Faudemay, C. Montacié, and M.-J. Caraty, "Video Indexing Based on Image and Sound," presented at International Conference on Multimedia Storage and Archiving System, Dallas, USA, 1997, pp. 57-69.
- [109] A. Fredon, "Les émotions : Quels intérêts pour l'homme ?," presented at Colloque Intelligence Artificielle de Berder, Berder, 1998.
- [110] L. Gacôgne, "Optimisation multicritère de contrôleurs flous par une stratégie d'évolution approchant la zone de Pareto," presented at Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications, Nancy, 1996.
- [111] L. Gacôgne, "Multiple Objective Optimization of Fuzzy Rules for Obstacles Avoiding by an Evolutionary Algorithm with Adaptative Operators," presented at Congrès Mendel 99, Brno, République Tchèque, 1999, pp. 236-242.
- [112] J.-G. Ganascia, "L'ergonome en pays de cognition : touriste, immigré clandestin et/ou citoyen ordinaire ?," presented at journées Ergonomies Recherche, 1999.
- [113] S. Garcia-Salicetti, B. Dorizzi, P. Gallinari, and Z. Wimmer, "Adaptive discrimination in an HMM-based neural predictive system for on-line word recognition," presented at ICPR-96, 1996.
- [114] S. Garcia-Salicetti, B. Dorizzi, P. Gallinari, and Z. Wimmer, "Discriminative training of a neural predictive system for on line word recognition," presented at CESA-96 IMACS multiconference, Lille, 1996.
- [115] S. Garcia-Salicetti, B. Dorizzi, P. Gallinari, Z. Wimmer, and S. Gentic, "From Characters to Words : Dynamical Segmentation and Predictive Neural Networks," presented at International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Atlanta., 1996.
- [116] S. Garcia-Salicetti, B. Dorizzi, P. Gallinari, Z. Wimmer, and S. Gentic, "Segmentation dynamique et réseaux de neurones prédictifs pour la reconnaissance de mots en ligne," presented at Conférence Nationale sur l'Ecrit et le Document, 1996.
- [117] O. Gérard, F. d'Alché-Buc, S. Makram-Ebeid, P. Gallinari, and T. Artières, "Automatic contour extraction in images using a 2-D hidden Markov model," presented at ICANN'99, 1999.
- [118] O. Gérard, F. d'Alché-Buc, S. Makram-Ebeid, P. Gallinari, and T. Artières, "Modèle markovien et programmation dynamique pour l'extraction de contours : application à des images médicales," presented at GRETSI'99, 1999.
- [119] O. Gérard, J.-N. Patillon, and F. d'Alché-Buc, "Neural Network Adaptive Modeling of Battery Discharge Behavior," presented at ICANN 97, Lausanne, 1997.

- [120] R. Glowinski, B. Mantel, J. Periaux, and M. Sefrioui, "Algorithmes Génétiques : une nouvelle technologie de calcul pour la résolution de problèmes d'optimisation complexes en Aéronautique," presented at INFAUTOM'96, Toulouse, 1996.
- [121] R. Glowinski, B. Mantel, J. Periaux, and M. Sefrioui, "Optimal backscattering of an active reflector by means of genetic algorithms," presented at Second ECCOMAS Conference on Numerical Methods in Engineering, Paris, 1996.
- [122] R. Glowinski, B. Mantel, J. Periaux, and M. Sefrioui, "Optimal Backscattering of a Coated Active Reflector by means of Genetic Algorithms and Domain Decomposition Methods," presented at Tenth International Conference on Domain Decomposition, Boulder, 1997.
- [123] C. Goutte, "On the use of a pruning prior for neural networks," presented at Neural Networks for Signal Processing VI, IEEE Workshop, Kyoto, 1996.
- [124] V. Grimaldi and P. Gallinari, "Smart Software sensors for electronic nose applications," presented at ISOEN 99, 1999.
- [125] S. Grolimund, "Accélération des mémoires de cas du type plus proches voisins," presented at Journées françaises d'apprentissage, 1996.
- [126] S. Grolimund and J.-G. Ganascia, "Speeding-up nearest neighbour memories: the template tree case memory organisation," presented at 13th international conference of machine learning, ICML, 1996.
- [127] C. Gros and H. Assadi, "Intégration de connaissances dans un système de consultation de documentation technique," presented at Premières journées du Chapitre Français de l'ISKO, Lille, 1997.
- [128] Y. Guermeur, F. d'Alché Buc, and P. Gallinari, "Combinaison linéaire optimale de classifieurs," presented at 29ème journées de statistiques, Carcassonne, France, 1997.
- [129] Y. Guermeur, F. d'Alché-Buc, and P. Gallinari, "Optimal linear regression on classifier outputs," presented at International Conference of Artificial Neural Networks, Lausanne, Suisse, 1997.
- [130] Y. Guermeur and P. Gallinari, "Combining Statistical Models for Protein Secondary Structure Prediction," presented at ICANN 96., Bochum, Germany, 1996.
- [131] Y. Guermeur, H. Paugam-Moisy, and P. Gallinari, "Multivariate Linear Regression on Classifier Outputs: a Capacity Study," presented at 8th International Conference of Artificial Neural Networks, Skude, 1998.
- [132] H. Hadj-Mabrouk, G. Chopard-Guillaumot, and M. Darricau, "Tools for providing aide for modelling, storing and assessing safety analyses in the area of terrestrial guided transport," presented at 29è symposium international sur les technologies automobiles et l'automatique, 1996.
- [133] J.-D. Kant, "Connectionist models for rule formation and decision making in context," presented at 16th European Conference on Operations Research, Bruxelles, 1998.
- [134] J.-D. Kant, "Modeling human cognition with artificial systems : some methodological considerations," presented at Human Centered Processes, Brest, France, 1999.
- [135] J.-D. Kant and D. S. Levine, "RALF : A simplified neural network model of rule formation in the prefrontal cortex," presented at 3rd international conference on computational intelligence and neuroscience, Research Triangle Park, USA, 1998, pp. 8-14.
- [136] O. Kosheleva, V. Kreinovich, H. T. Nguyen, and B. Bouchon, "How to describe partially ordered preferences, mathematical foundations," presented at Vietnam-Japan Bilateral Symposium on Fuzzy Systems and Applications, Halong Bay (Vietnam), 1998, pp. 269-278.
- [137] A. Laurent, B. Bouchon, A. Doucet, S. Gancarski, and C. Marsala, "Fuzzy Data Mining from Multidimensional Databases," presented at International Symposium on Computational Intelligence, (ISCI'2000), Kosice, Slovakia, 2000.
- [138] J.-L. Le Floch, C. Montacié, and M.-J. Caraty, "Coopération et compétition de modèles en reconnaissance du locuteur," presented at 21èmes Journées d'Etudes de la Parole, Avignon, 1996, pp. 395-398.
- [139] J.-L. Le Floch, C. Montacié, and M.-J. Caraty, "GMM and ARVM Cooperation and Competition for Text-Independent Speaker Recognition on Phone Speech," presented at IEEE-International Conference on Spoken Language Processing, Philadelphie, 1996, pp. 2411-2414.
- [140] B. Le Roux and J. Thomas, "Essai d'intégration dans un processus de raffinement des MRP des engagements ontologiques sur le domaine," presented at JAVA'96, Sète, 1996.
- [141] C. Ledoux, "Application of neural networks to long term prediction of queue length at an urban traffic junction," presented at International Conference on Engineering Applications of Neural Networks, EANN'96, London, 1996.
- [142] C. Ledoux, "An urban traffic control system integrating neural networks," presented at Eighth International Conference on Road Traffic and Monitoring Control, London, 1996.
- [143] F. Lefèvre, C. Montacié, and M.-J. Caraty, "Influence of the Probability Estimator in a HMM-based System," presented at Australian Conference on Speech Science and Technology, Sydney, 1998, pp. 67-72.
- [144] F. Lefèvre, C. Montacié, and M.-J. Caraty, "K-Nearest Neighbours Estimator in a HMM-Based System," presented at NATO ASI, Jersey, 1998.
- [145] F. Lefèvre, C. Montacié, and M.-J. Caraty, "Application of the MLE algorithm to the K-NN pdf estimation," presented at European Conference of Speech Communication and Technology, Budapest, 1999, pp. 2733-2736.
- [146] P. Leray and P. Gallinari, "Data Fusion for Diagnosis in a Telecommunication Network," presented at 8th International Conference of Artificial Neural Networks, Skude, 1998.

- [147] P. Leray, P. Gallinari, and E. Didelet, "Diagnosis Tools for Telecommunication Network Traffic Management," presented at International Conference on Artificial Neural Networks, Bochum, Germany, 1996.
- [148] P. Leray, P. Gallinari, and E. Didelet, "A Neural Network Modular Architecture For Network Traffic Management," presented at Multiconference on Computational Engineering in Systems Applications, Lille, France, 1996.
- [149] P. Leray, P. Gallinari, and E. Didelet, "Local diagnosis for real-time network traffic management," presented at IWANNT'97, Melbourne, Australie, 1997.
- [150] P. Leray, P. Gallinari, and E. Didelet, "Neural Networks for Alarm Generation in Telephone Management," presented at Eighth Workshop on Principles of Diagnostic, Mont Saint-Michel, France, 1997.
- [151] P. Leray, H. Zaragoza, and F. d'Alché-Buc, "Pertinence des mesures de confiance en classification," presented at RFIA, Paris, 2000.
- [152] H. Lesourd, "Le système Hammourabi : un agent semi-autonome opérant dans l'environnement système UNIX," presented at Congrès RJCIA'98, Toulouse, 1998, pp. 161-170.
- [153] H. Lesourd, "The implementation of the Hammurabi system : indexing and interprocess communication," presented at ICLP Workshop on Parallelism and Implementation Technology for (Constraint) Logic Programming, New Mexico State University, Las Cruces, 1999, pp. 40-60.
- [154] D. S. Levine and J.-D. Kant, "A neural network model of prefrontal cortex involvement in rule learning," presented at 28th annual meeting of the society for neuroscience, Los Angeles, USA, 1998.
- [155] A. Lifchitz and F. Maire, "A Fast Lexically Constrained Viterbi Algorithm for On-line Handwriting Recognition," presented at Seventh International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition (IWFHR-7), Amsterdam, Hollande, 2000.
- [156] C. Marsala, "Application of Fuzzy Rule Induction to Data Mining," presented at International Conference on Flexible Query Answering Systems, Roskilde, Denmark, 1998.
- [157] C. Marsala, "Construction d'arbres de décision flous : le système Salammbô," presented at LFA'98, Rennes, France, 1998, pp. 171-176.
- [158] C. Marsala, B. Bouchon-Meunier, "Construction Methods of Fuzzy Decision Trees," presented at JCIS'98, Durham (North Carolina), 1998, pp. 17-20.
- [159] C. Marsala, "Stability of fuzzy decision trees when classifying evolving observations," presented at Third International FLINS Workshop on Fuzzy Logic and Intelligent Technologies for Nuclear Science and Industry, Anvers, Belgique, 1998.
- [160] C. Marsala and B. Bouchon, "Fuzzy Learning from Examples," presented at International Panel Conference on Soft and Intelligent Computing, Budapest, 1996.
- [161] C. Marsala and B. Bouchon, "Forests of Fuzzy Decision Trees," presented at IFSA'97 World Congress, Prague, 1997.
- [162] C. Marsala and B. Bouchon, "An Adaptable System to Construct Fuzzy Decision Trees," presented at North American Fuzzy Information Processing Society, New York, USA, 1999, pp. 223-227.
- [163] C. Marsala, B. Bouchon, and A. Ramer, "Hierarchical Model for Discrimination Measures," presented at IFSA'99 World Congress, Taipei, Taiwan, 1999, pp. 339-343.
- [164] C. Marsala and N. Martini-Bigolin, "Spatial Data Mining with Fuzzy Decision Trees," presented at International Conference on Data Mining, Rio de Janeiro, Brésil, 1998, pp. 235-248.
- [165] C. Marsala, M. Ramdani, M. Tollabi, and D. Zakarya, "Recognition of Odors: a Fuzzy Decision Tree Approach," presented at Seventh International Conference IPMU, Paris, 1998, pp. 532-539.
- [166] C. Marsala and M. Rifqi, "Inductive views of generalization," presented at International Conference EUFIT'97, Aachen, Allemagne, 1997, pp. 939-941.
- [167] N. Martini-Bigolin and C. Marsala, "Fuzzy Spatial OQL for Fuzzy Knowledge Discovery in Databases, Principles of Data Mining and Knowledge Discovery," presented at 2nd European Symposium PKDD'98, Nantes, France, 1998, pp. 246-254.
- [168] M. Masson, "Diagnosis and Reasoning Reifying," presented at Expert Systems Applications and Artificial Intelligence, EXPERSYS 96, 1996.
- [169] M. Masson, "Réifier le raisonnement pour améliorer les explications dans les Systèmes à Base de Connaissances : une application au diagnostic médical," presented at RJC-IA 96, Nantes, 1996.
- [170] M. Masson, "Réifier le raisonnement: un moyen pour obtenir des explications dans les Systèmes à Base de Connaissances," presented at IIIe Journées Explication, Sophia Antipolis, 1996.
- [171] A. Mc Quatt, P.-J. D. Andrews, D. Sleeman, V. Corruble, and P.-A. Jones, "The Analysis of Head Injury Data using Decision Tree Techniques," presented at Congrès Artificial Intelligence, Medicine, and Decision Making, Danemark, 1999.
- [172] N. Mellouli and B. Bouchon, "Fuzzy Approaches to Abductive Inference," presented at Conference on Non-Monotonic reasoning, Breckenridge, (Colorado), 2000.
- [173] C. Meyer, I. Akoulchina, and J.-G. Ganascia, "Two Approaches of Human Behavior Anticipation," presented at Proceedings Ninth International Conference on Tools with Artificial Intelligence, Newport Beach, California, USA, 1997.
- [174] C. Meyer and J.-G. Ganascia, "Utilization of imitation and anticipation mechanisms to bootstrap an evolutive distributed artificial intelligence system," presented at ICMAS'96, 1996.

- [175] C. Meyer, J.-G. Ganascia, and J.-D. Zucker, "Learning Strategies in Games by Anticipation," presented at International Joint Conference on Artificial Intelligence, Nagoya, Japan, 1997, pp. 698-703.
- [176] C. Meyer and J.-D. Zucker, "Mind-Reading Machines " Modélisation des adversaires et anticipation dans les jeux à information complète et imparfaite," presented at Journées Française de l'apprentissage, Palaiseau, 1999.
- [177] M. Mokhtari and H. Akdag, "An Adaptive Technique for Pattern Recognition by the Random Neural Network," presented at European Symposium on Artificial Neural Networks (ESANN 96), Bruges, 1996.
- [178] R. Moneret, "Strategic Search : A new Paradigm for Complex Game Playing. Application to the Game of Go," presented at AAAI Spring Symposium, Palo Alto, 1999, pp. 95-100.
- [179] R. Moneret, "Gestion des Dépendances entre Sous-Jeux pour l'Application de la Théorie Combinatoire à la Programmation du Jeu de Go," presented at RFIA, 2000.
- [180] C. Montacié and M.-J. Caraty, "Sound Channel Video Indexing," presented at European Conference of Speech Communication and Technology, Rhodes, 1997, pp. 2359-2362.
- [181] C. Montacié and M.-J. Caraty, "A Silence/Noise/Music/Speech Splitting Algorithm," presented at International Conference on Spoken Language Processing, Sydney, 1998, pp. 1579-1582.
- [182] C. Montacié, M.-J. Caraty, and C. Barras, "Mixture Splitting Technic and Temporal Control in a HMM-Based Recognition System," presented at IEEE-International Conference on Spoken Language Processing, Philadelphia, 1996, pp. 977-980.
- [183] C. Montacié, M.-J. Caraty, and F. Lefèvre, "KNN versus Gaussian in HMM-based Recognition System," presented at EuroSpeech, Rhodes, 1997, pp. 529-532.
- [184] C. Montacié, M.-J. Caraty, and F. Lefèvre, "Lexique dynamique dans un système de reconnaissance de la parole," presented at Congrès français d'acoustique, Marseille, France, 1997.
- [185] I. Moulinier, "A Framework for Comparing Text Categorization Approaches," presented at AAAI Spring Symposium on Machine Learning and Information Access, Stanford University, 1996.
- [186] I. Moulinier, G. Raskinis, and J.-G. Ganascia, "Text Categorization: a Symbolic Approach," presented at SDAIR96, Las Vegas, 1996.
- [187] S. Mustière, "GALBE: Adaptive Generalisation. The need for an Adaptive Process for Automated Generalisation, an Example on Roads," presented at Geographic Information Systems PlaNet, Lisbon, 1998.
- [188] S. Mustière, J.-D. Zucker , and L. Saitta, "Abstraction et Changement de Langage pour Automatiser la Généralisation Cartographique," presented at RFIA'2000, Paris, 2000, pp. 411-418.
- [189] S. Mustière, J.-D. Zucker , and L. Saitta, "An Abstraction-Based Machine Learning approach to Cartographic Generalization," presented at Spatial Data Handling 2000 (SDH), Pékin, CHINA, 2000.
- [190] S. Mustière, J.-D. Zucker, and L. Saitta, "Cartographic Generalization as a Combination of Representing and Abstracting Knowledge," presented at ACM/GIS'99, Texas, USA, 1999.
- [191] J.-M. Nigro, "Des métaconnaissances pour commenter les actions de l'utilisateur," presented at CARI'96, Libreville, 1996.
- [192] J.-M. Nigro, "La construction d'un commentaire stratégique," presented at Journées explication, 1996.
- [193] J.-M. Nigro and T. Cazenave, "Constraint-based Explanations in Games," presented at IPMU, Grenade, 1996.
- [194] M.-N. Omri, I. Urdapilleta, J. Barthelemy, B. Bouchon, and C. Tijus, "Semantic Scales and Fuzzy Processing for Sensorial Evaluation studies," presented at International Conference IPMU'96, Granada, Espagne, 1996.
- [195] G. Pecego, "SYGEP, a Problem Generator for Various Domains," presented at EXPERSYS-96, 1996, pp. 361-366.
- [196] G. Pecego, "Un générateur d'énoncés de problèmes de géométrie," presented at Xème Congrès RFIA, Rennes, 1996, pp. 377-385.
- [197] G. Pecego, "Auto-évaluation des énoncés générés par SYGEP, un système de génération d'énoncés de problèmes," presented at 5èmes Journées EIAO, Cachan, France, 1997, pp. 159-170.
- [198] G. Pecego, "Self-Evaluation of Problems Created by SYGEP, a System that Generates Problems," presented at AI-ED'97 World Conference on Artificial Intelligence in Education, 1997.
- [199] J. Periaux, B. Mantel, M. Sefrioui, B. Stoufflet, J. A. Desideri, S. Lanteri, and N. Marco, "Evolutionary computational methods for complex design in aerodynamics," presented at 36th American Institute of Aeronautics and Astronautics Conference, Reno, 1998.
- [200] J. Periaux, M. Sefrioui, and B. Mantel, "GA Multiple Objective Optimization Strategies for Electromagnetic Backscattering," presented at EuroGen97, Trieste, 1997.
- [201] P. Perny and J.-D. Zucker, "Collaborative Filtering Methods based on Fuzzy Preference Relations," presented at EUROFUSE-SIC'99, Budapest, 1999, pp. 279-285.
- [202] J. Pitrat, "Méta-expliquer pour apprendre une stratégie," presented at Journées Explication, 1996.
- [203] J. Pitrat, "L'explosion méta-combinatoire," presented at RFIA'98, 1998.
- [204] J. Pitrat, "Reconnaitre les émotions des êtres humains," presented at Colloque Intelligence Artificielle de Berder, Berder, 1998.
- [205] J. Pitrat, "Quand l'IA aide l'informaticien," presented at Journées franco-mexicaines d'informatique et d'automatique, Xalapa, 1999.
- [206] B. Piwowarski, "Apprentissage et Recherche Documentaire : une Approche Probabiliste Différentielle," presented at Colloque Francophone sur l'Apprentissage Automatique (CAP'2000), Saint-Etienne, France, 2000.

- [207] B. Piwowarski, "Learning in Information Retrieval: a Probabilistic Differential Approach," presented at Proceedings of the BCS-IRSG, 22nd Annual Colloquium on Information Retrieval Research, Sidney Sussex College, Cambridge, England, 2000.
- [208] A. L. Ralescu and B. Bouchon, "Rules with Fuzzy Quantifiers and Applications," presented at 3ème Congrès Européen de Systématique, Rome, 1996, pp. 495-500.
- [209] A. Ramer, B. Bouchon, and C. Marsala, "Analytical Structure of Hierarchical Discrimination," presented at FUZZ-IEEE'99 Conference, Séoul, Corée, 1999, pp. 1050-1053.
- [210] S. Raudys and T. Cibas, "Regularization by Early Stopping in Single Layer Perceptron training," presented at ICANN-96, Bochum, 1996.
- [211] P. Ricaud, "Abstraction Mechanisms to Modelize Human Strategy in the Game of Go," presented at EXPERSYS-96, 1996.
- [212] P. Ricaud, "Une approche pragmatique de l'abstraction, application à la modélisation de la stratégie élémentaire du jeu de Go," presented at Xème Congrès RFIA, 1996.
- [213] P. Ricaud, "A Model of Strategy for the Game of Go Using Abstraction Mechanisms," presented at IJCAI'97, Japon, 1997.
- [214] A. Rick, B. Bouchon-Meunier, and S. Muller, "Fonctions d'appartenance adaptatives pour le traitement d'images," presented at Rencontres LFA'99., 1999, pp. 199-206.
- [215] A. Rick, S. Muller, S. Bothorel, and M. Grimaud, "A Quantitative Model of Microcalcification Detection in Digital Mammography," presented at Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, Cambridge, 1999.
- [216] M. Rifqi, "Constructing Prototypes from large Databases," presented at International Conference IPMU'96, Granada, Espagne, 1996.
- [217] M. Rifqi, "Mesures de comparaison, prototypes, et raisonnement," presented at 5ème Séminaire Français sur le Raisonnement à partir de Cas, Lyon, 1996.
- [218] M. Rifqi, V. Berger, and B. Bouchon, "The choice of a measure of comparison in granular learning methods," presented at North American Fuzzy Information Processing Society, New York, USA, 1999, pp. 223-227.
- [219] M. Rifqi, S. Bothorel, B. Bouchon, and S. Muller, "Similarity and prototype based approach for classification of microcalcifications," presented at 7th IFSA World Congress, Prague, 1997, pp. 123-128.
- [220] P.-Y. Rolland, "Discovery of Patterns in Musical Sequences," presented at Symposium on Music, Dynamical Systems and Pattern Matching, Ghent, Belgium, 1998, pp. 23-31.
- [221] P.-Y. Rolland, "FLEXPat : a Novel Algorithm for Musical Pattern Discovery," presented at 12th Colloquium on Musical Informatics, Gorizia, Italy, 1998, pp. 125-128.
- [222] P.-Y. Rolland and J.-G. Ganascia, "Automated Identification of Prominent Motives Jazz Solos Corpuses," presented at 4th International Conference on Music Perception and Cognition (ICMPC '96), Montreal, 1996, pp. 491-495.
- [223] P.-Y. Rolland and J.-G. Ganascia, "Automated Motive-Oriented Analysis of Musical Corpuses: a Jazz Case Study," presented at International Computer Music Conference (ICMC '96), Hong Kong, 1996, pp. 240-243.
- [224] P. Y. Rolland and J.-G. Ganascia, "Flexible Mining of Patterns in Sequential Data," presented at International Conference on Artificial Intelligence, Durban, South Africa, 1999.
- [225] P. Y. Rolland, G. Raskinis, and J.-G. Ganascia, "Musical Content-Based Retrieval : an Overview of the Melodiscov Approach and System," presented at Seventh ACM International Multimedia Conference, Orlando, 1999.
- [226] L. Saitta and J.-D. Zucker, "Semantic Abstraction for Concept Representation and Learning," presented at Symposium on Abstraction, Reformulation and Approximation, Asilomar Conference Center, Pacific Grove, California, 1998.
- [227] M. Sefrioui, J. Periaux, and B. and Mantel, "Rcs multi-objective optimization of scattered waves by active control elements using ga," presented at Fourth International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, Singapore, 1996.
- [228] H. Seridi and H. Akdag, "Le traitement de l'incertain par une Approche Qualitative," presented at Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems, Paris, France, 1998.
- [229] H. Seridi, F. Bannay-Dupin de St Cyr, and H. Akdag, "Qualitative Operators for Dealing with Uncertainty," presented at 5th International Workshop Fuzzy-Neuro Systems'98, Munich, Allemagne, 1998.
- [230] G. Siolas and F. d'Alché-Buc, "Support Vector Machines based on a semantic kernel for text categorization," presented at IEEE-IJCNN'2000, Come, Italie, 2000.
- [231] G. Siolas and F. d'Alché-Buc, "Une distance sémantique pour la catégorisation de textes," presented at CAP'2000, 2000.
- [232] A. Stevenin-Barbier and P. Gallinari, "Semantic anticipation for understanding using neural networks," presented at PACES/SPICIS, Singapore, 1997.
- [233] I. Tchoumatchenko and J.-G. Ganascia, "Bayesian knowledge incorporation," presented at AI and Mathematics, Florida, 1996.
- [234] F. Thiré and V. Corruble, "Une approche de la construction d'heuristiques pour l'exploration d'un algorithme inductif," presented at Rencontres des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle, 1996.
- [235] J. Thomas and B. Le Roux, "Cycle de raffinements du biais d'apprentissage : un exemple basé sur les modèles," presented at JAVA'96, Sète, France, 1996.

- [236] A. Toudeft and P. Gallinari, "Control of a Non-Minimum Phase System with Varying Time-Delay," presented at International Symposium on Intelligent Control, Michigan, USA, 1996.
- [237] A. Toudeft and P. Gallinari, "Neural Networks for Non-minimum Phase Systems with Varying Time-Delay: Modeling and Control," presented at International Conference on Engineering Applications of Neural Networks, Londres, Angleterre, 1996.
- [238] A. Toudeft and P. Gallinari, "Neuro-Adaptive Control of a Non-Minimum Phase System with Varying Time-Delay," presented at International Conference on Neural Information Processing, Hong-Kong, 1996.
- [239] C. Turle, "Automated Generation of Interesting Conjectures," presented at EXPERSYS-96, 1996.
- [240] J. Wang and J.-D. Zucker, "Solving Multiple-Instance Problem: a Lazy Learning Approach," presented at Conference on Machine Learning, Stanford, 2000.
- [241] Z. Wimmer, B. Dorizzi, and P. Gallinari, "Dictionary preselection in a neuro markovian word recognition system," presented at ICDAR'99, 1999.
- [242] Z. Wimmer, S. Garcia-Salicetti, B. Dorizzi, and P. Gallinari, "Handwriting word recognition by a neuro-markovian approach : cooperation "on-line - off line"," presented at Signal Processing and Multimedia Technology'97, Budapest, 1997.
- [243] Z. Wimmer, S. Garcia-Salicetti, B. Dorizzi, and P. Gallinari, "A HMM-based neural predictive system for off-line word recognition," presented at IEEE-SCS'97, Romania, 1997.
- [244] Z. Wimmer, S. Garcia-Salicetti, B. Dorizzi, and P. Gallinari, "Off line cursive word recognition with a hybrid neural-HMM system," presented at BSDIA'97, Brasil, 1997.
- [245] R. R. Yager, A. Kelman, and B. Bouchon, "Fuzzy Expert Systems and Decision-making," presented at International Fuzzy Systems and Intelligent Control Conference, Maui, Hawaii, 1996.
- [246] H. Zaragoza and F. d'Alché-Buc, "Confidence Measures for Neural Network Classifiers," presented at 7th Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems, Paris, 1998.
- [247] H. Zaragoza and P. Gallinari, "Multiple Multivariate Regression and Global Optimization in a Large Scale Thermodynamical Application," presented at 7th International Conference of Artificial Neural Networks, Lausanne, 1997, pp. 861-866.
- [248] H. Zaragoza and P. Gallinari, "Coupled Hierarchical IR and Stochastic Models for Surface Information Extraction," presented at The 20th Annual Colloquium on IR Research, British Computer Society's Information Retrieval Specialist Group, Autrans, 1998.
- [249] H. Zaragoza and P. Gallinari, "A Hierarchical Approach for the Combination of Information Retrieval and Extraction," presented at ECML'98, 1998.
- [250] H. Zaragoza and P. Gallinari, "Modèle Hiérarchique de Recherche et d'Extraction de l'Information Textuelle de Surface," presented at Journées Francophones d'Apprentissage, Arras, France, 1998.
- [251] L. Zerrouki, "Un système hiérarchique flou pour le traitement de l'incertitude en temps réel," presented at 3ème Congrès Européen de Systémique, Rome, 1996.
- [252] L. Zerrouki and B. Bouchon, "Modelling by Fuzzy Interpolation," presented at Congrès International EUFIT'97, Aachen, Allemagne, 1997.
- [253] L. Zerrouki, R. Fondacci, B. Bouchon, and S. Sellam, "Artificial intelligence techniques for coordination in air traffic flow management," presented at IFAC/IFIP/IFORS Symposium on Transportation Systems, Chania, Grèce, 1997.
- [254] J.-D. Zucker, "Abstraction for Concept Representation," presented at The Fourth International Workshop on Multistrategy Learning (MSL'98), Desenzano del Garda (Brescia, Italy), 1998.
- [255] J.-D. Zucker and J.-G. Ganascia, "Changes of Representation for Efficient Learning in Structural Domains," presented at 13th international conference of machine learning, ICML, 1996.
- [256] J.-D. Zucker and J.-G. Ganascia, "Learning Structurally Indeterminate Clauses," presented at The Eighth International Conference on Inductive Logic Programming, Madison, Wisconsin,, 1998.

Autres publications

- (1) B. Bouzy : "Incremental Updating of Objects in INDIGO", Rapport LAFORIA 1996/28, LAFORIA, Paris 1996.
- (2) T. Cazenave : "Système d'Apprentissage par Auto-Observation. Application au Jeu de Go", Rapport LIP6 1997/034, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 15/12/1997 1997.
- (3) M. Detyniecki, R. Yager, B. Bouchon-Meunier : "A context-dependent method for ordering fuzzy numbers using probabilities", Technical Report MII-2012, Iona College, New York 1998.
- (4) A. Drogoul, J.-D. Zucker : "Methodological Issues for Designing Multi-Agent Systems with Machine Learning Techniques: Capitalizing Experiences from the RoboCup Challenge", Rapport LIP6 1998/041, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 26/10/1998 1998.
- (5) L. Gacogne : "Les algorithmes evolutionnaires : vers des strategies avec operateurs adaptatifs", Rapport LIP6 1999/021, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 03/11/1999 1999.
- (6) L. Gacogne : "An adaptative evolutionary algorithm for ant colony", Rapport LIP6 2000/016, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris 2000.

- (7) S. Kornman : “Colloque Intelligence Artificielle, 16-18 septembre 1997, Ile de Berder”, Rapport LIP6 1998/007, Laboratoire d’Informatique de Paris 6, Paris, 16/03/1998 1998.
- (8) O. Kosheleva, V. Kreinovich : “Error Estimation for Indirect Measurements : Interval Computation Problem is (Slightly) Harder than a Similar Probabilistic Computational Problem”, Rapport LAFORIA 1996/24, LAFORIA, Paris, 09/1996 1996.
- (9) V. Kreinovich : “S. Maslov’s iterative method: 15 years later. Freedom of Choice, Neural Networks, Numerical Optimization, Uncertainty Reasoning, and Chemical Computing”, Rapport LAFORIA 1996/23, LAFORIA, Paris, 09/1996 1996.
- (10) P. Leray, P. Gallinari : “Feature Selection with Neural Networks”, Rapport LIP6 1998/012, Laboratoire d’Informatique de Paris 6, Paris, 16/03/1998 1998.
- (11) H. Lesourd : “Implémentation du système Hammourabi - le moteur”, Rapport LIP6 1999/023, Laboratoire d’Informatique de Paris 6, Paris, 03/11/1999 1999.
- (12) C. Meyer, J.-G. Ganascia : “S.A.G.A.C.E. : Solution Algorithmique Génétique pour l’Anticipation de Comportement Evolutifs”, Rapport LAFORIA 1997/32, LAFORIA, Paris, 12/1996 1996.
- (13) C. Meyer, J.-G. Ganascia, J.-D. Zucker : “Modélisation de stratégies humaines par Apprentissage et Anticipation génétiques”, , Roscoff, France 1997.
- (14) R. Moneret : “Les émotions mécaniques”, , Berder 1998.
- (15) T. Pannérec : “Colloque Intelligence Artificielle de Berder, 22-24 septembre 1999”, Rapport LIP6 2000/002, Laboratoire d’Informatique de Paris 6, Paris, 17/02/2000 2000.
- (16) J. Pitrat : “Méta-expliquer pour apprendre une stratégie”, Rapport LAFORIA 1996/21, LAFORIA, Paris, 07/1996 1996.
- (17) J. Pitrat : “Ce titre contient quatre ‘a’, un ‘b’, cinq ‘c’, cinq ‘d’, dix-neuf ‘e’, deux ‘f’...”, Rapport LAFORIA 1996/26, LAFORIA, Paris, 09/1996 1996.
- (18) J. Pitrat : “Résolution de problèmes exprimés dans une langue naturelle”, , Poitiers, France, Novembre 1998.
- (19) J. Pitrat : “Une expérience de monitoring”, Rapport LIP6 1999/014, Laboratoire d’Informatique de Paris 6, Paris, 26/07/1999 1999.
- (20) J. Pitrat, G. Tisseau, M. Masson, T. Cazenave, A. Fredon, V. Le Cerf, H. Lesourd, R. Moneret : “Colloque Intelligence Artificielle BERDER, 13-16 septembre 1998”, Rapport LIP6 1999/005, Laboratoire d’Informatique de Paris 6, Paris, 18/03/1999 1999.
- (21) C. Turlé : “Automated Generation of Interesting Conjectures”, Rapport LAFORIA 1996/22, LAFORIA, paris, 07/1996 1996.
- (22) J.-D. Zucker, Y. Chevalerey : “Comprendre et résoudre les problèmes d’apprentissage multi-instances et multi-parties”, , Arras, France 1998.
- (23) J.-D. Zucker, Y. Chevalerey : “Solving multiple-instance and multiple-part learning problems with decision trees and decision rules. Application to the mutagenesis problem”, Rapport LIP6 2000/018, Laboratoire d’Informatique de Paris 6, Paris 2000.

FORMATION PAR LA RECHERCHE APA

Habilitations

- (1) C. Montacié : “Indexation et interface Homme-Machine. Reconnaissance d’un signal vocal”, Habilitation à diriger des recherches, Université Paris 6, 14/01/1999.
- (2) M.-J. Caraty : “La reconnaissance vocale et son mentor : l’évaluation”, Habilitation à diriger des recherches, Université Paris 6, 01/02/1999.

Thèses

- (1) I. Akoulchina : “SAGE : un agent intelligent d’interface pour un hypermédia à base de connaissances taxinomiques fonctionnant dans l’environnement du Web”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 20/10/1998, encadrée par J.-G. Ganascia.
- (2) N. Aladenise : “Acquisition et modélisation de connaissances subjectives pour l’aide à la conduite de feux du char”, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 26/11/1999, encadrée par B. Bouchon.
- (3) H. Assadi : “Construction d’ontologies à partir de textes techniques - application aux systèmes documentaires”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 19/10/1998, encadrée par J. Mathieu et J.-G. Ganascia.
- (4) K. Attipoe : “Modélisation interactive de connaissances : documents et mémoire techniques”, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 26/11/1996, encadrée par G. Boy et J.-G. Ganascia.
- (5) A. Biem : “Extraction de paramètres discriminatifs. Application à la reconnaissance de la parole”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 28/11/1997, encadrée par P. Gallinari.
- (6) A. Borgi - Ben Bouzid : “Apprentissage supervisé par génération de règles : le système SUCRAGE”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 15/01/1999, encadrée par J. Mathieu et H. Akdag.
- (7) S. Bothorel : “Analyse d’image par arbre de décision flou. Application à la classification sémiologique des amas de microcalcifications”, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 13/12/1996, encadrée par B. Bouchon-Meunier.
- (8) I. Bournaud : “Regroupement conceptuel pour l’organisation de connaissances”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 04/10/1996, encadrée par J. Mathieu et J.-G. Ganascia.
- (9) C. Brouard : “Construction et Exploitation de Réseaux Sémantiques Flous pour l’Extraction d’Information Pertinente : Le système RELIEFS”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 07/01/2000, encadrée par B. Bouchon-Meunier.
- (10) T. Cazenave : “Système d’apprentissage par auto-observation. Application au jeu de GO”, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 13/12/1996, encadrée par J. Pitrat.
- (11) T. Chenaina : “Paramètre de la commande floue raisonnement et connaissance”, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 16/12/1999, encadrée par B. Bouchon.
- (12) T. Cibas : “Contrôle de la complexité dans les réseaux de neurones : régularisation et sélection de caractéristiques”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 18/12/1996, encadrée par P. Gallinari.
- (13) V. Corruble : “Une approche inductive de la découverte en médecine : les cas du scorbut et de la lèpre”, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 13/06/1996, encadrée par J.-G. Ganascia.
- (14) T. Czernichow : “Apport des réseaux récurrents à la prévision de séries temporelles, application à la prévision de consommation d’électricité”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 22/10/1996, encadrée par M. Dorizzi et P. Gallinari.
- (15) M. Darricau : “Contribution à la réutilisation de connaissances pour l’aide à l’élaboration et à l’évaluation des spécifications de logiciels. Application à la sécurité des systèmes de transports guidés”, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 04/02/1999, encadrée par H. Hadj-Mabrouk et J.-G. Ganascia.
- (16) J. Delechamp : “Un modèle flou de variations graduelles autour de prototypes”, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 31/05/1999, encadrée par B. Bouchon.
- (17) V. Eude : “Modélisation spatio-temporelle floue pour la reconnaissance d’activités militaires”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 17/12/1998, encadrée par B. Bouchon-Meunier.
- (18) C. Faron : “Connaissances taxinomiques: Représentation de taxinomies comportant des exceptions et construction d’hypermédiats à base de connaissances taxinomiques”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 20/10/1997, encadrée par J.-G. Ganascia.
- (19) S. Garcia : “Une approche neuronale prédictive pour la reconnaissance en-ligne de l’écriture cursive”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 17/12/1996, encadrée par P. Gallinari.
- (20) O. Gérard : “Modèles connexionnistes adaptatifs pour systèmes temps réel”, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 29/06/1999, encadrée par P. Gallinari.
- (21) C. Goutte : “Statistical learning and regularisation for regression”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 07/07/1997, encadrée par P. Gallinari.
- (22) V. Grimaldi : “Etude d’un modèle de traitement de l’information adapté à la reconnaissance d’empreintes olfactives issues d’un réseau de capteurs de gaz. Application à la détection de signaux caractéristiques de produits illicites”, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 29/01/1999, encadrée par P. Gallinari.

- (23) S. Grolimund : “Apprentissage de Connaissances de Contrôle pour l’Optimisation Combinatoire : Intégration du Raisonnement à Partir de Cas dans la Méthode Tabou”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 20/02/1997, encadrée par J.-G. Ganascia.
- (24) Y. Guermeur : “Combinaison de Classifieurs Statistiques, Application à la Prédiction de la Structure Secondaire des Protéines”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 10/12/1997, encadrée par P. Gallinari.
- (25) E. Jouseau : “Réseaux de neurones pour la fusion de données, classification et prédiction”, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 01/06/1999, encadrée par B. Dorizzi et P. Gallinari.
- (26) A. Kelman : “Modèles flous pour l’agrégation de données et l’aide à la décision”, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 03/12/1996, encadrée par B. Bouchon-Meunier.
- (27) V. Le Cerf : “Modélisation par apprentissage : réalisation d’un modèle adaptatif du fonctionnement d’un carrefour à feux”, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 08/12/1999, encadrée par J. Pitrat.
- (28) C. Ledoux : “Application des techniques connexionnistes à l’identification de systèmes dynamiques”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 07/03/1997, encadrée par P. Gallinari.
- (29) F. Lefèvre : “Estimation de probabilité non-paramétrique pour la reconnaissance markovienne de la parole”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 17/01/2000, encadrée par C. Montacé.
- (30) P. Leray : “APPRENTISSAGE ET DIAGNOSTIC DE SYSTEMES COMPLEXES : RÉSEAUX DE NEURONES ET RÉSEAUX BAYÉSIENS. Application à la gestion en temps réel du trafic téléphonique français”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 10/09/1998, encadrée par P. Gallinari.
- (31) C. Marsala : “Apprentissage inductif en présence de données imprécises :?Construction et utilisation d’arbres de décision flous”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 06/01/1998, encadrée par B. Bouchon-Meunier.
- (32) X. Ménage : “Système flou pour le contrôle de qualité”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 17/09/1996, encadrée par B. Bouchon-Meunier.
- (33) C. Meyer : “S.A.G.A.C.E. Solution Algorithmique Génétique pour l’Anticipation de Comportements Evolutifs Application aux jeux à information complète et imparfaite”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 29/06/1999, encadrée par J.-G. Ganascia.
- (34) I. Moulinier : “Une approche de la catégorisation de textes par l’apprentissage symbolique”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 29/11/1996, encadrée par J.-G. Ganascia.
- (35) H. Ouhaddi : “Suivi de la main par vision artificielle”, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 20/10/1999, encadrée par F. Préteux et P. Gallinari.
- (36) G. Pecego De Sousa : “SYGEP, Un Système de Génération d’Enoncés de Problèmes dans des domaines variés”, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 12/06/1998, encadrée par J. Pitrat.
- (37) G. Ramalho : “Construction d’un agent rationnel jouant du jazz”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 13/01/1997, encadrée par J.-G. Ganascia.
- (38) A. Rick : “Représentation de la variabilité dans le traitement d’images flou. Application à la mammographie numérique”, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 17/12/1999, encadrée par B. Bouchon.
- (39) M. Rifqi : “Mesures de comparaison, typicalité et classification d’objets flous : théorie et pratique”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 18/12/1996, encadrée par B. Bouchon-Meunier.
- (40) P.-Y. Rolland : “Découverte automatique de régularités dans les séquences et application à l’analyse musicale”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 20/07/1998, encadrée par J.-G. Ganascia.
- (41) M. Sefrioui : “Algorithmes évolutionnaires pour le calcul scientifique : application à l’électromagnétisme et à la mécanique des fluides”, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 29/04/1998, encadrée par J.-G. Ganascia.
- (42) J. Thomas : “Vers l’intégration de l’apprentissage symbolique et l’acquisition de connaissances basée sur les modèles : le système ENIGME”, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 03/12/1996, encadrée par J.-G. Ganascia.
- (43) A. Toudefit : “Méthodes Connexionnistes pour la Commande des Systèmes Non Linéaires : Application à la Régulation des Rivières”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 08/12/1998, encadrée par P. Gallinari.
- (44) M. Yvon : “Conception et réalisation d’une architecture permettant de créer des interfaces "intelligentes"", thèse de doctorat, Université Paris 6, 11/07/1996, encadrée par N. Cot et J.-G. Ganascia.
- (45) H. Zaragoza : “Méthodes symboliques-numériques pour l’analyse de systèmes complexes. Application à des problèmes de diagnostic”, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 08/07/1999, encadrée par P. Gallinari.
- (46) L. Zerrouki : “Méthodes d’apprentissage et CSP pour la résolution”, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 07/12/1999, encadrée par B. Bouchon.

ANIMATION DE LA RECHERCHE APA

Activités éditoriales

Conseils scientifiques de collection

Bouchon B.

- IEEE Press Book Series, Collection Emerging Technologies in Biomedical Engineering (comité éditorial)
- Handbook of Fuzzy Computation, Oxford University Press (comité éditorial), 1998.
- International Handbook on Fuzzy Sets and Possibility Theory, Kluwer Academic (comité consultatif), 1999.
- Electronic Transactions on Artificial Intelligence (Comité Editorial), créé par l'ECCAI depuis 1998

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) jusqu'en 1998.
- Bulletin pour les sous-ensembles flous et leurs applications (comité de rédaction)
- Revue d'intelligence artificielle, Hermès (comité de rédaction) jusqu'en 1998
- Fuzzy Sets and Systems, Elsevier (comité de rédaction) depuis 1998

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 jusqu'en 98)
- Traitement du signal (comité de lecture)

Montacié C.,

- Revue Speech Communication (comité de lecture)
- Revue 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
- Information, uncertainty and fusion, Kluwer Academic Pub., 1999 (co-éditeur avec R.R. Yager, L.A. Zadeh)
- Uncertainty in Intelligent and Information Systems, World Scientific, 2000 (co-éditeur avec R.R. Yager, L.A. Zadeh)

Gallinari P.

- Industrial Applications of Neural Networks, World Scientific, 1997, (co-éditeur avec Fogelman F.)

Bouchon B., Marsala C.

- Volume « Applications de la théorie des sous-ensembles flous, Collection I3, Hermès. (à paraître)

Marsala C., Rifqi M.

- Actes des Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications, (Cépaduès Éditions), 1995.

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)
- 7th International Conference IPMU, Paris-La Sorbonne, 1998 (co-présidente)
- 8th International Conference IPMU, Madrid, Espagne, 2000 (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 Copenhague, FQA'96, 1996
- 4th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing, Aachen, 1996 (EUFIT'96)
- 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, 1998
- 3rd IMACS Intern. Multiconf. on Circuits, Systems, Communications and Computers, Athènes, 1999.
- EUSFLAT-ESTYL Joint Conference, Palma de Mallorca, 1999.
- 6th Fuzzy Days in Dortmund, Dortmund, mai 1999.
- Uncertainty in AI, Stockholm, juillet 1999.
- Int. Symposium on Medical Informatics and Fuzzy Technology, Hanoi, 1999.
- 8th Int. Conference on Intelligent Systems, Denver, 1999.
- International Congress of Cybernetics and Systems, Uxbridge, 1999.
- Congrès Européen de Systémique, Valencia-Ibiza, 1999.
- 8th International Fuzzy Systems Association World Congress (IFSA), Taiwan, 1999
- Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications, Valenciennes, 1999
- European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing, (EUFIT'99) Aachen, 1999.
- International Congress on Fuzzy Theory and Technology, Atlantic City, 2000
- UAI-2000 Workshop on Knowledge-Data Fusion, Stanford, USA, 2000.
- 5th Int. Conference on Fuzzy Set Theory and its Applications, Liptovsky Mikulas (Slovaquie), 2000.
- International Symposium on Computational Intelligence, Kosice (Slovaquie), 2000.
- International IEEE Conference on Fuzzy Systems, FUZZ-IEEE, San Antonio, USA, 2000.
- Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications, La Rochelle, 2000.
- 3rd International Conference on Flexible Query Answering Systems, Varsovie, 2000
- ISCA International Conference on Intelligent Systems, Louisville, 2000.

Caraty M.-J.

- Journées d'étude sur la parole, Grenoble, 2000 (Comité scientifique)

Detyniecki M.

- Conférence FQAS'2000, Fourth International Conference on Flexible Query Answering System, October 25-28, 2000, Warsaw, Poland.

Gallinari P.

- ICANN 96 - (International Conference on Artificial Neural Networks) -comité scientifique.
- ANSEG 96 - 97- (Applications Neuronales en Sciences Economiques et de gestion) - comité scientifique.
- Ecole Modulad 1996 - Statistiques et réseaux de neurones - comité de programme.
- JFA 97 - 98 - (Journées Françaises de l'Apprentissage) - comité scientifique.
- RFIA 98 - (Reconnaissance des formes et Intelligence Artificielle) -comité scientifique.
- IPMU 98 - (International Conference on Information Processing an Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems) - comité scientifique.
- EANN '98 - (International Conference on Engineering Applications of Neural Networks)-comité scientifique

- CIFED' 98 - (Colloque International Francophone sur l'écrit et le Document) - comité scientifique
- PKDD'98 - (2nd European Symposium on Principles of Data Mining and Knowledge Discovery) - comité scientifique
- PKDD'99 - (3rd European Symposium on Principles of Data Mining and Knowledge Discovery) - comité scientifique.
- CAP 99 - Conférence d'apprentissage française, comité de pilotage.
- CAP 2000 - Conférence d'apprentissage française, comité de pilotage.
- IJCNN 2000 - (International Joint Conference on Neural Networks) - comité scientifique.
- PKDD 2000 - (4th European Symposium on Principles of Data Mining and Knowledge Discovery) - comité scientifique.
- RFIA 2000 - (Reconnaissance des formes et Intelligence Artificielle) - comité scientifique

Ganascia J.-G.

- ECML
- EKAW
- Journées Françaises d'Apprentissage, JFA
- JAC

Marsala C.

- Conférence FQAS'2000, Fourth International Conference on Flexible Query Answering System, October 25-28, 2000, Warsaw, Poland.

Montacié C.

- Journées d'étude sur la parole, Avignon, 1996 (Comité scientifique)
- Journées d'étude sur la parole, Martigny, 1998 (Comité scientifique)

Pitrat J.,

- ECAI 96, Budapest, 1996
- ISPS 97 Alger, 1997
- IPMU 98, Paris, 1998

Ramdani M.

- Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications, Valenciennes, 1999

Zucker J.-D.

- MSL'98, 1998
- CRW'98 (Collective Robotics Workshop), Paris, 1998
- JCIA'98, 1998
- Journées Francophone d'Apprentissage (JFA'98), Arras, 1998

Président de session

Bouchon B.

- Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications, Nancy, 1996.
- 7th International Fuzzy Systems Association World Congress, Prague, 1997
- Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications, Lyon, 1997.
- EUSFLAT-ESTYL Joint Conference, Palma de Mallorca, 1999.
- Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications, Valenciennes, 1999.

Marsala C.

- Conférence IPMU'98, Paris, 1998

Ramdani M.

- Conférence IPMU'98, Paris, 1998

- Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications, Valenciennes, 1999

Organisateur et président de session

Bouchon B.

- 11th International Conference on Computers and their Applications, San Francisco, 1996
- Congrès Européen de Systémique, Rome, 1996
- 5th International IEEE Conference on Fuzzy Systems, New Orleans, 1996
- 7th International Fuzzy Systems Association World Congress, Prague, 1997
- International IEEE Conference on Fuzzy Systems, FUZZ-IEEE, San Antonio, USA, 2000.

Ramdani M.

- Conférence IPMU'96, Grenade, 1996

Marsala C.

- IFSA'97 World Congress, Prague, 1997.
- Conférence EUFIT'97, Aachen, 1997.
- Conférence IPMU'2000, Madrid, 2000.

Rifqi M.

- Conférence EUFIT'97, Aachen, 1997.

Organisation de séminaires

Bouchon B., M. Rifqi

- Séminaire intelligence artificielle et processus de décision (Université Paris VI)

Bouchon B., P. Gallinari, J.-G. Ganascia, M. Rifqi

- Séminaire Apprentissage depuis 1998 (Université Paris VI)

Bouchon B.

- Groupe d'étude de la DRET sur la logique floue jusqu'en 1997

Pitrat J.

- Séminaire Intelligence Artificielle

Administration de la recherche

d'Alché-Buc F.

- Responsable du thème Approches constructives pour l'apprentissage au sein du groupe de travail Apprentissage AFCET-AFIA
- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (UPMC)

Akdag H.

- Membre de la commission de spécialistes, Université de Reims

Artières

- Membre de la commission de spécialistes 27e, Université de Cergy

Bouchon B.

- Co-présidente du Human Resource Committee du réseau d'excellence ERUDIT, ESPRIT III Basic research action jusqu'en 1997

- 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 de la commission de spécialistes, section informatique (UPMC)

Caraty M.-J.

- Animateur adjoint du groupe de réflexion sur la dictée vocale de l'AUPELF-UREF
- Membre du bureau du groupe francophone de la communication parlée de la société française d'acoustique

Gallinari P.

- Responsable français du réseau d'excellence européen NEuroNet, membre du bureau et responsable du comité scientifique de ce réseau (jusqu'en 98)
- Membre du bureau du GdR I3, responsable thème "extraction de données et apprentissage".
- Membre du bureau de l'AFIA
- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (UPMC et U. Montpellier)

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 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

Marsala C.

- Membre suppléant de la commission de spécialistes, Université de Reims

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
- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (UPMC)
- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (Orsay)

Pitrat J.

- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (UPMC) jusu'en 1998
- 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 Fundation (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



PROJETS ET CONTRATS

Contrats avec les établissements publics

Adaptation de réseaux de neurones

Responsable scientifique : Gallinari /Bennani, durée : 24/01/1995 - 23/01/1998, financement 1317 kF.

•Adaptation de réseaux de neurones pour le diagnostic et la prévision du tarif téléphonique.

Partenaire(s) : CNET, Université Paris 13.

DRET : Approche de la catégorisation par la logique floue

Responsable scientifique : Bouchon-Meunier Bernadette, durée : 8/08/1995 - 7/08/1997, financement 455 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(s) : Paris 6, Université Paris VIII.

Dictée vocale

Responsable scientifique : Caraty Marie-Josée, durée : 11/08/1995 - 10/08/1998, financement 160 kF.

•Linguistique, informatique, et corpus oraux dictée vocale.

Partenaire(s) : AUPELF-URELF.

Projet AIDA

Responsable scientifique : Gallinari Patrick, durée : 1/11/1997 - 31/10/1999, financement 665 kF.

•AIDA "Accès Intranet à un Data warehouse".

Partenaire(s) : Ministère de l'Industrie.

Reconnaissance d'écriture cursive

Responsable scientifique : Gallinari Patrick, durée : 1/04/2000 - 31/03/2000, financement 185 kF.

•Réalisation d'un logiciel de reconnaissance d'écriture cursive.

Partenaire(s) : CNET, GET.

Contrats industriels

Système d'aide à la décision de tir

Responsable scientifique : Bouchon-Meunier Bernadette, durée : 23/11/1995 - 22/11/1998, financement 90 kF.

•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.

Partenaire(s) : Giat industrie.

Modélisation adaptative pour la reconnaissance

Responsable scientifique : Bouchon-Meunier Bernadette, durée : 20/12/1995 - 19/12/1998, financement 150 kF.

•La modélisation de contraintes spatio-temporelles floues dans le cadre de la technique des "Gabarits" et la propagation de ces contraintes dans un raisonnement approximatif et incertain.

Partenaire(s) : Thomson CSF.

Modèles connexionnistes adaptatifs

Responsable scientifique : Gallinari Patrick, durée : 1/02/1996 - 31/01/1998, financement 150 kF.

•Modèles connexionnistes adaptatifs pour systèmes temps réel.

Partenaire(s) : PHILIPS.

Algorithmes génétiques parallèles

Responsable scientifique : Ganascia Jean-Gabriel, durée : 1/02/1996 - 1/02/1998, financement 120 kF.

•Optimisation du profil d'ailes d'avion et de la réflectance radio à l'aide d'algorithmes génétiques.

Partenaire(s) : Dassault aviation.

Analyse sémiologique en mammographie

Responsable scientifique : Bouchon-Meunier Bernadette, durée : 24/03/1997 - 23/03/1999, financement 150 kF.

•La détection et l'analyse sémiologique des signes radiologiques dans le cadre de l'imagerie médicale et plus particulièrement en mammographie.

Partenaire(s) : GEMS.

Etat de l'art/métaconnaissances

Responsable scientifique : Pitrat Jacques, durée : 1/01/1998 - 31/12/1999, financement 180 kF.

- Etat de l'art dans les domaines de la métaconnaissances et de l'apprentissage.

Partenaire(s) : EDF.

Gestion d'un panel sensoriel

Responsable scientifique : Bouchon-Meunier Bernadette, durée : 1/06/1998 - 15/01/1999, financement 65 kF.

- Gestion d'un panel sensoriel, prise en compte des incertitudes dans la méthodologie de calcul.

Partenaire(s) : ELF ANTAR.

Reconnaissance de caractères manuscrits

Responsable scientifique : Gallinari Patrick, durée : 22/06/1998 - 21/06/2001, financement 525 kF.

- Réalisation d'une étude sur la reconnaissance automatique de caractères manuscrits.

Partenaire(s) : LA POSTE.

Analyse exploratoire d'un ensemble de courbes de longue durée

Responsable scientifique : Bouchon-Meunier Bernadette, durée : 10/11/1999 - 9/11/2002, financement 1180 kF.

- EDF confie au titulaire l'étude, la conception et le développement d'une méthode et d'un prototype logiciel permettant de transformer des courbes numériques de longue durée en descriptions symboliques et d'analyser ces descriptions pour les synthétiser.

Partenaire(s) : EDF.

Contrats internationaux

ESPRIT : NEURONET

Responsable scientifique : Gallinari Patrick, durée : 1/05/1994 - 30/04/1997, financement 100 kF.

- ESPRIT III BRA n°9861 : 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.

Partenaire(s) : 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).

Network of Excellence ERUDIT

Responsable scientifique : Bouchon-Meunier Bernadette, durée : 1/01/1995 - 31/12/2000.

- Réseau d'excellence sur le traitement d'incertitudes.

NEUROSAT

Responsable scientifique : Gallinari Patrick, Thiria S, durée : 1/01/1996 - 31/12/1998, financement 100 kF.

- Méthodes neuronales pour la télédétection satellitaire.

INGENET

Responsable scientifique : Ganascia Jean-Gabriel, durée : 15/11/1997 - 14/11/2000, financement 238 kF.

- BRITE-EURAM n° 97 5034 : Networked industrial design and control applications using genetics algorithms and evolution strategies.

Partenaire(s) : DASSAULT-AVIATION.

ESPRIT : Projet AVIR

Responsable scientifique : Montacié Claude, durée : 1/01/1998 - 31/12/2000.

- Audio Visual Indexing and Retrieval for non IT expert users

Partenaire(s) : Université de Brescia (I), Philips-LEP (F), Techmath (D), Philips-Eindhoven (NL), RAI (I), TV-Spielfilm (D).

Activités internationales

UPMC-Université d'Amsterdam (Pays-Bas)

Responsable scientifique : Ganascia Jean-Gabriel, durée : 4/09/1995 - 4/09/2000.

- Co-tutelle de thèse de P. Beys.

Partenaire(s) : UPMC-Université d'Amsterdam, Faculté de Psychologie.

UPMC-Université Vytautas Magnus de Kaunas (Lituanie)

Responsable scientifique : Ganascia Jean-Gabriel, durée : 1/01/1996 - 31/12/1999.

Partenaire(s) : Lituanie.

MultiStrategic Data Mining (Chine)

Responsable scientifique : Zucker Jean-Daniel, durée : 1/01/1998 - 31/12/2000.

•MultiStrategic Data Mining : Projet avec l'académie des sciences de Chine à Beijing N° PRA-097-04 ayant bénéficié du soutien de l'AFCRST.

Partenaire(s) : Académie des sciences de Chine.

Coopération entre UPMC et Machine Intelligence Institute (USA)

Responsable scientifique : Bouchon-Meunier Bernadette, durée : 1/01/1999 - 31/12/2004.

•accord de coopération entre UPMC et Machine Intelligence Institute (USA).

Partenaire(s) : USA.

Coopération franco-marocaine

Responsable scientifique : Bouchon-Meunier Bernadette, durée : 1/01/2000 - 31/12/2000.

•Coopération franco-marocaine (accord CNRS/CNCRST) entre le LIP6 et la faculté des sciences et techniques de Mohammadia (Maroc), Connaissances experts floues et apprentissage.

Partenaire(s) : Maroc.



Doctorants présents moins de 80% du temps au LIP6

Bukovjan Peter (Marzouki M. 1996) | Stoica Alexandru (Greiner A. 1998)
Turier Arnaud (Amara A. 1996)

Invités au LIP6

Hamacher Carl
Scherson Isaac

Professeur invité, Université de Queens (Canada)(juin 1998)
Professeur invité, Université d'Irvine Californie (USA) (janvier à
juin 1997, avril-mai 1998, septembre 1998, décembre 1998 à
février 1999, février-mars 2000)



PROSPECTIVE

Les enjeux scientifiques et techniques

La micro-électronique est omni-présente dans notre vie quotidienne. Le développement foudroyant de l'économie de l'information est largement conditionné par la capacité des industriels à maîtriser la conception des puces extrêmement complexes qui sont au cœur des équipements (téléphone mobile, automobile, électronique nomade, etc.). Or, les outils et métho-

Les atouts du LIP6

Le département ASIM du LIP6 est l'un des tout premiers centres de recherche européens dans le domaine de la CAO de circuit et systèmes intégrés. La visibilité internationale du département ASIM, et l'impact de ses travaux au niveau industriel sont attestés par la diffusion de la chaîne de CAO/VLSI ALLIANCE, la création en trois ans de trois "start-ups" dans le domaine de la micro-électronique par d'anciens chercheurs du département, et plus récemment la création,

Un objectif ambitieux pour le LIP6

Compte-tenu de la demande extrêmement forte des industriels européens, nous croyons qu'il est possible de créer d'ici deux ans, dans les locaux de l'Université Pierre et Marie Curie un Centre Européen de Recherche en Micro-Electronique (CERME), orienté vers les méthodes et outils CAO de conception de systèmes intégrés. Il a vocation à être un des « pôles de compétences » proposés par le LIP6. Le CERME accueillera évidemment des chercheurs titulaires (Uni-

Valorisation de la recherche

Du point de vue de la valorisation des résultats de la recherche, le département ASIM souhaite poursuivre sa double politique de commercialisation (au travers de la création de « start-ups » ou la cession de licences d'exploitation) et de diffusion de logiciels libres (comme cela a été fait pour la chaîne de CAO AL-

Les axes de recherche

Les activités de recherche du département ASIM s'organisent autour de sept projets. Cinq d'entre eux portent sur les outils et méthodes de conception pour circuits et systèmes intégrés, et s'intègrent naturellement dans les objectifs de recherche proposés pour le CERME. Le sixième est un projet d'architecture de

Conception de systèmes intégrés

Les systèmes intégrés sont des puces de très haute complexité contenant du matériel et du logiciel embarqués. Un SoC (System on Chip) est typiquement composé d'un ou plusieurs cœurs de microprocesseur, d'un ou plusieurs coprocesseurs matériels spécialisés, de mémoire, et éventuellement de quelques composants analogiques. On les trouve dans des appareils

des de conception actuels ne sont pas capables d'exploiter les densités d'intégration colossales permises par les procédés de fabrication (plusieurs centaines de millions de transistors sur une seule puce). Par ailleurs, les recherches dans ce domaine nécessitent des liens très étroits avec les grands industriels qui maîtrisent les technologies de fabrication.

en janvier 2000, d'un laboratoire commun entre le LIP6 et l'entreprise ST Micro-électronics.

Le département ASIM a développé des coopérations étroites avec de nombreux industriels, comme en témoigne le budget de recherche contractuelle des quatre dernières années, qui s'élève à plus de 5 MF par an. Les principaux partenaires industriels du département ASIM sont ST, BULL, PHILIPS, ALCA-TEL, THOMSON, ATMEL, le CNET et le CEA.

versité et CNRS), mais le financement sera assuré à 50 % par les industriels intéressés, sous forme d'une cotisation annuelle permettant au CERME de recruter des thésards, des chercheurs post-docs et des ingénieurs de recherche. Un tel centre fonctionnerait sur le modèle adopté pour le laboratoire commun ST-LIP6, créé en janvier 2000, qui a déjà permis de recruter 5 chercheurs sur contrat.

LIANCE). L'expérience montre en effet que ces deux stratégies ne sont pas contradictoires. Le choix d'une stratégie dépend de la nature des résultats, de la maturité de l'éventuel marché concerné par ces résultats, et évidemment des préférences personnelles des chercheurs impliqués.

machine parallèle de type "grappe de PCs" qui s'appuie sur des composants VLSI développés par le LIP6. Le septième projet porte sur les techniques d'indexation de documents multimedia. Pour chaque projet, ne figurent que les noms des chercheurs titulaires ou recrutés sur contrat à durée illimitée.

grand public, qui ne sont pas des ordinateurs, tels les télévisions numériques, les téléphones, cellulaires, les véhicules automobiles...

Le département ASIM a développé plusieurs techniques, incluant différents algorithmes de synthèse d'architecture pour coprocesseurs spécialisés, un environnement de simulation mixte matériel/logiciel

précis au cycle près, et un ensemble de générateurs paramétrables permettant la synthèse automatique des communications. Les questions qui se posent aujourd'hui portent sur différents aspects de la conception des systèmes intégrés :

- Définition d'une méthode de spécification du système intégré sous forme d'un graphe de tâches communicantes, qui permette à la fois la simulation et la synthèse.
- Aide au partitionnement matériel/logiciel par l'amélioration des techniques de simulation permettant une évaluation précoce des performances.
- Amélioration des algorithmes de synthèse des coprocesseurs, à partir d'une description en langage C.

Testabilité des systèmes intégrés

La problématique du test des systèmes intégrés est déterminée par le fait que l'on doit tester en même temps le système global et ses composants, puisque les composants élémentaires sont fabriqués en même temps que le système. La difficulté principale du test des SoC (System on Chip) porte sur la définition d'une méthode de test globale, alors qu'on a des composants hétérogènes, décrits à des niveaux d'abstraction différents, et provenant de sources multiples.

Un standard est en cours de définition pour l'encapsulation des composants, afin de définir les modes d'accès : il s'agit du standard IEEE P1500. C'est pourquoi nous concentrons nos travaux d'une part sur la testabilité des composants synthétisés et d'autre part sur la définition d'une architecture de test générique.

- Testabilité des composants :

L'objectif est de fournir une méthode permettant l'analyse de la testabilité initiale du composant, puis l'implémentation de solutions de testabilité, suivant un compromis coût/qualité du test. L'architecture du

- Exploration des possibilités offertes par un réseau commuté à routage dynamique en remplacement du bus système pour les communications « on chip ».
- Synthèse automatique des modules d'interface entre les coprocesseurs et le système de communication (bus ou réseau commuté)
- Développement d'une approche intégrant les étapes de synthèse et de placement/routage pour des circuits comportants plusieurs millions de portes logiques.

La caractéristique principale de ce projet est qu'il nécessite des compétences à la fois pointues et diversifiées dans le double domaine de l'architecture et de la CAO.

coprocesseur synthétisable fournie en entrée (au format VHDL) est ainsi transformée en une architecture testable, par ajout de structures de test. Les travaux sur ce thème, entamés au LIP6 en 1998, ont déjà permis de développer le système IDAT pour les parties opératives. À court terme (2-3 ans), ce système sera complété pour la prise en compte de la partie contrôle, et son intégration dans le système de synthèse de haut niveau UGH développé au LIP6.

- Test de systèmes intégrés :

L'objectif est de définir un mécanisme d'accès générique pour le test du système, et de développer des générateurs pour les différents éléments de ce mécanisme. L'architecture de test sera compatible avec le standard IEEE P1500. Elle doit être reconfigurable pour différentes sessions de test d'un même système, et adaptable à tout type de composant. Cette architecture vise à garantir une réelle indépendance vis-à-vis des fabricants de composants.

Vérification des circuits intégrés submicroniques

Les technologies de fabrication dites "fortement submicroniques" utilisées pour les systèmes intégrés autorisent la superposition de 6 couches de métal avec une distance inférieure à 0,25 micron et l'intégration de plusieurs dizaines de millions de transistors sur un même circuit. Avec ces technologies apparaissent de nouveaux problèmes liés principalement à la physique des interconnexions. Il faut donc modéliser de façon beaucoup plus fine des quantités de données beaucoup plus importantes.

- Dans les technologies submicroniques, la résistance intrinsèque des fils d'interconnexion n'est plus négligeable et les temps de propagation dans les fils d'interconnexion doivent être modélisés explicitement par les outils d'analyse temporelle statique (analyse formelle indépendante des stimuli).

- Par ailleurs, la diminution des distances entre les fils crée des couplages diaphoniques entre des signaux logiquement indépendants. La transition d'un signal peut perturber un signal voisin. Nous nous proposons de mettre au point des méthodes indépendantes des stimuli capables d'identifier les zones où ces phénomènes peuvent être critiques.
- La simulation se révèle impuissante à vérifier les protocoles de communications implantés dans les systèmes intégrés. Nous poursuivons donc les recherches sur les méthodes de preuve formelle, utilisant principalement les techniques de « model checking ».
- Enfin, l'augmentation constante du nombre d'éléments intégrés sur un circuit entraîne des temps de simulation prohibitifs. Les émulateurs matériels (machines constituées de plusieurs centaines ou

milliers de circuits programmables) sont capables d'accélérer le processus de la simulation logique de plusieurs ordres de grandeur. Le laboratoire LIP6 dispose d'un émulateur fourni par la société Meta-System. Après avoir utilisé ce matériel pour accélérer la simulation logico-temporelle, nous envisa-

geons de profiter de la puissance de calcul disponible pour accélérer d'autres applications telles que l'analyse temporelle statique, en tenant compte du temps de propagation dans les interconnexions ou en prenant en compte le couplage entre signaux.

Circuits analogiques et mixtes,

Si dans la plupart des systèmes électroniques, le traitement du signal est réalisé après numérisation, principalement pour des raisons de précision et d'immunité au bruit, la nature analogique et le temps continu des signaux physiques rendent impossibles l'élimination complète de la circuiterie analogique. Beaucoup de systèmes intégrés sont donc des circuits mixtes analogique-numérique. Malgré la faible surface occupée par les composants analogiques, les temps de conception sont élevés et la performance du système complet est souvent déterminée par ces interfaces analogiques. En effet, contrairement au domaine numérique où l'utilisation de bibliothèques de cellules précaractérisées réduit considérablement le temps de conception, dans le domaine analogique il est pratiquement impossible de stocker dans une bibliothèque l'ensemble des cellules susceptibles de couvrir les différentes applications. Les interfaces analogiques risquent donc d'être un sérieux goulot d'étranglement dans la conception des systèmes intégrés.

Une autre contrainte, est la nécessité de réaliser ces fonctions analogiques pour des procédés de fabrica-

tion optimisés pour la réalisation de circuits numériques (puisque les parties numériques représentent plus de 90 % de la surface du circuit).

C'est pourquoi le LIP6 vise le développement, en collaboration avec l'ENST, d'une méthode de génération automatique de modules analogiques paramétrés et portables d'un procédé de fabrication à un autre, mais dont les performances sont garanties pour chaque procédé cible. Nous visons en particulier les fonctions de conversion Analogique / Numérique de type Sigma-Delta qui représentent la technique la mieux adaptée pour les procédés de fabrication CMOS orientés numérique.

L'originalité de l'approche que nous proposons est la forte interaction entre la phase de synthèse (définition des caractéristiques électriques de chaque composant), et la phase de dessin des masques. Ainsi, la phase de synthèse peut prendre en compte des contraintes sur le dessin des masques et la phase de conception des masques calcule les valeurs réelles des capacités parasites.

Architectures spécifiques pour le traitement numérique,

Les activités de ce groupe portent sur l'étude d'architectures VLSI spécifiques aux algorithmes numériques à flots de données et concernent typiquement les applications de traitement du signal et de l'image. Ces recherches ne peuvent être conduites sans une maîtrise des algorithmes et des architectures de traitement arithmétique aussi bien en représentation virgules fixe que virgule flottante.

L'objectif principal est la recherche de performances en développant des accélérateurs matériels spécifiques, par une bonne adéquation entre l'algorithme et l'architecture. Un second objectif porte sur la réutilisabilité de ces "composants virtuels", ce qui implique des méthodes de conception basées principalement sur la généricité des modèles et des architectures. Dans ce cadre, l'équipe a développé les outils et les bibliothèques lui permettant d'atteindre ces objectifs, en particulier l'outil GENOPTIM, commercialisé par la société AED.

Cette activité s'organise autour de quatre sous-projets:

- Développement d'un système sur puce pour une méthode de reconnaissance de formes incluant principalement un convolveur et un réseau de neurones de type RBF.
- Développement d'un processeur de traitement du signal (DSP) générique et spécifique à une application.
- Développement de méthodes d'optimisation des chemins de données arithmétiques par l'utilisation des structures arborescentes et les représentations redondantes.
- Développement d'un coprocesseur arithmétique à précision contrôlée implantant la méthode CESTAC, en collaboration avec l'équipe CHPV du LIP6.

Machine parallèle MPC

Le projet MPC (pour Multi PCs) a démarré à l'Université Pierre et Marie Curie en janvier 1995. 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 d'interconnexion haut débit et très faible la-

tence développé par le LIP6. Le réseau d'interconnexion de la machine MPC utilise des liens série à un Gigabit/s et la carte réseau FastHSL, commercialisée par la société Tachys Technologie qui est une start-up du LIP6.

- Au niveau logiciel, les recherches porteront sur l'exploitation de la plate-forme matérielle existante. Il s'agit en particulier de rendre utilisable au niveau applicatif la faible latence du réseau HSL, actuellement masquée par le coût des appels systèmes et par des couches de protocoles logiciels inadaptés à un réseau Gigabit.
- La seconde direction de recherche porte sur l'évaluation de nouveaux protocoles de communication bas-niveau pour les machines de type "grappes de

PCs". Ceci implique la conception d'une nouvelle carte réseau HSL à base de circuits programmables.

- La technologie de réseau HSL qui est au cœur de la machine MPC a trouvé un débouché industriel imprévu dans le domaine des commutateurs de réseau. Une évolution naturelle des recherches au niveau matériel porte donc sur les architectures de commutateurs ATM ou Gigabit Ethernet.
- La dernière direction de recherche porte sur la technologie de base: on souhaite valider la version à 2.5 Gbit/s du lien série HSL, et on vise la conception d'un module d'interface optique en technologie CMOS qui doit permettre de substituer la fibre au cuivre pour la liaison physique.

Indexation multimédia

Le groupe de recherche en indexation multimedia souhaite continuer à figurer parmi les principales équipes européennes travaillant sur le sujet de la segmentation temporelle des documents vidéo en améliorant les résultats actuels et en organisant des rencontres autour de ce thème, et parallèlement de conforter son rôle leader dans le développement du futur standard MPEG-7.

- Les outils d'indexation développés jusqu'à présent seront complétés par des travaux sur l'analyse du mouvement du corps humain dans un enregistrement vidéo 2D. Contrairement aux techniques existantes dans ce domaine qui ciblent surtout l'interprétation de la langue des signes, les applications de ces études porteront, en plus de l'indexation des contenus audiovisuels, sur l'aide à la production.

- Aux travaux sur la segmentation temporelle, s'ajoutera le développement d'un langage synthétique complet du montage audiovisuel pour définir un cadre formel à l'échange de données entre stations d'édition numériques, ou aux outils de personnalisation des contenus.
- De nouveaux outils de recherche d'informations par navigation seront étudiés à travers la définition d'interfaces d'accès reposant sur une représentation dynamique et personnalisée des métadonnées.
- Enfin, le groupe souhaite maintenir une coopération étroite avec la société Surf Technology, qui est issue du LIP6 et qui dispose d'un accord de licence avec l'Université et le CNRS sur plusieurs de ses résultats et brevets.

BILAN SYNTHÉTIQUE DES RECHERCHES

On trouvera ci-dessous les résultats les plus marquants obtenus par les chercheurs du département ASIM. Quatre « start-ups » ont été créées entre 1997 et 1999 par d'anciens chercheurs du département ASIM (Tachys, Avertec, AED et Surf Technology). Parallèlement, le département ASIM a poursuivi sa politique de diffusion de logiciel « libre » à travers le développement de la chaîne ALLIANCE. Le budget de contrats de recherche s'élève à près de 5 MF par an en moyenne, ce qui atteste de l'enracinement industriel du département ASIM. Le projet de machine parallèle MPC a abouti à une plate-forme

opérationnelle, et des plate-forme MPC sont aujourd'hui installées dans plusieurs universités françaises. Le groupe de recherche en indexation multimedia joue un rôle majeur dans la définition de la norme MPEG7. Cette recherche très appliquée demande un gros effort de réalisation et de prototypage, qui n'est pas contradictoire avec une politique active de publication. La bonne visibilité internationale des recherches menées au LIP6 en CAO de circuits et systèmes a abouti en janvier 2000 à la création du laboratoire commun ST-LIP6.

Prix "Jeunes chercheurs" Seymour Cray 98

Le prix Seymour Cray "jeunes chercheurs" 98 a été attribué à Karim Dioury et Anthony Lester pour leurs travaux sur les outils et méthodes de vérification des circuits intégrés CMOS submicroniques. Ces deux chercheurs du LIP6 sont également les fondateurs de la société AVERTEC, créée en 1998 pour commercialiser ces résultats.

K. Dioury et A. Lester ont bénéficié de la plate-forme de développement constituée par la chaîne de CAO-VLSI ALLIANCE, qui leur a fourni un environnement d'expérimentation "en grandeur réelle". Le principal apport d'Anthony Lester réside dans l'identification formelle des éléments mémorisants au cours du processus d'abstraction fonctionnelle. Karim

Dioury a proposé une méthode hiérarchique multi-niveaux pour la vérification temporelle, qui permet de prendre en compte les résistances des fils d'interconnexion. BULL a utilisé avec succès l'analyseur temporel HiTAS pour vérifier un circuit de 27 millions de transistors.

Cette distinction montre que, dans un domaine de recherche très appliquée, il est important de pousser la recherche jusqu'au prototypage et à l'expérimentation en grandeur réelle. Le fait que les deux lauréats soient les fondateurs de la société AVERTEC prouve également que qualité scientifique et valorisation industrielle ne sont pas contradictoires.

Diffusion internationale de la chaîne ALLIANCE

La chaîne de CAO-VLSI Alliance est un ensemble complet d'outils CAO pour la spécification, la conception et la validation de circuits VLSI CMOS. C'est également un ensemble de bibliothèques de cellules portables (c'est-à-dire multi-fondeurs), utilisable dans différents environnements CAO tels que Synopsys ou Cadence. L'ensemble est distribué gratuitement sous licence GPL (GNU General Public Licence), et utilisé dans plus de 200 Universités dans le monde, dont l'Université des Nations Unies.

La version 4.0 d'Alliance est disponible depuis février 2000. Cette nouvelle version introduit de nouveaux résultats de recherche, et fonctionne sur la majorité des plates-formes Unix (Linux, Solaris...) et sous Windows NT/98. Le nouveau site WEB Alliance a été créé en janvier 1999, et les statistiques montrent 250 visiteurs par semaine et plus de 1 200 téléchargements ont été effectués depuis que la version 4.0 est disponible.

Projet MPC et technologie HSL

Le projet MPC (pour Multi PCs) a démarré à l'Université Pierre et Marie Curie en janvier 1995. 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 grâce à la technologie de réseau d'interconnexion haut débit et très faible latence HSL, développée par le LIP6. La carte réseau FastHSL est commercialisée par la société Tachys Technologie qui est une start-up du LIP6.

Après une phase d'intégration plus difficile que prévue, la plate-forme MPC du LIP6 est opérationnelle

depuis mars 2000. Elle fait l'objet d'une collaboration avec les équipes CALFOR et ANP du LP6. La machine MPC du LIP6 est aujourd'hui accessible en télé-exploitation à travers le réseau au moyen d'un simple browser WEB. Par ailleurs, des plate-formes MPC expérimentales sont aujourd'hui installées à Versailles (PRISM), Toulouse (CERT), Amiens (LARIA), Evry (INT), et un séminaire mensuel regroupe les cinq laboratoires concernés.

Bien que le réseau HSL et le routeur RCUBE aient été initialement conçus pour réaliser des réseaux d'in-

terconnexion rapides pour calculateurs parallèles, cette technologie est aujourd'hui utilisée et commercialisée par la société Tachys Technologies pour des applications de type télécoms: Cette techno-

Indexation Multimedia

Le groupe de recherche en indexation multi-média du LIP6 figure parmi les leaders au niveau mondial dans le développement du langage de MPEG-7, et il est actuellement chargé au niveau de ISO/ CEI JTC1/ MPEG du développement des outils de ce langage. MPEG-7 est la future norme de l'ISO dans le domaine de la description des contenus multimédia. La norme

Laboratoire Commun ST-LIP6

Les recherches dans le domaine de la CAO de circuits et systèmes intégrés représentent plus de la moitié de l'activité du département ASIM, et sont détaillés ci-dessous. Les résultats les plus importants portent sur les outils de vérification (analyse temporelle, abstraction fonctionnelle, analyse de la consommation électrique, etc.), sur les outils et méthodes de conception de systèmes intégrés (simulateur mixte matériel/logiciel, outil de synthèse d'architecture), sur les outils et méthodes de test des systèmes intégrés, et sur les outils de CAO analogiques

La qualité des résultats obtenus et publiés dans les principales conférences internationales du domaine, ainsi que la capacité du département ASIM à valoriser ces résultats ont incité la société ST Microelectronics à proposer au LIP6 la création, en janvier 2000 d'un

laboratoire commun, entièrement consacré aux outils et méthodes de conception de systèmes intégrés.

logie est idéale pour réaliser les « switching fabrics » qui sont au cœur des commutateurs ATM ou Gigabit Ethernet.

internationale devrait faire l'objet d'un projet final en octobre 2000, et être adoptée dans le courant de l'année 2001.

Ce groupe est à l'origine de la création de la société Surf Technology, qui dispose d'un accord de licence avec l'Université et le CNRS sur plusieurs de ses résultats et brevets.

laboratoire commun, entièrement consacré aux outils et méthodes de conception de systèmes intégrés.

Le laboratoire commun ST-LIP6 est partie intégrante du LIP6. Il s'agit d'une équipe d'une dizaine de chercheurs, composée pour moitié de chercheurs titulaires (UPMC ou CNRS), et pour moitié de chercheurs contractuels payés grâce au financement fourni par ST (2 MF par an pendant 5 ans). Tous les chercheurs appartiennent au LIP6 et travaillent dans les locaux de l'UPMC.

Tous les résultats de recherche obtenus sont la propriété de l'Université et du CNRS. En échange du financement apporté, ST bénéficie d'un accès précoce aux résultats de recherche et bénéficie d'une licence d'exploitation gratuite et non exclusive sur tous les résultats de recherche obtenus dans le cadre du laboratoire commun.

BILAN DÉTAILLÉ DES RECHERCHES

Conception de systèmes intégrés

FRÉDÉRIC PÉTROD, IVAN AUGÉ, EMMANUELLE ENCRENAZ, PIERRE GUERRIER,
LUDOVIC JACOMME

Les technologies submicroniques permettent aujourd'hui d'intégrer un système complet dans un unique composant VLSI. C'est grâce à cette capacité d'intégration que les applications portables ont pu se développer durant la dernière décennie. Le grand intérêt de ce type de composant est de supprimer les délais induits par les interfaces, et de diminuer considérablement la consommation d'énergie. Ces

systèmes sont généralement spécifiés sous formes de tâches communicantes s'exécutant concurremment. Certaines tâches sont réalisées en logiciel, sur un ou plusieurs processeurs embarqués, alors que les autres sont réalisées en matériel sur coprocesseurs spécifiques. Ces coprocesseurs dédiés à l'application sont usuellement obtenus par synthèse de spécifications séquentielles écrites en langage C ou en VHDL.

Coprocesseur pour la reconnaissance de l'écriture

Une première expérimentation a été menée dans le cadre du projet PHRASES qui avait pour but la définition d'un système intégré pour la reconnaissance des caractères manuscrits à la vitesse de l'écriture. Ce projet a été mené en collaboration avec le Laboratoire d'électronique de Philips et s'est appuyé sur un outil de synthèse d'architecture, ALMA, développé par I. Augé et J.-Y. Brunel. Cet outil utilise un langage ad-hoc, le langage A, qui permet de décrire des copro-

cesseurs spécialisés en introduisant des paramètres structurels – largeur des bus, taille des mémoires –, ce qui permet d'explorer différentes solutions architecturales aisément (Thèse J.Y.Brunel, 1996). La solution architecturale retenue pour le projet PHRASES a abouti à la fabrication effective, sous forme de coprocesseur VLSI, d'un classifieur neuronal RBF (Thèse M. Hervieux, 1996).

Simulateur CASS

Un des enjeux majeurs est l'évaluation précoce des performances d'une architecture particulière. Il faut donc disposer d'outils de simulation permettant d'explorer l'espace des solutions. Il faut d'une part modéliser fidèlement le système dans son ensemble (matériel et logiciel) et d'autre part simuler, au cycle près, des minutes ou même des heures de fonctionnement en temps réel. Le simulateur CASS utilise un modèle d'automates communicants, des techniques d'ordonnancement statique et des modèles de simulation en langage C précompilés pour les principaux composants matériels du système. Ce simulateur permet d'atteindre des vitesses de simulation de 30 Kcycles par seconde pour des systèmes comprenant une

vingtaine de composants. Ces performances permettent de simuler des applications logicielles complexes ainsi que leurs relations avec les coprocesseurs matériels: séquence de boot, gestion des interruptions, etc. Ceci représente un gain d'un facteur 7 par rapport aux réalisations industrielles qui sont à base de simulateurs événementiels (Hommais et al 1997, PéTROD et al 1997, PéTROD 1999). Afin de permettre la simulation conjointe avec des parties matérielles existantes décrites en VHDL, une méthode de traduction de ce langage vers le langage C a été définie par F. PéTROD, F. Wajsburt et L. Jacomme. L'ensemble de ces travaux est supporté depuis 1997 par le projet européen MEDEA 403.

Architecture générique de communication

Le point clef de la conception des systèmes intégrés porte sur les communications: Le mécanisme de communication doit permettre la réutilisation de composants existants grâce à des protocoles de communications standardisés. De plus les communications entre processeurs constituent souvent le goulot d'étranglement qui limite les performances du système. Afin de faciliter l'exploration architecturale, A. Greiner, D. Hommais, A. Houelle, F. PéTROD, N. Vaucher ont défini une architecture de communication générique autour du bus intégré PI-Bus (PéTROD et al 1996, Brunel et al 1998). Afin d'utiliser ce bus dans des systèmes avec des contraintes temps réel,

F. PéTROD et D. Hommais ont implementé un algorithme d'allocation du bus prenant en compte la nature périodique ou aléatoire des requêtes (F. PéTROD et D. Hommais, 2000). Cette architecture générique a été étendue pour respecter le standard international VCI (Virtual Component Interface) dans le cadre du projet ESPRIT COSY, en collaboration étroite avec PHILIPS (D. Hommais, A. Houelle, F. PéTROD, N. Vaucher). Le résultat de ces travaux est la définition d'interfaces de communication matérielles génériques qui peuvent être utilisées dans des contextes très différents (J.Y.Brunel et al. 2000). Cette architecture générique a été validée par la conception d'un

décodeur M/JPEG, comportant un coeur de processeur MIPS R3000 et six coprocesseurs matériels spécialisés. Ce système est actuellement utilisé comme

Génération automatique de convertisseurs de protocoles

La réutilisation de composants existants (en particulier des coeurs de microprocesseurs ou processeurs de traitement du signal possédant leurs propres interfaces de communication) impose d'utiliser des modules matériel réalisant la traduction de protocole, notamment du protocole VCI vers n'importe quelle

Réseau commuté « on chip » SPIN

Les systèmes basés sur un unique bus ont une bande passante intrinsèquement limitée, et le bus constitue le goulot d'étranglement. De même que les machines parallèles « classiques » tendent à remplacer le bus partagé par des réseaux multi-étages à commutation de paquets (c.f. le projet MPC du LIP6), les systèmes intégrés peuvent aussi bénéficier de cette technologie. Pierre Guerrier a conçu l'architecture SPIN et le rou-

Synthèse de haut niveau

La synthèse de coprocesseurs dédiés est un autre enjeu d'importance. Le chemin qui va de la spécification fonctionnelle à l'obtention du silicium s'appuie sur des outils de « synthèse de haut niveau ». Néanmoins l'expérience de nombreuses équipes a prouvé que les solutions « presse-bouton » ne donnent pas des implémentations satisfaisantes en terme de rapport performance/coût. L'outil UGH (I. Augé et

Traducteur VHDL universel

La réutilisabilité des composants décrits en langage VHDL synthétisable (comme ceux générés par l'outil UGH) est un objectif très important dans le domaine de la conception des systèmes intégrés. Cette réutilisation est compliquée par le fait que chaque outil de synthèse impose son dialecte VHDL. Pour résoudre cette difficulté L. Jacomme a proposé et réalisé un traducteur universel permettant de transcrire une description VHDL quelconque vers n'importe

Placement/routage de très gros circuits

Le placement et le routage de très gros circuits comportant plusieurs millions de portes logiques imposent une approche hiérarchique de façon à réduire la complexité. J.P. Chaput, A. Caron et A. Greiner ont développé une méthode de partitionnement et de placement hiérarchique de très grosses net-lists. L'originalité de cette approche est d'utiliser les informations disponibles sur les flux d'information dans le circuit, par des techniques de coloriage de graphes orientés. La méthode, initialement proposée pour optimiser le placement sur de grosses matrices FPGA, peut être étendue aux circuits ASIC. (A. Caron et al. 1998) J.-P. Chaput et A. Greiner se sont également intéressés au problème du routage de ces très gros circuits, dans un contexte où on dispose de grand nom-

support du cours de conception de systèmes intégrés dans le cadre du DEA ASIME (A. Greiner, D. Hommais, F. Petrot)

autre protocole de bus. E. Encrenaz, A. Greiner et C. Spasevski ont démarré en 1999 l'étude d'une méthode de génération automatique de ces convertisseurs, en s'appuyant sur des méthodes formelles de transformation d'automates.

teur intégré RSPIN a été développé par A. Andriahantenaina, A. Greiner et P. Guerrier. Afin d'assurer à l'utilisateur une interface proche de celle d'un bus, ces travaux utilisent également VCI comme couche protocolaire intermédiaire. Les performances espérées permettent de concevoir des applications intégrées à très hautes performances. (Guerrier et al 2000)

al 1997), développé dans le cadre du projet COSY, demande à l'utilisateur de fournir une ébauche de l'architecture matérielle, et à partir de cette ébauche et du comportement de haut niveau synthétise le coprocesseur. L'originalité de la méthode repose sur la capacité, héritée d'ALMA, de prendre en compte les caractéristiques temporelles exactes de la partie opérative (I. Augé et al 1998).

quel outil commercial. La méthode de traduction repose sur une analyse formelle de la sémantique VHDL permettant de garantir que la synthèse est conforme à la sémantique du langage (Thèse Jacomme 1999, Jacomme et al 1998, Jacomme et al 1999). Une étude préliminaire visant à accepter des comportements décrit en C est en cours (I. Augé, L. Jacomme, F. Pétrot).

bre de niveaux d'interconnexion (sept ou huit couches dans les procédés de fabrication les plus avancés). Cette étude a suscité le développement d'une nouvelle bibliothèque de cellules portables SXLIB, permettant le routage « over cell » (A. Greiner, F. Wajsburt)

Testabilité des circuits et systèmes intégrés

MERYEM MARZOUKI, WALID MAROUFI,

Les travaux de ce groupe de recherche, initialement tournés vers le test des circuits numériques ont évolué

Partitionnement en vue du test

O. Florent a développé une méthode de test des circuits intégrés, basée sur un découpage structurel peu recouvrant (Thèse O. Florent 1998). Cette étude se place dans le cadre de circuits possédant des chemins de "scan-path", des structures d'auto-test intégré, et éventuellement une architecture "Boundary-scan". Dans ces circuits, on trouve des blocs issus de bibliothèques ou de fabricants différents, ce qui ne permet

Auto-test des circuits numériques

Une approche de plus en plus utilisée pour le test est d'inclure une circuiterie spécifique permettant de rendre le circuit auto-testable. Cette technique nécessite la mise en oeuvre de générateurs internes de vecteurs de test et de circuits d'analyse des résultats (H. Re-

Sûreté de fonctionnement

Une étude concernant la sûreté de fonctionnement a été menée en coopération avec le CEA-DAM sous la responsabilité de H. Mehrez (thèse C. Quenesson 1997). L'idée est d'intégrer dans les circuits les mécanismes de détection de pannes pouvant se produire

Test de circuits analogiques

Pour les circuits analogiques, les vecteurs de test dépendent de la nature du circuit à tester. Il est donc impossible de développer un générateur automatique de vecteurs de test pour tous les types de circuits. A. Derieux et H. Khouas ont attaqué le problème de l'optimisation automatique de jeux de vecteurs de test pré-existant. Un simulateur de fautes permet le classement des tests et l'élimination des tests redondants ou des tests qui ne détectent pas de fautes. Comme les

Synthèse de haut niveau en vue de la testabilité

La synthèse de haut niveau en vue de la testabilité permet d'introduire des caractéristiques de testabilité dans le circuit dès les premières étapes de sa conception, permettant un gain en terme de surface additionnelle et de performances. La synthèse en vue de la testabilité de parties opératives de coprocesseurs spécialisés est effectuée par transformation de l'étape d'allocation en une étape d'allocation en vue de la testabilité. Une méthode basée sur la recherche de compromis coût/qualité du test a été définie et implémentée dans l'outil IDAT, qui prend en entrée une description VHDL du circuit au niveau RTL, sans nécessiter d'information précise de synchronisation. L'outil produit en sortie une description de la partie opérative, en langage VHDL également, rendue testable par adjonction de structures de test. L'outil est in-

vers le test des composants analogiques et vers le test au niveau système.

pas de maîtriser le choix des structures de test. Ce travail propose un découpage du circuit autour de ses structures de test en unités testables indépendantes de complexité raisonnable vis à vis des outils de génération de vecteurs de test. Un prototype logiciel a été réalisé, s'appuyant sur la chaîne ALLIANCE et sur le générateur de vecteurs de test commercial HITEST (A. Derieux, O. Florent).

Rejouan et al. 1997, thèse H. Rejouan 1998). La génération déterministe, ou quasi-déterministe peut être réalisée par l'implémentation soit d'automates finis, soit d'automates cellulaires (H. Mehrez, H. Rejouan).

pendant le fonctionnement réel (C. Quenesson et al 1996). la thèse de C. Quenesson propose une méthode et un outil permettant d'évaluer le taux d'intégrité d'une architecture redondante (H. Mehrez, C. Quenesson).

valeurs analogiques sont imprécises et avec tolérances, une fonction de probabilité de détection des fautes permet de quantifier le degré de détection possible d'une faute donnée (A. Khouas et al. 2000). Pour réduire la quantité de tests à effectuer et ainsi le coût du test de production, un module d'optimisation des tests de production basé sur la fonction de probabilité de détection des fautes a été implémenté.

teractif, et considère les spécifications pondérées par le concepteur sur le degré de testabilité souhaité (P. Bukovjan et al., 1998, 1999 et 2000). L'outil permet la testabilité suivant trois méthodologies de test possibles: insertion de points de test, scan partiel ou total, auto-test intégré (M. Marzouki, P. Bukovjan). L'outil IDAT suppose l'existence d'une bibliothèque de générateurs de structures testables. La création d'une telle bibliothèque a été entamée depuis 1999, ainsi que l'immersion d'IDAT dans le système de synthèse de haut niveau UGH développé au LIP6 (L. Ducerf-Bourbon et al., 2000). La suite de ces travaux concerne la synthèse en vue de la testabilité de parties contrôles, et la génération de plan de test, à implanter dans le circuit à synthétiser sous forme de contrôleur de test global. Ces travaux donneront lieu au dévelop-

pement du système TACOS, extension de l'outil IDAT (M. Marzouki, L. Ducerf-Bourbon).

Testabilité des systèmes discrets

En conception de systèmes testables, le groupe s'est intéressé d'abord aux systèmes discrets. Malgré l'intérêt croissant pour les systèmes intégrés sur une seule puce, la testabilité et la maintenabilité des systèmes électroniques discrets (formés de circuits, cartes et MCMs) revêt toujours une importance capitale dans des domaines comme l'avionique ou les transports terrestres. Une méthode d'analyse de testabilité et de conception de tels systèmes testables a été développée (W. Maroufi et al. 1997 et 1998). Cette méthode a été mise en oeuvre dans l'outil STA (Thèse W. Maroufi,

Testabilité des systèmes intégrés

Les travaux en conception de systèmes intégrés testables bénéficient de l'expertise acquise à la fois en synthèse en vue de la testabilité de circuits, et en conception de systèmes discrets testables. L'architecture proposée est un mécanisme d'accès pour le test à travers le système, qui permet d'accéder aux entrées/sorties des composants du système (IP cores) à partir des entrées/sorties primaires du système intégré (Maroufi et al. 2000, Benabdenbi et al. 2000). Ce mécanisme est constitué d'un bus de largeur N et de plusieurs CAS (Core Access Switch), chaque IP core étant équipé de son propre CAS. Le CAS est un simple routeur qui permet de sélectionner et d'aiguiller les N entrées/sorties du CAS vers les P entrées/sorties du composant élémentaire. Un registre d'instruction permet de configurer cet aiguillage. Le CAS possède

1999). À chaque niveau (circuit, MCM, carte, système global), des stratégies de test sont proposées et des décisions sont prises de façon interactive entre l'outil et l'utilisateur. Une stratégie d'évaluation de la testabilité de cartes, de MCMs et éventuellement de systèmes intégrés est aussi proposée et intégrée dans la méthode. Des passerelles vers des outils de génération de structures de test, d'analyse de testabilité au niveau circuit, de synthèse en vue du test ou de synthèse tout court, assurent l'aspect modulaire de la méthode (M. Marzouki, W. Maroufi).

trois modes de fonctionnement: le mode configuration, le mode contournement (bypass) et le mode test. Ce mécanisme permet, entre autres, de connecter les différentes chaînes de scan des composants du système de façon à équilibrer leurs longueurs. Selon les sessions de test, ces connexions peuvent être reconfigurées pour optimiser le temps de test (M. Marzouki, W. Maroufi, M. Benabdenbi).

Les travaux en synthèse en vue de la testabilité et en conception de systèmes intégrés testables ont été menés dans le cadre du projet européen MEDEA-AT403. Ils se poursuivent en partie dans le cadre du laboratoire commun LIP6-STMicroelectronics nouvellement créé.

Vérification des circuits intégrés submicroniques

PIROUZ BAZARGAN-SABET, EMMANUELLE ENCRENAZ, MARIE-MINERVE LOUËRAT

L'amélioration continue des technologies d'intégration permet, aujourd'hui, de rassembler plusieurs dizaines de millions de transistors sur une puce. On

Simulateur ASIMUT

Un des maillons importants de la vérification est la simulation logique. Dans le cadre de la chaîne de conception Alliance, P. Bazargan, J. Dunoyer et H.N.Vuong ont développé le simulateur Asimut. Il s'agit d'un simulateur multi-langage qui accepte des modèles décrits par un sous-ensemble du langage de description VHDL ou en langage C, avec ou sans ca-

s'intéresse ici aux outils et méthodes de vérification « bas niveau » en fin de conception.

Partitionnement automatique en vue de la simulation parallèle

L'accélération de la simulation logique passe par la parallélisation et la distribution de la simulation 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. Une technique de

ractérisation temporelle. Les équations logiques des descriptions VHDL sont représentées par des BDD (Binary Decision Diagram). La thèse portant sur l'étude et le développement de ce simulateur a été soutenue par H.N. Vuong en 1997 et a fait l'objet de plusieurs publications internationales (H.N. Vuong - 1996).

découpage basée sur la duplication de certaines parties du circuit afin de réduire le nombre de connexions a été développée par P. Bazargan et A. Guettaf. Elle a fait l'objet de plusieurs publications internationales (A. Guettaf - 1998).

Utilisation d'un émulateur pour la simulation logico-temporelle

L'émulation représente une solution alternative pour accélérer la simulation des circuits intégrés. Il s'agit de transposer le circuit sur une machine spécialisée, un émulateur, composée de circuits programmables. Malheureusement, cette technique ne permet pas de simuler les délais des portes. La possibilité de l'utilisation d'un émulateur en vue de la simulation logico-

temporelle fait l'objet de la thèse de L. Vuillemin, sous la direction de P. Bazargan. Une partie de cette étude a été publiée dans une conférence internationale (L. Vuillemin - 2000). Dans le cadre de cette étude le laboratoire LIP6 coopère avec la société Meta-Systems, qui a installé un émulateur dans les locaux du laboratoire.

Simulation par événements avec prise en compte des formes d'onde

L'intégration de plus en plus fréquente de parties analogiques à l'intérieur de circuits numériques pose un autre problème. Il s'agit de la vérification de l'interface numérique-analogique. Pour valider le bon fonctionnement des parties analogiques il est indispensable de simuler de façon précise la partie numérique, en modélisant les formes d'onde. L'objet de

la thèse de N. Abadallah, dirigée par P. Bazargan et soutenue en 1998, est le développement d'une méthode de simulation par événements pour des circuits numériques qui s'appuie sur un modèle d'évènement non-instantané. Cette méthode a fait l'objet de plusieurs publications internationales (N. Abadallah - 1997).

Evaluation probabiliste de la consommation

L'explosion du marché des appareils portables a mis l'accent sur l'importance de la consommation électrique des circuits VLSI. P. Bazargan et J. Dunoyer ont proposé une approche probabiliste pour l'évaluation de la consommation, c'est-à-dire une méthode formelle qui permet un calcul indépendant des stimuli. D'un côté, en utilisant les 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 par cycle. L'exactitude de ces calculs dépend de la prise en compte correcte des corrélations entre les signaux. La thèse soutenue en 1999 par J. Dunoyer a été financée par un contrat avec le Centre National d'Etudes des Télécommunications (CNET). Le développement de cet outil a fait l'objet de plusieurs publications internationales (J. Dunoyer 1996, 1997, 1998).

Analyse de la diaphonie

Du fait de l'augmentation du nombre de couches d'interconnexions, le problème du couplage capacitif entre les fils devient de plus en plus critique. F. Ilponse a démarré en 1998 sous la direction de P. Bazargan, une thèse sur l'évaluation du bruit induit sur un fil lorsque un signal dans le voisinage de ce fil

subit une transition. Ce bruit est dû à l'existence d'une capacité de couplage entre des signaux voisins et logiquement indépendants. La diminution des distances entre les fils dans les technologies sub-microniques a tendance à accentuer ce phénomène. (F. Ilponse - 1999).

Analyse temporelle statique

L'analyse statique des délais permet de vérifier si un circuit respecte les contraintes de fréquence de fonctionnement. L'avantage d'une analyse statique est qu'elle ne nécessite pas de stimuli. G. Avot, K. Dioury, A. Greiner, et M.-M. Louerat ont poursuivi les recherches dans ce domaine. La thèse de K. Dioury, soutenue en 1998, propose une méthode de traitement hiérarchique qui permet de maîtriser la complexité liée au grand nombre de transistors contenus dans les circuits actuels. Ces méthodes ont fait l'objet de plusieurs publications internationales (K. Dioury 1997, 1998, 1999, 2000). Par ailleurs, dans les technologies actuelles, fortement sub-microniques, les délais des interconnexions sont tout aussi impor-

tants que les délais de propagation à travers les portes. Aussi, les fils d'interconnexion sont-ils modélisés, comme un réseau de résistances-capacités. De même, dans les technologies sub-microniques, la propagation d'une transition à travers une porte peut être perturbée par la transition d'un signal voisin à cause des capacités de couplage. La prise en compte de ces phénomènes fait l'objet de la thèse de G. Avot et a été publiée dans des conférences nationales (G. Avot 1999). La technologie d'analyse statique hiérarchique mise au point dans l'outil TAS n'a pas d'équivalent. Elle a été transférée à la société AVERTEC, start-up issu du laboratoire LIP6, à travers une licence industrielle.

Abstraction fonctionnelle

La plupart des outils de vérification s'appuient sur une représentation du circuit qui est un réseau de portes. Pour obtenir ce réseau, il faut partir du dessin des masques, et utiliser un outil d'abstraction fonctionnelle. Plusieurs études ont été réalisées sur ce point. La

première s'applique aux circuits en technologie AsGa et se base sur la reconnaissance de formes pour retrouver les formes préalablement décrites dans une bibliothèque de formes. L'avantage de cette technique est qu'elle permet de vérifier en même temps la léga-

lité des formes utilisées du point de vue électrique. Une thèse portant sur cette technique a été soutenue par P. Rémy en 1998, sous la direction de A. Greiner. La thèse de J.-B. Guignet, soutenue en 1998, propose également l'utilisation de la technique de reconnaissance de formes mais dans le cas des circuits CMOS où l'on peut rencontrer une grande diversité de schémas. Ainsi, dans le cas des circuits CMOS, le problème se situe dans la description de la bibliothèque de formes. Le langage Grl, proposé par J.-B. Guignet, apporte au concepteur la possibilité de décrire les formes à reconnaître de manière hiérarchique et récursive. Dans le cas des circuits CMOS, une autre

technique ne nécessitant pas de bibliothèque de formes a été étudiée et mise au point par P. Bazargan, A. Greiner et A. Lester. En partant des grilles des transistors, on identifie les conditions de mise à 1 et à 0 de chaque signal. Cette étude a été soutenue par des contrats européens (MEDEA). Par ailleurs, cette technique a fait l'objet d'une licence industrielle cédée à la société Avertec. La thèse de A. Lester sur ce sujet a été soutenue en 1999. Cette étude a été publiée dans plusieurs conférences nationales et internationales (A. Lester 1997, 1998).

Circuits analogiques et mixtes

MARIE-MINERVE LOUËRAT, ANNE DERIEUX

Le développement de bibliothèques de cellules ou de macro-cellules indépendantes du procédé de fabrication reste un problème mal résolu par les chaînes de CAO commerciales pour les circuits numériques. Les technologies actuelles qui permettent d'intégrer sur le même circuit des composants analogiques et numériques accentuent le problème en faisant apparaître le

besoin de conception de circuits d'interface mixte analogiques-numériques pour lesquels il n'y a pas d'outil de CAO appropriés. En réponse à ce problème, nous avons conçu la chaîne d'outils TANIS (Tools for Analog Integrated Systems) permettant la génération automatique de modules analogiques paramétrés et portables.

Dessin de masques procédural avec estimations de parasites: CAIRO

La chaîne ALLIANCE, développée par le LIP6 depuis une dizaine d'années, propose une méthode de dessin symbolique sur grille fixe pour les circuits numériques CMOS qui assure la portabilité technologique au niveau du dessin des masques, avec des performances voisines de celles obtenues par une approche optimisée.

M. Dessouky, M.-M. Louërat et A. Greiner ont étendu cette approche aux circuits analogiques en développant un langage original CAIRO qui, en manipulant des composants élémentaires déformables permet de générer les masques de fabrication. CAIRO 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. CAIRO possède une bibliothèque de modules élémentaires complètement paramétrables (transistors, paires différentielles, matrices de capacités). A l'aide de ces modules, le concepteur décrit de manière hiérarchique les masques pour une topologie donnée (Dessouky et al. 1999). Depuis 1999, CAIRO a été étendu de façon à fournir des informations prévisionnelles sur les capacités parasites de diffusion et de routage résultant d'un facteur de forme particulier du circuit. Ces informations peuvent être utilisées dans l'outil de synthèse qui est responsable du dimensionnement électrique des composants (Dessouky et al. 2000).

Synthèse analogique avec prise en compte des parasites: COMDIAC

Une collaboration avec J. Porte de l'ENST a démarré en 1997 pour mettre au point des générateurs de fonctions analogiques de base allant des spécifications jusqu'au dessin des masques. L'étape de synthèse permet de dimensionner automatiquement les transistors et capacités pour une topologie fixée. Elle est basée sur des équations de synthèse spécifiques pour chaque schéma, et utilise les informations sur les

capacités parasites calculées par CAIRO (Dessouky et al. 1999). Un premier générateur a été finalisé, il s'agit de l'amplificateur simple à transconductance (OTA). Des simulations électriques après placement/routage ont montré que les performances obtenues par le circuit généré avaient été parfaitement prévues par les outils de conception (Dessouky et al. 2000).

Modulateur Sigma-Delta en mode courant et temps continu

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 re-

cherche sur la synthèse de fonctions d'interfaces mixtes analogiques-numériques. Le point de départ est une spécification définissant les paramètres fonction-

nels globaux (type vitesse, consommation). Le résultat est un schéma dimensionné en transistors. On a choisi des convertisseurs Sigma/Delta en mode courant, en technologie CMOS numérique standard (Oliaei et al. 1997, Oliaei et al. 1998, Aboushady et al. 1999). Un premier circuit (modulateur sigma-delta du

Modulateur Sigma-Delta à très basse tension

M. Dessouky et M.-M. Louërat ont démarré en 1997 une coopération avec Andreas Kaiser de l'IEMN dans le but de démontrer l'efficacité de l'approche CAIRO et COMDIAC à travers un circuit de pointe, en technologie numérique standard. Le circuit choisi est un modulateur delta-sigma à capacités commutées du troisième ordre, fonctionnant à très basse tension (Dessouky et al. 1999). Le circuit a été conçu en utilisant une approche descendante s'appuyant sur les outils de CAO existant dans TANIS. Il a été fabriqué

Filtre à capacités commutées

M. Lintz a commencé sa thèse en 1998 pour mettre en œuvre la conception couplée (synthèse et placement/routage) pour des fonctions analogiques intervenant dans les interfaces analogiques-numériques. Un premier travail a été mené en coopération avec

Introduction d'une fonction de routage automatique dans CAIRO

Si l'outil CAIRO apporte une solution au problème de la portabilité technologique, il faut signaler cependant que le routage est actuellement procédural, c'est à dire à la charge du concepteur. Une bibliothèque de fonctions aide le concepteur à décrire le routage, mais il reste beaucoup de travail pour automatiser le routage

TANIS: Tools for Analog Integrated Systems

Un travail conséquent a été fait par M.M. Louërat, M. Dessouky, M. Lintz et P. Nguyen-Tuong en collaboration avec J. Porte pour rendre utilisables par d'autres concepteurs analogiciens ces outils de CAO. Ceci s'est traduit par la création de la chaîne de CAO appelée TANIS qui intègre les outils COMDIAC et CAIRO, ainsi qu'une bibliothèque de générateurs

troisième ordre, en mode courant, en temps continu) a été envoyé fin 1998 en fabrication chez AMS en technologie 0.6 μ mais une erreur de fabrication a rendu le circuit inutilisable. Une nouvelle étude est en cours pour un envoi en fabrication vers la fin du premier semestre 2000.

par Alcatel-Mietec en technologie 0.35 μ au cours du premier semestre 1999. M. Dessouky a développé une carte d'interface permettant de polariser et de mesurer le circuit fabriqué avec A. Kaiser. Il a effectué une ensemble de mesures au cours du deuxième semestre 1999 à l'IEMN qui ont montré d'une part que le circuit avait des performances meilleures que les circuits réalisés par d'autres équipes et d'autre part que ces performances avaient été prévues de manière très satisfaisante. (Dessouky et al. 2000).

J. Porte pour concevoir un filtre à capacités commutées des spécifications électriques jusqu'au dessin des masques. M. Lintz a ainsi été amené à concevoir un générateur de matrices de capacités qui a déjà été utilisé dans plusieurs autres circuits.

ge et le rendre robuste à toutes les déformations possibles des composants. C'est pourquoi P. Nguyen-Tuong a démarré en 1999, dans le cadre de sa thèse, une étude pour spécifier un routeur automatique pour circuits mixtes analogiques-numériques, s'appuyant sur la technique de dessin symbolique de CAIRO.

(synthèse et dessin de masques). Une procédure d'installation des outils a été développée par P. Nguyen-Tuong. TANIS a été présentée à l'University Booth de la conférence DATE 2000 par M. Lintz et P. Nguyen-Tuong.

Architectures spécifiques pour le traitement numérique

HABIB MEHREZ, MOURAD ABERBOUR

Les objectifs principaux de ce groupe de recherche sont la réutilisation des architectures existantes (« Design Reuse »), la généricité dynamique, la portabilité technologique et informatique en dotant ces architectures de performances élevées. Pour atteindre

Environnement GENOPTIM

Cet environnement 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 auto-

ces objectifs, il a fallu développer une nouvelle méthode de conception qui s'applique particulièrement aux architectures dédiées au traitement numérique, qui s'est concrétisée avec l'environnement de développement GENOPTIM.

matiquement 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 97]. Grâce au pré-placement optimisé des cellules, qui provient généra-

lement d'une expérience acquise par le concepteur développeur du générateur, GENOPTIM est capable d'évaluer avec une bonne précision les chemins critiques du bloc combinatoire en se basant sur un module

Bibliothèque de générateurs d'opérateurs arithmétiques

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, 98] 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 97]. La bibliothèque développée concerne les opérations les plus usuelles (addition, soustraction, multi-

Architecture pour la reconnaissance de formes

Dans le cadre de notre activité sur l'Adéquation Algorithme Architecture, l'équipe a mené, en coopération avec le CEA, et sous la responsabilité de H. Mehrez, un projet de développement d'un système "On-chip" pour la reconnaissance de formes s'appuyant sur une méthode développée, à Berkeley par Clarck et al [Thèse Aberbour 99]. L'équipe a ensuite affiné ces algorithmes et a cherché à évaluer la possibilité d'une implantation matérielle et logicielle permettant des fonctionnements temps réel pour des

Arithmétique redondante

Les représentations arithmétiques redondantes permettent dans certains contextes, des gains en termes de performances, complexité et puissance consommée. Y. Dumonteix et H. Mehrez ont développé une méthode pour synthétiser de façon optimale les chemins de données arithmétiques. Un prototype logiciel en cours d'élaboration a nécessité le développement d'une bibliothèque d'opérateurs génériques d'addition et de multiplication avec les différentes combinaisons des représentations [Dumonteix 2000]. Un coprocesseur de DCT, utilisant l'ensemble des techniques étudiées, a été développé et a présenté des gains im-

Arithmétique Stochastique

H. Mehrez et Roselyne Chottin ont démarré en octobre 1999 un projet de collaboration avec le thème CHPV du LIP6 (J. Vignes, J.-M. Chesneaux et J. L. Lamotte). Ce projet concerne l'étude d'une architecture performante de processeur à précision contrôlée, implantant les concepts de l'arithmétique stochastique élaborés par le professeur J. Vignes. Les différentes méthodes proposées ont été mises en oeuvre dans le logiciel CADNA, développé par l'équipe CHPV. Des modèles de simulation des différents algorithmes sont en cours de développement afin de les affiner et en proposer la meilleure adéquation avec l'architecture.

DSP générique

Une autre voie de recherche concerne le développement d'un DSP générique de type VLIW optimisé

intégré d'analyse temporelle utilisant des modèles dynamiques simplifiés. Avec l'évolution de la technologie, les modèles utilisés sont de plus en plus affinés pour tenir compte des effets submicroniques.

plication, division et racine carrée) avec des représentations arithmétiques en virgules fixe et flottante utilisant la norme IEEE-754 [Aberbour et al, 98]. Dans le cadre d'une collaboration avec le CEA-DAM, l'Outil GENOPTIM a permis la réalisation avec succès d'un circuit convolveur $8*32$, cascadable et reconfigurable. Une carte prototype sur PC a été développée autour de ce convolveur et a montré les performances de l'architecture dédiée pour le traitement d'image [Aberbour et al, 96].

applications de reconnaissance aussi bien civiles que militaires. Cette méthode met en oeuvre des techniques de filtrage de Gabor, d'extraction de signature et de classification par un réseau neuronal. [Aberbour et al, 98].

Des collaborations ont été développées avec deux universités brésiliennes (Prof. Salek de l'UFRJ et Prof. Carvalho de l'UFPA) proposant d'autres méthodes de reconnaissance de formes [Carvalho et al, 96].

portants relativement aux représentations classiques non redondantes. L'intérêt de ces méthodes pour la synthèse des filtres numériques est en cours d'évaluation.

Dans le domaine des opérateurs arithmétiques en représentation redondante, des collaborations ont été développées principalement avec A. Guyot du laboratoire TIMA de l'INPG à Grenoble [Guyot et al, 97, Aberbour et al, 97] ainsi qu'avec J.-M. Muller et A. Mignotte du LIP de l'ENS de Lyon et R. Leveugle de l'INPG, dans le cadre du GDR-PRC ANM.

pour l'application à implanter [Bajot 99]. Une machine virtuelle a été définie ainsi qu'un environnement de simulation et de debug. L'architecture générée utilise les opérateurs développés sous GENOPTIM ainsi que d'autres opérateurs spécifiques. On souhaite utiliser l'environnement de compilation SPAM de l'Université de Stanford pour générer le code machine correspondant à une application particulière.

L'outil GENOPTIM ainsi que la bibliothèque de générateurs d'opérateurs arithmétiques ont fait l'objet d'un transfert technologique vers la société AED qui est une « startup » du LIP6 créée en 1998.

Machine parallèle de type "Grappe de PCs"

ALAIN GREINER, JEAN-LOU DESBARBIEUX, FRANÇOIS DROMARD, ALEXANDRE FENYO, FRANCK WAJSBURT, AMAL ZERROUKI

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 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

Routeur RCUBE

Le routeur RCUBE est un circuit VLSI qui réalise un crossbar dynamique entre 8 liens HSL bidirectionnels. Il a été conçu au LIP6 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). Une version industrielle de ce

Routeur TWIN

En 1995 et 1996, A. Goeury, B. Zerrouk et A. Greiner, ont étudié une nouvelle architecture de routeur VLSI, dans le cadre du projet JESSI AE96, en coopération avec BULL. La caractéristique de ce rou-

Simulateur MILE

Ce circuit n'a pas été fabriqué. 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 environne-

Architecture MPC et protocole DDSLR

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. (A. Greiner et al. 1998) La carte réseau s'interface sur un bus d'entrées/sorties rapide (bus PCI), plutôt que

Contrôleur réseau PCI-DDC

Ce protocole est mis en œuvre par le composant VLSI PCI-DDC, conçu au LIP6 par J.L.Desbarbieux, J.J.Lecler, A. Greiner, F. Potter, C. Spasevski, F. Wajsburt dans le cadre du projet ESPRIT EURO-PRO. (F. Wajsburt et al. 1997) Le composant PCI-

Contrôleur réseau NOE

Le composant VLSI NOE est un contrôleur réseau HSL programmable d'une complexité de 1200000 transistors, conçu au LIP6 dans le cadre du projet ES-

1997). 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.

Différentes expérimentations, matérielles et logicielles, se sont développées dans le cadre général de ce projet :

composant a été développée en 1999 par la société Tachys Technologies, qui est une start-up du LIP6. Il est intéressant de noter que ce composant, initialement destiné à réaliser des réseaux d'interconnexion pour machines parallèles, est aujourd'hui principalement utilisé pour des applications de type télécom,

teur TWIN est de contenir une mémoire tampon centralisée qui permet de limiter les phénomènes d'engorgement lorsque le réseau est fortement chargé. (Thèse de A. Goeury 1998)

ment a permis de comparer de façon quantitative et fiable différents algorithmes de routage pour différentes topologies de réseaux d'interconnexion. (Zerrouk et al. 1997, Thèse de A. Bouaraoua 1998)

sur le bus système, de façon à 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 copie intermédiaire.

DDC a été fabriqué en 1997 en technologie CMOS 0.5 micron chez ALCATEL-MIETEC. Il a fallu une seconde fabrication en 1999 pour corriger différentes erreurs de conception.

PRIT OMI-ARCHES par J.L.Desbarbieux, A. Greiner, C. Spasevski, F. Wajsburt, A. Zerrouki: Il possède un interface PCI 64 bits et deux ports HSL.

Sa principale originalité est de supporter différents protocoles de communication grâce à un microcontrôleur programmable externe. Il a été fabriqué en 1999, en technologie 0.25 micron par ST microelec-

Liaison série à 2.5 Gbits/s

Du point de vue de la technologie de base, A. Greiner, E. Coulon, et J.J.Lecler ont réalisé l'étude théorique d'une version à 2.5Gbit/s de sérialiseur/désérialiseur en technologie CMOS. Parallèlement J.J.Lecler a conçu la macro-cellule VLSI TICTAC, qui est un multiplieur de fréquence programmable à

prototype machine MPC

La première version de la machine MPC utilisait la carte SmartHSL (conçue autour du routeur RCUBE et d'un micro-processeur Motorola 56301 comme contrôleur de bus PCI). Elle a été démontrée en février 1997 à l'occasion de la conférence EDTC97. (J.J.Lecler et al. 1997). La seconde version de la machine MPC a été démontrée en mars 1998 à l'occasion de la conférence DATE98. Elle s'appuie sur la carte réseau FastHSL, conçue au LIP6 par J.J.Lecler,

Système d'exploitation de la machine MPC

Les couches logicielles de communication bas-niveau MPC-OS ont été développées et intégrées dans le noyau du système d'exploitation UNIX freeBSD par A. Fenyo. Celui-ci a défini et développé un ensemble de protocoles de communications sécurisés, qui garantissent un comportement correct, même en

Bibliothèque de programmation PVM

Pour permettre une évaluation des performances de la plate-forme MPC au niveau applicatif, F. Silva, K. Mana et O. Gluck ont développé au dessus de MPC-OS une version optimisée de l'environnement de programmation parallèle PVM. L'intégration matériel/logiciel a démarré début 98, et la première ap-

Ordonnancement sur grappes de PCs

Dans le cadre d'une collaboration entre le LIP6 et l'Université d'Irvine, F. Silva et I. Scherson se sont attaqués au problème général de l'ordonnancement des tâches dans les machines parallèles de type grap-

Machine MPC LIP6

Le projet « MPC LIP6 », démarré en 1998 vise à mettre à la disposition des différentes équipes du LIP6, une machine parallèle possédant 8 nœuds de calcul biprocesseurs, et permettant des expérimentations au niveau applicatif. Cette machine doit permettre la télé-exploitation à travers le WEB. Le projet associe plusieurs équipes du LIP6 (équipe ASIM, équipe CALFOR : J.C.Faugère, équipe ANP :

Dissémination

Des plate-formes MPC sont aujourd'hui installées dans quatre autres universités, à Toulouse (CERT-

tronics. Un noyau de système d'exploitation multi-tâches non- préemptif a été spécialement développé pour ce composant. (thèse J.L.Desbarbieux)

très faible « jitter ». Cette dernière étude a été menée dans le cadre du projet ESPRIT SWIFT, qui porte sur l'exploitation de la technologie HSL pour réaliser un commutateur Gigabit Ethernet extensible. Ces deux macro-cellules ont fait l'objet de dépôts INPI en 2000.

et commercialisée par la société Tachys Technologies. Une carte FastHSL contient un routeur RCUBE et un contrôleur réseau PCI-DDC. 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 3 micro-secondes.

cas de défaillance matérielle du réseau, sans dégradation significative des performances lorsqu'il n'y a pas d'erreurs (A. Fenyo et al. 1998). Malheureusement, un bogue résiduel dans le composant PCI-DDC n'a pas permis l'expérimentation sur la plate-forme matérielle actuellement disponible.

plication de simulation distribuée utilisant PVM a été compilée et exécutée sur la plate-forme MPC en mai 1998, mais il a fallu ensuite 18 mois de mise au point pour rendre la machine exploitable au niveau applicatif.

pes de PCs. Ils ont proposé différentes améliorations de la stratégie de « gang scheduling », qui ont donné lieu à plusieurs publications internationales. (F. Silva et al. 1999)

J.L.Lamotte). Ce projet, qui est analysé en détail dans le chapitre portant sur les projets LIP6 a pris six mois de retard, à la suite de difficultés liées à l'industrialisation de la carte FastHSL et à la correction de différents bogues logiciels dans PVM. La télé-exploitation de la machine MPC sous PVM a été démontrée en mars 2000 à l'occasion de la conférence DATE 2000.

ONERA : B. Lecussan), Versailles (PRISM : P. Feautrier), Amiens (LARIA : G. Utard), Evry

(INT : P. Lallevé). Cette coopération s'organise autour d'un séminaire mensuel.

Indexation multimédia

PASCAL FAUDEMAY, PHILIPPE JOLY, JEAN PENNÉ

L'activité de recherche menée dans le groupe Indexation multimédia, sous la responsabilité de Pascal Faudemay et de Philippe Joly, se concentre autour de

L'analyse de l'image fixe en objets

Pour décrire une image ou une séquence vidéo, il faut caractériser les objets du monde réel représentés dans cette image ou cette séquence. Les méthodes de segmentation de l'image fixe (ou des objets statiques) actuellement disponibles sont principalement basées sur une interaction avec l'utilisateur. Gwenaël Durand et Pascal Faudemay ont développé une méthode automatique de segmentation de l'image statique en objets sémantiques donnant de bons résultats en termes de

Structure temporelle des documents audiovisuels

La segmentation de la vidéo en plans est une étape préliminaire à toute indexation des documents audiovisuels. Les résultats obtenus suivant l'état de l'art sont bons, mais pas parfaits dans le cas où les plans sont séparés par des "cuts", et plutôt mauvais (de l'ordre de 50 % de taux de succès) dans le cas où ils sont séparés par des effets progressifs (fondus, effets de volets, etc.) Cette situation est dommageable pour l'indexation des documents audiovisuels et les tâches de postproduction numérique. Le développement d'un nouvel algorithme reposant sur l'hybridation de plusieurs techniques nous a conduit vers une exploration plus systématique des outils d'évaluation des résultats.

Nous avons ainsi développé une métrique pour comparer les algorithmes de segmentation, et pour mesurer la difficulté de traitement du corpus utilisé. Ce travail a fait l'objet de collaborations avec l'IMAG

Suivi de script

Les méthodes d'analyse audio du LIP6 (cf. Equipe Parole du thème APA) permettent d'aligner un script de vidéo sur les phrases parlées de celle-ci. Cette méthode de "suivi de script" donne des informations extrêmement complètes sur le contenu de chaque plan, dans la mesure où il existe un script réalisé à la production. Cette collaboration interne, principalement

Moteurs de recherche

Un moteur de recherche "pull" est destiné à interroger la base d'objets multimédia, à partir de requêtes explicites de l'utilisateur. Ces requêtes peuvent être une recherche par similarité avec un exemple (rechercher une musique ou une vidéo similaire à celle-ci, rechercher des plans ou des images similaires à celle-ci), ou une recherche par une requête textuelle ou for-

trois grands axes qui sont la recherche d'information par le contenu, la description de documents multimédia et les systèmes d'accès.

performance et en termes qualitatifs. Elle a fait l'objet d'un brevet et de plusieurs contributions dans des conférences internationales [Durand-Faudemay 98] [Durand-Faudemay 99]. Cette méthode a été étendue vers des contours exacts, une segmentation hiérarchique de l'image ou de la vidéo, et la détection d'objets composites dans l'image, par exemple à partir du mouvement.

et Eurecom et a conduit au montage d'une opération thématique (l'OT 10.3) au sein du GT10 du GDR ISIS. De futures expérimentations sont envisagées cette fois-ci avec d'autres équipes de laboratoires européens. Les résultats de ces travaux ont fait l'objet d'une conférence internationale [Ruiloba & al. 99], et ont conduit au développement d'un logiciel d'évaluation disponible en accès libre sur Internet.

D'autre part, nous avons défini un formalisme descriptif permettant la représentation des effets de transition et de composition aussi complexes soient-ils, de façon à pouvoir les prendre en compte dans un algorithme de segmentation. Ce formalisme descriptif a été présenté en tant que réponse à l'appel à propositions MPEG-7 et fait l'objet à l'heure actuel d'un protocole d'expérimentation au sein du consortium MPEG. Ces travaux ont été menés par Rosa Ruiloba et Philippe Joly.

conduite par Gwenaël Durand, a permis de développer de nouveaux outils de consultation offrant des possibilités de formulation de requêtes sur le contenu textuel de la bande son des enregistrements vidéos. Elle a fait l'objet d'un exposé lors d'une session de conférences internationales en 1999 [Durand & al 99].

melle (dans un langage de requêtes). Les travaux menés par Claude Seyrat dans le domaine des requêtes textuelles ou formelles se sont appuyés notamment sur la caractérisation par des concepts à partir de "concepts visuels" basés sur des collections d'exemples, et sur des descriptions MPEG-7 [Faudemay & Al. 98] [Seyrat & Al. 98].

Une des principales dimensions scientifiques de ce travail réside dans le fait que ces moteurs doivent prendre leur place dans des architectures flexibles multiprojets, capables d'intégrer (ou de s'intégrer à)

Annotation

La disposition de méthodes d'analyse de l'image en objets sémantiques permet d'annoter efficacement et rapidement une image ou une séquence vidéo à un niveau de granularité fin. Pour cette annotation, nous avons mis au point une méthode basée sur des types extensibles, qui sont une réalisation du système de types que nous avons proposé pour MPEG-4 / OCI (Object Content Information) et qui a été retenu dans cette norme.

MPEG-7: langage de définition de schémas de description

Les futures descriptions MPEG-7 d'objets multimédia s'appuieront sur des modèles, appelés "Schémas de description". Des schémas de description pourront être développés par différents utilisateurs ou fournisseurs de description, et / ou pour différentes applications. L'expressivité de ces schémas de description dépend entièrement de l'expressivité du Langage de Définition de Schémas ("Description Scheme Definition Language" ou DDL).

Pascal Faudemay, Philippe Joly, Claude Seyrat et Cédric Thiénot travaillent conjointement à l'intégration dans le DDL de MPEG-7 de mécanismes de base

Chaîne de CAO-VLSI Alliance

La chaîne de CAO-VLSI Alliance est un ensemble complet d'outils CAO pour la spécification, la conception et la validation de circuits VLSI CMOS. C'est également un ensemble de bibliothèques de cellules portables (c'est-à-dire multi-fondeurs), utilisable dans différents environnements de CAO tels que Synopsys ou Cadence. L'ensemble est distribué gratuitement sous licence GPL (GNU General Public Licence), et utilisé dans plus de 200 Universités dans le monde,

Version 4.0

La version 4.0 d'Alliance est disponible depuis février 2000. Cette nouvelle version introduit différents résultats de recherche: une nouvelle bibliothèque de cellules portables permet le routage multi-niveau (A. Greiner et F. Wajsburt), une extension du simulateur VHDL permettant la simulation logico-temporelle (P. Bazargan, J. Dunoyer), un nouvel outil

Portabilité et installation simplifiée

Un gros effort a été entrepris depuis 1997 pour rendre le code portable et plus stable. Ceci a permis de faire fonctionner Alliance sur la majorité des plates-

Diffusion Internationale

Le nouveau site WEB Alliance a été créé en janvier 1999, grâce à un financement spécifique du

des architectures telles que celles du projet Esprit AVIR, du projet RNRT AGIR, du modèle d'expérimentation (XM) de MPEG-7, etc.

Par ailleurs, considérant que la nature des annotations diffèrent selon l'utilisateur et selon la tâche à accomplir lors de la consultation d'un document audiovisuel, un outil d'annotation a été développé par Claude Seyrat et Cédric Thiénot, reposant sur les concepts de MPEG-7, offrant un environnement de saisie de notes descriptives dont le format est totalement modifiable et adaptable en fonction des besoins de l'utilisateur.

comme le typage, les mécanismes des langages à objets (héritage et composition), etc. Nos travaux sont développés dans le cadre de contributions à ISO/ CEI/ JTC1/ MPEG, notamment dans le cadre du développement du XM (Experimentation Model) et des Core Experiments de MPEG-7. Plus d'une dizaine de contributions ont été présentées par le groupe devant les membres du consortium, ce à quoi s'ajoute le développement et la mise à disposition du premier analyseur syntaxique. Cet analyseur syntaxique contrôle la validité des schémas de description et des descriptions elle-même en proposant une API de type DOM.

dont l'Université des Nations Unies. ALLIANCE est utilisée comme plate-forme de développement et d'expérimentation pour de nombreux projets de recherche du département ASIM, en conception VLSI, comme en CAO. L'intégration et la maintenance de la chaîne ALLIANCE, ainsi qu'un support minimal aux utilisateurs, sont assurées par un ingénieur sous contrat.

de synthèse pour circuits FPGA (A. Caron) et un traducteur VHDL universel (L. Jacomme). De plus elle bénéficie de nombreuses améliorations et correction de bugs sur l'infrastructure de la chaîne, et sur les outils existants (G. Avot, J.P.Chaput, L. Jacomme, F. Petrot, O. Sirol, F. Wajsburt).

formes Unix (Linux, Solaris...) et sous Windows NT/ 98 (O. Sirol).

LIP6. On y trouve des tutoriels, et la toute documentation disponible, sur les outils et sur la méthodologie

de conception... Des forums de discussions permettent aux novices et utilisateurs confirmés d'échanger leurs point de vue.

Serveur de Calcul

Un projet de télé-exploitation de la chaîne Alliance a travers internet a démarré début 2000. Il s'agit de mettre à disposition de concepteurs VLSI « distants » une station de travail en CAO/VLSI permettant d'évaluer la chaîne ALLIANCE sur des applications réel-

Projet AFM (Alliance / Framekit / Métagen)

Démarré fin 1999, le projet inter-thèmes AFM, (Thème ASIM : A. Greiner, Olivier Sirol, M.M.Paget, Thème OASIS G. Blain, J. Poirier, et Thème SRC Systèmes répartis et coopératifs F. Kordon), vise à optimiser l'utilisation d'Alliance, et en particulier permettre son exploitation à distance. Pour cela, on désire procéder à l'intégration de l'ensemble des outils Alliance au sein de la plate-forme FrameKit. Développée par le groupe SRC du LIP6, FrameKit est une plate-forme logicielle, originellement dédiée au prototypage et à la mise en oeuvre rapide d'environnement de modélisation. On souhaite utiliser FrameKit afin de permettre le pilotage à distance, ou télégestion, de l'ensemble de la chaîne Alliance. Ainsi permettra-t-on à différents concepteurs de développer conjointement un circuit électronique intégré, à partir de postes clients distants. Dans le but de permettre une simplification et une accélération de l'intégration des outils au sein de la plate-forme, on souhaite utiliser l'application MétaGen créée par le groupe MétaFor du LIP6, qui permet la génération automatique d'éditeurs métiers, par spécification formelle du contexte linguistique de l'utilisateur, et de règles d'interprétation des modèles.

Les statistiques d'accès montrent :

- 50 visiteurs par semaine
- plus de 1200 downloads de la version 4.0 entre fev 2000 et mai 2000.

les, avant une éventuelle installation de la chaîne ALLIANCE sur la machine de l'utilisateur distant. Ce serveur devrait être mis en service d'ici la fin 2000 (O. Sirol).



PUBLICATIONS ASIM

Livres

- (1) A. Fenyo, F. Le Guern, S. Tardieu : "Raccorder son réseau d'entreprise à l'Internet", 1997.

Articles de revues

- (1) M. Aberbour, A. Houelle, H. Mehrez, N. Vaucher, A. Guyot : "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, vol. 6, pp. 114-121, 1998.
- (2) M. Combes, K. Dioury, A. Greiner : "A Portable Clock Multiplier Generator Using Digital CMOS Standard Cells", IEEE Journal of Solid-State Circuits (JSSC), vol. 31, pp. 958-965, 1996.
- (3) M. Dessouky, A. Kaiser : "Input Switch Configuration Suitable for Rail-to-Rail Operation of Switched-Opamp Circuits", IEE Electronics Letters, vol. 35, pp. 8-10, 1999.
- (4) A. Greiner, P. David, J.-L. Desbarbieux, A. Fenyo, J.-J. Lecler, F. Potter, V. Reibaldi, F. Wajsbürt, B. Zerrouk : "La machine MPC", Calculateurs Parallèles - Réseaux et Systèmes répartis, vol. 10, pp. 71-84, 1998.
- (5) A. Khouas, A. Derieux : "Fault Simulation for Analog Circuits Under Parameter Variations", Journal of Electronic Testing, vol. 16, pp. 269-278, 2000.
- (6) F. Wasjbürt, F. Pérot, K. Dioury : "Transistor Controlled Slew Rate Process Independent PCI Compliant I/O Buffer with Possible Power/Delay Trade-off", Microelectronics journal, vol. 29, pp. 733-740, 1998.

Chapitres de Livres

- (1) D. Dromard, D. Seret : "Article Internet", in Encyclopædia Universalis, 2000.
- (2) D. Dromard : "Article Disques optiques", in Encyclopædia Universalis, 1999.
- (3) D. Dromard, F. Dromard, J. Vignes : "Article Ordinateurs", in Encyclopædia Universalis, 1997.
- (4) P. Faudemay : "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, 1996.
- (5) P. Faudemay, D. Donsez, P. Homond : "A cooperative database system based on workspace hierarchy", in Industrial Information and Design Issues, 1996.

Communications avec actes

- (1) N. Abdallah and P. Bazargan Sabet, "Technique de Simulation Event-Driven en Vue d'une Simulation Mixte Efficace," presented at 1er Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes, Grenoble France, 1997, pp. 22-25.
- [2] N. Abdallah, P. Bazargan Sabet, and J. Dunoyer, "SWISSE: A Fast Switch-Level Timing Simulator with Slope Effects for Large Digital MOS Circuits," presented at 4th IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems (ICECS'97), Cairo Egypt, 1997, pp. 875-879.
- [3] M. Aberbour, F. Ahmad, and H. Mehrez, "A Hardware Implementation of an RBF Neural Network : Architecture and Design Methodology," presented at Internation Conference on Signal Processing and Technology 97, San Diego USA, 1997.
- [4] M. Aberbour, A. Derieux, and N. Vaucher, "Enseignement de la conception d'un circuit intégré à l'aide de CADENCE et utilisation de bibliothèques de cellules d'ALLIANCE," presented at 4ème Journées du CNFM, Saint Malo, 1996.
- [5] M. Aberbour, A. Houelle, H. Mehrez, N. Vaucher, G. Besencenet, E. Dupont-Nivet, F. Durbin, T. Garrié, and A. Tissot, "A Parametrized Real Time Image Convolver," presented at International Conference on Signal Processing Applications and Technologies (ICSPAT'96), Boston MA USA, 1996, pp. 1885-1889.
- [6] M. Aberbour, A. Houelle, H. Mehrez, N. Vaucher, and A. Guyot, "A Timing Driven Adder Generator Architecture," presented at International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI'97), Gramado Brasil, 1997.
- [7] M. Aberbour, H. Mehrez, F. Durbin, T. Garrie, and A. Tissot, "Algorithms and VLSI Architectures for Pattern Recognition Based on the Gabor Wavelets," presented at International Conference on Signal Processing Applications and Technology (ICSPAT'98), Toronto Canada, 1998, pp. 1455-1459.
- [8] M. Aberbour, H. Mehrez, F. Durbin, T. Garrie, and A. Tissot, "System Level Design of a Pattern Recognition System Based on the Gabor Wavelets," presented at IEEE-SP Conference on Time-Frequency Time-Scale Analysis (TFTS'98), Pittsburgh USA, 1998.
- [9] M. Aberbour, N. Vaucher, and A. Derieux, "Teaching the Design of a Chip under the Cadence Opus Environment Using the Alliance Cells Libraries," presented at IEEE Conference on Microelectronic Systems Education 97, Arlington VA USA, 1997.

- [10] H. Aboushady, E. de Lira Mendes, M. Dessouky, and P. Loumeau, "A Current-Mode Continuous-Time Sigma-Delta Modulator with Delayed Return-to-Zero Feedback," presented at International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'99), Orlando FL USA, 1999.
- [11] H. Aboushady, M. Dessouky, E. de Lira Mendes, and P. Loumeau, "A Third-Order Current-Mode Continuous-Time Sigma-Delta Modulator," presented at IEEE International Conference on Electronic Circuits and Systems (ICECS'99), Paphos Cyprus, 1999.
- [12] F. Alves Barbosa da Silva, M. Campos, and I. Scherson, "Improvements in Gang Scheduling for Parallel Supercomputers," presented at 8th International Parallel Computing Workshop, Singapore, 1998.
- [13] F. Alves Barbosa da Silva, M. Campos, and I. Scherson, "A Lower Bound for Dynamic Scheduling of Data Parallel Programs," presented at 4th International Euro-Par Conference, Southampton UK, 1998, pp. 367-372.
- [14] F. Alves Barbosa da Silva and I. Scherson, "Bounds on Gang Scheduling Algorithms," presented at 2nd International Conference on Parallel Computing Systems, Ensenada Mexico, 1999.
- [15] F. Alves Barbosa da Silva and I. Scherson, "Concurrent Gang: Towards a Flexible and Scalable Gang Scheduler," presented at 11th Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing, Natal Brazil, 1999.
- [16] F. Alves Barbosa da Silva and I. Scherson, "Improvements in Parallel Job Scheduling Using Gang Service," presented at 1999 International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks Freemantle Australia, 1999.
- [17] F. Alves Barbosa da Silva and I. Scherson, "Towards Flexibility and Scalability in Parallel Job Scheduling," presented at 11th IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems, Cambridge USA, 1999.
- [18] I. Augé, R. K. Bawa, P. Guerrier, A. Greiner, L. Jacomme, and F. Pétrot, "User Guided High Level Synthesis," presented at International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI'97), Gramado Brasil, 1997, pp. 464-475.
- [19] G. Avot and M.-M. Rosset-Louërat, "Influence et prise en compte des capacités de diaphonies dans la conception d'outils d'analyse temporelle pour les technologies profondément submicroniques.," presented at Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes GDR 732, Aix-en-Provence, 1999, pp. 232-235.
- [20] Y. Bajot and H. Mehrez, "A Macro-Block Based Methodology for ASIP Core Design," presented at International Conference On Signal Processing Applications and Technologies (ICSPAT'99), Orlando Florida, 1999.
- [21] R. Bawa, P. Guerrier, L. Jacomme, and P. Bazargan Sabet, "An Approach to Behavioural Synthesis From a Formal Model of VHDL," presented at VHDL International User's Forum, Durham North Carolina USA, 1996, pp. 117-126.
- [22] M. Benabdenbi, W. Maroufi, and M. Marzouki, "CAS-BUS: A Scalable and Reconfigurable Test Access Mechanism for Systems on a Chip," presented at Design Automation and Test in Europe Conference (DATE'2000), Paris France, 2000, pp. 141-145.
- [23] Y. Body, F. Dromard, A. Greiner, M.-M. Paget, and F. Pétrot, "SIMIPS : a cycle-precise interactive simulator for teaching microprocessor architecture," presented at Fourth International Conference on Computer Aided Learning and Instruction in Science and Engineering (CALISCE'98), Göteborg Sweden, 1998, pp. 146-154.
- [24] J.-Y. Brunel, Y. Watanabe, L. Lavagno, and F. Pétrot, "COSY : levels of interfaces for modules used to create a video system on chip," presented at Buissiness and work in the information society: new technologies and applications (EMMSEC'99), IOS Press Stockholm Sweden, 1999, pp. 772-778.
- [25] P. Bukovjan, L. Ducerf-Bourbon, and M. Marzouki, "Cost/Quality Trade-off in Synthesis for BIST," presented at 1st IEEE Latin America Test Workshop (LATW), Rio de Janeiro Brésil, 2000, pp. 110-115.
- [26] P. Bukovjan, L. Ducerf-Bourbon, and M. Marzouki, "Cost/Quality Trade-off in Synthesis for Scan," presented at 3rd International Workshop on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems (DDECS), Slomenice Slovaquie, 2000.
- [27] P. Bukovjan, M. Marzouki, and W. Maroufi, "Allocation for Testability in High-Level Synthesis Process," presented at 5th Electronic Devices and Systems Conference, Brno Czech Republic, 1998.
- [28] P. Bukovjan, M. Marzouki, and W. Maroufi, "Cost/Quality Trade-off in High-Level Synthesis for Testability," presented at 2nd International Workshop on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems, Szczyrk Poland, 1998.
- [29] P. Bukovjan, M. Marzouki, and W. Maroufi, "Design for Testability Reuse in Synthesis for Testability," presented at XII Symposium on Integrated Circuits and Systems Design (SBCCI'99), Natal (RN) Brazil, 1999, pp. 206-209.
- [30] P. Bukovjan, M. Marzouki, and W. Maroufi, "Testability Analysis and Cost/Quality Trade-off in Synthesis for Testability," presented at 4th IEEE European Test Workshop (ETW'99), Constance Germany, 1999.
- [31] P. Bukovjan, M. Marzouki, and W. Maroufi, "Testability Analysis in High-Level Synthesis," presented at 10th European Workshop on Dependable Computing (EWDC), Vienne Autriche, 1999.
- [32] L. Chen, D. Donsez, and P. Faudemay, "Design of U-Doc, a research vehicle for hyper document retrieval on the Internet," presented at International Workshop BIWITT 97, Biarritz France, 1997.
- [33] L. Chen and P. Faudemay, "Multicriteria video segmentation for TV news," presented at First IEEE Workshop on Multimedia Signal Processing, Boston, 1997.
- [34] L. Chen, F. Ramos, M. Bui, D. Donsez, and P. Faudemay, "Multi-agents based dynamic request placement strategies in fully distributed information systems," presented at 9th Int'l Conf. on Parallel and Distributed Computing Systems (PDCS'96), Dijon France, 1996.

- [35] M. Dessouky, A. Greiner, and M.-M. Rosset-Louërat, "CAIRO : Un Langage pour le Layout Analogique Symbolique," presented at 1er Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes, Grenoble France, 1997, pp. 14-17.
- [36] M. Dessouky, A. Greiner, and M.-M. Rosset-Louërat, "CAIRO : A hierarchical layout language for analog circuits," presented at Mixed Design of Integrated Circuits and Systems (MIXDES'99), Krakow Poland, 1999, pp. 105-110.
- [37] M. Dessouky and A. Kaiser, "Circuit a capacités commutées fonctionnant en mode _rail-to-rail_ a très basse tension," presented at Journées Nationales du Réseau Doctoral de Micro-électronique, Bordeaux France, 1999.
- [38] M. Dessouky and A. Kaiser, "Circuits a capacités commutées fonctionnant en mode "rail-to-rail" à très basse tension," presented at 2ème Journées Francophones d'études Faible Tension Faible Consommation (FTFC'99), Paris France, 1999, pp. 25-28.
- [39] M. Dessouky and A. Kaiser, "Rail-to-Rail Operation of Very Low Voltage CMOS Switched-Capacitor Circuits," presented at International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'99), Orlando FL USA, 1999, pp. 144-147.
- [40] M. Dessouky and A. Kaiser, "A 1V 1mW Digital-Audio Delta-Sigma Modulator with 88dB Dynamic Range using Local Switch Bootstrapping," presented at Custom Integrated Circuits Conference (CICC'00), Orlando US, 2000, pp. 13-16.
- [41] M. Dessouky and A. Kaiser, "Very Low-Voltage Fully-Differential Amplifier for Switched-Capacitor Applications," presented at IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2000), Geneva Switzerland, 2000, pp. 441-444.
- [42] M. Dessouky, J. Porte, A. Greiner, and M.-M. Rosset-Louërat, "Synthèse de Circuits Analogiques CMOS," presented at 1ère Journée Nationale Réseau Doctoral Microélectronique, Toulouse France, 1998.
- [43] M. Dessouky, J. Porte, and M.-M. Rosset-Louërat, "Synthèse de circuits faible tension CMOS analogiques," presented at 2ème Journées Francophones d'études Faible Tension Faible Consommation (FTFC'99), Paris France, 1999, pp. 126-130.
- [44] M. Dessouky, J. Porte, and M.-M. Rosset-Louërat, "TANIS : Un outil pour la synthèse de circuits CMOS analogiques," presented at Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes GDR 732, Aix-en-Provence, 1999, pp. 186-189.
- [45] M. Dessouky and M.-M. Rosset-Louërat, "A Layout Approach for Electrical and Physical Design Integration of High-Performance Analog Circuits," presented at 1st International Symposium on Quality Electronic Design (ISQED 2000), San Jose USA, 2000.
- [46] M. Dessouky, M.-M. Rosset-Louërat, and J. Porte, "Layout-Oriented Synthesis of High Performance Analog Circuits," presented at Design Automation and Test in Europe Conference (DATE'2000), Paris France, 2000, pp. 53-57.
- [47] K. Dioury, A. Greiner, and M.-M. Rosset-Louërat, "Accurate static timing analysis for deep submicronic CMOS circuits," presented at International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI'97), Gramado Brasil, 1997, pp. 439-450.
- [48] K. Dioury, A. Greiner, and M.-M. Rosset-Louërat, "Analyse Temporelle des Circuits VLSI à Haute Densité d'Intégration Utilisant des Technologies Submicroniques," presented at 1er Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes, Grenoble France, 1997, pp. 184-187.
- [49] K. Dioury, A. Greiner, and M.-M. Rosset-Louërat, "Hierarchical Static Timing Analysis for CMOS ULSI Circuits," presented at International Workshop on Timing Issues in the Specification and Synthesis of Digital Systems (TAU'99), Monterey CA USA, 1999, pp. 65-70.
- [50] K. Dioury, A. Lester, A. Debreil, G. Avot, A. Greiner, and M.-M. Louerat, "Hierarchical Static Timing Analysis at Bull with HiTas," presented at Design Automation and Test in Europe Conference User Forum (DATE'2000), Paris France, 2000, pp. 55-60.
- [51] F. Dromard, Y. Body, M.-M. Paget, A. Greiner, P. Bazargan Sabet, and F. Pétrot, "Interactive Learning of Processor Architecture," presented at 5th International Conference on Computer Aided Engineering Education (CAEE'99), Sofia Bulgaria, 1999, pp. 123-129.
- [52] L. Ducerf-Bourbon, P. Bukovjan, and M. Marzouki, "TACOS: A Testability Allocation and Control System," presented at IEEE European Test Workshop (ETW), Cascais Portugal, 2000.
- [53] J. Dunoyer, N. Abdallah, and P. Bazargan Sabet, "Méthodes Probabilistes et Problèmes de Corrélations pour l'Evaluation de la Consommation des Circuits VLSI," presented at Journées Faible Tension Faible Consommation, 1997, pp. 131-134.
- [54] J. Dunoyer, P. Bazargan Sabet, and N. Abdallah, "Efficient bus design rules checking using supergates analysis and symbolic simulation," presented at 4th international workshop on Symbolic Methods And Computer Design, IEEE Computer Society Leuven Belgium, 1996.
- [55] J. Dunoyer, F. Pétrot, and L. Jacomme, "Intrinsic Limitations of Logarithmic Encodings for Low Power Finite State Machines," presented at Proceedings of the Mixed Design of VLSI Circuits Conference, Poznan Poland, 1997, pp. 613-618.
- [56] J. Dunoyer, F. Pétrot, and L. Jacomme, "Limitations of Logarithmic Encodings for Low Power Finite State Machines," presented at 4th IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems (ICECS'97), Cairo Egypt, 1997, pp. 522-528.

- [57] J. Dunoyer, F. Pétrot, and L. Jacomme, "Stratégie de codage des automates pour les applications basse-consommation : expérimentations et interprétation," presented at Journées Faible Tension Faible Consommation, Paris France, 1997.
- [58] J. Dunoyer, L. Vuillemin, and P. Bazargan Sabet, "Méthodes Probabilistes pour l'Evaluation de la Consommation des Circuits Intégrés VLSI," presented at 1er Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes, Grenoble France, 1997, pp. 116-119.
- [59] G. Durand, M.-J. Caraty, C. Montacié, and P. Faudemay, "Script Warping and Extraction of Audiovisual Object Properties in Video," presented at SPIE - Multimedia Storage and Archiving Systems IV, Boston, 1999.
- [60] G. Durand and P. Faudemay, "Extraction of Composite Visual Objects from Audiovisual Materials," presented at Invited paper - SPIE - Multimedia Storage and Archiving Systems IV, Boston, 1999.
- [61] P. Faudemay, "Multidimensional navigation in collections of multimedia objects," presented at ACM Conference on Computer Human Interfaces (CHI'98), Los Angeles CA USA, 1998.
- [62] P. Faudemay and L. Chen, "Interoperability issues in the Transdoc project," presented at Workshop on Interoperability for Video Indexation, ACM Multimedia 96 Boston MAS USA, 1996.
- [63] P. Faudemay, L. Chen, C. Montacié, M.-J. Caraty, C. Maloigne, X. Tu, M. Ardebilian, and F. J.-L. Le, "Multi-channel video segmentation," presented at Int'l Conf. on Multimedia Storage and Archiving Systems SPIE Symp., Boston MAS USA, 1996.
- [64] P. Faudemay and a. et, "Segmentation multi-canaux de vidéos en séquences," presented at CORESA'97, CNET Issy-Les-Moulineaux, 1997.
- [65] P. Faudemay, P. Joly, C. Thienot, and C. Seyrat, "A proposal for constraint expression in an XML class based DDL," presented at MPEG Document M4542, 1999.
- [66] P. Faudemay, P. Joly, C. Thiénot, and C. Seyrat, "An Extensible DDL Framework based on RDF and Ontologies," presented at MPEG proposal p625b, 1999.
- [67] P. Faudemay, P. Joly, C. Thiénot, and C. Seyrat, "Video Editing Work Description Scheme," presented at MPEG proposal p624, 1999.
- [68] P. Faudemay and C. Seyrat, "Intelligent delivery of personalised video programmes from a video database," presented at 8th International Conference Database and ExpertSystems Applications (DEXA'97), Toulouse France, 1997.
- [69] P. Faudemay, C. Thiénot, and C. Seyrat, "Basic Semantic for descriptions," presented at MPEG Document M4780, 1999.
- [70] A. Fenyo, P. David, and A. Greiner, "Noyau de communication sécurisé pour la machine parallèle MPC," presented at 10èmes Rencontres sur le Parallélisme (RENPAP'10), Strasbourg France, 1998.
- [71] M. Firas, M. Marzouki, and M. H. Touati, "A Cost-effective Approach for Analog, Digital and Mixed-signal Test and Diagnosis," presented at 2nd IEEE European Test Workshop, Cagliari Italy, 1997.
- [72] O. Florent, "Génération distribuée de vecteurs de test par découpage structurel," presented at 1er Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes, Grenoble France, 1997, pp. 242-245.
- [73] P. Guerrier and A. Greiner, "A Scalable Architecture for System-on-Chip Interconnections," presented at Sophia Antipolis Forum on MicroElectronics (SAME'99), Sophia Antipolis France, 1999, pp. 90-93.
- [74] P. Guerrier and A. Greiner, "A Generic Architecture for On-chip Packet-switched Interconnections," presented at Design Automation and Test in Europe Conference (DATE'2000), Paris France, 2000, pp. 250-256.
- [75] A. Guettaf and P. Bazargan Sabet, "Efficient Partitioning Method for Distributed Logic Simulation of VLSI Circuits," presented at 31st Annual Simulation Symposium, Boston MAS USA, 1998, pp. 196-201.
- [76] A. Guettaf and P. Bazargan Sabet, "Using Node Replication to Improve Circuit's Partition in Distributed Logic Simulation," presented at 12th European Simulation Multiconference, Manchester United Kingdom, 1998, pp. 235-237.
- [77] D. Hommais, "Un environnement de simulation pour systèmes embarqués," presented at 1ère Journée Nationale Réseau Doctoral Microélectronique, Toulouse France, 1998.
- [78] D. Hommais, P. Frédéric, and A. Ivan, "Une approche pour la conception des systèmes intégrés," presented at IIIèmes Journées Nationales du Réseau Doctoral de Micro-électronique (JNRDM2000), Montpellier France, 2000, pp. 76-77.
- [79] D. Hommais, A. Greiner, and F. Pétrot, "Un environnement de simulation pour les systèmes embarqués," presented at 1er Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes, Grenoble France, 1997, pp. 66-69.
- [80] D. Hommais and F. Pétrot, "Efficient Combinational Loops Handling for Cycle Precise Simulation of System on a Chip," presented at 24th EUROMICRO International Conference on Digital Sytems, Vasteras Sweden, 1998, pp. 51-54.
- [81] D. Hommais and F. Pétrot, "Une gestion efficace des boucles combinatoires pour la simulation au cycle près de systèmes matériel-logiciel," presented at Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes GDR 732, France, 1999, pp. 266-269.
- [82] F. Iponse and P. Bazargan Sabet, "CRISE : Un Outil d'Evaluation des Risques dus à la Diaphonie dans les Circuits Intégrés fortement Sub-Microniques," presented at Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes GDR 732, France, 1999.

- [83] L. Jacomme, F. Pétrot, and R. K. Bawa, "Formal Extraction of Memorizing Elements for Sequential VHDL Synthesis," presented at IEEE/EUROMICRO'98 International Conference on Digital Systems, Vasteras Sweden, 1998.
- [84] L. Jacomme, F. Pétrot, and R. K. Bawa, "Formal Analysis of Single Wait VHDL processes for Semantic Based Synthesis," presented at 12th IEEE International Conference on VLSI Design, Goa India, 1999, pp. 151-156.
- [85] L. Jacomme and B. Rajesh, "Synthèse de descriptions comportementales séquentielles en conformité avec la sémantique VHDL," presented at 1er Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes, Grenoble France, 1997, pp. 303-306.
- [86] A. Khouas and A. Derieux, "Methodology for Fast and Accurate Analog Production Test Optimization," presented at 5th IEEE International Mixed Signal Testing Workshop (IMSTW), Whistler British Columbia Canada, 1999, pp. 215-219.
- [87] A. Khouas and A. Derieux, "Optimisation des Tests de Production pour les Circuits Analogiques avec prise en compte des tolérances," presented at Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes GDR 732, France, 1999.
- [88] A. Khouas and A. Derieux, "Optimization of Production Tests for Analog Circuits under Parameter Variations," presented at Mixed Design of Integrated Circuits and Systems (MIXDES'99), Krakow Poland, 1999.
- [89] A. Khouas and A. Derieux, "Speed-up of High Accurate Analog Test Stimulus Optimization," presented at International Test Conference (ITC), Atlantic City NJ USA, 1999, pp. 230-236.
- [90] A. Khouas, M. Dessouky, and A. Derieux, "Optimized Statistical Analog Fault Simulation," presented at IEEE Asian Test Symposium (ATS'99), Shanghai China, 1999.
- [91] J.-J. Lecler, A. Fenyo, A. Greiner, and F. Potter, "SmarthSL : An Evaluation Board for the IEEE 1355 Technology," presented at European Multimedia Microprocessor Systems and Electronic Commerce Conference and Exhibition (EMMSEC'97), Florence Italy, 1997.
- [92] A. Lester, P. Bazargan Sabet, and A. Greiner, "Circuit Disassembly for Verification and functional Abstraction of CMOS Circuits," presented at Sophia Antipolis forum on MicroElectronics (SAME'98), Sophia Antipolis France, 1998, pp. 60-63.
- [93] A. Lester, P. Bazargan Sabet, and A. Greiner, "YAGLE, a Second generation Functional Abstractor for CMOS VLSI Circuits," presented at 10th International Conference on Microelectronics (ICM'98), Monastir Tunisia, 1998, pp. 265-268.
- [94] A. Lester, A. Greiner, and P. Bazargan Sabet, "Un Outil d'Evaluation de la Consommation Basée sur l'Extraction d'un Réseau de Portes Caractérisées," presented at 1er Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes, Grenoble France, 1997, pp. 128-131.
- [95] W. Maroufi, M. Benabdenbi, and M. Marzouki, "Controlling the CAS-BUS TAM with IEEE 1149.1 TAP: A Solution for Systems-On-a-Chip Testing," presented at 4th IEEE International Workshop on Testing Embedded Core-based Systems (TECS'00), Montréal Canada, 2000.
- [96] W. Maroufi and M. Marzouki, "Specification and Early Evaluation of System Testability through Object Oriented modeling," presented at 2nd IEEE European Test Workshop, Cagliari Italy, 1997.
- [97] W. Maroufi and M. Marzouki, "STA : A System Testability Assistant," presented at 3rd IEEE European Test Workshop, Sitges Spain, 1998.
- [98] W. Maroufi and M. Marzouki, "System Testability Evaluation with STA," presented at 10th International Conference on Microelectronics (ICM'98), Monastir Tunisia, 1998.
- [99] H. Mehrez and M. Aberbour, "Architecture and design Methodology of the RBF-DDA Neural Network," presented at IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'98), Monterey CA USA, 1998.
- [100] F. Mohamed, A. Khouas, and A. Derieux, "L'optimisation des vecteurs de test analogique à base d'une approche floue," presented at Rencontre Francophone sur la Logique Floue et ses Applications (LFA'97), Lyon France, 1997, pp. 107-112.
- [101] O. Oliaei and H. Aboushady, "Jitter Effects in Continuous-Time Sigma-Delta Modulators with Delayed Return-to-Zero Feedback," presented at 5th IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems (ICECS'98), Lisbon Portugal, 1998, pp. 351-354.
- [102] O. Oliaei, H. Aboushady, and P. Loumeau, "Simulation de Modulateurs Sigma-Delta à Courants Commutés," presented at 1er Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes, Grenoble France, 1997, pp. 283-286.
- [103] O. Oliaei, H. Aboushady, and P. Loumeau, "A Switched-Current Class AB Sigma-Delta-Modulator," presented at 30th IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'97), Hong Kong, 1997.
- [104] F. Pétrot, "Cycle Accurate System Simulation," presented at Medea-Esprit Conference, Antwerpen Belgium, 1999.
- [105] F. Pétrot and D. Hommais, "A Generic Programmable Arbiter with Default Master Grant," presented at IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2000), Geneva Switzerland, 2000.
- [106] F. Pétrot, D. Hommais, and A. Greiner, "Cycle Precise Core Based Hardware/Software System Simulation with Predictable Event Propagation," presented at 23rd Euromicro Conference, Budapest Hungary, 1997, pp. 182-187.
- [107] F. Pétrot, D. Hommais, and A. Greiner, "A Simulation Environment for Core Based Embedded Systems," presented at Proceeding of the 30th Annual Simulation Symposium, Atlanta Georgia, 1997, pp. 86-91.
- [108] F. Rahim, R. K. Bawa, and A. Amara, "VHDL based Verification of RISC pipelined Processor INFINITY : A Case Study," presented at IEEE/ACM International Workshop on Logic Synthesis (IWLS'98), Lake Tahoe USA, 1998.

- [109] F. Rahim, E. Encrenaz, M. Minoux, and R. K. Bawa, "Modular Model Checking of VLSI Designs described in VHDL," presented at IEEE International Conference on Computer and their Applications, Honolulu Hawaii, 1998, pp. 365-368.
- [110] F. Ramos, L. Chen, M. Bui, D. Donsez, and P. Faudemay, "Task allocation strategies: a study with a multi-agents system in fully distributed information systems," presented at 10th Brazilian Symposium on Software Engineering, Sao Carlos SP Brazil, 1996.
- [111] E. H. Rejouan and H. Mehrez, "Automatic Generation Of Self Testing ROM," presented at 4th International Workshop, Mixed Design of Integrated Circuits and Systems Education Of Computer Aided Design of Modern Devices and ICs Poznan Poland, 1997.
- [112] P. Remy, P. Royannez, and A. Amara, "A GaAs electrical rule checker," presented at X Simposio Brasileiro de Concepcao de Circuitos Integrados (SBCCI '97), Gramado Brasil, 1997, pp. 1-10.
- [113] P. Royannez and A. Amara, "A CMOS/GaAs DCFL comparartive survey based upon custom designed multiplier generators," presented at First Electronic Circuits and Systeme Conference (ECS'97), Bratislava Slovakia, 1997.
- [114] P. Royannez and A. Amara, "DCFL circuit buffering," presented at 7th International Symposium on IC Technology, System & Applications (ISIC'97) Singapore Singapore, 1997.
- [115] R. Ruiloba, P. Joly, S. Marchand-Maillet, and G. Quénot, "Towards a Standard Protocol for the Evaluation of Video-to-Shots Segmentation Algorithms," presented at International Workshop in Content-Based Multimedia Indexing (CBMI), Toulouse France, 1999.
- [116] R. Ruiloba, P. Joly, C. Thienot, and C. Seyrat, "An Analytic Description Scheme for Editing Work," presented at ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/M5346, Maui, 1999.
- [117] R. Ruiloba, P. Joly, C. Thienot, and C. Seyrat, "A Description Scheme for Video Editing Work," presented at ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/M5714, Holland, 2000.
- [118] C. Seyrat, G. Durand, and P. Faudemay, "Méthode d'indexation multimédia fondée sur les Objets Visuels," presented at 4èmes Journées d'Echanges Compression et Représentation des Signaux Audiovisuels (CORESA'98), Lannion France, 1998.
- [119] C. Seyrat and C. Thiénot, "Co-rédacteurs du Working Draft de la norme MPEG-7 à propos du DDL, Information technology - Multimedia Content Description Interface - Part 2 : Description Definition Language," presented at MPEG Document N3201, 1999.
- [120] C. Seyrat, C. Thiénot, and P. Faudemay, "A DDL version for the AVIR project," presented at MPEG Document M5079, 1999.
- [121] C. Thiénot, C. Seyrat, P. Faudemay, and P. Joly, "Status of the MPEG-7 parser," presented at MPEG Document M5424, 1999.
- [122] C. Thiénot, C. Seyrat, P. Faudemay, and P. Joly, "Status of the MPEG-7 parser," presented at MPEG Document M5767, 2000.
- [123] C. Thiénot, C. Seyrat, and P. Joly, "A vector datatype for the DDL," presented at MPEG Document M5889, 2000.
- [124] X. Tu, L. Chen, M. Ardebilian, and P. Faudemay, "Video Segmentation Using 3-D hints contained in 2-D Images," presented at Int'l Conf. on Multimedia Storage and Archiving Systems SPIE Symp., Boston MAS USA, 1996.
- [125] A. Turier, L. Ben Ammar, and A. Amara, "An Accurate Power and Timing Modeling Technique Applied to A Low-Power ROM Compiler," presented at Power and Timing Modeling for Performance of Integrated circuits (PATMOS'98), Lyngby Denmark, 1998, pp. 181-190.
- [126] A. Turier, L. Ben Ammar, and A. Amara, "Architecture of low-power embedded ROMs," presented at 8th International Symposium on Integrated Circuits Devices & Systems (ISIC'99), Singapore Singapore, 1999, pp. 467-470.
- [127] A. Turier, L. Ben Ammar, and A. Amara, "Générateur de ROMs basse consommation," presented at 2ème Journées Francophones d'études Faible Tension Faible Consommation (FTFC'99), Paris France, 1999, pp. 82-87.
- [128] L. Vuillemin, "Vérification logico-temporelle de circuit VLSI a l'aide d'un réseau de FPGA," presented at 1ère Journée Nationale Réseau Doctoral Microélectronique, Toulouse France, 1998.
- [129] L. Vuillemin and P. Bazargan Sabet, "Simulation logico temporelle de circuits VLSI à l'aide d'un réseau de FPGA," presented at Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes GDR 732, France, 1999.
- [130] L. Vuillemin and P. Bazargan Sabet, "Timed simulation of VLSI circuits using a FPGA net," presented at Applied Informatics (IASTED AI 2000), Innsbruck Austria, 2000.
- [131] F. Wajsbürt, J.-L. Desbarbieux, C. Spasevski, S. Penain, and A. Greiner, "An Integrated PCI Component for IEEE 1355," presented at European Multimedia Microprocessor Systems and Electronic Commerce Conference and Exhibition (EMMSEC'97), Florence Italy, 1997.
- [132] F. Wajsbürt, K. Dioury, and F. Pétrot, "Low Power, Process Independent, Full Transistor Controlled Slew Rate, PCI Compliant I/O pads," presented at 21st International Conference on Microelectronics, Nis Yougosliavia, 1997, pp. 811-814.
- [133] L. Winckel and P. Faudemay, "An Abstract Model for a Low Cost SIMD Architecture," presented at Int'l Conf. ASAP, Chicago USA, 1996.
- [134] B. Zerrouk and A. Bouaroua, "MILE : An Open Environment for Interconnection Networks Performance Evaluation," presented at ISCA Parallel and Distributed Computer Systems (PDCS'96), Dijon France, 1996.
- [135] B. Zerrouk, A. Bouaroua, and F. Ilponse, "MILE : Experimental Study Of A Generic Router Under MILE," presented at IASTED Applied Informatic (IASTED AI'97), Innsbruck Austria, 1997.

- [136] B. Zerrouk, V. Reibaldi, F. Potter, A. Greiner, and A. Derieux, "RCube : A gigabit serial links low latency adaptive router," presented at Records of the IEEE Hot Interconnects IV, Palo Alto CA USA, 1996.
- [137] B. Zerrouk, V. Reibaldi, F. Potter, A. Greiner, A. Derieux, R. Marbot, and R. Nezammzadeh, "RCube : A Message Routing Device Using The OMI/HIC High Speed Link Technology," presented at Third IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems (ICECS'96), Rodos Greece, 1996.

Autres publications

- (1) Y. Bajot : "Panorama des processeurs de traitement du signal", LIP6, Paris 1998.
- (2) D. Archambaud, F. Dromard, A. Greiner, P. Faudemay, S. I. Saraiva, L. Winckel : "Une carte massivement parallèle SIMD programmable", LIP6, Paris 1996.
- (3) A. Derieux, B. e. A. Zerrouk : "Projet ILIAD : Impact des liaisons séries haut débit sur l'architecture des machines parallèles", LIP6, Paris 1996.
- (4) M.-M. Paget, M.-M. Rosset-Louërat, A. Derieux : "Apprendre avec Alliance", LIP6, Paris 1996.
- (5) B. Zerrouk, V. Reibaldi, D. Tranoudis, J.-L. Debarbieux : "Compact High Speed CMOS Crossbar For Switching Fabrics", LIP6, Paris 1996.



FORMATION PAR LA RECHERCHE ASIM

Habilitations

- (1) P. Faudemay : “Recherche par le contenu dans des bases de données structurées et multimédia : architectures logicielles et matérielles”, Habilitation à diriger des Recherches, Université Paris 6, 09/03/1998.

Thèses

- (1) N. Abdallah : “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 Doctorat, Université Paris 6, 26/02/1998, encadrée par P. Bazargan Sabet.
- (2) M. Aberbour : “Architecture d’un système hétérogène pour la reconnaissance de formes”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 29/09/1999, encadrée par H. Mehrez.
- (3) A. Bouaraoua : “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 Doctorat, Université Paris 6, 13/05/1998, encadrée par A. Greiner.
- (4) J.-Y. Brunel : “Synthèse d’architecture de circuits intégrés : Etude de l’ordonnancement au niveau transfert de registres pour prendre en compte les contraintes temporelles imposées par les bibliothèques d’opérateurs disponibles”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 06/12/1996, encadrée par A. Greiner.
- (5) P. Couteaux : “Etude d’un circuit de sérialisation à 3 Gbits/s en technologie BiCMOS”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 03/07/1997, encadrée par A. Greiner.
- (6) T. Cruanes : “Mécanismes de synchronisation dans un gérant d’objets distribués”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 11/1996, encadrée par P. Faudemay.
- (7) J.-L. Desbarbieux : “Conception et réalisation d’un contrôleur réseau programmable pour machine parallèle de type "grappe de PC"”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 28/06/2000, encadrée par A. Greiner.
- (8) K. Dioury : “Analyse temporelle hiérarchique des circuits VLSI à très haute densité d’intégration”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 18/09/1998, encadrée par M.-M. Rosset-Louérat.
- (9) J. Dunoyer : “Modèles et méthodes probabilistes pour l’évaluation de la consommation des circuits intégrés VLSI”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 09/07/1999, encadrée par P. Bazargan Sabet.
- (10) O. Florent : “Une méthode de test des circuits intégrés, basée sur un découpage structurel peu recouvrant”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 30/06/1998, encadrée par A. Greiner.
- (11) A. Goeury : “Conception d’un routeur intégré possédant un tampon central et un mécanisme d’auto-configuration”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 24/11/1998, encadrée par M. Roland.
- (12) P. Guerrier : “Un Réseau d’interconnexion pour systèmes intégrés”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 10/05/2000, encadrée par A. Greiner.
- (13) J.-B. Guignet : “Abstraction Fonctionnelle des Composants VLSI”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 31/03/1998, encadrée par A. Greiner.
- (14) M. Hervieu : “Etude architecturale d’un système de reconnaissance en ligne de caractères manuscrits”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 03/12/1996, encadrée par A. Greiner.
- (15) A. Houelle : “GenOptim : un environnement d’aide à la conception de générateurs de circuits portables optimisés en performance et en surface”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 20/06/1997, encadrée par H. Mehrez.
- (16) L. Jacomme : “Analyse sémantique de descriptions VHDL synchrones en vue de la synthèse”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 29/10/1999, encadrée par A. Greiner.
- (17) A. Lester : “Abstraction Fonctionnelle des Circuits Numériques VLSI avec une méthode formelle basée sur une extraction de réseau de portes”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 21/12/1999, encadrée par P. Bazargan Sabet.
- (18) W. Maroufi : “Aide à la conception de systèmes testables”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 02/07/1999, encadrée par M. Marzouki.
- (19) A. Pierre Duplessix : “Etude et réalisation d’une liaison série à 1 GBaud indépendante du codage des données”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 04/04/1997, encadrée par A. Greiner.
- (20) E. Prado : “Algorithmes de synthèse de circuits programmables basés sur des graphes de décision binaire”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 05/07/1996, encadrée par A. Greiner.
- (21) C. Quennesson : “Evaluation de circuits VLSI autocontrôlés prenant en compte un modèle de fautes multiples”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 07/03/1997, encadrée par H. Mehrez.
- (22) V. Reibaldi : “Conception et réalisation d’un routeur paquets à hautes performances”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 03/07/1997, encadrée par A. Greiner.
- (23) E. H. Rejouan : “Outils d’aide à la synthèse d’architectures vlsi auto-testables - Algorithmes de génération de vecteurs de test déterministes et mixtes”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 17/07/1998, encadrée par H. Mehrez.
- (24) P. Remy : “Outils de vérification pour circuits VLSI AsGa MESFET par des méthodes d’abstraction fonctionnelle”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 15/12/1997, encadrée par A. Greiner.

- (25) N. Vaucher : “Méthodologie de conception d’architectures VLSI génériques appliquée au traitement numérique”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 20/06/1997, encadrée par H. Mehrez.
- (26) H. N. Vuong : “Une nouvelle méthode de simulation par évaluation directe de expressions logiques représentées par des graphes : application à des circuits modélisés par un sous-ensemble du langage VHDL.”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 09/12/1997, encadrée par P. Bazargan Sabet.
- (27) L. Winckel : “Environnement logiciel d’un coprocesseur SIMD associatif et systolique microprogrammable”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 28/11/1997, encadrée par P. Faudemay.

ANIMATION DE LA RECHERCHE ASIM

Organisation scientifique de congrès et colloques

Bazargan P.

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

Greiner A.

- 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

Contrats industriels

Consommation VLSI

Responsable scientifique : Bazargan Sabet Pirouz, durée : 1/01/1996 - 31/12/1998, financement 630 kF.

- L'objectif du projet est de définir une méthode de calcul de la consommation électrique des circuits intégrés et de développer un outil logiciel mettant en oeuvre cette méthode.

Partenaire(s) : CNET/Centre de Grenoble.

Projet CONVOLUEUR

Responsable scientifique : Mehrez Habib, durée : 1/11/1996 - 30/09/1997, financement 110 kF.

- L'objectif du projet est la fabrication d'une carte prototype pour l'implantation d'un circuit de convolution.

Partenaire(s) : CEA.

MIAT

Responsable scientifique : Faudemay Pascal, durée : 1/01/1997 - 30/11/1998, financement 1125 kF.

- L'objectif de ce projet est la réalisation de serveurs d'indexation de vidéo.

Partenaire(s) : POSTE/TELECOM.

Projet circuit basse consommation

Responsable scientifique : Greiner Alain, durée : 1/09/1997 - 30/06/2000, 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(s) : ATMEL.

Projet SALLIANCE (suite)

Responsable scientifique : Mehrez Habib, durée : 1/11/1997 - 30/09/1998, financement 210 kF.

- 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(s) : CEA.

Systèmes de "contrôle commande" ferroviaire

Responsable scientifique : Mehrez Habib, durée : 1/01/1998 - 30/06/1999, financement 40 kF.

- L'objectif du projet est l'étude d'une architecture assurant une haute sécurité de fonctionnement.

Partenaire(s) : SNCF.

Consommation VLSI

Responsable scientifique : Bazargan Sabet Pirouz, durée : 1/05/1998 - 31/05/2001, financement 300 kF.

- Dans ce projet, le LIP6 se propose d'étudier le problème de bruit induit à cause de la présence des capacités de couplage entre les signaux dans les circuits VLSI contruits avec des technologies fortement submicroniques.

Partenaire(s) : St Microelectronics.

Circuits VLSI

Responsable scientifique : Bazargan Sabet Pirouz, durée : 1/05/1998 - 31/05/2001, financement 300 kF.

- Etude du problème du bruit induit à cause de la présence des capacités de couplage entre les signaux dans les circuits VLSI contruits avec des technologies fortement submicroniques.

Partenaire(s) : STMicronics.

Projet SALLIANCE

Responsable scientifique : Mehrez Habib, durée : 1/11/1998 - 30/09/1999, financement 210 kF.

- L'objectif du projet consiste à la réalisation d'un processeur parallèle de compression de données et d'extraction de signatures pouvant être traitées par un classifieur neuronal.

Partenaire(s) : CEA.

Architecture de commutateur ATM

Responsable scientifique : Greiner Alain, durée : 1/06/1999 - 30/06/2002, financement 150 kF.

- L'objectif du projet est l'étude d'une architecture de commutateur ATM extensible utilisant la technologie HSL.

Partenaire(s) : CS TELECOM.

Architectures pour un réseau de neurones

Responsable scientifique : Mehrez Habib, durée : 1/11/1999 - 31/10/2000, financement 200 kF.

- Une étude d'architectures génératrice de micro fonctions et placement / routage d'un réseau de neurones.

Partenaire(s) : CEA-DAM.

CEA-DAM (n°9M4248 EG H4)

Responsable scientifique : Mehrez Habib, durée : 1/12/1999 - 31/08/2000, financement 110 kF.

- Etude de portage d'une base de données d'un circuit de calcul neuronal sur une technologie ciblée Fabrication d'échantillons.

Partenaire(s) : CEA.

Création d'un laboratoire commun "ST"

Responsable scientifique : Greiner Alain, durée : 1/01/2000 - 31/12/2004, financement 10000 kF.

- Création d'un laboratoire commun ST/UPMC/CNRS dans le domaine de la conception des circuits et systèmes intégrés.

Partenaire(s) : STMicroelectronics SA.

Contrats internationaux

ESPRIT : projet ARCHES

Responsable scientifique : Greiner Alain, durée : 1/12/1996 - 30/09/1999, financement 4650 kF.

- L'objectif 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.

Partenaire(s) : PARSYTEC (Allemagne), STMicroelectronics (United Kingdom), BULL SA, CERN (Suisse), SINTEF (Norvege), Dolphin Interconnect Solutions ((Norvege).

ESPRIT : projet EUROPRO

Responsable scientifique : Greiner Alain, durée : 1/10/1996 - 31/12/1998, financement 2375,130 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.

Partenaire(s) : THOMSON SINTRA ASM (France), BULL (France), CETIA, DICESVA (Espagne), FRAUNHOFER (Allemagne), GEC MARCONI (United Kingdom), INTECS SISTEMI (Italie), PRAKLASEISMOS (Allemagne), SIMULOG, THOMSON CSF (France), LGAI (Espagne), ICR (Espagne).

MEDEA 403/97

Responsable scientifique : Greiner Alain, durée : 1/01/1997 - 31/12/1997, financement 1230,155 kF.

- L'objectif du projet est la définition de méthodes de conception de systèmes intégrés et le développement des outils logiciels correspondants.

Partenaire(s) : BULL (France), STMicroelectronics (France), METASYMBOSE (France), ALCATEL (Belgique), COWARE (Belgique), EONIC (Belgique), FRONTIER DESIGN (Belgique), IMEC (Belgique), PHILIPS (Pays-Bas), TIMA (France).

MEDEA 406/97

Responsable scientifique : Greiner Alain, durée : 1/01/1997 - 31/12/1997, financement 879 kF.

- L'objectif du 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.

Partenaire(s) : BULL (France), THOMSON TCS (France), ANACAD (France), ALCATEL Mietec (Belgique), TEMENTO (France), LIRMM (France), MATRA MHS (France), PHILIPS (Pays-Bas).

ESPRIT : projet COSY

Responsable scientifique : Greiner Alain, durée : 1/10/1997 - 31/03/2000, financement 5750 kF.

- L'objectif 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.

Partenaire(s) : PHILIPS (Pays-Bas), SIEMENS (Allemagne), Cadence European Laboratory (Italie), Politecnico di Torino (Italie).

MEDEA 403/98

Responsable scientifique : Greiner Alain, durée : 1/01/1998 - 31/12/1998, financement 969,682 kF.

- L'objectif du projet est la définition de méthodes de conception de systèmes intégrés et le développement des outils logiciels correspondants.

Partenaire(s) : BULL (France), STMicroelectronics (France), METASYMBOSE (France), ALCATEL (Belgique), COWARE (Belgique), EONIC (Belgique), FRONTIER DESIGN (Belgique), IMEC (Belgique), PHILIPS (Pays-Bas), TIMA (France).

MEDEA 406/98

Responsable scientifique : Greiner Alain, durée : 1/01/1998 - 31/12/1998, financement 908,723 kF.

- L'objectif du 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.

Partenaire(s) : *BULL (France), THOMSON TCS (France), ANACAD (France), ALCATEL Mietec (Belgique), TEMENTO (France), LIRMM (France), MATRA MHS (France), PHILIPS (Pays-Bas).*

ESPRIT : Projet AVIR

Responsable scientifique : Faudemay Pascal, durée : 1/09/1998 - 31/08/2000, financement 2306,5 kF.

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

Partenaire(s) : *PHILIPS (Pays Bas), Université de Brescia (Italie), TECMATH (Allemagne), RAI (Italie).*

ESPRIT : projet SWIFT

Responsable scientifique : Greiner Alain, durée : 1/11/1998 - 30/11/2000, financement 470,649 kF.

- L'objectif du projet est la conception d'un routeur VLSI à 16 ports utilisant des liens série à 275 Gbits/s, visant des application téléco. La contribution du LIP6 porte sur le multiplieur d'horloge intégré dans la puce.

Partenaire(s) : *NETWIZ (Israël), STORAGE AERA NETWORK (United Kingdom), INTERCOM NETWORK (Grèce), TACHIYS, PACT (United Kingdom), CERN (Suisse).*

MEDEA 403/99

Responsable scientifique : Greiner Alain, durée : 1/01/1999 - 31/12/1999, financement 1289 kF.

- L'objectif est la définition de méthodes de conception de systèmes intégrés et le développement des outils logiciels correspondants.

Partenaire(s) : *BULL (France), STMicroelectronics (France), METASYMBOSE (FRANCE), ALCATEL (Belgique), COWARE (Belgique), EONIC (Belgique), FRONTIER DESIGN (Belgique), IMEC (Belgique), PHILIPS (Pays-Bas), TIMA/INPG (France), AREXSYS (France).*

MEDEA 406/99

Responsable scientifique : Greiner Alain, durée : 1/01/1999 - 31/12/1999, financement 1225 kF.

- L'objectif du 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.

Partenaire(s) : *AVERTEC (France), BULL (France), THOMSON TCS (France), ANACAD (France), ALCATEL Microélectronique (Belgique), TEMENTO (Belgique), LIRMM (France), TEMIC (France), PHILIPS (Pays Bas).*

MEDEA 403/2000

Responsable scientifique : Greiner Alain, durée : 1/01/2000 - 31/12/2000, financement 1800 kF.

- L'objectif est la définition de méthodes de conception de systèmes intégrés et le développement des outils logiciels correspondants.

Partenaire(s) : *BULL (France), STMicroelectronics (France), METASYMBOSE (FRANCE), ALCATEL (Belgique), COWARE (Belgique), EONIC (Belgique), FRONTIER DESIGN (Belgique), IMEC (Belgique), PHILIPS (Pays-Bas), TIMA/INPG (France), AREXSYS (France).*

MEDEA 406/2000

Responsable scientifique : Greiner Alain, durée : 1/01/2000 - 31/12/2000, financement 1876 kF.

- L'objectif du 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.

Partenaire(s) : *AVERTEC (France), BULL (France), THOMSON TCS (France), ANACAD (France), ALCATEL Microélectronique (Belgique), TEMENTO (Belgique), LIRMM (France), TEMIC (France), PHILIPS (Pays Bas), BULL (France), STMicroelectronics (France), METASYMBOSE (FRANCE), ALCATEL (Belgique), COWARE (Belgique), EONIC (Belgique), FRONTIER DESIGN (Belgique), IMEC (Belgique), PHILIPS (Pays-Bas), TIMA/INPG (France), AREXSYS (France).*



PROSPECTIVE

L'activité du thème est centrée sur le calcul formel, et plus spécialement du problème fondamental de la résolution des systèmes d'équations polynomiales. Au cours des quatre premières années de vie du LIP6, l'activité du thème a sensiblement évolué à l'intérieur de cette thématique générale, en partie à cause d'importantes modifications de sa composition, mais aussi à cause des progrès de l'état de l'art, progrès auxquels le thème a eu une contribution non négligeable.

La thématique du thème se subdivise actuellement en quatre activités: Complexité, théorie de Galois effective, sémantique du calcul formel et preuve (projet FOC) et systèmes d'équations polynomiales. Dans le rapport d'activité précédent et dans le bilan détaillé, cette dernière activité est répartie en plusieurs rubriques (Bases de Gröbner, ensembles triangulaires, arithmétiques et géométrie réelle, applications, algèbre différentielle), mais l'évolution tend à regrouper tous ces aspects en un corpus dont il est important de souligner la cohérence.

Le groupe de complexité s'est constitué en mai 1997, avec l'intégration au LIP6 de M. Soria et M. Pelletier-Koskas. Il se consacre principalement, en collaboration avec le projet Algo de l'INRIA et dans le cadre du projet européen ALCOM-FT, à la complexité en moyenne et aux lois de probabilité sur les structures combinatoires. Une analyse des algorithmes développés dans le groupe des systèmes d'équation polynomiales est également en projet.

L'activité en théorie de Galois effective a pris son essor avec la nomination d'A. Valibouze comme professeur et le recrutement de deux doctorants dans ce domaine. Ce groupe est devenu la principale équipe de recherche française en théorie effective des groupes de Galois. Ces recherches sont connexes de la résolution des systèmes d'équations, car elles s'appliquent à la simplification des solutions et, inversement, utilisent les notions et algorithmes développés pour la résolution. Cependant, une relative indépendance entre les deux thématiques est naturelle et souhaitable.

Le projet FOC est un projet inter thèmes du LIP6 dont l'objectif est de montrer la faisabilité d'un environnement de calcul formel permettant d'associer puissance d'expression (calcul dans et avec les structures algébriques, éventuellement définies par l'utilisateur), modularité (on peut changer l'implémentation d'une structure algébrique, telle les entiers, en conser-

vant ce qui est construit au dessus), et efficacité (elle doit être comparable avec celle des langages compilés moins expressifs). En outre, la sémantique doit être assez précise pour permettre la preuve formelle des programmes écrits dans cet environnement, ce qui est plus spécialement l'objectif de la participation du thème SPI, dans la mesure où ces différents objectifs peuvent être dissociés. Ce projet FOC est clairement un projet à moyen ou long terme, mais les résultats déjà obtenus (voir le bilan des recherches) laissent augurer de la possibilité de le mener à bien.

Le groupe s'occupant des systèmes polynomiaux s'est sensiblement renforcé, tout récemment par l'intégration d'un nouveau maître de conférences (P. Aubry), d'un CR-CNRS (Dongming Wang) et (provisoirement à ce jour) d'un CR -INRIA (F. Rouillier). Cette équipe qui avait déjà acquis une avance significative dans la résolution pratique de ces systèmes devient ainsi, probablement, la plus importante équipe mondiale sur ce sujet. La transformation de ce groupe en un projet INRIA localisé au LIP6 est à l'étude et devrait se préciser au cours des prochains mois.

Les nouveaux algorithmes développés dans l'équipe sont en passe de résoudre de manière quasi optimale les systèmes n'ayant qu'un nombre fini de solutions complexes, que ce soit d'un point de vue algébrique ou du point de vue du calcul des solutions numériques. En témoignent la taille des problèmes résolus (et de leur solution, parfois trop grosse pour être exploitable), mais aussi la variété des applications totalement inaccessibles aux logiciels antérieurs, par exemple dans le contrôle de haute précision des robots industriels.

Aussi, le groupe se concentrera sur les activités suivantes qui sont pour une grande part indissociables

Résolution algébrique des systèmes ayant une infinité de solutions complexes en fusionnant les techniques de bases de Gröbner, d'ensembles triangulaires et d'algèbre linéaire.

- Résolution (un point au moins par composante connexe) des systèmes réels (avec inégalités) ayant une infinité de solutions complexes.
- Application à l'algèbre différentielle (en collaboration avec le LIFL).
- Applications industrielles et académiques.

Bien entendu, cette liste n'est pas limitative; elle est constituée des aspects où l'équipe a des progrès significatifs en cours.



BILAN SYNTHÉTIQUE DES RECHERCHES

Résolution algébrique

Lors du rapport d'activité à mi-parcours (1998) nous écrivions "Les principaux succès du thème se situent autour des travaux de 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". Aujourd'hui, Gb a été égalé par un autre logiciel (Magma), mais surtout complètement dépassé par son successeur Fgb, basé sur de nouveaux algorithmes qui lui permettent de mener à bien des calculs inenvisageables il y a trois ans, au point que, dans de nombreux cas, ce n'est plus le calcul de la base de Gröbner qui constitue la tâche critique, mais plutôt l'exploitation du résultat.

Aussi, l'équipe s'oriente maintenant vers des algorithmes qui contournent cette difficulté en décomposant l'espace des solutions en cours de calcul, ce qui produit des résultats de taille bien plus mania-

ble. Ces algorithmes sont de deux sortes. D'une part, le nouvel algorithme F7 de Faugère donne le résultat sous forme de listes de bases de Gröbner et s'avère extrêmement performant.

D'autre part, de gros progrès ont été accomplis sur les ensembles triangulaires, aussi bien au niveau théorique qu'au niveau pratique (Thèses de Moreno-Maza et d'Aubry). Alors qu'il y a peu, la technique des ensembles triangulaires était souvent disqualifiée par son inefficacité, les progrès accomplis rendent cette approche complémentaire de celle des bases de Gröbner, et rendent ces deux approches indissociables dans de nombreuses applications.

Il faut noter que sur cette question, le thème s'est renforcé tout récemment par le recrutement d'un Maître de Conférences (P. Aubry) et la mutation d'un chargé de recherches CNRS (Dongming Wang).

Résolution réelle

La très grande majorité des problèmes liés à la résolution des systèmes polynomiaux relèvent plus ou moins de la géométrie réelle. L'activité du thème dans ce domaine est ancienne : Thèse de F. Rebufat sur le placement des polynômes curviligne (co-encadrée avec J.-J. Risler, du centre de Mathématiques), arithmétique des nombres réels et infinitésimaux algébriques (R. Rioboo). Elle s'est traduite également par la collaboration de Faugère avec F. Rouillier (institutionnalisée par un contrat avec l'INRIA Lorraine), qui

a abouti en un ensemble logiciel extrêmement performant pour résoudre avec une précision garantie les problèmes ayant un nombre fini de solutions.

La thèse (en cours de rédaction) de Safey el Din utilise tous les acquis ci-dessus pour étendre ce qui précède au cas d'une infinité de solutions (où il s'agit de fournir au moins un point par composante connexe. L'arrivée dans le thème de F. Rouillier (CR INRIA), qui est susceptible de se pérenniser en un projet INRIA localisé au LIP6 est un gage de développement.

Applications

L'algèbre différentielle est un domaine d'application privilégié des techniques de résolution algébrique. Sans que ce soit un des sujets de préoccupation privilégié de l'équipe, elle est intervenue sur ce sujet, d'une part avec la thèse de M.-P. Quéré-Stuchlik, co-encadrée par G. Villard du LMC-IMAG, et d'autre part avec une collaboration déjà ancienne avec le LIFL (Lille, F. Boulier), qui est en train de prendre un nouveau départ basé sur les résultats de la thèse d'Aubry.

Les progrès logiciels mentionnés ci-dessus ont fait l'objet d'applications dans des domaines variés (très souvent en collaboration avec F. Rouillier), applications qui ont souvent suscité des extensions ou des améliorations de ces logiciels : Compression d'images

par ondelettes (brevet), cryptographie (contrat), mécanique céleste (thèse de Kotsireas), biophysique (article soumis...)

Deux applications méritent une mention spéciale : D'abord, les besoins du développement logiciel ont amené Faugère et Rouillier à mettre au point un protocole de transfert rapide de données entre machines hétérogènes, protocole qui fait l'objet d'un brevet, licencié à mu-Pad. D'autre part, les applications aux robots parallèles qui avaient fait l'objet d'article dans les revues et colloques de robotique autour de 1995 ont évolué en une collaboration avec une PME (CMW) en vue du contrôle de haute précision de machines outils d'usinage.

Projet FOC

Le projet Foc (Formel, Ocaml, Coq) est un projet inter-thèmes financé en tant que tel en 1998-1999. Il a également bénéficié d'un support comme participant de l'action coopérative INRIA Calcul Formel Certifié. Ce projet porte sur le développement d'un environnement de programmation certifiée pour le calcul formel, organisé autour de trois composantes : programmation (en Ocaml), preuves (en Coq) et interface utilisateur. Actuellement, Foc offre une bibliothèque couvrant la plupart des structures algébriques et la manipulation des polynômes, ce qui a permis de

vérifier que les choix effectués pour la méthodologie d'implantation permettent d'associer puissance d'expression, modularité et efficacité du code engendré. La bibliothèque doit maintenant être étendue à des algorithmes plus complexes et se rapprochant d'applications réelles. Parallèlement, ont été entrepris, d'une part, la mise en place des mécanismes de preuve (en Coq) et, d'autre part, d'une interface utilisateur permettant de s'affranchir d'Ocaml et de Coq et d'utiliser un langage proche de celui auquel sont habitués les usagers du calcul formel.

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 ≤ 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 facto-

risation 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.

Inversement et plus récemment, ces travaux sont apparus comme un lieu d'application intéressant des théories et des logiciels développés dans le thème sur les ensembles triangulaires.

Complexité

Les recherches dans ce domaine, initialisées par M. Soria et P. Flajolet (Inria) développent à la fois l'étude méthodologique des propriétés statistiques de schémas combinatoires et l'analyse d'algorithmes particuliers, en utilisant le calcul formel pour des automatisations partielles. Ces travaux sont fondés sur l'application aux séries bivariées de méthodes de probabilités et d'analyse asymptotique complexe.

L'étude méthodologique a permis de dégager une typologie statistique complète et effective pour une large classe de schémas combinatoires.

Les techniques développées ont permis d'analyser la complexité d'algorithmes appartenant à divers domaines : systèmes de réécritures, graphes fonctionnels et cartes planaires, avec des applications pratiques pour la génération aléatoire.

BILAN DÉTAILLÉ DES RECHERCHES

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 d'abord orientée vers la consolidation du logiciel Gb par l'introduction de nouvelles fonctionnalités telles que les ordres d'éliminations (M. Victor) ou de progrès algorithmiques découverts ailleurs.

Mais très vite l'activité de Faugère s'est orientée vers la mise au point d'algorithmes entièrement nouveaux (F4 (Faugère, 1999), F5, F7). Ces algorithmes

sont rassemblés dans un nouveau logiciel Fgb, qui commence à être diffusé sous licence ou par un serveur de calculs sous interface web. Fgb améliore 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 des possibilités des bases de Gröbner, car on peut maintenant faire des calculs dont la taille du résultat rend délicate son utilisation (1 600 Mo dans un exemple).

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, et notamment celui de Kalkbrenner dont il a sensiblement amélioré l'efficacité. 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.

À côté de ces améliorations pratiques l'équipe a montré l'équivalence de quatre définitions classiques des ensembles triangulaires réguliers Aubry et al., (1999), ce qui rend cohérent un domaine où il y avait presque autant de spécifications de sortie que d'algorithmes.

Malgré ces progrès importants, les techniques d'ensembles triangulaires n'atteignent pas encore l'efficacité des techniques de bases de Gröbner. Cependant, en raison de la qualité de leur sortie, elles interviennent souvent en complément des bases de Gröbner dans les applications (notamment pour la compression d'image, en géométrie réelle et en théorie de Galois)

Géométrie et arithmétiques réelles, PGCD

F. REBUFAT, M. MORENO-MAZA, R. RIOBOO, F. ROUILLIER, M. SAFEY EL DIN

L'équipe est concernée depuis longtemps par les problèmes de géométrie réelle, car la plupart des applications des systèmes polynomiaux relèvent de la géométrie, car de nombreux problèmes géométriques se modélisent par des systèmes d'équations et d'inégalités polynomiales.

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 volant im-

plantation s'appuie fortement sur les logiciels de l'équipe.

Le domaine de la résolution des systèmes avec inégalités est dans une situation assez paradoxale car il existe depuis plus de 20 ans des algorithmes théoriques de bonne complexité (dans le pire des cas), mais si inefficaces en pratique, qu'il n'est pas raisonnablement envisageable de les implanter.

Parmi beaucoup d'autres, 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 et transcrite dans des langages plus faciles à interfacer avec des logiciels écrits directement en C.

Applications

J.-Ch. Faugère, I. Kotsireas, D. Lazard, F. Rouillier

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. Déjà, vers 1995, notre équipe a résolu plusieurs problèmes théoriques sur les robots parallèles et montré que les calculs correspondant devenaient des calculs de routine. Depuis, ces travaux ont été continués dans le cadre d'une collaboration de l'INRIA Lorraine avec une PME fabriquant des machines outils, en vue de la commande de haute précision de machines de polissage.

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 con-

Ces deux dernières années, cet aspect des recherches de l'équipe s'est fortement développé avec le renforcement de la collaboration avec l'INRIA Lorraine et la venue de F. Rouillier. Tout ceci s'est concrétisé par la publication du premier algorithme efficace pour trouver un point par composante connexe d'un ensemble algébrique réel (Aubry et al. 2000)

nus 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.

I. Kotsireas a effectué sa thèse sur l'applicabilité de nos techniques en mécanique céleste, et notamment au calcul des configurations stables de n corps.

Il faut mentionner une application récente à la biophysique des membranes cellulaires (Faugère 2000), ainsi qu'un contrat en cryptographie.

Outre des applications en théorie de Galois ou dans d'autres domaines du calcul formel, notamment l'algèbre différentielle, il faut souligner une application inattendue, car elle ne découle pas de nos algorithmes et logiciels, mais des techniques d'implantation utilisées: Il s'agit d'un protocole de transmission de données numériques entre machines hétérogènes, beaucoup plus rapide que ceux qui existaient, et qui a fait l'objet d'un dépôt de brevet.

Dimension positive

P. AUBRY, D. LAZARD, J.-CH. FAUGÈRE, F. ROUILLIER, M. SAFEY EL DIN, D. WANG

Tous les aspects de la résolution des systèmes polynomiaux décrits dans les alinéas relèvent partiellement ou totalement d'un même problème, celui de la résolution des systèmes "de dimension positive", c'est à dire les problèmes ayant une infinité de solution.

Il s'agit d'un problème très vaste car il se décline sous des aspect variés allant du "Piano movers problem" (décider si un objet peut aller d'une position à une autre dans un environnement contraint), à l'opti-

misation sous contraintes polynomiales, en passant par la discussion de problèmes dépendant de paramètres.

Les problèmes n'ayant qu'un nombre fini de solutions commençant à être bien résolus, cette gamme de problèmes va devenir un aspect central pour l'ensemble des recherches du groupe, et sera notamment au centre du renforcement de la collaboration en cours avec l'INRIA Lorraine

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.

La thèse de G. Alexandre a montré la faisabilité d'un développement parallèle de programmes et de preuves pour le calcul formel. Il est toutefois apparu un certain nombre de lacunes sémantiques dans la conception d'Aldor et le projet FOC s'est donné comme objectif d'obtenir une librairie de calcul formel qui

soit sémantiquement fondée et prouvable automatiquement.

Au sein de l'action Inria CFC nous nous sommes attachés à réaliser un certain nombre de prototypes constituant la base d'une librairie minimale de calcul formel. Les algorithmes et représentations de données y sont analogues à ceux du système Axiom ou de la librairie BasicMath tout en restant strictement plus généraux et en s'appuyant sur un langage (Ocaml) sémantiquement fondé.

Ce développement s'est effectué en parallèle avec celui d'outils Coq pour modéliser la structure de la hiérarchie par S. Boulmé ainsi que le développement des structures algébriques en Coq de L. Pottier. Les tests effectués jusqu'à maintenant montrent que les temps d'exécution des algorithmes développés dans FOC se comportent de manière analogue à ceux développés dans les meilleurs systèmes généralistes. FOC est le seul environnement de développement qui permette d'utiliser en parallèle plusieurs librairies de grands nombres et peut très rapidement bénéficier des améliorations apportées à ce niveau.

Pour plus de détails voir le rapport du thème SPI et celui du projet interthèmes FOC.

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 invariants 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).

Un résultat récent et original de N. Rennert améliore significativement le calcul de résolvantes (accepté à JSC en 2000). Auparavant, A. Colin encadré par A. Valibouze avait publié plusieurs résultats importants sur les résolvantes et la recherche du groupe de Galois (thèse soutenue à l'école Polytechnique en 1997, voir Colin, 1997). L'étude du groupe de Galois est intimement lié à la factorisation des polynômes. Sur ce thème F. Lehobey (co-encadrement A. Valibouze et M.-F. Roy) a soutenu sa thèse à Rennes en 1999. Il a lors de cette thèse, développé un logiciel spécifique. Les invariants polynomiaux

nécessaires à la théorie de Galois sont étudiés fructueusement par I. Abdeljaouad qui soutiendra sa thèse en septembre 2000 (Abdeljaouad 1997, 1998).

Une étude récente a permis de faire le lien entre "idéaux" et groupes finis en théorie de Galois (Valibouze, 1999). Les "idéaux de Galois" qui ont ainsi vu le jour permettent d'utiliser les outils informatiques et théoriques de la géométrie algébrique, d'améliorer le calcul du corps des racines d'un polynôme (et donc du groupe de Galois) et aussi livrent un algorithme algébrique nouveau, simple et efficace pour calculer toute sorte de résolvantes (Rennert, Valibouze 1999; Aubry, Valibouze, 1998 accepté à JSC en 2000).

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.

L'aspect méthodologique porte sur l'étude des relations existant entre la description structurelle de processus combinatoires décomposables 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.

Les travaux de Ph. Flajolet et M. Soria ont permis d'établir une typologie complète et effective pour une large classe de schémas combinatoires, avec des lois limites gaussiennes. Avec les mêmes méthodes on a pu montrer (Soria 98) que les schémas algébriques "critiques" donnent lieu à des lois limites de type Gamma

Par ailleurs les techniques développées ont permis d'analyser précisément des algorithmes pour des applications particulières: systèmes de réécritures d'arbres de termes (Chabaud 98), graphes fonctionnels en liaison avec la cryptographie (Drnotta, Soria, 97), cartes planaires (Banderier, Flajolet, Schaeffer, Soria 00).

Dans le cadre de sa thèse, C. Chabaud s'intéresse aux fonctions algébriques: le package "Asymptotics of Algebraic Functions" (en collaboration avec F. Cazals et B. Salvy), qui est dédié au calcul des développements singuliers de fonctions algébriques réelles en une variable, est intégré à la distribution de Maple.

Sur la base des travaux existants sur les structures décomposables et dans le cadre du projet européen ALCOM-FT, M. Pelletier et M. Soria ont entrepris

d'étudier expérimentalement le comportement d'algorithmes avec génération de structures aléatoires contraintes (définies implicitement, sous-structures...).

PUBLICATIONS CALFOR

Livres

- (1) M. Soria, M. Morcrette, A. Brygoo, O. Palies : "Initiation à l'informatique par Word et Excel", ITP 97 (International Thomson Publishing Paris) ed: ITP-Vuibert, 1997.
- (2) D. Wang : "Elimination Methods": Springer-Verlag, Wien New York, 2000.

Articles de revues

- (1) I. Abdeljaouad : "Calculs d'Invariants Primitifs de Groupes finis", RAIRO - Informatique Théorique et Programmation, vol. 33, pp. 59-77, 1999.
- (2) P. Aubry, D. Lazard, M. Moreno Maza : "On the theories of triangular sets", Journal of Symbolic Computation, Special Issue on Polynomial Elimination, vol. 28, pp. 105-124, 1999.
- (3) P. Aubry, M. Moreno Maza : "Triangular Sets for Solving Polynomial Systems: a Comparative Implementation of Four Methods", Journal of Symbolic Computation, Special Issue on Polynomial Elimination, vol. 28, pp. 125-154, 1999.
- (4) A. Colin : "Solving a System of Algebraic Equations with Symmetries", Journal of Pure and Applied Algebra, vol. 117-118, pp. 195-215, 1997.
- (5) M. Drmota, M. Soria : "Images and preimages in random mapping", SIAM Journal on Discrete Mathematics, vol. 10, 1997.
- (6) J.-C. Faugère : "A new efficient algorithm for computing Gröbner bases (F4)", Journal of Pure and Applied Algebra, vol. 139, pp. 61-88, 1999.
- (7) J.-C. Faugère, F. M. d. Saint-Martin, F. Rouillier : "Design of nonseparable bidimensional wavelets and filter banks using Grobner bases techniques", IEEE SP Transactions on Signal Processing, Special Issue on Theory and Applications of Filter Banks and Wavelets, vol. 46, 4, 1998.
- (8) X. Hou, H. Li, D. Wang, L. Yang : "'Russian Killer" No. 2 : A Challenging Geometric Theorem with Human and Machine Proofs", The Mathematical Intelligencer, 2000.
- (9) D. Lazard : "Calcul formel : tendances et progrès récents", Technique et Science Informatique, Numéro spécial, Informatique : enjeux, tendances et évolutions, vol. 19, 2000.
- (10) Z. Ligatsikas, M. F. Roy, R. Rioboo : "Generic Closure Of an Ordered Field, Implementation in Axiom", Mathematics and Computers in Simulation, vol. 42, pp. 541-549, 1996.
- (11) H. Lombardi, M.-F. Roy, M. Safey El Din : "New structure theorems for subresultants", Journal of Symbolic Computation, 2000.
- (12) M. Pelletier, J. Sakarovitch : "On the representation of finite deterministic 2-tape automata", Theoretical Computer Science, vol. 225, pp. 1-63, 1999.
- (13) N. Rennert, A. Valibouze : "Calcul de résolvantes avec les modules de Cauchy", Experimental Mathematics, vol. 8 (4), 1999.
- (14) F. Rouillier, M.-F. Roy, M. Safey El Din : "Finding at least one point in each connected component of a real algebraic variety defined by a single equation", Journal of Complexity, 2000.
- (15) A. Valibouze : "Etude des relations algébriques entre les racines d'un polynôme d'une variable", Bulletin of the Belgian Math. Soc., vol. 6, pp. 507-535, 1999.
- (16) D. Wang : "Computing Triangular Systems and Regular Systems", Journal of Symbolic Computation, 2000.

Chapitres de Livres

- (1) S.-C. Chou, X.-S. Gao, Z. Liu, D.-K. Wang, D. Wang : "Geometric Theorem Provers and Algebraic Equations Solvers", in Mathematics Mechanization and Applications, X.-S. Gao et D. Wang, Eds.: Academic Press, London, 2000.
- (2) I. Kotsireas : "Central configurations in the newtonian n-body problem of celestial mechanics", in New reference book on Computer Algebra, J. Grabmeier, E. Kaltofen, et V. Weispfenning, Eds.: Springer Verlag, 2000.
- (3) D. Wang : "Some Algorithms for Zero Decomposition of Polynomial Systems", in Mathematics Mechanization and Applications, X.-S. Gao et D. Wang, Eds.: Academic Press, London, 2000.
- (4) D. Wang : "Geometric Algebra and Reasoning", in Geometric Algebra: A Geometric Approach to Computer Vision, Quantum and Neural Computing, Robotics and Engineering, E. Bayro-Corrochano et G. Sobczyk, Eds.: Birkhauser, Boston, 2000.

Communications avec actes

- (1) I. Abdeljaouad, "Computing Galois group," presented at AAEECC'13, Hawaii, 1999.
- [2] P. Aubry, "Effective Methods in Algebraic Geometry," presented at MEGA'98, St Malo, 1998.

- [3] P. Aubry, "Constructive Methods in Galois Theory," presented at Dagstuhl Workshop, 1999.
- [4] C. Banderier, P. Flajolet, G. Schaeffer, and M. Soria, "Planar maps and Airy phenomena," presented at Proceedings of ICALP'00, 2000.
- [5] S. Boulmé, T. Hardin, D. Hirschhoff, V. Ménessier-Morain, and R. Rioboo, "On the way to certify Computer Algebra Systems," presented at Proceedings of the Calculemus Workshop of FLOC'99, 1999.
- [6] S. Boulmé, T. Hardin, and R. Rioboo, "Modules Objets et Calcul Formel," presented at JFLA'99, Rocquencourt, 1999.
- [7] A. Colin, "Relative resolvents and partition tables in Galois group computations," presented at Proceedings of ISSAC'97 (ACM), 1997.
- [8] J.-C. Faugère and I. Kotsireas, "Symmetry theorems for the Newtonian 4- and 5-body problems with equal masses," presented at CASC'99 Proceedings, TUM Munich, 1999, pp. 81-92.
- [9] I. Kotsireas, "Using Grobner bases and invariant theory to check a conjecture in celestial mechanics," presented at Proceedings conference IMACS-ACA '98, Prague, 1998.
- [10] I. Kotsireas and D. Lazard, "Central configurations of the 5-body problem with equal masses in three dimensional space," presented at CASC Proceedings, 1998.
- [11] M. Moreno Maza, "An implementation of lextriangular algorithm in AXIOM," presented at Proceedings of the final Frisco Workshop, Task 3.3.2.5., 1997.
- [12] M. Moreno Maza, "On the Integration of Triangular Sets Methods in ALDOR," presented at Proceedings of the final Frisco Workshop, Task 3.3.2.4.2., 1998.
- [13] F. Rebufat, "Handling rotations in the placement of convex curved polygons," presented at Canadian Conference on Computational Geometry, 1997.
- [14] R. Rioboo, "Manipulations de Nombres Algébriques Réels," presented at Séminaire Euclide, Paris, 1998.
- [15] R. Rioboo, "Présentation du projet FOC," presented at Journées nationales de Calcul Formel, Nice, 1998.
- [16] R. Rioboo, "Real Algebraic Numbers," presented at Proceedings of the final Frisco Workshop, Oxford, 1999.
- [17] M. Soria, "Limit Distributions in Random Mappings," presented at Algorithms Seminar, Inria, vol. 2992, 1996.
- [18] M. Soria, "Coefficients of Algebraic Functions," presented at Algorithms Seminar, Inria, vol. 3504, 1998.
- [19] M. Soria, "Explicit formulae for Coefficients of Algebraic Generating Functions," presented at GDR AMI- ALEA, Caen, 1998.
- [20] M. Soria, "Special Limit Distributions," presented at Conference on Analysis of Algorithms, Stanford University, 1998.
- [21] A. Valibouze, "Calculs de Groupes de Galois," presented at Colloquium on Numerical Analysis and Computer Science With Applications, Plodiv, Bulgaria, 1998.

Autres publications

- (1) I. Abdeljaouad : "Package PrimitiveInvariant sous GAP. Inclus au logiciel GAP", , Septembre 1997.
- (2) P. Aubry, M. Moreno Maza : "Triangular sets for solving polynomial systems: a comparison of four methods", Rapport de recherche 009, LIP6, Université Paris 6, 1997.
- (3) P. Aubry, F. Rouillier, M. Safey El Din : "Real solving for positive dimensional systems", Rapport de recherche 009, LIP6, Université Paris 6, 2000.
- (4) P. Aubry, A. Valibouze : "Computing characteristic polynomials associated with some quotient rings", Rapport de recherche 004, LIP6, Université Paris 6, 1998.
- (5) C. Chabaud : "Complexity operator classification in regular rewriting systems", Rapport de recherche 027, LIP6, Université Paris 6, 1998.
- (6) A. Colin : "An efficient symbolic algorithm to compute Lagrange resolvents for computational Galois theory", Rapport de recherche 96.16, Ecole polytechnique 1996.
- (7) A. Colin : "Une preuve simple et constructive d'un théorème de Mattuck", Rapport de recherche 96.17, Ecole polytechnique 1996.
- (8) J.-C. Faugère : "How my computer find all the solutions of Cyclic 9", Rapport de recherche 007, LIP6, Université Paris 6, 2000.
- (9) J.-C. Faugère, M. Hering, J. Phan : "The Membrane Inclusions Curvature Equations", Rapport de recherche 008, LIP6, Université Paris 6, 2000.
- (10) J.-C. Faugère, F. Rouillier : "Dispositif d'échanges de données entre matériels informatiques", Rapport de recherche, INRIA et UPMC, 1999.
- (11) D. Lazard : "Solving quintics by radicals", Rapport de recherche 023, LIP6, Université Paris 6, 1998.
- (12) M.-P. Quéré-Stuchlik : "How to compute minimal bases using Padé approximants", Rapport de recherche 035, LIP6, Université Paris 6, 1997.
- (13) R. Rioboo : "RECLOS", Université Paris 6 1998.
- (14) R. Rioboo : "RECLOS part of the BasicMath NAG library", Numerical Algorithm Group 1999.
- (15) F. Rouillier, M.-F. Roy, M. Safey El Din : "Testing emptiness of real hypersurfaces, real algebraic sets, and real semi-algebraic sets", Rapport de recherche, Deliverable 3.5.1.8 17 in FRISCO Report Month 23 1998.
- (16) M.-F. Roy, M. Safey El Din : "New subresultant algorithms", Rapport de recherche, Deliverable 3.5.1.4 in FRISCO Report Month 23 1998.

- (17) A. Valibouze : “Construction de l’idéal des relations entre les racines d’un polynôme”, Rapport de recherche 014, LIP6, Université Paris 6, 1997.



FORMATION PAR LA RECHERCHE CALFOR

Thèses

- (1) P. Aubry : “Ensembles triangulaires de pôlynomes et résolution de systèmes algébriques. Implantation en Axiom”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 13/01/1999, encadrée par D. Lazard.
- (2) A. Colin : “Théorie des Invariants Effective. Applications à la théorie de Galois et à la résolution de systèmes algébriques. Implantation en Axiom.”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 30/06/1997, encadrée par A. Valibouze.
- (3) I. Kotsireas : “Algorithmes de résolution des systèmes polynomiaux : Application aux configurations centrales du problème des n corps en mécanique céleste”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, /12/1998, encadrée par D. Lazard.
- (4) M. Moreno-Maza : “Calculs de PGCD au dessus des tours d’extensions simples et résolution des systèmes d’équations algébriques”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 13/06/1997, encadrée par D. Lazard.
- (5) M.-P. Quéré-Stuchlik : “Théorie des faisceaux linéaires de matrices, liens avec la théorie des systèmes linéaires et application à la résolution d’équations algébro-différentielles.”, Thèse Doctorat, Université Paris 6, 13/06/1997, encadrée par G. Villard et D. Lazard.
- (6) F. Rebufat : “Placement de polygones généralisés dans le plan”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 1/04/97, encadrée par J.-J. Risler et R. Rioboo.



ANIMATION DE LA RECHERCHE CALFOR

Activités éditoriales

Rédacteur de revues et membres de comités de lecture

Lazard D.

- Journal of Symbolic Computation

Soria M.

- Journal électronique d'Informatique Théorique et de Combinatoire

Organisation scientifique de congrès et colloques

Organisation de Séminaires

Aubry Ph.

- Co-organisateur, avec A. Colin (Institut de Mathématiques de Jussieu) de la journée Théorie de Galois Algébrique (15 mai 1998) du séminaire Euclide

Faugère J-C.

- Organisateur du séminaire de Calcul Formel du LIP6

Rioboo R.

- Organisateur de la journée "Géométrie Reelle" du séminaire Euclide (mars 1998).
- Organisateur de la journée CFC INRIA-LIP6 (mars 1999).

Membre de comité de programme de conférence

Lazard D.

- MEGA, Effective Methods in Algebraic Geometry (tous les deux ans depuis 1992)

Wang D.

- Co-organisateur, avec R. Jürgen (Université de Zurich) de la conférence Automated Deduction in Geometry 2000.

Administration de la recherche

Faugère J-C.

- Membre du conseil de laboratoire du LIP6

Lazard D.

- Directeur de l'UFR d'Informatique de l'UPMC (1994-1997)
- Directeur du LIP6 (1998-2000)
- Membre du jury du concours DR de l'INRIA (1997 et 1999)
- Membre de la commission de spécialistes des Universités Paris 6 et Lille USTL

Rioboo R.

- Membre de la commission de spécialistes de l'Université Paris 6

Soria M.

- Expert de la Mission Scientifique Universitaire auprès du MENRT (1998-2000)

- Responsable Paris 6 du DEA Algorithmique
- Membre du conseil scientifique et du comité de direction du LIP6 (1998-2000)

Valibouze A.

- Membre du Comité National de la Recherche Scientifique

PROJETS ET CONTRATS

Contrats internationaux

ESPRIT : Projet FRISCO

Responsable scientifique : Lazard Daniel, durée : 11/03/1996 - 18/02/1999, financement 236 kF.

•A framework for integrated symbolic/numeric computation.

Partenaire(s) : CNRS, INRIA, NAG (Grande-Bretagne), Université de Rennes, Université de Pise (Italie), Université de Cantabria (Eespagne).



Doctorants présents moins de 80 % du temps au LIP6

Ben Saïd Lamjed (Briot J.-P./Drogoul A., 1999)	Carrive Jean (Perrot J.-F./Pachet F., 1996)
Delerue Olivier (Perrot J.-F./Assayag G., 1997)	El Hadouaj Sameh (Briot J.-P./Drogoul A., 1998)
Hernandez Luc (Codognet Ph., 1998)	Renault Valérie (Briot J.-P./Drogoul A., 1998)

Associés au LIP6

Carle Patrice	Ingénieur, ONERA
Gortais Bernard	Artiste multimédia, Centre culturel de Puteaux
Huet Bernard	Professeur, Paris XIII/Faculté de Médecine
Jacopin Eric	Maître de conférences, HDR, St Cyr
Magnin Laurent	Chercheur, CRIM (Montréal)
Revault Nicolas	Maître de conférences, Université de Cergy
Rousseaux Francis	Professeur, Université de Reims
Sahraoui Houari	Professeur-assistant, Université de Montréal
Sigaud Olivier	Ingénieur, Dassault Aviation
Vaudène Didier	Maître de conférences, UPMC
Wolinski Francis	Resp. R&D, Informatique CDC

Invités au LIP6

Agha Gul	Professeur invité, Université d'Illinois (USA) (juillet 1999 et avril 2000)
Ishida Toru	Professeur invité, Université de Kyoto (Japon) (mars 2000)



PROSPECTIVE

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. 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 comme exemples de telles applications: le commerce électronique, les systèmes d'information et de communication, et enfin les équipes de robots. Notre thème de recherche est donc résolument transversal et intégratif. Nous pouvons le définir schématiquement 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), agents

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.

Le thème OASIS se décompose en cinq groupes de compétences et leurs axes de recherches: Bases de données (bases de données Web), Méta-modélisation (méthodologie de développement logiciel), Framework (architectures logicielles évolutives), Multi-agent (robotique collective et simulation de phénomènes écologiques ou sociaux), et AnimatLab (approches biomimétiques des comportements adaptatifs). Leurs perspectives de recherche à quatre ans, positionnement national et international et résultats attendus sont résumés ci-dessous.

Bases de Données

Les systèmes de bases de données, dont la technologie est mûre et bien maîtrisée, doivent maintenant s'adapter aux nouvelles possibilités offertes par Internet, et à son architecture. Il est indispensable de coupler ces deux technologies qui présentent un certain

nombre de points communs (très grands volumes de données, fiabilité des données, interrogation rapide et aisée, sécurité, transactions multi-utilisateur, etc.). Le groupe de bases de données étudie cette intégration selon les trois axes suivants:

Transactions et contraintes

L'idée est de capitaliser sur notre expertise accumulée en matière de contraintes d'intégrité (qui permettent de vérifier de manière automatique la cohérence entre des données et leur modèle) pour des modèles de transactions imbriquées réparties et d'étudier leur application au commerce électronique (suivi des commandes, paiement sécurisé, etc.). Ces domaines d'étu-

des sont encore très récents et d'autres groupes de recherche tels qu'à UC Berkeley, IBM et Versant s'y consacrent maintenant également. Les résultats attendus sont de nouveaux modèles de vérification de contraintes d'intégrité adaptés aux enjeux du Web et de prototyper leur implantation.

Intégration de sources hétérogènes

Les informations disponibles sur le Web sont stockées sur différents sites et sous des formats variés. L'objectif visé est de pouvoir opérer des requêtes simultanées sur plusieurs bases de données hétérogè-

nes, l'exemple test choisi étant dans le domaine des vidéos. Les résultats attendus sont des méta-modèles et des langages de requêtes associés.

Bases de données multi-dimensionnelles

Une des applications importantes de l'Intranet dans les entreprises consiste à construire des entrepôts de données ("data warehouse"), regroupant les données contenues dans les différentes bases de données, souvent hétérogènes, de l'entreprise. Les bases de données multi-dimensionnelles (tables de plusieurs dimensions) sont un des moyens privilégiés d'accéder aux données de l'entrepôt. Nous nous proposons d'étudier le couplage de bases de données multi-dimensionnelles avec des algorithmes d'apprentissage flou (projet Extraction de connaissances à partir de

données multidimensionnelles) pour fournir de l'aide à la décision. Un projet similaire est en cours à IBM (Agrawal) mais notre spécificité tient aux techniques d'IA (flou) utilisées. Les résultats attendus sont un modèle et un prototype l'implémentant.

Méta-Modélisation

La problématique du groupe Méta-modélisation tient dans l'élicitation, la mémorisation et l'utilisation de connaissances pour un processus d'informatisation. Notre approche proposée depuis plusieurs années, et validée sur des projets industriels, repose sur trois principes: (1) dissociation des langages métiers des langages et frameworks d'implémentation, (2) méta-modélisation, c'est-à-dire modélisation explicite des formalismes utilisés dans les activités de modélisation, (3) transformations successives de méta-modèles (du langage métier jusqu'au final la génération de code). Les trois axes suivants sont maintenant privilégiés:

- modélisation des tâches et de leur ordonnancement (" workflow ")
- modélisation du déploiement de ces tâches sur les moyens, déploiement contrôlé par un système multi-agent (en collaboration avec les groupes Frameworks et Multi-Agent)

Framework

Le groupe Framework a pour objectif général la conception d'architectures logicielles (à base d'objets, acteurs ou agents) adaptables, c'est-à-dire dont on peut faire évoluer les caractéristiques fonctionnelles (par réassemblage et évolution dynamique de composants) et les caractéristiques de mise en œuvre (ex: politiques de synchronisation, protocoles d'interaction et de coordination, fiabilité, etc.) par leur réification

Niveau objet, composant et framework

Ce niveau est notre modèle d'implémentation de base de logiciels répartis et coopératifs. Nos travaux se situent dans la communauté des architectures réflexives (ex: groupe AOP au Xerox PARC, OSL à UIUC), une de nos spécificités tient à l'expression et au contrôle dynamique (compatibilité, application,

Niveau agent et multi-agent

Ces architectures à objets et à composants nous servent de base pour concevoir et implémenter des architectures d'agents et de systèmes multi-agent (en collaboration avec le groupe Multi-Agent). Nous étudions à la fois l'adaptation de l'architecture au niveau d'un agent (par évolution du composant de contrôle) mais aussi au niveau de l'organisation d'un ensemble d'agents qui coopèrent. Une de nos applications test est l'aide à la gestion de crises (coopération avec le LIH de l'Université du Havre et projet LIP6 Répartition et fiabilité de systèmes multi-agents, avec l'équipe répartition du thème SRC, qui porte sur le

Niveau contraintes

Ce troisième axe concerne l'étude de techniques de type satisfaction de contraintes pour des architectures

- règles d'utilisation et de composition de composants et frameworks d'implémentation. L'idée est de s'inspirer des concepts de patrons de conception (" design patterns ") et de clichés de programmation.

Les techniques de méta-modélisation commencent à être systématisées au niveau industriel (ex: le méta-modèle MOF des notations standard UML de l'OMG). Mais elles restent à un niveau purement technique alors que notre groupe a pour spécificité d'étudier le lien avec l'ingénierie des connaissances. Les résultats attendus sont à la fois d'ordre conceptuel et en termes de prototype (évolution de notre prototype actuel MetaGen), qui sera testé sur deux projets applicatifs (projets LIP6): Aide à la gestion des services hospitaliers (sur le processus de gestion médicale et administrative de patients, avec le thème SYSDEF et des hôpitaux) et Système d'exploitation des grands logiciels Complexes (sur la gestion de chaînes de logiciels, avec les thèmes ASIM et SRC).

tion sous la forme de méta-composants. Nous explorons donc activement des techniques de méta-programmation (architecture réflexives), de composition (architectures logicielles à base de composants et frameworks), d'évolution (en lien avec le groupe AnimatLab), et de résolution (satisfaction de contraintes). Trois niveaux principaux sont étudiés:

évolution) non seulement des caractéristiques individuelles des composants mais également des protocoles d'interaction entre composants (ex: évolution dynamique de la fiabilité d'interactions par réplification de composants).

contrôle dynamique et automatique de la fiabilité des composants du système). Dans le cadre de ce projet de gestion de crises avec le LIH nous considérons également les problèmes d'interprétation du sens des messages échangés entre les acteurs de la gestion de crises.

Pour ces deux niveaux, les résultats attendus sont en matière de meilleure compréhension des mécanismes en jeu, de leur formalisation, de l'élaboration de méthodologies de conception (en lien avec le groupe Multi-Agent) et de prototypes d'architectures.

réparties, avec en particulier l'expression du comportement d'agents autonomes dans des mondes virtuels,

le développement du formalisme des contraintes flexibles pour la résolution de problèmes sur-contraints, et l'étude d'algorithmes temps réel (de type "anytime", c'est-à-dire dont la précision de la solution

croît dans le temps). Un projet commun avec l'INRIA - Rocquencourt est en cours de création. Les résultats attendus sont en matière d'algorithmes et d'architectures prototypes.

Multi-Agent

Le domaine de recherche de l'intelligence artificielle distribuée et des systèmes multi-agents porte sur l'étude et la conception d'agents artificiels autonomes capables de s'organiser efficacement pour accomplir collectivement les fonctionnalités pour lesquelles ils sont conçus. Nous explorons par voie de simulation

Simulation multi-agent

En terme de simulation, nous avons développé une approche de modélisation des systèmes complexes en représentant directement les individus qui les composent, leurs comportements et leurs interactions (par exemple, la plate-forme de simulation MANTA, construite en collaboration avec des éthologues). Ces acquis initiaux sont utilisés et systématisés dans un grand nombre de projets actuels: simulation écologique (Écosystèmes forestiers avec l'institut d'Écologie de Xalapa, Mexique, phénomènes de ruissellement avec l'IRD), simulation de phénomènes sociaux (mé-

des métaphores sociologiques (coopération, négociation, groupe ou équipe, etc.) ou biologiques (auto-organisation, intelligence en essaim, etc.) qui sont ensuite réutilisées dans la conception de systèmes artificiels coopératifs et décentralisés. Nos axes de recherche principaux sont au nombre de trois:

canismes de migration intra-urbaine, via une Action Concertée Ville du Ministère de la Recherche, simulation microscopique du trafic routier, avec l'INRETS, choix des consommateurs de téléphonie mobile, avec le CNET). Les résultats généraux attendus portent sur la conception de techniques de modélisation et la réalisation de plates-formes de simulation permettant d'étudier simultanément plusieurs niveaux d'organisation et d'incorporer des points de vue multiples.

Robotique collective socialement située

Notre spécificité dans le domaine de la robotique collective est que nous souhaitons étudier l'intégration de tels artefacts (robots, mais également objets communicants non mobiles) à des environnements dynamiques et socialisés (occupés par des collectivités humaines). Le projet LIP6 Microbes (en collaboration avec le groupe AnimatLab, le thème APA, le CSI de l'École des Mines de Paris et le CNET-CréaNet) utilise notre propre laboratoire de recherche (nos locaux et leur population humaine) comme terrain d'expérimentation. Son but est d'étudier l'adaptation et la "survie" énergétique, sur le long terme (2 ans), d'une microsociété de robots autonomes dans cet environnement. Les résultats attendus concernent tout d'abord la conception d'un ensemble de composants logiciels réutilisables nécessaires à une autonomie complète : d'un point de vue individuel, maintenir un niveau énergétique suffisant (savoir se recharger à intervalles réguliers) et naviguer correctement (carto-

graphier l'environnement et éviter les obstacles) ; d'un point de vue collectif, résoudre les éventuels conflits (ex: accès aux bornes de recharges), savoir partager des informations (ex: pour minimiser les besoins d'exploration), et coopérer physiquement (ex: savoir tracter un robot déchargé vers une borne de recharge). L'ensemble de ces comportements doit être mis en œuvre dans un espace social, et pas seulement physique, c'est-à-dire: non seulement les robots apprennent à respecter un certain nombre de contraintes dans leurs rapports avec les humains, mais ils apprennent également à se servir des humains quand ils en ont besoin (ex: quand un robot est incapable de se sortir d'une pièce). Cette instrumentalisation de l'homme (et ses limites) fait donc également partie du champ d'étude de Microbes, et sera prise en charge, sous un double angle anthropologique et informatique.

Écosystèmes artificiels d'aide à la conception et à l'analyse de systèmes complexes

Parmi les métaphores qu'il nous a été donné d'aborder dans le cadre de nos travaux de simulation multi-agent, celle de l'écosystème est vite apparue comme potentiellement capable de servir de base à la construction d'outils d'aide à la conception et à l'analyse de systèmes complexes. Un écosystème fédère en effet de façon souple, modulaire et extrêmement robuste, des agents hétérogènes, fonctionnant à des échelles de temps et d'espace différentes, et capables, par le biais d'échanges variés, de s'auto-organiser pour met-

tre en œuvre les fonctions et les mécanismes d'adaptation nécessaires à la survie collective de l'ensemble. Nous l'utilisons tout d'abord pour apporter une solution novatrice au problème de la visualisation et du suivi en temps réel de données numériques complexes, par la construction d'une interface multi-agent (projet Jardins de Données, en collaboration avec le CNET-CréaNet). Cette métaphore se retrouve également au cœur d'un outil d'aide à la conception de l'architecture électronique embarquée dans les véhi-

cules automobiles (projet PREDIT avec PSA Peugeot-Citroën et le LORIA). Le résultat attendu est le développement d'une méthodologie de conception

orientée-agent utilisable dans le cadre de la conception de systèmes industriels complexes.

AnimatLab

Les recherches de l'AnimatLab sont complémentaires de celles de l'intelligence artificielle traditionnelle. Plutôt que de viser directement à comprendre et à reproduire les performances les plus élaborées dont est capable le cerveau humain, elles visent d'abord à synthétiser des "animats", c'est-à-dire des animaux artificiels ou des robots réels dont les lois de fonctionnement sont aussi inspirées de la biologie que possible. L'objectif est d'attribuer à ces animats certaines des capacités d'autonomie et d'adaptation dont sont capables les animaux réels. Dans cette perspective, l'accent est mis sur les processus biomimétiques d'apprentissage, de développement et d'évolution et, surtout, un intérêt particulier est accordé aux interactions entre ces processus.

A moyen terme, l'objectif de l'AnimatLab est de comprendre les mécanismes qui permettent aux animaux de s'adapter et survivre dans des environnements changeants et imprévisibles, à des fins à la fois fondamentales et appliquées. A plus long terme, l'objectif est de contribuer à l'avancement des sciences cognitives en recherchant en quoi l'intelligence humaine s'explique à partir des comportements adaptatifs les plus simples hérités des animaux, dans une perspective à la fois évolutionniste et ascendante. Trois directions de recherche principales sont ainsi investiguées :

- la première porte sur la navigation des animats et concerne l'apprentissage de "cartes cognitives", la mise au point de mécanismes de vision active, l'intégration de multimodalités sensorielles, la prise en compte de processus de planification. Ces recherches sont menées en collaboration avec le LPPA du Collège de France. Leurs résultats attendus sont des systèmes de navigation plus adaptatifs que ceux obtenus par les approches de l'ingénierie traditionnelles. Ces résultats seront directement exploitables localement, dans le cadre du projet Microbes.
- une deuxième série de travaux porte sur la mise au point d'architectures de contrôle qui permettent l'autonomie énergétique, la gestion de motivations éventuellement conflictuelles et la "self-awareness" des animats. L'objectif attendu est la mise au point d'un système de sélection de l'action à la fois général et efficace. Un tel système est en particulier destiné à accroître l'autonomie, l'adaptation, ou simplement le caractère "vivant", de personnages ou agents dans des jeux vidéo (collaborations en cours avec les sociétés Duran et Vibes), le réseau Internet, ou la réalité virtuelle (collaborations envisagées avec L'INRIA et le Groupe Frameworks).

Une collaboration est également envisagée avec le Département Art de l'Université de Paris 8, dans le cadre l'appel d'offres "Art et Cognition" initié par le programme Cognitique du Ministère de la Recherche. Les résultats de ces recherches sont, eux aussi, directement exploitables en interne dans le cadre du projet Microbes.

- une troisième série de travaux porte sur l'évolution et le développement de contrôleurs neuronaux pour des animats qui marchent, nagent ou volent. Au-delà de la mise en place de simples réflexes et du contrôle de déplacements, ces recherches visent à la génération automatique de contrôleurs de comportements cognitifs de plus en plus élaborés. Elles devraient aider à mieux comprendre quelles synergies sont rendues possibles par l'interaction de processus d'évolution, de développement et d'apprentissage. Elles seront appliquées à la résolution de divers problèmes générés par le projet Microbes, en particulier celui de permettre à un robot de reconnaître un autre robot. Elles devraient également déboucher sur des applications industrielles, notamment en ce qui concerne le contrôle de drones hélicoptères (collaboration envisagée avec Dassault-Aviation) ou la mise au point de robots reconfigurables.

BILAN SYNTHÉTIQUE DES RECHERCHES

Le thème de recherche OASIS est né à l'Été 1996 du regroupement de deux anciennes équipes du LAFORIA : Objets, Modèles et Connaissances (OMC) et Modélisation des Interactions et Recherches en Intelligence Artificielle Distribuée (MI-RIAD). Il s'est progressivement et fortement agrandi

depuis sa création (croissance de plus de 50 %, essentiellement externe par intégration d'enseignants-chercheurs extérieurs à Paris 6), et a notamment intégré à l'Automne 1998 une équipe déjà constituée : l'AnimatLab, en provenance de l'ENS-Paris.

Groupe Bases de Données

Les travaux menés dans le groupe bases de données portent sur trois thèmes : la cohérence, la modélisation et la conception d'applications avancées, 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, mais très peu abordé dans le cadre des bases de données à objets, et des bases de données multi-versions. 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]. L'étude des contraintes temporelles nous a amené à proposer une nouvelle implantation des bases de données bitemporelles [Gańczarski, 1999]. Depuis 1998, nous nous intéressons au problème de la gestion de la cohérence dans le contexte de transactions imbriquées [Doucet et al., 1999], qui nous permettra de proposer un mécanisme de gestion de la cohérence pour un ensemble de bases de données interopérables (Bases de données réparties, multibases, etc.). Ce travail constitue le cadre de la thèse de Claudia Leon.

Les applications de bases de données nécessitent l'utilisation de nouveaux concepts (versions, règles actives, etc.), de nouveaux types de données (temps, multimédia, etc.), et sont souvent développées par intégration de sources de données existantes. Cette nouvelle façon de développer des applications doit être prise en compte dès la conception. Dans sa thèse, A. Couchot s'intéresse aux méthodologies de conception pour bases de données actives. Ce travail, mené à l'origine en collaboration avec la Banque de France, a débuté lors du dernier trimestre 1996. L'objectif est d'intégrer la conception de règles actives dans les méthodologies de conception. Une règle active, qui peut être utilisée pour vérifier des contraintes d'intégrité, est une règle de la forme événement-condition-action.

Lorsque l'événement se produit, si la condition est vérifiée, l'action est déclenchée. Un premier modèle, permettant de contrôler les problèmes de terminaison et de confluence des règles actives lors de leur conception a été défini [Couchot, 2000]. Le développement du Web a considérablement accru le besoin d'intégrer des données existantes. Plusieurs solutions sont d'ores et déjà proposées, principalement pour intégrer des données "classiques". Dans sa thèse, Éric Vachon s'intéresse à l'intégration de bases de données vidéos existantes, en vue de pouvoir les interroger. La particularité de ce type de données, qui contient simultanément des images et du son, et dont la taille est gigantesque, pose de nouveaux problèmes, tant pour la modélisation que pour l'interrogation.

La fouille de données, qui permet d'extraire des connaissances à partir de grandes quantités d'informations, est un domaine se situant à l'intersection des bases de données et de l'intelligence artificielle. Dans sa thèse, N. Bigolin s'intéresse à la découverte de connaissances dans le domaine des bases de données spatiales orientées objet. Cette thèse, soutenue en octobre 1999, a permis d'établir un pont entre les techniques d'extraction de données utilisées dans les bases de données et celles d'apprentissage automatique, utilisées en intelligence artificielle. Il s'avère que les algorithmes d'apprentissage ne sont pas conçus pour s'appliquer aux données fortement structurées des bases de données, alors que cette structure pourrait au contraire être très utile. Dans le cadre du projet LIP6 Extraction de connaissances à partir de données multidimensionnelles, en collaboration avec le thème APA, nous étudions les apports réciproques de la structure multidimensionnelle des bases de données, qui permet de fournir des données précalculées, et des algorithmes de fouille de données. La thèse d'A. Laurent, (co-encadrée par A. Doucet (OASIS) et B. Bouchon-Meunier (APA)) a pour objectif de faire de l'apprentissage flou à partir de bases de données multidimensionnelles.

Groupe Méta-Modélisation (MetaFor)

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 des 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

Groupe Framework

Le groupe Framework 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 indépendants 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. Enfin récemment nous avons étendu notre palette de techniques avancées de programmation vers la programmation par contraintes avec l'arrivée de Philippe Codognot. Les techniques de satisfaction de contraintes sont appliquées notamment aux agents et au distribué, par ex : expression du comportement d'agents autonomes dans des mondes virtuels partagés (thèse de N. Richard à l'ENST).

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

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).

l'hôpital Henri Mondor de Créteil [Dojat et al., 1997]. Le framework de résolution de contraintes BackTalk (thèse de P. Roy, 1998) 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 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 tout d'abord 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]. Ceci nous a amené à nous intéresser récemment à la conception d'architectures logicielles adaptables [Peschanski, 2000], c'est-à-dire dont on peut faire évoluer les caractéristiques fonctionnelles (par réassemblage et évolution dynamique de composants) et les caractéristiques de mise en œuvre (ex: politiques de synchronisation, qualité de service, protocoles d'interaction et de coordination, fiabilité, etc.) par leur réification sous la forme de méta-composants. 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, 1999]), par intégration de frameworks standard (simulation à événements discrets) ou du laboratoire (en particulier le framework de règles de production NéOpus, voir plus haut). Enfin nous étudions le couplage de techniques de répartition, et notamment les aspects résistance aux pannes, aux agents DIMA. L'idée est de dépasser les architectures à couches, traditionnellement étanches, de manière à faire coopérer le niveau connaissances (raisonnement des agents) avec le niveau contrôle des ressources et de la répartition (ex: par application dynamique de protocoles de réplication) pour constamment adapter la disponibilité et la fiabilité du système [Briot, 2000a]. Nous appliquons ces idées à la gestion de crises [Cardon, 1997a] (voir le projet LIP6 Répartition et fiabilité de systèmes multi-agents). De manière duale, nous avons également appliqué 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.

Groupe Multi-Agent (MIRIAD)

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] et a été généralisée à un ensemble important de travaux de simulation appliqués à différents domaines (hydrologie, mobilité urbaine, trafic routier, sports collectifs, modèles économiques, etc.). Les concepts issus de ce

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 modules ou 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 modules 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 [Guillemet et al. 1999]. Enfin le framework SCD, dédié aux agents mobiles (thèse de M.-J. Yoo, 1999), 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 LIP6 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, 1998) [Merlat et Seyrat, 1997].

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], a porté 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. La première équipe de micro-robots a été réalisée en novembre 1996, et a participé au tournoi MIROSOT'96 en Corée du Sud. De 1996 à 1999, nous avons participé aux tournois RoboCup en collaboration avec le Laboratoire de Robotique de Paris. En 1999, nous avons initié le projet MICROBES, qui porte sur la réalisation de collectivités de robots capables d'opérer en environnement humain.

Ces travaux se sont appuyés sur un 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 possibi-

lité 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

Groupe AnimatLab

Dans le but d'attribuer aux animats certaines des capacités d'autonomie et d'adaptation dont sont capables les animaux réels, les recherches de l'AnimatLab s'inspirent de la biologie aussi souvent et aussi étroitement que possible. Naturellement, il est fréquent que le savoir correspondant s'avère incomplet et qu'il faille recourir à une approche d'ingénierie traditionnelle pour achever la mise au point de systèmes adaptatifs opérationnels.

Ainsi, les travaux de l'AnimatLab sur la navigation s'inspirent des connaissances sur la morphologie et la physiologie de l'hippocampe chez le rat mais peuvent intégrer aussi des algorithmes traditionnels de gestion de modèles de Markov cachés et d'exploration de graphes de planification. Il est ainsi possible de synthétiser des animats capables d'explorer leur environnement tout en évitant les obstacles qu'il contient, d'élaborer une carte cognitive de cet environnement, puis de se servir de cette carte pour rejoindre un endroit donné. De tels systèmes de navigation sont robustes : ils s'accommodent de l'imprécision des senseurs et des actionneurs de l'animat et lui permettent notamment de se relocaliser rapidement lorsqu'il a été passivement déplacé d'un endroit à un autre. Ils s'accommodent également de changements soudains dans l'environnement, comme lorsqu'une porte est ouverte et donne accès à toute une partie encore inexplorée de l'environnement.

De même, les travaux de l'AnimatLab sur la sélection de l'action sont inspirés des connaissances acquises sur le déterminisme énergétique de l'organisation des séquences comportementales de la souris et sur les mécanismes neuronaux impliqués dans les conditionnements classique et opérant. A l'occasion cependant, les systèmes correspondants peuvent être instanciés sous forme de systèmes traditionnels à base de règles de production, systèmes auxquels des possibilités de gestion de modèles de Markov cachés sont ajoutées. Il est ainsi possible de synthétiser des animats capables d'assurer leur autonomie, parce qu'ils peuvent, par exemple, rejoindre un endroit où se nourrir quand ils ont faim, un endroit où boire quand ils ont soif, un endroit où se cacher lorsqu'un danger est détecté, un endroit où se reposer lorsque leur balance énergétique est déficitaire. La robustesse de tels systèmes de sélection de l'action est illustrée par l'aptitude des animats correspondants à choisir des actions opportunistes, leur permettant par exemple de se nourrir au passage alors qu'ils n'ont pas particulièrement

[Aubineau et Lalande, 1997 ; Drogoul et Zucker, 1998], à la représentation de l'environnement en intelligence artificielle distribuée [Magnin, 1998a], et à l'apport des sciences du vivant à la conception de systèmes artificiels.

faim et qu'ils se déplacent en direction d'une source de boisson. Elle est également illustrée par leur aptitude à s'accommoder des phénomènes de "perceptual aliasing" qui surviennent lorsque les imprécisions de ses senseurs ne permettent pas à un animat de distinguer deux situations différentes.

De la même façon, enfin, les recherches de l'AnimatLab sur l'évolution et le développement de contrôleurs neuronaux s'inspirent de la génétique et des mécanismes de la sélection naturelle. Ils mettent en œuvre un codage génotypique indirect du phénotype d'un animat, grâce auquel des programmes de développement de réseaux de neurones à complexité arbitraire sont créés, mutés, échangés et propagés au long de générations successives. Ces programmes sont exécutés en interaction avec l'environnement, ce qui permet de canaliser le développement dans telle ou telle voie et, donc, de générer les réseaux de neurones les plus adaptés à la tâche et aux difficultés courantes. L'adaptation de ces réseaux peut, de plus, être complétée par la mise en œuvre de mécanismes d'apprentissage synaptique ou par l'échange de signaux gazeux entre neurones. A l'occasion, de tels mécanismes biomimétiques sont complétés par d'autres, plus traditionnels en informatique, lorsqu'il s'agit, par exemple, de mettre en œuvre un échancier pour coordonner les étapes du développement ou une grammaire pour limiter la complexité des programmes générés. Il s'est ainsi avéré possible de synthétiser des animats capables de rouler, marcher, nager ou voler. Il a été possible de leur apprendre à éviter des obstacles ou à remonter un gradient d'odeur ou de lumière. Il devrait, de même, être possible de générer des réseaux de neurones à l'architecture suffisamment redondante pour résister à leur destruction partielle, ou pour résister à des pannes diverses dans les senseurs ou les moteurs de l'animat. Il est également envisagé d'adapter cette approche à l'évolution combinée de la morphologie et du contrôle d'un animat reconfigurable, lequel pourra alors, par exemple, utiliser des roues ou des pattes selon le problème courant à résoudre.

BILAN DÉTAILLÉ DES RECHERCHES

Le thème de recherche OASIS est né à l'Été 1996 du regroupement de deux anciennes équipes du LAFORIA : Objets, Modèles et Connaissances (OMC) et Modélisation des Interactions et Recherches en Intelligence Artificielle Distribuée (MI-RIAD). Il s'est progressivement et fortement agrandi

depuis sa création (croissance de plus de 50 %, essentiellement externe par intégration d'enseignants-chercheurs extérieurs à Paris 6), et a notamment intégré à l'Automne 1998 une équipe déjà constituée : l'AnimatLab, en provenance de l'ENS-Paris.

Groupe Bases de Données

RESPONSABLE ANNE DOUCET

Les travaux menés dans le groupe bases de données portent sur trois thèmes : la cohérence, la modélisation et la conception d'applications avancées, 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, mais très peu abordé dans le cadre des bases de données à objets, et des bases de données multi-versions. 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]. L'étude des contraintes temporelles nous a amené à proposer une nouvelle implantation des bases de données bitemporelles [Gańczarski, 1999]. Depuis 1998, nous nous intéressons au problème de la gestion de la cohérence dans le contexte de transactions imbriquées [Doucet et al., 1999], qui nous permettra de proposer un mécanisme de gestion de la cohérence pour un ensemble de bases de données interopérables (Bases de données réparties, multibases, etc.). Ce travail constitue le cadre de la thèse de Claudia Leon.

Les applications de bases de données nécessitent l'utilisation de nouveaux concepts (versions, règles actives, etc.), de nouveaux types de données (temps, multimédia, etc.), et sont souvent développées par intégration de sources de données existantes. Cette nouvelle façon de développer des applications doit être prise en compte dès la conception. Dans sa thèse, A. Couchot s'intéresse aux méthodologies de conception pour bases de données actives. Ce travail, mené à l'origine en collaboration avec la Banque de France, a débuté lors du dernier trimestre 1996. L'objectif est d'intégrer la conception de règles actives dans les mé-

thodologies de conception. Une règle active, qui peut être utilisée pour vérifier des contraintes d'intégrité, est une règle de la forme événement-condition-action. Lorsque l'événement se produit, si la condition est vérifiée, l'action est déclenchée. Un premier modèle, permettant de contrôler les problèmes de terminaison et de confluence des règles actives lors de leur conception a été défini [Couchot, 2000]. Le développement du Web a considérablement accru le besoin d'intégrer des données existantes. Plusieurs solutions sont d'ores et déjà proposées, principalement pour intégrer des données "classiques". Dans sa thèse, Éric Vachon s'intéresse à l'intégration de bases de données vidéos existantes, en vue de pouvoir les interroger. La particularité de ce type de données, qui contient simultanément des images et du son, et dont la taille est gigantesque, pose de nouveaux problèmes, tant pour la modélisation que pour l'interrogation.

La fouille de données, qui permet d'extraire des connaissances à partir de grandes quantités d'informations, est un domaine se situant à l'intersection des bases de données et de l'intelligence artificielle. Dans sa thèse, N. Bigolin s'intéresse à la découverte de connaissances dans le domaine des bases de données spatiales orientées objet. Cette thèse, soutenue en octobre 1999, a permis d'établir un pont entre les techniques d'extraction de données utilisées dans les bases de données et celles d'apprentissage automatique, utilisées en intelligence artificielle. Il s'avère que les algorithmes d'apprentissage ne sont pas conçus pour s'appliquer aux données fortement structurées des bases de données, alors que cette structure pourrait au contraire être très utile. Dans le cadre du projet LIP6 Extraction de connaissances à partir de données multidimensionnelles, en collaboration avec le thème APA, nous étudions les apports réciproques de la structure multidimensionnelle des bases de données, qui permet de fournir des données précalculées, et des algorithmes de fouille de données. La thèse d'A. Laurent, (co-encadrée par A. Doucet (OASIS) et B. Bouchon-Meunier (APA)) a pour objectif de faire de l'apprentissage flou à partir de bases de données multidimensionnelles.

Groupe Méta-Modélisation (MetaFor)

GILLES BLAIN

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 des 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 Framework

JEAN-PIERRE BRIOT

Le groupe Framework 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 indépendants 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. Enfin récemment nous avons étendu notre palette de techniques avancées de programmation vers la programmation par contraintes avec l'arrivée de Philippe Codognot. Les techniques de satisfaction de contraintes sont appliquées notamment aux agents et au distribué, par exemple: expression du comportement d'agents autonomes dans des mondes virtuels partagés (thèse de N. Richard à l'ENST).

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 de P. Roy, 1998) 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 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 tout d'abord 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]. Ceci nous a amené à nous intéresser récemment à la conception d'architectures logicielles adaptables [Peschanski, 2000], c'est-à-dire dont on peut faire évoluer les caractéristiques fonc-

tionnelles (par réassemblage et évolution dynamique de composants) et les caractéristiques de mise en œuvre (ex : politiques de synchronisation, qualité de service, protocoles d'interaction et de coordination, fiabilité, etc.) par leur réification sous la forme de méta-composants. 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, 1999]), par intégration de frameworks standard (simulation à événements discrets) ou du laboratoire (en particulier le framework de règles de production NéOpus, voir plus haut). Enfin nous étudions le couplage de techniques de répartition, et notamment les aspects résistance aux pannes, aux agents DIMA. L'idée est de dépasser les architectures à couches, traditionnellement étanches, de manière à faire coopérer le niveau connaissances (raisonnement des agents) avec le niveau contrôle des ressources et de la répartition (ex : par application dynamique de protocoles de réplication) pour constamment adapter la disponibilité et la fiabilité du système [Briot, 2000a]. Nous appliquons ces idées à la gestion de crises [Cardon, 1997a] (voir le projet LIP6 Répartition et fiabilité de systèmes multi-agents). De manière duale, nous avons également appliqué 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 modules ou 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 modules 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 [Guillemet et al. 1999]. Enfin le framework SCD, dédié aux agents mobiles (thèse de M.-J. Yoo, 1999), 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 LIP6 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, 1998) [Merlat et Seyrat, 1997].

Groupe Multi-Agent (MIRIAD)

ALEXIS DROGOU

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] et a été généralisée à un ensemble important de travaux de simulation appliqués à différents domaines (hydrologie, mobilité urbaine, trafic routier, sports collectifs, modèles économiques, etc.). 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], a porté 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. La première équipe de micro-robots a été réalisée en novembre 1996, et a participé au tournoi MIROSOT'96 en Corée du Sud. De 1996 à 1999, nous avons participé aux tournois RoboCup en collaboration avec

le Laboratoire de Robotique de Paris. En 1999, nous avons initié le projet MICROBES, qui porte sur la réalisation de collectivités de robots capables d'opérer en environnement humain.

Ces travaux se sont appuyés sur un 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 possibi-

lité 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; Drogoul et Zucker, 1998], à la représentation de l'environnement en intelligence artificielle distribuée [Magnin, 1998a], et à l'apport des sciences du vivant à la conception de systèmes artificiels.

Groupe AnimatLab

JEAN-ARCADY MEYER

Dans le but d'attribuer aux animats certaines des capacités d'autonomie et d'adaptation dont sont capables les animaux réels, les recherches de l'AnimatLab s'inspirent de la biologie aussi souvent et aussi étroitement que possible. Naturellement, il est fréquent que le savoir correspondant s'avère incomplet et qu'il faille recourir à une approche d'ingénierie traditionnelle pour achever la mise au point de systèmes adaptatifs opérationnels.

Ainsi, les travaux de l'AnimatLab sur la navigation s'inspirent des connaissances sur la morphologie et la physiologie de l'hippocampe chez le rat mais peuvent intégrer aussi des algorithmes traditionnels de gestion de modèles de Markov cachés et d'exploration de graphes de planification. Il est ainsi possible de synthétiser des animats capables d'explorer leur environnement tout en évitant les obstacles qu'il contient, d'élaborer une carte cognitive de cet environnement, puis de se servir de cette carte pour rejoindre un endroit donné. De tels systèmes de navigation sont robustes : ils s'accommodent de l'imprécision des senseurs et des actionneurs de l'animat et lui permettent notamment de se relocaliser rapidement lorsqu'il a été passivement déplacé d'un endroit à un autre. Ils s'accommodent également de changements soudains dans l'environnement, comme lorsqu'une porte est ouverte et donne accès à toute une partie encore inexplorée de l'environnement.

De même, les travaux de l'AnimatLab sur la sélection de l'action sont inspirés des connaissances acquises sur le déterminisme énergétique de l'organisation des séquences comportementales de la souris et sur les mécanismes neuronaux impliqués dans les conditionnements classique et opérant. A l'occasion cependant, les systèmes correspondants peuvent être instanciés sous forme de systèmes traditionnels à base de règles de production, systèmes auxquels des possibilités de gestion de modèles de Markov cachés sont ajoutées. Il est ainsi possible de synthétiser des animats capables d'assurer leur autonomie, parce qu'ils peuvent, par exemple, rejoindre un endroit où se nour-

rir quand ils ont faim, un endroit où boire quand ils ont soif, un endroit où se cacher lorsqu'un danger est détecté, un endroit où se reposer lorsque leur balance énergétique est déficitaire. La robustesse de tels systèmes de sélection de l'action est illustrée par l'aptitude des animats correspondants à choisir des actions opportunistes, leur permettant par exemple de se nourrir au passage alors qu'ils n'ont pas particulièrement faim et qu'ils se déplacent en direction d'une source de boisson. Elle est également illustrée par leur aptitude à s'accommoder des phénomènes de "perceptual aliasing" qui surviennent lorsque les imprécisions de ses senseurs ne permettent pas à un animat de distinguer deux situations différentes.

De la même façon, enfin, les recherches de l'AnimatLab sur l'évolution et le développement de contrôleurs neuronaux s'inspirent de la génétique et des mécanismes de la sélection naturelle. Ils mettent en œuvre un codage génotypique indirect du phénotype d'un animat, grâce auquel des programmes de développement de réseaux de neurones à complexité arbitraire sont créés, mutés, échangés et propagés au long de générations successives. Ces programmes sont exécutés en interaction avec l'environnement, ce qui permet de canaliser le développement dans telle ou telle voie et, donc, de générer les réseaux de neurones les plus adaptés à la tâche et aux difficultés courantes. L'adaptation de ces réseaux peut, de plus, être complétée par la mise en œuvre de mécanismes d'apprentissage synaptique ou par l'échange de signaux gazeux entre neurones. A l'occasion, de tels mécanismes biomimétiques sont complétés par d'autres, plus traditionnels en informatique, lorsqu'il s'agit, par exemple, de mettre en œuvre un échancier pour coordonner les étapes du développement ou une grammaire pour limiter la complexité des programmes générés. Il s'est ainsi avéré possible de synthétiser des animats capables de rouler, marcher, nager ou voler. Il a été possible de leur apprendre à éviter des obstacles ou à remonter un gradient d'odeur ou de lumière. Il devrait, de même, être possible de générer

des réseaux de neurones à l'architecture suffisamment redondante pour résister à leur destruction partielle, ou pour résister à des pannes diverses dans les senseurs ou les moteurs de l'animat. Il est également envisagé d'adapter cette approche à l'évolution

combinée de la morphologie et du contrôle d'un animat reconfigurable, lequel pourra alors, par exemple, utiliser des roues ou des pattes selon le problème courant à résoudre.



PUBLICATIONS OASIS

Livres

- (1) J.-P. Bahsoun, T. Baba, J.-P. Briot, A. Yonezawa : "Object-Oriented Parallel and Distributed Programming", Hermès Science Publications ed, 2000.
- (2) J.-P. Briot, Y. Demazeau : "Les Multi-Agents", Collection IC2, Hermes Science Publications ed, 2000.
- (3) A. Cardon : "Conscience artificielle et systèmes adaptatifs": Editions EYROLLES, 1999.
- (4) A. Cardon, C. Charras : "Introduction à l'algorithmique et à la programmation": Ellipses, 1996.
- (5) M. Chemillier, F. Pachet : "Recherches et applications en informatique musicale": Hermès, 1998.
- (6) A. Drogoul, J.-A. Meyer : "Intelligence Artificielle Située. Cerveau, Corps, Environnement": Hermès, 1999.
- (7) M. Soria, M. Morcrette, A. Brygoo, O. Paliès : "Initiation à la programmation par Word et Excel": International Thomson Publisher France, 1997.

Articles de revues

- (1) M. Asada, M. Kuniyoshi, A. Drogoul, H. Asama, M. Mataric, D. Duhaut, P. Stone, H. Kitano : "The RoboCup Physical Agent Challenge: Phase-I", Applied Artificial Intelligence, An International Journal, vol. 12, pp. 251-265, 1998.
- (2) O. Boissier, Z. Guessoum, M. Ocelllo : "Plates-formes multi-agents", AFIA, vol. N°37, 1999.
- (3) J.-P. Briot : "Programmation d'applications concurrentes et réparties par objets, réflexion, interactions et agents", Technique et Science Informatique, vol. 19, pp. 107-112, 2000.
- (4) J.-P. Briot, R. Guerraoui : "Smalltalk for concurrent and distributed programming", Informatik/Informatique, pp. 16-19, 1996.
- (5) J.-P. Briot, R. Guerraoui : "Objets pour la programmation parallèle et répartie : intérêts, évolution et tendances", Technique et Science Informatiques, vol. 15, pp. 765-800, 1996.
- (6) J.-P. Briot, R. Guerraoui : "Smalltalk : du mono-processeur et mono-utilisateur à la programmation concurrente et répartie", L'Objet, vol. 3 (4), 1997.
- (7) J.-P. Briot, R. Guerraoui, K.-P. Löh : "Concurrency and distribution in object-oriented programming", ACM Computing Surveys, vol. 30, pp. 291-329, 1998.
- (8) A. Cardon : "Les Systèmes d'Information et de Communication de gestion de crise : une modélisation par agents", Ingénierie des Systèmes d'Information, vol. 5 (2), pp. 167-193, 1997.
- (9) A. Cardon : "Un projet de modélisation des systèmes de communication : une approche de la complexité organisationnelle", Revue Internationale de Systémique, vol. 12, pp. 313-342, 1998.
- (10) A. Cardon : "Système de gestion de crises coopératif : un processus d'interprétation de points de vues multiples", Journal of Decision Systems, vol. 1, pp. 39-67, 1998.
- (11) A. Cardon : "Genetic Algorithm using Multi-Objective in a Multi-Agent System", Robotic and Autonomous Systems, 1999.
- (12) A. Cardon : "La modélisation des systèmes adaptatifs : caractères d'une modélisation non locale", Revue d'Intelligence Artificielle, 1999.
- (13) A. Cardon, J. P. Vacher : "Genetic algorithms using multi-objective in a multi-agent system", Journal of Robotics and Autonomous Systems, 2000.
- (14) P. Codognot, D. Diaz : "Compiling Constraints in clp(FD)", Journal of Logic Programming, vol. 27, 1996.
- (15) P. Codognot, D. Diaz : "Local Propagation Methods for Solving Boolean Constraints in Constraint Logic Programming", Journal of automated reasoning, vol. 17, 1996.
- (16) P. Codognot, Y. Georget, F. Rossi : "Constraint Retraction in clp (FD) : Formal Framework and Implementation Results", Constraints, vol. 3, 1998.
- (17) A. Collinot, A. Drogoul : "Approche orientée agent pour la conception d'organisations : application à la robotique collective", Revue d'Intelligence Artificielle, vol. 12 (1), 1998.
- (18) A. Collinot, A. Drogoul : "La méthode de conception multi-agent Cassiopée : application à la robotique collective", Revue d'Intelligence Artificielle (Hermès), 1998.
- (19) A. Collinot, A. Drogoul : "Using the Cassiopeia Method to Design a Soccer Robot Team", Applied Artificial Intelligence, An International Journal, vol. V12, N°2-3, pp. 127-147, 1998.
- (20) M. Dojat, F. Pachet, Z. Guessoum, D. Touchard, A. Harf, L. Brochard : "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, vol. 11, 1997.
- (21) J. Y. Donnart, J. A. Meyer : "Hierarchical-map building and self-positioning with MonaLysa", Adaptive Behavior, vol. 5, pp. 29-74, 1996.
- (22) J. Y. Donnart, J. A. Meyer : "Learning Reactive and Planning Rules in a Motivationally Autonomous Animat", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part B: Cybernetics, vol. 26, pp. 381-395, 1996.
- (23) A. Doucet, S. Gancarski, G. Jomier, S. Monties : "Maintien de la cohérence dans une base de données multiversion", Ingénierie des Systèmes d'information, vol. 5, 1997.

- (24) A. Drogoul, A. Collinot : "Using the Cassiopeia Method to Design a Soccer Robot Team", *Applied Artificial Intelligence*, vol. 12, pp. 127-147, 1998.
- (25) A. Drogoul, A. Collinot : "Applying an Agent-Oriented Methodology to the Design of Artificial Organisations: a Case Study in Robotic Soccer", *Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent System*, vol. 1, N°1, pp. 113-129, 1998.
- (26) D. Filliat, J. Kodjabachian, J. A. Meyer : "Evolution of Neural Controllers for Locomotion and Obstacle-Avoidance in a 6-Legged Robot", *Connection Science*, vol. 11, pp. 223-240, 1999.
- (27) D. Florescu, J.-R. Gruser, H. Naacke, Z.-T. Tang, M. Ziane : "Flora - Un optimiseur pour bases de données à objets", *Ingénierie des Systèmes d'Information*, vol. 4, 1996.
- (28) P. Gallinari, B. Bouchon, J.-P. Briot, J.-Y. Jaffray : "Présentation du pôle intelligence artificielle du laboratoire d'informatique de Paris 6 (LIP6)", *Bulletin de l'AFIA*, 1999.
- (29) L. Gasser, J.-P. Briot : "Agents and concurrent objects", *IEEE Concurrency*, vol. 6, pp. 74-81, 1998.
- (30) Z. Guessoum : "A Multi-Agent Simulation Framework", *Transactions of the Society for Computer Simulation International*, 1998.
- (31) Z. Guessoum : "DIMA : Une plate-forme multi-agents en Smalltalk", *L'Objet*, vol. 3 (4), 1998.
- (32) Z. Guessoum : "A Multi-Agent Simulation Framework", *Transactions of Computer Simulation*, 2000.
- (33) Z. Guessoum, J.-P. Briot : "From active objects to autonomous agents", *IEEE Concurrency*, vol. 7, pp. 68-76, 1999.
- (34) A. Guillot, J. A. Meyer : "A cost-benefit analysis of behavioral organization in mice", *Ethology, Ecology and Evolution*, vol. 9, pp. 119-132, 1997.
- (35) A. Guillot, J. A. Meyer : "Chaotic dynamics underlying action selection in mice", *Nonlinear Dynamics, Psychology and Life Sciences*, 2000.
- (36) G. Hutzler, B. Gortais, A. Drogoul : "The Garden of Chances: a Visual Ecosystem", *Leonardo*, vol. 33, 2000.
- (37) A. J. Ijspeert, J. Kodjabachian : "Evolution and development of a central pattern generator for the swimming of a lamprey", *Artificial Life*, vol. 5, pp. 247-269, 1999.
- (38) D. Kafura, J.-P. Briot : "Introduction to actors and agents", *IEEE Concurrency*, vol. 6, pp. 24-29, 1998.
- (39) F. Kaplan : "Dynamiques de l'auto-organisation lexicale : simulations multi-agents et "Têtes parlantes"", *Cognito*, vol. 15, pp. 3-23, 1999.
- (40) J. Kodjabachian, C. Corne, J. A. Meyer : "Evolution of a Robust Obstacle Avoidance Behavior in Khepera: A comparison of Incremental and Direct Strategies", *Robotics and Autonomous Systems*, 2000.
- (41) J. Kodjabachian, J.-A. Meyer : "Evolution and Development of Neural Controllers for Locomotion, Gradient-Following, and Obstacle-Avoidance in Artificial Insects.", *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 9, pp. 796-812, 1998.
- (42) J. Kodjabachian, J.-A. Meyer : "Evolution and Development of Modular Control Architectures for 1-D Locomotion in Six-legged Animats", *Connection Science*, vol. 10, pp. 211-237, 1998.
- (43) J. A. Meyer : "Pour une approche complémentaire de l'IA traditionnelle : le manifeste animat", *Informations in Cognito*, vol. 6, pp. 1-4, 1996.
- (44) J. A. Meyer : "From Natural to Artificial life: Biomimetic Mechanisms in Animat Designs", *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 22, pp. 3-21, 1997.
- (45) J. A. Meyer : "Les animaux artificiels sont-ils pour demain ? Comment créer des machines pouvant s'adapter, voire se reproduire.", *La Recherche*, vol. 313, pp. 46-50, 1998.
- (46) F. Pachet : "Surprising Harmonies", *Int. Journal of Computing Anticipatory Systems*, 1999.
- (47) F. Pachet, J.-Y. Djamen, C. Frasson, M. Kaltenbach : "Un mécanisme de production de conseils exploitant les relations de composition et de précédence dans un arbre de tâches", *Sciences et techniques éducatives*, vol. 1, pp. 43-75, 1996.
- (48) F. Pachet, G. Ramalho, J. Carrive : "Representing temporal musicalobjects and reasoning in the MusES system", *Journal of New Music research*, vol. 25, pp. 252-275, 1996.
- (49) F. Pachet, P. Roy : "Constraints and music", *Constraints journal*, 1999.
- (50) G. Paquette, F. Pachet, S. Giroux, S. Girard : "EpiTalk, generatioing advisor agents for existing information systems", *Artificial Intelligence in Education*, vol. 7, pp. 149-179, 1996.
- (51) C. Plazanet, N. Martini Bigolin, P. Brézillon, A. Ruas : "Experimenting Learning Techniques for Spatial Models Enrichment and Linear Generalization", *GeoInformatica - A n International Journal on Advances of Computer Science for Geographic Information Systems*, vol. 2 (4), pp. 315-333, 1998.
- (52) P.-Y. Rolland, F. Pachet : "A framework for representing knowledge about synthesizer programming", *Computer Music Journal*, vol. 20, pp. 47-58, 1996.
- (53) P. Roy, A. Liret, F. Pachet : "The Framework Approach for Constraint Satisfaction", *ACM Computing Surveys on Frameworks*, 1998.
- (54) P. Roy, A. Liret, F. Pachet : "The Framework Approach for Constraint Satisfaction", *ACM Computing Surveys on Frameworks*, 1999.
- (55) P. Roy, F. Pachet : "Reifying Constraint Satisfaction in Smalltalk", *Journal of Object-Oriented Programming*, vol. 10 (4), pp. 43-51, 1997.

- (56) M. Rukoz, C. León, M. Rivas : "SIMA: A Java Tool for Constructing Image Processing Applications on Heterogeneous Network", *Parallel and Distributed Computing Practices*, vol. Special Issue on Distributed Object Systems, 2000.
- (57) H. Sahraoui, N. Revault, G. Blain, J.-F. Perrot : "Un outil pour la conception de bases de données à objets", *Technique et Science Informatiques*, 1997.
- (58) T. Smith, Husbands, P., Jakobi, N. and O-Shea, M. : "Better living through chemistry: evolving gasnets for robot control", *Connection Science*, vol. 10, pp. 185-210, 1998.
- (59) G. Sunyé, H. Sahraoui, B. Lesueur, G. Blain : "Chroniques d'implémentation d'un méta-outil en Smalltalk", *L'Objet*, vol. 3 (4), pp. 411-427, 1997.
- (60) Trullier, R. Shibata, A. B. Mulder, S. I. Wiener : "Hippocampal neuronal position selectivity remains fixed to room cues only in rats alternating between place navigation and beacon approach tasks", *European Journal of Neuroscience*, vol. 11, pp. 4381-4388, 1999.
- (61) O. Trullier, J.-A. Meyer : "Biomimetic navigation models and strategies in animats", *AI Communications*, vol. 10, pp. 79-92, 1997.
- (62) O. Trullier, J. A. Meyer : "Animat Navigation Using a Cognitive Graph", *Biological Cybernetics*, 2000.
- (63) O. Trullier, S. Wiener, A. Berthoz, J.-A. Meyer : "Biologically-based artificial navigation systems: Review and prospects", *Progress in Neurobiology*, vol. 51, pp. 483-544, 1997.

Chapitres de Livres

- (1) S. Bistarelli, P. Codognot, Y. Georget, F. Rossi : "Abstracting Soft Constraints", in *ERCIM/CompulogNet working group on constraints*, Springer Verlag ed, 2000.
- (2) J.-P. Briot : "Actalk: A framework for object-oriented concurrent programming - design and experience", in *Object-Oriented Parallel and Distributed Programming*, Hermes Science Publications ed: Jean-Paul Bahsoun, Takano Baba, Jean-Pierre Briot et Akinori Yonezawa, 2000, pp. 209-231.
- (3) J.-P. Briot, Y. Demazeau : "Introduction aux multi-agents", in *Les Multi-Agents*, Hermes Science Publications ed: Jean-Pierre Briot et Yves Demazeau, 2000.
- (4) J.-P. Briot, R. Guerraoui : "A classification of various approaches for object-based parallel and distributed programming", in *Collaboration between Human and Artificial Societies*, Springer Verlag ed: Julian Padget, 1999, pp. 3-29.
- (5) J.-P. Briot, R. Guerraoui : "Objets pour la programmation parallèle et répartie : intérêts, évolutions et tendances", in *Langages et modèles à objets*, INRIA ed: R. Ducournau, J. Euzenat, G. Masini, A. Napoli, 1998, pp. 165-192.
- (6) A. Cardon : "A Multi-agent model for Co-operative Communications in Crisis Management Systems: the Act of Communication", in *Information Modeling and Knowledge Bases*, IOS Press ed: Charrel, P.-J., 1998, pp. 66-82.
- (7) J.-J. Charles Meyer, J.-P. Briot, K. Clark, C. Hewitt : "Agent languages and their relationship to other programming paradigms (Statements of the panel)", in *Intelligent Agents V - Agent Theories, Architectures, and Languages*, Springer-Verlag ed: Jörg P. Müller, Munindar Singh et Anand S. Rao., 1998, pp. 309-316.
- (8) P. Codognot : "A Constraint-based Language for Virtual Agents", in *ERCIM/CompulogNet working group on constraints*, Springer Verlag ed, 2000.
- (9) S. Doncieux : "Evolution d'architectures de contrôle pour robots volants.", in *Intelligence Artificielle Située*, Hermès ed: Drogoul, A., Meyer, J.-A., 1999.
- (10) A. Drogoul, M. Tambe, T. Fukuda : "Collective robotics : First International Workshop, CRW '98, Paris, France, July 4-5, 1998 : proceedings", in *Lecture notes in computer science ; 1456. Lecture notes in artificial intelligence*. Berlin ; New York: Springer, 1998, pp. 161.
- (11) J. Ferber : "Reactive Distributed Artificial Intelligence : Principles and Applications", in *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, Wiley ed: Jennings, N., 1996.
- (12) D. Filliat : "Utilisation de mécanismes de perception active pour la navigation d'un robot mobile", in *Intelligence Artificielle Située*, Hermès ed: Drogoul, A. et Meyer, J.-A., 1999.
- (13) S. Gourichon : "Catégorisation distribuée et hiérarchisée de son environnement par un robot mobile", in *Intelligence Artificielle Située*, Hermès ed: Drogoul, A. Meyer, J.-A., 1999.
- (14) A. Guillot : "Pour une approche dynamique des animats", in *Intelligence Artificielle Située*, Hermès ed: Drogoul, A. Meyer, J.-A., 1999.
- (15) A. Guillot, J.-A. Meyer : "Synthetic Animals in Synthetic Worlds", in *Cyber Worlds*, Springer Verlag ed: Kunii et Lucian., 1998.
- (16) N. Jakobi : "The Minimal Simulation Approach To Evolutionary Robotics", in *Evolutionary Robotics*, vol. 2, AAAI Books ed: Gomi, 1998.
- (17) F. Kaplan : "Rôle de la simulation multi-agent pour comprendre l'origine et l'évolution du langage", in *Systèmes multi-agents: de l'interaction à la socialité*, JFIAD 98, Hermès ed: Barthes, J.-P., Chevrier, V., and Brassac, C., 1998.
- (18) B. Lesueur, N. Revault, G. Sunyé, M. Ziane : "Using the MétaGen Modeling and Development Environment in the FIBOF Project", in *ECOOP'98 Workshop Reader*, 1998.
- (19) T. Meurisse : "Une Approche à base de Composants Logiciels pour la Conception d'Agents", in *Journée de travail sur Architectures génériques et idiômes. Pôle Objet - GDR ALP*. Nantes, France, 1999.

- (20) J.-A. Meyer : "Artificial Life and the Animat Approach to Artificial Intelligence", in *Artificial Intelligence*, Academic Press ed: Boden, M., 1996.
- (21) J.-A. Meyer : "Evolutionary Approaches to Walking and Higher-Level Behaviors in 6-Legged Animats", in *Evolutionary Robotics*, vol. 2, AAAI Books ed: Gomi, 1998.
- (22) F. Pachet : "Musique et programmation par objets", in *Langages et modèles à objets*, INRIA ed: Euzenat, J. Napoli, A., 1998.
- (23) F. Pachet : "Active Listening: what is in the air ?", in *Música y nuevas tecnologías: Perspectivas para el siglo XXI*, L'Angelot ed: Mirand, E., 1999.
- (24) F. Pachet : "Du signal au signe musical", in *Encyclopédie de l'ingénieur*, Hermes ed, 1999.
- (25) J.-P. Perrot : "Objets, Classes, Héritage", in *Langages et Modèles à Objets : État des recherches et perspectives*, J. E. R. Ducournau, G. Masini, A. Napoli, Ed., INRIA ed, 1998, pp. 3-31.
- (26) F. Peschanski : "COMET : méta-architecture componentielle pour la construction d'applications concurrentes et réparties", in *Journée de travail sur Architectures génériques et idiômes. Pôle Objet - GDR ALP*. Nantes, France, 1999.
- (27) P. Roy, A. Liret, F. Pachet : "The Framework Approach for Constraint Satisfaction", in *Object Oriented Application Frameworks*, Wiley ed: Wiley, 1999.
- (28) O. Sigaud, P. Gérard : "Contribution au problème de la sélection de l'action en environnement partiellement observable", in *Intelligence Artificielle Située*, Hermès ed: Drogoul, A. Meyer, J.-A., 1999.
- (29) L. Steels, F. Kaplan : "Bootstrapping grounded word semantics", in *Linguistic evolution through language acquisition: formal and computational models*, Cambridge University Press ed: Briscoe, T., 1999.
- (30) L. Steels, F. Kaplan : "Collective learning et semiotic dynamics.", in *Advances in Artificial Life*. Lausanne, Suisse: Floreano, D., Nicoud, J-D et Mondada F., 1999, pp. 679-688.
- (31) P. Valduriez, M. Zaït, M. Ziane : "Optimization for Parallel Execution", in *Parallel Database Techniques*, IEEE-CS Press ed: M. Abdelguerfi et K-F. Wong, 1998.

Communications avec actes

- (1) M. Attia, O. Cayrol, A. Collinot, and A. Drogoul, "Methodology to design and optimise electronic system architecture for vehicle motion functions," presented at IEEE-SMC Cesa'98, Hammamet, Tunisia, 1998.
- [2] E. Aubineau and S. Lalande, "Apprentissage de comportements coopératifs chez les robots footballeurs," presented at 5èmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents, 1997, pp. 239-259.
- [3] D. Bertelle, D. Olivier, V. Jay, P. Tranouez, and A. Cardon, "A multi-agent system integrating vortex methods for fluid flow computation," presented at 16th IMACS Congress, Lausanne, Suisse, 2000.
- [4] N. M. Bigolin and C. Marsala, "Fuzzy Spatial OQL for Fuzzy Knowledge Discovery in Databases'," presented at 2nd European Symposium on Principles of Data Mining and Knowledge Discovery, Nantes, France, 1998, pp. 246-254.
- [5] S. Bistarelli, P. Codognot, Y. Georget, and F. Rossi, "Labeling and Partial Local Consistency for Soft Constraint Programming," presented at Practical Aspects of Declarative Languages, Boston, USA, 2000.
- [6] K. Boudaoud, H. Labiod, Z. Guessoum, and R. Boutaba, "Network Security Management with Intelligent Agents," presented at NOMS'2000, Hawaii, US, 2000.
- [7] H. Boukachour, C. Duvallat, and A. Cardon, "Multiagent Systems to Prevent Technological Risks," presented at ACIDCA'2000, Monastir, Tunisie, 2000.
- [8] A. Cardon, "Le caractère fondamental des systèmes finalisés : la complexité profonde," presented at Troisième Congrès Européen de Systémique, Rome, Italie, 1997, pp. 951-956.
- [9] A. Cardon, "An Information System for Co-operative dialogue in Emergency Situations," presented at BITWORLD '98, Delhi, Inde, 1998.
- [10] A. Cardon, "Artificial Systems and the Emergence of Meaning: Self-adaptive Systems," presented at 4th Systems Science European Congress, Valencia Espagne, 1999.
- [11] A. Cardon, T. Galinho, and J.-P. Vacher, "An agent based architecture for the job-shop scheduling problem using spirit of the genetic algorithms," presented at Evolutionary Algorithms in Engineering and Computer Science, Jyväskylä, Finlande, 1999, pp. 20-27.
- [12] A. Cardon, T. Galinho, and J.-P. Vacher, "Using Genetic Algorithms in Job-Shop Problem to Constraints Negotiators' Agents," presented at Proceedings of Evolutionary Algorithms in Engineering and Computer Science, Jyväskylä, Finlande, 1999.
- [13] A. Cardon and M. Itmi, "Les Systèmes d'Information et de Communication distribués d'aide à la décision," presented at Secondes Journées Francophones de Recherche Opérationnelle, Sousse, Tunisie, 1998.
- [14] A. Cardon, M. Itmi, and F. Lesage, "La problématique de la prise de décision en situation d'urgence," presented at Secondes Journées Francophones de recherche opérationnelle, Sousse, Tunisie, 1998.
- [15] A. Cardon and F. Lesage, "Toward Adaptive Information Systems : considering concern and intentionality," presented at KAW'98, Banff, Canada, 1998.
- [16] A. Cardon, F. Lesage, and S. Durand, "Distributed Information System for Co-operative situations," presented at ISD'98, Bled, Slovénie, 1998.

- [17] A. Cardon and J.-P. Vacher, "Multi-objective genetic of agents based on a contract-net system for NxN job-shop scheduling problem," presented at MCPL'2000, Saint-Martin d'Heire, 2000.
- [18] A. Cardon, J.-P. Vacher, and F. Lesage, "Genetic Algorithms in a Multi-Agents System," presented at 3rd IEEE International Joint Symposia on Intelligence and Systems, Rockville, Maryland, USA, 1998, pp. 17-26.
- [19] A. Cardon, V. P. Vacher, and T. Galinho, "Algorithmes Génétiques Multi-objectifs en Ordonnement de Production de type Job-Shop," presented at Secondes Journées Francophones de Recherche Opérationnelle, Sousse, Tunisie, 1998.
- [20] P. Carle, P. Benhamou, M. Ornato, and F.-X. Dolbeau, "La Reconnaissance d'Intentions comme Dynamique des Organisations," presented at Sixièmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents, 1998, pp. 311-326.
- [21] J. Carrive, F. Pachet, and R. Ronfard, "Logiques de description pour l'analyse structurelle de documents audiovisuels," presented at Ingénierie des Connaissances, Nancy, 1998.
- [22] J. Chavas, C. Corne, P. Horvai, J. Kodjabachian, and J.-A. Meyer, "Incremental Evolution of Neural Controllers for Robust Obstacle-Avoidance in Khepera.," presented at The First European Workshop on Evolutionary Robotics, 1998.
- [23] Y. Chikhi, J. Moustafiadès, and F. Pachet, "An approach for Building Electrical Network Models Based on Reusable Components," presented at Multiconference, Computational Engineering in Systems Applications, Nabeul-Hammamet, Tunisie, 1998.
- [24] Y. Chikhi, J. Moustafiadès, and F. Pachet, "Démarche de modélisation de réseaux électriques à partir de composants structurés en points de vue," presented at Inforsid, Montpellier, 1998.
- [25] P. Codognet, "A Constraint-based Language for describing Agent Behaviors in Virtual Worlds," presented at Virtual Systems and Multimedia 98, Gifu, Japon, 1998.
- [26] P. Codognet, "Animating Autonomous Agents in Shared Virtual Worlds," presented at IEEE International Conference on Distributed Multimedia Systems, Aizu, Japon, 1999.
- [27] P. Codognet, "Declarative Behaviors for Virtual Creatures," presented at 8th International Conference on Artificial Reality and Tele-presence, Tokyo, Japon, 1999.
- [28] P. Codognet, "An Historical Account of Indexical Images : from Ancient Art to the Web," presented at IEEE International Conference on Visual Languages, Tokyo, Japon, 1999.
- [29] P. Codognet and Y. Georget, "Compiling Semiring-based Constraints with clp(FD,S)," presented at International conference on principle and practice of Constraint Programming, Pise, Italie, 1998.
- [30] P. Codognet and Y. Georget, "Encoding Global Constraints in Semiring-based Constraint Solving," presented at IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence, Taipeh, Taiwan, 1998.
- [31] A. Collinot, A. Drogoul, and P. Benhamou, "Agent Oriented Design of a Soccer Robot Team," presented at Second International Conference on Multi-Agent Systems, Nara, Japon, 1996, pp. 41-47.
- [32] A. Collinot, L. Ploix, and A. Drogoul, "Application de la méthode Cassiopée à l'organisation d'une équipe de robots," presented at 4èmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents, 1996, pp. 137-152.
- [33] A. Couchot, "Terminaison de règles actives dans les bases de données orientées objet," presented at Inforsid, Lyon, France, 2000.
- [34] O. Delerue and F. Pachet, "Constraint Propagation for real time spatialization," presented at ECAI 98 Workshop on Constraints for Artistic Applications, Brighton, 1998.
- [35] O. Delerue and F. Pachet, "MidiSpace, un spialisateur midi expérimental," presented at JIM 98, 1998.
- [36] D. Diaz and P. Codognet, "The GNU Prolog System and its Implementation," presented at 14th ACM Symposium on Applied Computing, Como, Italy, 2000.
- [37] D. Diaz and P. Codognet, "GNU Prolog: beyond compiling Prolog to C.," presented at Practical Aspects of Declarative Languages, Boston, USA, 2000.
- [38] J.-Y. Djamen and F. Pachet, "Advice with part-whole and precedence relations in task graphs for intelligent tutoring systems," presented at FLAIRS 97, Daytona, Floride, Etats-Unis, 1997.
- [39] J. Y. Donnart, N. Jakobi, J. Kodjabachian, C. Meyer, J. A. Meyer, and O. Trullier, "Industrial Applications of Biomimetic Adaptive Systems," presented at Proceedings of HCP'99 - Human Centered Processes, 1999.
- [40] J. Y. Donnart and J. A. Meyer, "Spatial exploration, map learning, and self-positioning with MonaLysa," presented at Proceedings of the Fourth International Conference on Simulation of Adaptive Behavior, 1996.
- [41] A. Doucet, M. C. Fauvet, S. Gançarski, G. Jomier, and S. Monties, "Using Database Versions to Implement Temporal Integrity Constraints," presented at CP'96 Workshop on constraints and databases, Boston, USA, 1996.
- [42] A. Doucet, S. Gançarski, G. Jomier, and S. Monties, "Integrity constraints and versions," presented at Workshop on Foundations of Models and Languages for Data and Objects, Dagstuhl, germany, 1996.
- [43] A. Doucet, S. Gançarski, G. Jomier, and S. Monties, "Integrity Constraints for Multiversion Databases," presented at BNCOD, Edinburgh, United Kingdom, 1996.
- [44] A. Doucet, S. Gançarski, C. Leon, and M. Rukoz, "Nested transactions with Integrity Constraints," presented at 8th International Workshop on Transactions and Database Dynamics, Dagstuhl (Germany), 1999.
- [45] A. Doucet and S. Monties, "Versions of Integrity Constraints in Multiversion Databases," presented at Database and Expert Systems Applications, Toulouse, France, 1997, pp. 252-261.

- [46] A. Drogoul and A. Collinot, "Entre réductionnisme méthodologique et stratégie intentionnelle, l'éthologie, un modèle alternatif pour l'IAD," presented at 5èmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents, 1997, pp. 307-322.
- [47] A. Drogoul and D. Duhaut, "MICROB: Making Intelligent Collective ROBotics," presented at MIROSOT'96, Taejon, Corée du Sud, 1996.
- [48] A. Drogoul and D. Duhaut, "MICROB: The french experiment in RoboCup," presented at RoboCup Workshop '97, Nagoya, Japan, 1997.
- [49] A. Drogoul and D. Fresneau, "Métaphore du fourragement et modèle d'exploitation collective de l'espace pour des colonies de robots autonomes mobiles," presented at JFIADSMA'98, Pont-A-Mousson, France, 1998.
- [50] A. Drogoul and P. S., "MICROBES : Vers des collectivités de robots socialement situés," presented at 7èmes Journées Francophones d'Intelligence Artificielle Distribuée et Systèmes Multi-Agents, Saint-Gilles (La Réunion), 1999, pp. 265-278.
- [51] R. Durand, K. Cool, and Z. Guessoum, "Resource accumulation and sustainability of competitive advantage, Simulation and empirical analysis," presented at Academy of Management Conference, Chicago, USA, 1999.
- [52] S. Durand, F. Lesage, A. Cardon, and P. Tranouez, "Représentation par des organisations d'agents des connaissances échangées dans un système de gestion des situations d'urgence," presented at JFIADSMA'99, La Réunion, 6-12 Novembre 1999, 1999, pp. 193-205.
- [53] C. Duvallet, H. Boukachour, and A. Cardon, "Intelligent and Self-Adaptive Interface," presented at IEA/AIE'2000, 2000.
- [54] C. Duvallet, B. Sadeg, and A. Cardon, "Real-time in multi-agents systems," presented at CAINE'99, Atlanta, USA, 1999.
- [55] C. Duvallet, B. Sadeg, and A. Cardon, "How to build Real-Time Multi-Agent Systems using Anytime Techniques," presented at CATA'2000, La Nouvelle Orleans, USA, 2000.
- [56] J. Ferber, "Cooperation Strategies in Collective Intelligence," presented at MAAMAW'96, Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, Eindhoven, 1996.
- [57] J. Ferber, "Coopération, intention, interaction," presented at 4èmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents, 1996, pp. 273-280.
- [58] D. Filliat, J. Kodjabachian, and J. A. Meyer, "Incremental Evolution of Neural Controllers for Navigation in a 6-legged Robot," presented at Proceedings of the Fourth International Symposium on Artificial Life and Robotics, 1999.
- [59] R. Foisel, V. Chevrier, and J.-P. Haton, "Un modèle pour la réorganisation de système multi-agents," presented at Actes des 5èmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents, 1997, pp. 261-277.
- [60] R. Foisel, V. Chevrier, and J.-P. Haton, "Modeling Adaptive Organizations," presented at Third International Conference On Multi-Agent Systems, 1998.
- [61] R. Foisel, A. Drogoul, O. Cayrol, and M. Attia, "CAROSSE: an agent-oriented CAD tool for designing complex electronic system," presented at 5th International Conference On Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agents, Manchester, UK, 2000.
- [62] R. Foisel, A. Drogoul, O. Cayrol, M. Attia, and N. Chauvat, "Des écosystèmes artificiels d'aide à la conception: l'exemple du projet CAROSSE," presented at 7èmes Journées Francophones d'Intelligence Artificielle Distribuée et Systèmes Multi-Agents, Saint-Gilles (La Réunion), 1999.
- [63] T. Galinho, V. P. Vacher, and A. Cardon, "Genetic Integration in a Multiagent System for Job-Shop Scheduling," presented at 6th Iberoamerican Conference on Artificial Intelligence, Lisbonne, Portugal, 1998.
- [64] S. Gancarski, "Database Versions to Represent Bitemporal Databases," presented at Database and Expert Systems Applications, Florence, Italy, 1999, pp. 832-841.
- [65] S. Gançarski and G. Jomier, "Vers un langage de manipulation pour bases de données multiversions," presented at BDA (Bases de données avancées), Cassis, France, 1996.
- [66] S. Gançarski, J. Rykowski, and W. Wiczerzycki, "On object and Database Versioning in Distributed Environment," presented at XIIth ISCIS, Antalya, Turquie, 1997, pp. 124-131.
- [67] M. Girard, "Assistant Agents for creation and management of distributed Applications," presented at 8th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI96), Toulouse, 1996.
- [68] Z. Guessoum and J.-P. Briot, "From active objects to autonomous agents," presented at 2nd France-Japan Workshop on Object-Based Parallel and Distributed Computing, Toulouse, 1997.
- [69] Z. Guessoum and J.-P. Briot, "In Quest of the Missing Link between Active Objects and Autonomous Agents," presented at European Workshop on Modeling an Autonomous Agent in a Multi-Agent World (poster), 1997.
- [70] Z. Guessoum and J.-P. Briot, "Building agents as an extension of active objects - application to the simulation of economic models," presented at Actes du 4ème Colloque Africain sur la Recherche en Informatique, 1998, pp. 39-54.
- [71] Z. Guessoum and J.-P. Briot, "From active objects to autonomous agents," presented at International Conference on Intelligent Systems, Versailles, 1998.
- [72] Z. Guessoum, J.-P. Briot, and M. Dojat, "Des objets concurrents aux agents autonomes," presented at Cinquièmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents, 1997, pp. 93-107.

- [73] Z. Guessoum, A. Cardon, and A. Ramdani, "An Adaptive Multi-Agent Systems," presented at MAAMAW'99, Valencia, Spain, 1999.
- [74] Z. Guessoum, A. Cardon, and A. Ramdani, "Self-Adjustable Autonomy in Multi-Agent Systems," presented at AAAI, Stanford, USA, 1999.
- [75] Z. Guessoum, A. Cardon, and A. Ramdani, "Vers des SMA adaptatifs," presented at JFIADSMASMA'99, Ile de la Réunion, France, 1999, pp. 337-338.
- [76] Z. Guessoum and M. Dojat, "Le contrôle dans les systèmes multi-agents," presented at CRAC'96, Paris, 1996.
- [77] Z. Guessoum and R. Durand, "Des agents intelligents pour modéliser l'évolution des entreprises," presented at JFIADSMASMA'96, 1996, pp. 47-58.
- [78] A. Guillemet, G. Haik, T. Meurisse, and J.-P. Briot, "Mise en oeuvre d'une approche componentielle pour la conception d'agents," presented at Septièmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents, 1999, pp. 53-65.
- [79] A. Guillot and J. A. Meyer, "The dynamic of action selection in mice," presented at International Conference of the Society for Chaos Theory in Psychology & Life Sciences, Boston, 1998.
- [80] A. Guillot and J. A. Meyer, "A dynamical analysis of action selection in the laboratory mouse," presented at 5th Internet World Congress on Biomedical Sciences at McMaster University, Canada, 1998.
- [81] A. Guillot and J. A. Meyer, "Animats and dynamic systems," presented at 9th International Conference of the Society for Chaos Theory in Psychology & Life Sciences, 1999.
- [82] P. Husbands, T. Smith, N. Jakobi, M. O'Shea, A. Philippides, and J. Anderson, "Brains, Gases and Robots," presented at ICANN'98, 1999.
- [83] G. Hutzler, "Growing Artificial Gardens Under Web Meteorological Conditions," presented at European Conference on Artificial Life'99, Lausanne, Suisse, 1999.
- [84] G. Hutzler, "Dynamic Construction of Visual Ecosystems to Interact with Complex Systems," presented at International Conference on Complex Systems'2000, Nashua, New Hampshire, 2000.
- [85] G. Hutzler, B. Gortais, and A. Drogoul, "The Garden of Chances: an Integrated Approach to Abstract Painting and Reactive D.A.I.," presented at 4th European Conference on Artificial Life, 1997, pp. 566-573.
- [86] G. Hutzler, B. Gortais, and A. Drogoul, "Le Jardin des Hasards, peinture abstraite et IAD réactive," presented at Actes des 5èmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents, 1997, pp. 295-306.
- [87] G. Hutzler, B. Gortais, and A. Drogoul, "Complexity Made Perceptible," presented at Nîmes'98 - Complex Systems, Intelligent Systems and Interfaces, Nîmes, 1998, pp. 287.
- [88] G. Hutzler, B. Gortais, and A. Drogoul, "Data Gardens : An Artistic Proposal Towards the Representation of Distributed and Dynamic Data Using Multiagent Systems," presented at ICMAS'98, Paris, France, 1998, pp. 435-436.
- [89] G. Hutzler, B. Gortais, and A. Drogoul, "Data Gardens : Visualizing the Evolution of Complex Dynamic Data Using the Garden Metaphor," presented at CHI'98 (Workshop on Innovative Interface Metaphors for Visual Media), Los Angeles, 1998.
- [90] G. Hutzler, B. Gortais, and A. Drogoul, "Grounding Virtual Worlds in Reality," presented at Virtual Worlds'98, Paris, France, 1998.
- [91] G. Hutzler, B. Gortais, and V. Renault, "Point et ligne sur plan : des agents qui communiquent visuellement," presented at Journées Francophones d'Intelligence Artificielle Distribuée et Systèmes Multi-Agents, 1998, pp. 191-204.
- [92] G. Hutzler and V. Renault, "Vers une conception multi-agent des interfaces Homme-Machine," presented at Journées Francophones d'Intelligence Artificielle Distribuée et Systèmes Multi-Agents, Saint Gilles La Réunion, 1999, pp. 339-340.
- [93] M. Itmi, A. Cardon, and F. Lesage, "The problem of Interpretation of exchanged Knowledge in High Level Architecture Systems," presented at Summer Computer Simulation Conference, Reno, Nevada, Etats-Unis, 1998.
- [94] N. Jakobi, "Evolving Motion-Tracking Behaviour for a Panning Camera Head," presented at Fifth International Conference on Simulation of Adaptive Behavior, 1998.
- [95] N. Jakobi, P. Husbands, and T. Smith, "Robot Space Exploration By Trial And Error," presented at Proceedings of Genetic Programming 98, 1998.
- [96] F. Kaplan, "A new approach to class formation in multi-agent simulations of language evolution," presented at Third International Conference On Multi-Agent Systems, 1998.
- [97] F. Kaplan, "La dérive naturelle du lexique," presented at Colloque des jeunes chercheurs en sciences cognitives, 1999, pp. 122-128.
- [98] F. Kaplan, "La simulation pour alimenter et organiser le débat sur l'origine du langage humain," presented at Journées de Rochebrune 1999: Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels, 1999, pp. 155-168.
- [99] F. Kaplan, "Semiotic schemata: Selection units for linguistic cultural evolution," presented at Alife, 2000.
- [100] F. Kaplan, A. McIntyre, C. Numaoka, and S. Yajan, "Growing virtual communities in 3D meeting spaces," presented at Virtual World'98, 1998.
- [101] F. Kaplan, L. Steels, and A. McIntyre, "A new architecture for evolving robust shared communication systems in noisy environment," presented at Sony Research Forum 98, Tokyo, Japon, 1998.

- [102] C. Leon , M. Rukoz, and M. Rivas, “Una Herramienta Java para Aplicaciones Distribuidas de Tratamiento de Imagenes Biomemmedicas,” presented at XXIV Conferencia LatinoAmericana de Informatica, Quito - Ecuador, 1998, pp. 855-866.
- [103] F. Lesage, A. Cardon, and P. Tranouez, “A multiagent based prediction of the evolution of knowledge with multiple points of view,” presented at KAW'99, Banff, Canada 16-22 Octobre 1999, 1999.
- [104] B. Lesueur, G. Sunyé, Z. Guessoum, G. Blain, and J.-P. Perrot, “La métaphore du dossier,” presented at INFORSID'99, France, 1999.
- [105] A. Liret, P. Roy, and F. Pachet, “Conception par objets d'un système pour combiner raisonnement formel et satisfaction de contraintes,” presented at JFLA'98, Come, Italie, 1998.
- [106] A. Liret, P. Roy, and F. Pachet, “Constraints Satisfaction and Symbolic Reasoning for reactive control systems,” presented at First Workshop on Constraints in Control in conjunction with the conference on Constraint Programming, Alexandria, Virginia, USA, 1999.
- [107] L. Magnin, “L'environnement au coeur de l'AD : le modèle de simulation Sieme,” presented at Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents, 1997, pp. 87-88.
- [108] L. Magnin, “Rectangles and Circles: Towards Realistic Simulation of Robots Playing Soccer,” presented at ICMAS'98, Paris, France, 1998.
- [109] L. Magnin, “SIEME: an Interaction Based Simulation Model,” presented at ESM'98, 1998.
- [110] N. Martini Bigolin and P. Brézillon, “An experience using context in translation from system's requirements to conceptual model,” presented at International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context, Rio de Janeiro, Brésil, 1997.
- [111] A. McIntyre, L. Steels, and F. Kaplan, “Net-mobile embodied agents,” presented at Sony Research Forum 99, Tokyo, Japon, 1999.
- [112] W. Merlat, “Intérêts de l'approche multi-agents pour la conception des réseaux intelligents,” presented at Rencontres des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle, Nantes, France, 1996.
- [113] W. Merlat and C. Seyrat, “JavaNetAgents : une plate-forme d'exécution d'agents mobiles pour le développement de systèmes multi-agents sur Internet,” presented at Actes des 5èmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents, 1997, pp. 83-84.
- [114] W. Merlat, C. Seyrat, and J. Ferber, “Mobile Agents for dynamic Organizations: the Conversation-Agent Paradigm,” presented at European Workshop on Modeling an Autonomous Agent in a Multi-Agent World, 1997.
- [115] J.-A. Meyer, “Evolutionary Robotics: a Survey of Applications and Problem.,” presented at First European Workshop on Evolutionary Robotics, 1998.
- [116] J. A. Meyer, “Biomimetic Mechanisms of Self-organization and Adaptation in Animats,” presented at International Symposium on System Life, Japan, 1997.
- [117] J. A. Meyer, “The Animat Approach : Simulation of adaptive behavior in Animals and Robots,” presented at Actes de la conférence Neurosciences Pour l'Ingénieur, 1998.
- [118] J. A. Meyer, “Evolutionary approaches to neural control in mobile robots,” presented at IEEE International Conference on Systems, man and Cybernetics, San Diego, 1998.
- [119] F. Pachet, “Computer Analysis of Jazz Chord Sequences. Is Solar a Blues?.,” presented at Readings in Music and Artificial Intelligence, 1998.
- [120] F. Pachet, “Surprising Harmonies,” presented at Focus Conference on Anticipation in Music Cognition, Bruges, Belgium, 1998.
- [121] F. Pachet and J. Carrive, “Propriétés des intervalles temporels circulaires et application à l'analyse harmonique automatique,” presented at Troisièmes journées d'informatique musicale (JIM'96), Caen, 1996, pp. 230-247.
- [122] F. Pachet and O. Delerue, “Annotations for Real Time Music Spatialization,” presented at International Workshop on Knowledge Representation for Interactive Multimedia Systems, Trento, Italie, 1998.
- [123] F. Pachet and O. Delerue, “Constraint-Based Spatialization,” presented at DAFX Workshop, Barcelona, Espagne, 1998.
- [124] F. Pachet and O. Delerue, “A Constraint-based Temporal Music Spatializer,” presented at ACM Multimedia Conference, Brighton, 1998.
- [125] F. Pachet and O. Delerue, “Interface for Music Spatialization,” presented at First International Conference on Virtual Worlds, 1998.
- [126] F. Pachet and O. Delerue, “A mixed 2D/3D interface for music spatialization,” presented at First international conference on Virtual Worlds, 1998.
- [127] F. Pachet and O. Delerue, “MusicSpace: a Constraint-based control system for music spatialization,” presented at ICMC Conference, Pékin, Chine, 1999.
- [128] F. Pachet and P. Roy, “Reifying chords in automatic harmonization,” presented at ECAI 98 Workshop on Constraints for Artistic Applications, Brighton, 1998.
- [129] F. Pachet and P. Roy, “Automatic Generation of Music Programs,” presented at CP Conference, Washington, USA, 1999.
- [130] F. Pachet, P. Roy, and D. Cazaly, “A Combinatorial approach to content-based music selection,” presented at IEEE Multimedia Computing and Systems Int. Conf., Florence, Italie, 1999, pp. 457-462.
- [131] J.-P. Perrot, “ A Multi-Agent CASE Tool Environment,” presented at Advances in Computer and Information Sciences '98, 1998.

- [132] F. Peschanski, "Comet - A Component-based Reflective Architecture for Concurrent and Distributed Programming," presented at OOPSLA'99 Workshop on Reflection and Software Engineering, 1999.
- [133] F. Peschanski, "Architecture réflexive à base de composants pour la construction d'applications concurrentes et réparties," presented at Langages et Modèles à Objets (LMO'2000), 2000, pp. 11-26.
- [134] F. Peschanski, T. Meurisse, and J.-P. Briot, "Les composants logiciels : Evolution technologique ou nouveau paradigme ?," presented at Actes de la Conférence Objets, Composants, Modèles (OCM'2000), Nantes, France, 2000, pp. 53-65.
- [135] S. Picault, "A Multi-Agent Simulation of Primate Social Concepts," presented at 13th European Conference on Artificial Intelligence, Brighton, 1998, pp. 327-328.
- [136] S. Picault and A. Collinot, "Designing Social Cognition Models for Multi-Agent Systems through Simulating Primate Societies," presented at Third International Conference on Multi-Agent Systems, 1998, pp. 238-245.
- [137] S. Picault and A. Collinot, "La socialité : étude, enjeux et applications dans les Systèmes Multi-Agents," presented at 6èmes Journées Francophones d'Intelligence Artificielle Distribuée et Systèmes Multi-Agents, Pont-à-Mousson, 1998, pp. 327-340.
- [138] R. Razavi, "Building an End-user-oriented Application Framework by Meta-programming-A Case Study," presented at OOPSLA'99 Metadata and Dynamic Object-Model Pattern Mining Workshop, Denver, USA, 1999.
- [139] R. Razavi, "Active Object-Models et Lignes de Produits. Application à la des logiciels de Métrologie," presented at Objets, Composants, Modèles (OCM'2000), Nantes, France, 2000.
- [140] V. Renault and G. Hutzler, "Data Gardens: Agent societies for visualization of complex systems," presented at IC-AI'2000, Special Session on Multi-Agent Information Systems, Monte Carlo Resort, Las Vegas, 2000.
- [141] N. Richard, A. Grumbach, and P. Codognet, "Using constraints to describe high-level behaviours in Virtual Worlds," presented at Eurographics'98, Lisbonne, Portugal, 1998.
- [142] N. Richard, A. Grumbach, and P. Codognet, "The InViWo virtual agents," presented at Eurographics'99, Milan, Italie, 1999.
- [143] F. Rousseaux, J.-G. Meunier, and F. Pachet, "Comment penser un système d'assistance artificiel quand l'improvisation est au coeur de l'activité à modéliser ?," presented at Journées Ingénierie des Connaissances, Roscoff, France, 1997.
- [144] F. Rousseaux and F. Pachet, "Acquisition des connaissances et improvisation : la partition intérieure interactive," presented at Journées d'informatique musicale, Lyon, France, 1997.
- [145] P. Roy and F. Pachet, "Conception de problèmes par objets et contraintes," presented at JFLA 97, Lyon, France, 1997.
- [146] P. Roy and F. Pachet, "A framework for expressing knowledge about constraint satisfaction problems," presented at FLAIRS 97, Daytona, 1997.
- [147] D. Servat, C. Cambier, E. Perrier, and J.-P. Treuil, "Le projet RIVAGE : distribution du contrôle de l'action et de l'espace dans les simulations multi-agents de processus physiques," presented at CARI'98, Dakar, Sénégal, 1998.
- [148] D. Servat, J. Léonard, E. Perrier, and J.-P. Treuil, "The RIVAGE Project : A New Approach for Simulating Runoff Dynamics ," presented at Leuven '99, 1999.
- [149] D. Servat, E. Perrier, J.-P. Treuil, and A. Drogoul, "Towards Virtual Experiment Laboratories: How Multi-Agent Simulations Can Cope with Multiple Scales of Analysis and Viewpoints," presented at Virtual Worlds'98, Paris, France, 1998.
- [150] D. Servat, E. Perrier, J.-P. Treuil, and A. Drogoul, "When Agents Emerge from Agents: Introducing Multi-Scale Viewpoints in Multi-Agent Simulations," presented at Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation, Paris, France, 1998, pp. 183-198.
- [151] L. Steels and F. Kaplan, "Spontaneous Lexicon Change," presented at COLING-ACL, Montreal, Canada, 1998, pp. 1243-1249.
- [152] L. Steels and F. Kaplan, "Stochasticity as a source of innovation in language games," presented at Artificial Life VI, Los Angeles, USA, 1998.
- [153] L. Steels and F. Kaplan, "Amorçage d'une sémantique lexicale dans une population d'agents autonomes, ancrés et situés," presented at Amorçage d'une sémantique lexicale dans une population d'agents autonomes, ancrés et situés, Cargèse, Corse, 1999, pp. 393-398.
- [154] L. Steels and F. Kaplan, "Situated grounded word semantics," presented at IJCAI 99, Stockholm, Sweden, 1999, pp. 862-867.
- [155] G. Sunyé, "Génération de code à l'aide de patrons de conception," presented at Langages et modèles à objets, Villeneuve sur mer, France, 1999.
- [156] O. Trullier and J.-A. Meyer, "Animat Navigation Using a Cognitive Graph," presented at Fifth International Conference on Simulation of Adaptive Behavior, 1998.
- [157] O. Trullier and J. A. Meyer, "Place sequence learning for navigation," presented at ICANN'97, 1997.
- [158] J.-P. Vacher and A. Cardon, "Genetic algorithms in Multiagents Systems," presented at Eurogen'97, Trieste, Italie, 1997.
- [159] J.-P. Vacher, A. Cardon, and T. Galinho, "Genetic algorithms using multi-objective in a multi-agent system," presented at 2nd International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems, Sakarya University, Turquie, 1998.

- [160] J.-P. Vacher, A. Cardon, and T. Galinho, "Granularity of heuristics: application to production planning," presented at Young Operational Research, Edinburgh, Ecosse, 1998.
- [161] J.-P. Vacher, A. Cardon, and T. Galinho, "Information System for Management : Random generators for Job-Shop Scheduling Problems," presented at ISD'98, Bled, Slovénie, 1998.
- [162] J.-P. Vacher, A. Cardon, and T. Galinho, "Information Systems for Management in Job-Shop Scheduling Problems using a Multiobjective Genetic Algorithm," presented at NIMES'98, Nimes, France, 1998, pp. 97-100.
- [163] J.-P. Vacher, A. Cardon, and T. Galinho, "Macrophagic Agents in Multi-Agent Systems to Resolve Job-Shop Scheduling Problem," presented at The 32th Hawaii International Conference on System Sciences, Maui, Hawaii, 1999.
- [164] J.-P. Vacher, A. Cardon, and F. Lesage, "Genetic Algorithms in a Multi-Agents System," presented at 3rd IEEE International Joint Symposia on Intelligence and Systems, Rockville, Maryland, USA, 1998.
- [165] D. Vanbergue, J.-P. Treuil, and A. Drogoul, "Modelling urban phenomena with cellular automata," presented at ICCS & SS I, Paris, France, 2000.
- [166] M.-J. Yoo, J.-P. Briot, and J. Ferber, "Using components for modelling intelligent and collaborative mobile agents," presented at IEEE seventh International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for collaborative Enterprises, Stanford University, Etats-Unis, 1998.
- [167] M.-J. Yoo, W. Merlat, and J.-P. Briot, "Modeling and validation of mobile agents on the Web," presented at International Conference on Web-based modeling and Simulation, 1998, pp. 23-28.
- [168] M. Ziane, "Understanding Object-Oriented Programming by Simulating Design Patterns," presented at ECOOP 2000 Worskshop on Understanding Object-Oriented Concepts, Cannes, 2000.

Autres publications

- (1) H. Boukachour, A. Cardon, S. Durand, F. Lesage : "Conception d'un système multiagents adaptatif: application à la gestion de crise", Rapport LIP6 1998/029, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 26/06/1998 1998.
- (2) A. Cardon : "Les systèmes adaptatifs à architecture d'agents dynamiques : une approche de la conscience artificielle", Rapport LIP6 1998/003, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 09/02/1998 1998.
- (3) A. Cardon : "Modélisation des Systèmes Adaptatifs par Agents: vers une Analyse-conception Orientée Agent", Rapport LIP6 1998/011, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 16/03/1998 1998.
- (4) A. Cardon : "Conception d'un système multiagents adaptatif : application à la gestion de crise", Rapport LIP6 1998/029, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris 1998.
- (5) A. Cardon, S. Durand : "Un modèle de couche communicationnelle d'un SIC prenant en compte les représentations mentales des acteurs", Rapport LAFORIA 1997/03, LAFORIA, Paris, 03/1997 1997.
- (6) A. Cardon, Z. Guessoum : "Systèmes multi agents adaptatifs", Rapport LIP6 2000/012, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris 2000.
- (7) J. Carrive, F. Pachet, R. Ronfard : "Using Description Logics for indexing audiovisual documents", , Trento, Italie 1998.
- (8) A. Collinot, A. Drogoul : "La méthode de conception multi-agent Cassiopée : application à la robotique collective", Rapport LAFORIA 1996/25, LAFORIA, Paris, 09/1996 1996.
- (9) M. Dojat, F. Pachet, Z. Guessoum, D. Touchard, A. Harf, L. Brochard : "NéoGanesh: a Working System for the Automated Control of Assisted Ventilation in ICUs", Rapport LAFORIA 1997/01, LAFORIA, Paris, 01/02/1997 1997.
- (10) A. Drogoul, A. Collinot : "Entre réductionnisme méthodologique et stratégie intentionnelle, l'éthologie, un modèle alternatif pour l'I.A.D. ?", Rapport LIP6 1998/040, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 26/10/1998 1998.
- (11) A. Drogoul, J.-D. Zucker : "Methodological Issues for Designing Multi-Agent Systems with Machine Learning Techniques: Capitalizing Experiences from the RoboCup Challenge", Rapport LIP6 1998/041, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 26/10/1998 1998.
- (12) S. El Hadouaj, A. Drogoul, S. Espié : "Concilier réactivité et anticipation : le cas de la résolution de conflits dans un trafic routier simulé", Rapport LIP6 1999/030, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 17/12/1999 1999.
- (13) R. Foisel, A. Drogoul, O. Cayrol, M. Attia, N. Chauvat : "Des écosystèmes artificiels d'aide à la conception: l'exemple du projet CAROSSE", Rapport LIP6 1999/029, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 17/12/1999 1999.
- (14) M. Girard-Faugère : "Agents Logiciel :?Quel est le coût de la distribution ?", Rapport LIP6 1997/010, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 25/07/1997 1997.
- (15) Z. Guessoum, J.-P. Briot : "From Active Objects to Autonomous Agents", Rapport LIP6 1998/015, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 08/04/1998 1998.
- (16) A. Liret, P. Roy, F. Pachet : "Combining Formal Reasoning Techniques and CSP", , Linz, Autriche 1997.
- (17) H. Mili, F. Pachet : "Exchanging Models Between Tools Supporting A Different Number of Modeling Layers", 1998.
- (18) F. Pachet : "Active Listening: some experiments", , Rome, Italie 1998.
- (19) F. Pachet : "Sur la structure algébrique des séquences d'accords de jazz", , Agelonde, France 1998.
- (20) F. Pachet, B. A. : "Ecoute Interactive", 1998.

- (21) F. Pachet, G. Assayag : “Dossier Intelligence Artificielle et MUsique”, Rapport LAFORIA 1996/30, LAFORIA, Paris, 11/1996 1996.
- (22) N. Ramaux, A. Liret, N. Fontaine, M. Dojat, F. Pachet : “N-ary constraints for scenario recognition”, 1998.
- (23) P. Roy, A. Liret, F. Pachet : “A Framework for Constraint Satisfaction”, Rapport LIP6 1999/001, Laboratoire d’Informatique de Paris 6, Paris, 19/02/1999 1999.
- (24) P. Roy, F. Pachet : “Detecting and exploiting Symmetry on n-ary constraints”, 1998.



FORMATION PAR LA RECHERCHE OASIS

Habilitations

- (1) A. Drogoul : "systèmes multi-agents situés", Habilitation à diriger des recherches, Université Paris 6, 17/03/2000.
- (2) É. Jacopin : "Deux contes de la planification ordinaire (en Intelligence Artificielle)", Habilitation à diriger des recherches, Université Paris 6, 04/02/1999.
- (3) F. Pachet : "Représentation de connaissances et langages à objets Habilitation à diriger des recherches, Mémoire de synthèse", Habilitation à diriger des recherches, Université Paris 6, 01/05/1997.

Thèses

- (1) C. Agon : "Objets, contraintes et représentation du temps", thèse de doctorat, Université Paris 6, 18/12/1998, encadrée par G. Assayag et J.-P. Perrot.
- (2) T. Breidenstein : "MAGE : une méthode de modélisation des processus de gestion. Application à l'imputation comptable", thèse de doctorat, Université Paris 6, 20/06/1997, encadrée par J.-P. Perrot.
- (3) Y. Chikhi : "Réutilisation de structures de données dans le domaine des réseaux électriques", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 07/07/1998, encadrée par G. Blain et J.-F. Perrot.
- (4) M. Girard : "ADAM : un Gestionnaire d'Applications Réparties en Environnement Dynamique", thèse de doctorat, Université Paris 6, 05/01/1998, encadrée par J.-P. Briot.
- (5) N. Hassoumi : "Analyse d'objets complexes par des méthodes connexionnistes de vision active", thèse de doctorat, Université Paris 6, 15/12/1999, encadrée par P. Tarroux et J.-A. Meyer.
- (6) G. Hutzler : "Du Jardin des Hasards aux Jardins de Données: une approche artistique et multi-agent des interfaces homme / systèmes complexes", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 14/01/2000, encadrée par A. Drogoul et J.-P. Briot.
- (7) M. Lhuillier : "Une approche à base de composants logiciels pour la conception d'agents. Principes et mise en oeuvre à travers la plate-forme Maleva", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 17/02/1998, encadrée par J.-P. Briot.
- (8) L. Magnin : "Modélisation et simulation de l'environnement dans les systèmes multi-agents : application aux robots footballeurs", thèse de doctorat, Université Paris 6, 28/11/1996, encadrée par J. Ferber.
- (9) N. Martini Bigolin : "Méthodes pour la découverte de connaissances à partir d'une base de données spatiales orientée objet. Le système LARECOS", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 04/10/1999, encadrée par A. Doucet.
- (10) W. Merlat : "Adaptation dynamique de l'organisation dans les Systèmes Multi-Agents. Application à la conception des Systèmes Coopératifs Distribués et Ouverts", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 17/12/1998, encadrée par J.-P. Briot.
- (11) P.-Y. Plicella : "Cohérence dans les bases de données orientées objets", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 11/06/1996, encadrée par A. Doucet.
- (12) N. Revault : "Principes de méta-modélisation pour l'utilisation de canevas d'applications à objets (MétaGen et les frameworks)", Thèse de doctorat, Université Paris 6, 19/11/1996, encadrée par G. Blain et J.-F. Perrot.
- (13) P. Roy : "Satisfaction de contraintes et programmation par objets", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 18/12/1998, encadrée par F. Pachet et J.-Y. Jaffray.
- (14) A. Slodzian : "A componential methodology for modeling multi-agent cooperation", thèse de doctorat, Université Paris 6, 07/05/1998, encadrée par J.-P. Perrot.
- (15) G. Sunyé : "Mise en oeuvre de patterns de conception : un outil", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 06/07/1999, encadrée par G. Blain et J.-F. Perrot.
- (16) M.-J. Yoo : "Une approche componentielle pour la modélisation d'agents coopératifs et leur validation", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 29/10/1999, encadrée par J.-P. Briot et J. Ferber.



ANIMATION DE LA RECHERCHE OASIS

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), depuis 1998
- L'Objet, Hermès (comité de rédaction), depuis 1998

Codognet P.

- CONSTRAINTS, an International Journal (comité de rédaction), depuis 1996
- ACM Transaction on Computational Logic (comité de rédaction), depuis 1999

Collinot A.

- Bulletin de l'AFIA (comité de rédaction jusqu'en 1998)

Doucet A.

- NIS (Networking and Information System), Hermès, (comité de lecture)

Drogoul A.

- Bulletin de l'AFIA (comité de rédaction de 1995 à 1998)
- 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.)
- Object-Oriented Parallel and Distributed Programming, Hermès Science Publications, 2000 (co-éditeur avec Bahsoun J.-P., Baba T., Yonezawa A.)
- Les multi-agents, Collection IC2, Hermès Science Publications, à paraître à l'Été 2000 (co-éditeur avec Y. Demazeau)

Drogoul A.

- Collective Robotics, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag, 1998 (co-éditeur avec Fukuda T., Tambe M.)
- Intelligence Artificielle Située, Editions Hermès, Paris, France, 1999 (co-éditeur avec J-A. Meyer)

Meyer J.-A.

- Proceedings of the Fourth International Conference on Simulation of Adaptive Behavior: From Animals to Animats, The MIT Press, 1996 (co-éditeur avec Maes P., Mataric M., Pollack J. and Wilson S.),
- 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 Husbands P.)
- Intelligence Artificielle Située, Editions Hermès, Paris, France, 1999 (co-éditeur avec A. Drogoul)
- Proceedings of the Sixth International Conference on Simulation of Adaptive Behavior: From Animals to Animats, The MIT Press, 2000 (co-éditeur avec Berthoz A., Floreano, D., Roitblat, H., Wilson S.)

Rédacteur associé d'une revue

Briot J.-P.

- Série spéciale sur Actors and Agents, IEEE Concurrency, 1998-1999 (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)
Codognet P.,
- Special issue on Concurrent Constraint Programming., Science of Computer Programming vol. 30, no. 1 & 2, Elsevier publishers 1998.
- P. Codognet and F. Pachet (Ed.), Special on Constraint for Artistic Multimedia Applications. CONSTRAINTS, an International Journal. à paraître, Kluwer Academic Press 2000.

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)

Codognet P.

- workshop "Modeling and Programming with Soft Constraint", CP'99, Washington, USA, octobre 1999 (co-organisation avec F. Rossi).
- workshop franco-japonais "Réalité Virtuelle: impact technologique et sociologique", Tokyo, Japon, décembre 1998 (en collaboration avec l'Ambassade de France).
- workshop "Constraint Techniques for Artistic Applications", ECAI'98, Brighton, G. B., août 1998 (co-organisation avec F. Pachet et G. Assayag).

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 Fourth International Conference on Simulation of Adaptive Behavior: From Animals to Animats, SAB96, Cape Cod, USA, 1996
- The Fifth International Conference on Simulation of Adaptive Behavior: From Animals to Animats, SAB98, Zürich, Suisse, 1998
- The Sixth International Conference on Simulation of Adaptive Behavior: From Animals to Animats, SAB2000, Paris, France, 2000

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, juin 1999
- ECOOP'2000, Cannes, juin 2000
- ECOOP'2000 Workshop on Distributed Objects Programming Paradigms, Cannes, juin 2000
- 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
- 6^{èmes} Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents JFIADSMA'98, Pont-à-Mousson, novembre 1998
- JFIADSMA'99, La Réunion, novembre 1999
- JFIADSMA'2000, St Jean la Vêre, octobre 2000
- Conférence Ingénierie des Connaissances IC'98, Pont-à-Mousson, mai 1998
- IC'99, Palaiseau, juin 1999
- Journée de travail GRACQ "Modèles, Objets et Composants", Paris, mai 1999
- Conférence Objets, Composants, Modèles OCM'2000, Nantes, mai 2000
- International Conference on Web-based Modeling & Simulation WebSim'98, San Diego, Etats-Unis, janvier 1998
- WebSim'99, San Francisco, Etats-Unis, janvier 1999
- First International Symposium on Agent Systems and Applications - Third International Symposium on Mobile Agents ASA/MA'99, Palm Springs Etats-Unis (Tutorial Chair)
- Second International Workshop on Mobile Agents for Telecommunication Applications MATA'2000, Paris, septembre 2000
- Membre du EuroPar Conference Advisory Board, depuis 1996
- Ecole d'été CIMPA-INRIA, Langages et modèles à objets, Nice, juillet 1996 (membre du comité scientifique)

Codognet P.

- Journées Francophones de Programmation en Logique JFPL '98, '99, '2000, Nantes, Lyon et Marseille.
- JICSLP'98, Joint International Conference and Symposium on Logic Programming, Manchester, G.B., juin 1998.
- CP'98 et CP'2000, International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming, Pise, Italie, octobre 1998 et Singapoure, septembre 2000
- Journées "Réalité Virtuelle" et Cognition, Paris, décembre 1999.
- CL2000, International conference on Computational Logic, Londres, G. B., juillet 2000.
- SAB2000, 6th international conference on Simulation of Adaptive Behavior, Paris, septembre 2000
- ISEA'2000, International Symposium on Electronic Arts, Paris, décembre 2000.

Collinot A.

- 3^{èmes}, 4^{èmes} et 5^{èmes} journées francophones sur l'intelligence artificielle distribuée et les systèmes multi-agents, Port-Camargue 1996 et La Colle sur-Loup, 1997
- 6^{èmes} et 7^{èmes} journées acquisition des connaissances du PRC-GDR-IA, 1996
- 10^{ème} congrès RFIA'96, Rennes, 1996
- Workshop "Animal Societies and DAI" à ICMAS'96, Nara, Japon, 1996
- MAAMAW'97, 7^{ème} 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
- 5^{èmes} 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) Sienne, 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
- SMAGET'98 (Symposium sur les Systèmes Multi-Agents pour la Gestion de l'Environnement et du Territoire), Clermont-Ferrand, France, oct. 1998.
- ATAL'99 (Agent Theories, Architectures and Languages), Orlando, USA, août 1999.
- ICMAS 2000 (International Conference on Multi-Agent Systems), Boston, USA, juil. 2000.
- ICCS&SS 2000 (International Conference on Computer Simulation & Social Sciences), Paris, France, sept. 2000.
- ISEA 2000 (International Symposium on Electronic Arts), Paris, France, décembre 2000.
- DARS 2000 (Distributed Autonomous Robotic Systems), Knoxville, USA, août 2000.
- IIP 2000 (Intelligent Information Processing Conference, World Computer Congress 2000, Track 3: Distributed Intelligence), Beijing, Chine, août 2000.
- IBERAMIA'2000 (Conférence Ibéro-Américaine sur l'IA), Brésil, nov. 2000.
- SAB 2000 (Simulation of Adaptive Behavior Conference), Paris, France, oct. 2000.
- ATAL 2000 (Agent Theories, Architectures & Languages), Boston, USA, juil. 2000.
- JFIADSMA 2000 (Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes multi-agents), Saint-Jean-la-Vêtre, France, oct. 2000.

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, 6^{ème} Workshop européen sur l'IAD et les systèmes multi-agents, Eindhoven, Pays-Bas, 1996

Guillot A.

- Intelligence Artificielle Située (IAS99), Paris, France, 1999
- Simulation of Adaptive Behavior (SAB2000), Paris, France, oct. 2000.

Guessoum Z.

- JFIADSMA'99, La Réunion, novembre 1999
- JFIADSMA'2000, St Jean la Vêtre, octobre 2000

Kaplan F.

- Conférence Evolution of Language 2000 - Paris, France, mai 2000.
- Biologically Inspired Machine Learning (ACAI-99 workshop) Crète, Grèce, 1999.

Meyer J.-A.

- ZiF Workshop on Perspectives on adaptivity and learning. Bielefeld, 2000 (co-organisateur).
- The Seventh International Conference on Artificial life (Alife VII). Portland, 2000.
- The Third International Conference on Evolvable Systems : From Biology to Hardware (ICES2000). Edimbourg, 2000.
- European Symposium on Autonomy Control : Lessons from the Emotional. (EMCSR2000). Vienne, 2000.
- European Symposium on Artificial Neural Networks (ESANN2000). Bruges, 2000.
- LEARNING'00. Madrid, 2000.
- First European Workshop on Genetic Programming (EuroGP2000). Edimbourg, 2000.
- European Symposium on Artificial Neural Networks (ESANN99). Bruxelles, 1999.
- The Fifth European Conference on Artificial Life (ECAL99). Lausanne, 1999.
- The Sixth International Conference on Artificial life (Alife VI). Los Angeles, 1998.
- First International Workshop on Collective Robotics (CRW98). Paris, 1998.
- European Symposium on Artificial neural Networks (ESANN98). Bruges, 1998.
- First European Workshop on Genetic Programming (EuroGP). Paris, 1998.
- 1998 IEEE International Conference on Evolutionary Computation (ICEC98). Anchorage, 1998.
- LEARNING'98. Madrid, 1998.
- The Fifth International Conference on Parallel Problem Solving From Nature (PPSN V). Amsterdam, 1998.
- First International Conference on Virtual Worlds. Paris, 1998.
- Third International Conference on Multi-Agents systems (ICMAS'98). Paris, 1998.
- The Fourth European Conference on Artificial Life (ECAL97). Brighton, 1997.
- International Conference on Intelligent Information Systems (ICIIS97). The Bahamas, 1997.
- International Symposium on System Life (ISSL). Tokyo, 1997.
- European Symposium on Artificial Neural Networks (ESANN97). Bruges, 1997.
- The Fourth International Conference on Parallel Problem Solving From Nature (PPSN IV). Berlin, 1996.
- Romanian Symposium in Computer Science (ROSYCS96). Iasi, 1996.
- ICML'96 Workshop on Evolutionary Computing and Machine Learning. Bari, 1996.
- European Symposium on Artificial Neural Networks (ESANN96). Bruxelles, 1996.

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, Leysins, 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, puis S. Picault)

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

Guillot A.

- Séminaire interne RESA Réflexions et échanges sur les systèmes adaptatifs.

Guessoum Z.

- Séminaire du groupe PRC-AFIA ASA.

Administration de la recherche

Blain G.

- Responsable adjoint du DESS génie des logiciels applicatifs (UPMC), chargé des relations avec les industriels

Briot J.-P.

- Responsable du thème OASIS, LIP6 (depuis 1996)
- Membre du conseil scientifique, LIP6
- Membre extérieur de la commission de spécialistes, section informatique, Université d'Evry (depuis 1998)

Cardon A.

- Membre du Conseil de Laboratoire du LIP6
- Président de la Commission de Spécialistes 27^{ème} de l'Université du Havre
- Membre du Conseil d'Administration de l'Université du Havre

Codognet P.

- Membre du comité exécutif de l'Association for Logic Programming.
- Co-direction (avec François Fages) du pôle "programmation logique avec contraintes" du GDR ALP.

- Responsable du projet LOCO de l'INRIA - Rocquencourt.

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

Drogoul A.

- Expert Invité pour l'évaluation de projets NSF - Programme CSS. San Francisco, février 1999.

Guessoum Z.

- Responsable du groupe PRC-AFIA ASA (depuis 1998)

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 jusqu'en octobre 1998
- 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 (1995-1996)

Ziane M.

- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (Université Paris 5) (jusqu'en 1998).
- Membre extérieur de la commission de spécialistes, section informatique (Université de Champagne Ardennes)

Contrats industriels

Modélisation applications de gestion

Responsable scientifique : Perrot Jean-François, durée : 1/07/1994 - 30/06/1997, financement 100 kF.

•Modélisation des applications de gestion.

Partenaire(s) : CDC.

Ingénierie des composant réutilisables

Responsable scientifique : Pachet François, durée : 26/06/1996 - 25/06/1998, financement 66 kF.

•Etude sur l'ingénierie des composants réutilisables et des applications par réutilisation.

Partenaire(s) : EDF.

Indexation des images et des sons

Responsable scientifique : Pachet François, durée : 27/01/1997 - 26/02/2000, financement 60 kF.

•Représentation des objets sonores dans les applications audiovisuelles.

Partenaire(s) : Institut National de l'Audiovisuel (INA).

Intégration du son dans les logiciels

Responsable scientifique : Pachet François, durée : 17/03/1997 - 16/03/1999, financement 30 kF.

•Synchronisation son/image en dessin animé assisté par ordinateur.

Partenaire(s) : Animation 2000.

Evolution du langage

Responsable scientifique : Drogoul Alexis, durée : 1/10/1997 - 30/06/2000, financement 116,913 kF.

•Simulation de l'Origine et Evolution du Langage.

Partenaire(s) : SONY.

CAROSSE

Responsable scientifique : Drogoul Alexis, durée : 1/11/1997 - 31/10/1998, financement 781,2 kF.

•Analyse et conception des entités constituant le système véhicule.

Partenaire(s) : GIE PSA.

Méthodologie multi-agent

Responsable scientifique : Collinot Anne, durée : 4/05/1998 - 3/05/2001, financement 150 kF.

•Elaboration d'une méthodologie de conception et d'un environnement de développement de systèmes multi-agents (CASSIOPEE).

Partenaire(s) : DASSAULT AVIATION.

Simulation marché électronique

Responsable scientifique : Briot Jean-Pierre, durée : 15/06/1998 - 15/12/1998, financement 90,7 kF.

•Etude du marché électrique.

Partenaire(s) : EDF.

Prestation de conseil pour réalisation de gammes de produits grand public

Responsable scientifique : Meyer Jean-Arcady, durée : 4/01/1999 - 30/09/1999, financement 200 kF.

•Évaluer la faisabilité de la mise au point d'architectures de contrôle permettant à un jouet ou robot d'apprendre à coordonner ses senseurs et actionneurs pour établir des interactions conviviales avec un humain.

Partenaire(s) : Sté Mathématiques Appliquées .

Apprendre à anticiper pour coordonner des agents dynamiques

Responsable scientifique : Meyer Jean-Arcady, durée : 1/05/1999 - 30/04/2002, financement 150 kF.

•Apprendre à anticiper pour coordonner des agents dynamiques.

Partenaire(s) : DASSAULT AVIATION.

Simulation marché électrique 2

Responsable scientifique : Briot Jean-Pierre, durée : 1/01/2000 - 30/06/2000, financement 155 kF.

•Réalisation d'une maquette de simulation pour simuler un marché dérégulé de commodités et d'un travail de recherche sur les systèmes multi-agents adaptatifs.

Partenaire(s) : EDF.

Collaboration MétaFor-Stellarx

Responsable scientifique : Blain Gilles, durée : 14/04/2000 - 13/04/2003, financement 144 kF.

•Intégration et adaptation des techniques de méta-modélisation et de génération de code de Métagen dans l'environnement de développement et de maintenance de systèmes d'information de Stellarx.

Partenaire(s) : STELLARX.

Contrats internationaux

4MISD

Responsable scientifique : Blain Gilles, durée : 1/01/1996 - 31/12/1998, financement 174,4 kF.

- (FMC Pratical Training Courses n°950034) Modélisation et métamodélisation des méthodes dans le développement de systèmes d'information.

Partenaire(s) : TMR.

ESPRIT : Projet FIBOF

Responsable scientifique : Blain Gilles, durée : 1/09/1996 - 1/09/1998, financement 334,5 kF.

- ESPRIT IV, (n°21966): Réalisation d'un cadre d'application générique pour la communauté bancaire.

Partenaire(s) : El Monte (Espagne), ECI SA, SOLERI.

EvoNet

Responsable scientifique : Meyer Jean-Arcady, durée : 1/01/1998 - 31/12/2002.

- Réseau d'excellence sur les méthodes évolutionnistes.

Partenaire(s) : nombreux autres noeuds du réseau EvoNet.

AgentLink

Responsable scientifique : Briot Jean-Pierre, Drogoul Alexis, durée : 1/01/1998 - 31/12/2003.

- Réseau d'excellence sur les agents.

Partenaire(s) : nombreux autres noeuds du réseau AgentLink.

Activités internationales

Université d'Oran es-Senia (Algérie)

Responsable scientifique : Doucet Anne.

- Vérification de contraintes d'intégrité dans les bases de données parallèles.

Software architectures for actors and agents (USA)

Responsable scientifique : Briot Jean-Pierre, durée : 1/01/1999 - 31/12/2000, financement 135 kF.

- Architecture logicielles pour agents à base d'acteurs.

Partenaire(s) : University of Illinois (Etats-Unis), CNRS.

Transactions imbriquées et contraintes d'intégrité (Vénézuéla)

Responsable scientifique : Gancarski Stephane, durée : 1/01/2000 - 31/12/2000.

- Coopération franco-Vénézuélienne dans le cadre de l'accord CNRS/Conicit (8676). Etude et mise en oeuvre d'un gestionnaire de contraintes d'intégrité dans un système supportant des transactions imbriquées réparties.

Partenaire(s) : CCPD, Ecole d'informatique de l'université centrale du Vénézuéla à Caracas.





PROSPECTIVE

Notre action se situe dans le contexte de l'explosion de l'Internet et de ses évolutions vers un espace élargi et un temps mieux maîtrisé. La rupture observée ces dernières années dans le domaine des télécommunications est principalement due à l'émergence du modèle de communication informatique et à la domination de l'architecture Internet. Nous souhaitons nous donner les moyens de maintenir notre rôle d'animation et notre visibilité internationale dans l'Internet au futur.

La recherche dans ce domaine est très compétitive car elle rassemble des milliers de chercheurs aussi bien en environnement académique qu'industriel, son impact économique est majeur sur l'industrie, son action se construit sur plusieurs échelles de temps mais suivant un processus de valorisation accéléré.

Il est alors essentiel de rester compétitif, maintenir notre visibilité et accroître notre pouvoir d'attraction envers les étudiants, les chercheurs et nos partenaires industriels car la compétition est réellement internationale sur tous ces aspects. Ce constat nous a amenés à réfléchir à une organisation originale du thème en « Centre de Compétences ». Il s'agit de développer un large spectre de compétences au service du domaine applicatif Télécom. Ce centre, de durée limitée, sera adossé à une forte coopération industrielle suivant des modèles expérimentés avec succès dans les meilleurs laboratoires mixtes (ACERI/AT&T, UCL, MIT, Berkeley, HP/SICS, Ericsson/TUB...). Ce pôle d'attraction aura également pour mission l'essaimage et la dissémination du savoir.

Ces dernières années, notre démarche scientifique nous a permis de développer des contributions significatives dans les domaines de la qualité de service, des communications de groupe, de la réalité virtuelle et de la modélisation de systèmes. Notre vision pour le court et moyen terme consiste à prolonger nos travaux dans le contexte de la convergence fixe/mobile et de l'intégration du multipoint. En effet, chacun de ces thèmes aborde des verrous difficiles à traiter de manière isolée. Lorsqu'ils sont associés (objets mobiles coopérants dans une application temps-réel) la complexité croît de plusieurs ordres de grandeur. Cette approche système est indispensable et seule capable de répondre aux exigences opérationnelles de l'Internet.

Nos travaux associeront des activités dans les directions suivantes :

- Qualité de service dans l'Internet (réseaux hétérogènes),
- Mobilité, communautés, mondes virtuels,
- Réseaux actifs, agents mobiles, plate-forme,
- Modélisation, optimisation, performance.

Le premier axe se situe dans le prolongement de nos travaux sur la qualité de service pour des systèmes hétérogènes (réseaux fixes, mobiles de technologies variées). Il traite de l'Internet haut-débit, de l'Internet temps-réel et de l'Internet face au facteur d'échelle.

L'explosion des mobiles et des communautés dans un espace applicatif motive le second axe. Notre ambition consiste à proposer des solutions protocolaires pour l'intégration des réseaux fixes et mobiles, ainsi que le déploiement du multicast et de la communication de groupe dans l'Internet. Ces systèmes fourniront la base des mondes virtuels et des applications qui s'y rapportent.

Le modèle actuel de l'Internet a fait ses preuves mais la forte demande exprimée en terme de services va nous amener à en modifier les contours afin de lui apporter des capacités de programmabilité. Ce mouvement ouvre une voie originale car il permet d'associer des programmes aux paquets en transit et donc d'apporter une réelle capacité de dynamique de service au réseau. Dans le même temps, de nombreuses difficultés apparaissent liées au génie logiciel télécom, à la sécurité, aux systèmes d'exploitation distribués en général. Des plates-formes d'expérimentations seront développées en association avec des partenaires afin de domestiquer ces technologies émergentes.

Enfin, les solutions proposées pour construire les réseaux de demain doivent s'appuyer sur des outils performants d'ingénierie du trafic, des modèles mathématiques pour l'analyse du comportement des algorithmes et une évaluation fine des protocoles. Dans ce but, l'axe « Modélisation et évaluation » sera développé.

A plus long terme, nous imaginons d'autres modèles d'architectures de réseaux en rupture avec les solutions actuelles.



BILAN SYNTHÉTIQUE DES RECHERCHES

Les travaux réalisés ces dernières années ont porté sur la conception de protocoles pour l'Internet et le développement de techniques de résolution quantitative pour les systèmes à événements discrets et la productique.

L'axe majeur développé depuis le début 90 concerne les protocoles permettant la gestion de ressources et le support de la qualité de service dans des réseaux IP ou IP/ATM. Il s'agit de proposer des solutions en terme d'architecture et de protocoles qui permettent d'enrichir le modèle informatique « commutation de paquets/mode non connecté » de moyens permettant de garantir des propriétés aux flux transportés. En effet, le principe du modèle informatique est de partager une bande passante par l'intermédiaire de protocoles qui doivent rester simple et tenir le facteur d'échelle (service appelé « Best-Effort » ; modèle Ethernet ou Internet). Récemment sont apparues des propositions pour étendre ce modèle vers des services à garanties déterministes ou statistiques. Les modèles IntServ et DiffServ de l'IETF ont été développés dans ce but. De nombreuses études les ont accompagnés afin de concevoir les mécanismes de gestion de files d'attente (« Queue Management ») ou d'ordonnancement (« scheduling ») qui permettent de construire ces propriétés.

Nous avons proposé, développé et expérimenté des protocoles intégrés à l'environnement ATM d'une part, IntServ et DiffServ de l'IETF d'autre part. La plupart de ces travaux ont été développés dans le cadre de projets en coopération avec des partenaires académiques et industriels (RNRT, ESPRIT, IST, ITEA). Notre action a porté sur l'ingénierie du trafic et la conception de mécanismes de contrôle (algorithme ABR, ordonnancement proportionnel PQCM, algorithmes RED+ et MUV pour la détection des flux non courtois avec TCP, algorithme CLEP pour la partage de la capacité Ethernet...). L'ensemble de ces travaux constitue une contribution importante, qui s'inscrit parfaitement dans les propositions actuelles. Elles ont tout aussi bien porté sur la conception des algorithmes et leur évaluation que sur leur implémentation et la mesure de leur fonctionnement sur des plates-formes nationales ou internationales. Cette démarche, initiée lors de la proposition du projet Mirihade en 1994, nous a amenés à consacrer un effort important de développement et d'instrumentation. Cette approche, bien que lourde à supporter vu les moyens limités disponibles en terme d'ingénieurs, est indispensable pour crédibiliser des propositions dans le cadre Internet et valoriser certaines d'entre elles.

Nous avons également été précurseurs de la technologie de commutation IP avec QoS. Nous avons proposé d'utiliser un protocole de signalisation pour distribuer des labels qui permettent d'accélérer IP et

de créer des routes explicites: la technologie « RSVP Switching ». Cette solution se rapproche des recommandations MPLS de commutation par labels, proposées à l'IETF. Elle offre l'avantage de préserver la signalisation Internet tout en proposant un routage qui n'est plus basé sur l'adresse du destinataire et qui peut-être figé pour des besoins de qualité de service ou d'ingénierie du réseau. Nous avons proposé une extension de RSVP pour porter des labels sans remettre en cause sa compatibilité. Par ailleurs, cette solution est apte à supporter les communications multicast. Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet DIS financé par la DGA et le MENESR. Un prototype a été développé sur la base de PCs qui contrôlent des commutateurs ATM du marché par le biais du protocole GSMP. Cette proposition se rapproche également des approches de type « Réseaux programmables » qui se développent aujourd'hui.

Les premiers travaux développés au LIP6 sur le multicast datent de 1991. Ils ont porté sur les techniques de fiabilisation des protocoles multipoint. L'évolution des réseaux de communication vers le large bande est synonyme d'un accroissement accéléré de la capacité de transmission mais surtout de l'introduction de nouveaux services et fonctionnalités. En effet, les réseaux doivent faire face à l'augmentation soutenue de la demande en débit et en connectivité. Ce mouvement est en marche. Il va provoquer de nouveaux besoins et favoriser l'émergence de nouveaux modèles d'interaction, plus sophistiqués, plus dynamiques. Or, les architectures actuelles reposent sur des communications le plus souvent "unicast", n'impliquant que deux entités dans le dialogue (une entité est généralement un individu, un processus applicatif ou une machine). Afin de favoriser l'émergence de nouvelles applications et usages, ces dix dernières années ont vu l'explosion de cette thématique, dénommée communément "Multicast", et qui concerne le transport de flux quelconques de 1 vers N (entités) ou de N vers M. Ce domaine fait l'objet d'une activité de recherche intense de la communauté internationale mais suscite également un fort intérêt des acteurs industriels. Malheureusement, le déploiement de ce service sur une échelle d'opérateur est très lent car il implique l'introduction d'une complexité significative dans les routeurs et fait face à de nombreuses difficultés telles que le passage à l'échelle. Nous animons l'action COST264 [www.lip6.fr/COST264] sur le multipoint et la communication de groupe au niveau européen. Notre action a porté dans deux directions: les algorithmes permettant de fiabiliser des protocoles multicast de bout en bout, et les techniques de contrôle de congestion multipoint.

La fiabilité du multicast a fait l'objet d'intenses travaux durant les années 90. Ils se sont conclus par une

myriade de solutions dépendantes des besoins applicatifs et de l'environnement d'exploitation. La sémantique de fiabilité a été élargie par rapport aux communications point-à-point. Nous avons introduit le concept de fiabilité statistique. Cette dernière correspond au fait qu'une application n'a pas forcément besoin de recevoir toutes les informations tout le temps. Par exemple, une application boursière est rafraîchie régulièrement mais ne nécessite pas forcément une garantie déterministe. Ce relâchement de la dureté de la fiabilité permet de simplifier les procédures et de gagner sur le facteur d'échelle. En effet, le problème difficile largement abordé dans la littérature est celui de la fiabilité face à une population de grande dimension, éventuellement variable dans le temps et l'espace. Des approches de type « Réseaux actifs » sont également évaluées dans ce contexte.

Le contrôle de congestion est un problème fortement discuté aujourd'hui. En effet, le fonctionnement de l'Internet repose sur le mécanisme de contrôle de congestion de TCP (Slow-Start). Il est connu que des sources non adaptatives (i.e. qui ne réagissent pas à des conditions de congestion du réseau) présentes en quantité élevée dominent le trafic TCP, et conduisent à une famine en bande passante de ces dernières. Le groupe de travail RM (Reliable Multicast) de l'IRTF a initialisé des travaux sur ce sujet en se limitant au trafic "Best-Effort" et en visant tout d'abord des mécanismes cordiaux avec TCP ("TCP friendly") pour des sources non TCP. On peut imaginer que le trafic non TCP (UDP, RTP) va évoluer en grandissant, renforçant ainsi sa pression sur l'équilibre de l'Internet. Nous avons proposé une solution (Ref ECAM) associant unicast et multicast et reposant sur des algorithmes modifiés de type AIMD ("Additive Increase Multiplicative Decrease").

Un nouvel axe de recherche a été également mis en place pour prendre en compte la mobilité dans les réseaux. Avec l'apparition des PDA et terminaux légers, et le développement de technologies radio pour les réseaux macro et pico-cellulaires, les terminaux mobiles sont maintenant considérés comme des composants à part entière des réseaux de communication. Pour fournir à ces terminaux mobiles les mêmes capacités d'accès au réseau que pour les terminaux fixes, de nombreux verrous technologiques restent encore à lever. Nous avons donc tout d'abord étudié les caractéristiques de ces réseaux cellulaires et abouti à des résultats de mesures pour caractériser ces nouveaux environnements. Nous nous sommes ensuite intéressés aux protocoles existants, tels que Mobile IP, pour permettre de transmettre des données à un ordinateur portable sur le réseau quelque soit l'endroit où il se trouve. Ces protocoles ont néanmoins des limites, notamment ils ne permettent pas de garantir une continuité des communications lors du changement de cellule. Un protocole a donc été proposé pour permettre le changement de cellule ou domaine, tout

en garantissant que le portable sera en mesure d'avoir les ressources dont il a besoin lors de son rattachement au nouveau réseau. D'autres travaux sont également en cours pour étudier le routage des données dans le cas de figure où les routeurs sont eux aussi susceptibles de bouger. Nous allons à l'avenir fortement renforcer cet axe de recherche afin d'étudier les problèmes posés par l'évolution fixe/mobile de l'Internet. Nos compétences additionnées sur ces domaines, devraient nous permettre d'occuper une place importante sur ce thème.

Les travaux dans le domaine de la réalité virtuelle ont commencé dans notre thème en 1993. Ce domaine est un domaine très large qui regroupe un nombre impressionnant de thèmes de recherches qui s'étendent sur une palette allant de la recherche technologique pure jusqu'à la recherche en sciences humaines. Il existe plusieurs points de cristallisation de ces différents thèmes de recherche au sein de la réalité virtuelle. Si l'on adopte une classification fondée sur les thèmes de recherche impliqués dans ces différents points, il est important de constater qu'il en existe un qui les cristallise tous : les mondes virtuels. Les recherches en réalité virtuelle se répartissent en deux catégories :

- Mondes virtuels : qui impliquent l'ensemble des thèmes de recherche de la réalité virtuelle.
- Autres : qui n'impliquent que des sous-ensembles des thèmes de recherche de la réalité virtuelle.

Nos travaux portent sur deux axes : l'interopérabilité des mondes virtuels et la visualisation, et la navigation de données et de systèmes complexes.

Concernant l'axe interopérabilité des mondes virtuels, il s'agit de proposer des solutions en terme de modélisation et d'architecture pour doter les mondes virtuels de capacités d'interopérabilité. En effet, les mondes virtuels d'aujourd'hui sont des mondes clos. En conséquence, les utilisateurs d'un monde A ne peuvent interopérer c'est-à-dire coopérer, migrer, travailler jouer, échanger des objets, etc. avec les utilisateurs d'un monde B.

Nos travaux se situent en amont des recherches purement technologiques. Nos résultats forment un cadre méthodologique et architectural de conception de déploiement et de distribution des mondes virtuels les dotant d'une capacité d'interopérabilité. Ce travail implique une recherche de dénominateur(s) commun(s) aux mondes virtuels. La nécessité d'établir ces dénominateurs communs se fait sentir car de nombreuses avancées dans les thèmes « durs » des mondes virtuels, comme l'image, les capteurs/effecteurs, les réseaux, permettent maintenant de dépasser le stade des prototypes et d'aller vers le stade des produits. La meilleure illustration de cette évolution est sans aucun doute l'univers des jeux en ligne sur Internet. Le passage du monde virtuel prototype au monde virtuel produit ne fait qu'accroître les coûts et les temps énormes de développement, dû à l'absence de con-

cepts de base, à l'absence de technique de modélisation, l'absence d'atelier de génie des mondes virtuels, à la difficulté de réutilisation et composition de l'existant (capitalisation logicielle).

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 départ les actions des objets et les réactions du monde virtuel. L'interopérabilité que nous proposons est conçue comme un service dont la qualité est calculable et exprimée en taux de compatibilité sémantique entre mondes virtuels. Lorsque le taux de compatibilité sémantique est insuffisant nous proposons des techniques d'apprentissage 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.

L'axe visualisation et la navigation de données et de systèmes complexes a débuté récemment en 1997. Il s'agit de proposer des solutions générales au problème de la découverte d'informations sur Internet. C'est un domaine dans lequel règne une féroce compétition à l'heure où Internet est pressenti comme la clé de voûte de la société de l'information. Notre démarche repose sur la constatation que la découverte d'informations dans de grands ensembles de données comme Internet est un problème non résolu de manière générale. Les solutions actuelles oscillent entre des techniques d'indication de tendance et les techniques de recherche d'une information précise. Cette dichotomie est inadaptée au processus de découverte d'information. En effet, ce processus est constitué en alternance de phases de navigation, nécessitant de l'identification de quelques grands ensembles de données répondant aux objectifs de la navigation, avec des phases d'exploration et de fouille dans les ensembles de données ainsi identifiés. Par ailleurs un autre problème important est le modèle des données. Ce modèle répond aux exigences des applications qui génèrent les données. Il est donc par définition totalement arbitraire, hétérogène et non contraignable. Une solution à la découverte d'information, pour être générale, doit être indépendante des modèles natifs des données et proposer des mécanismes simples de conversion du modèle natif des données vers un modèle pivot. Le résultat de nos recherches à ce jour est une proposition d'outil général intégrant les phases de navigation et d'exploration de façon efficace et indépendante du modèle natif des données. Cet outil nommé

UNIVIT (UNiversal Interactive Visualization Tool) a d'abord été développé sur un problème d'envergure mais plus restreint qu'Internet : la gestion de réseaux SDH. Le prototype correspondant a été développé dans le cadre d'une collaboration avec la société Alcatel. Aujourd'hui, il est en cours de généralisation pour permettre son utilisation sur Internet.

La conception de systèmes en général demande un outillage de plus en plus sophistiqué, s'appuyant sur les outils les plus adaptés à l'analyse d'une classe de problèmes. Les travaux de recherche que nous menons dans ce domaine 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. Dans ce contexte, 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.

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. Des travaux 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.

Le développement de méthodes d'évaluation de performance permettant de traiter des systèmes de plus en plus complexes, complète la proposition de solutions aux problèmes télécom. Nous nous sommes intéressés aux approches permettant de réduire la taille de la représentation de l'espace d'états. Une approche possible est l'utilisation des symétries du système, que nous avons étendue au cas des systèmes partiellement symétriques, en se basant sur les résultats de l'agrégation markovienne. Nous nous sommes aussi intéressés à l'évaluation de propriétés complexes avec une approche basée sur la logique temporelle. L'originalité de notre technique est de tirer parti d'informations issues de la structure du système pour guider la construction de l'espace d'états et réduire ainsi le nombre d'états construits.

Les travaux de recherche dans le domaine de l'analyse et de modélisation seront à l'avenir, développés et couplés avec les applications dans le domaine des télécommunications.

BILAN DÉTAILLÉ DES RECHERCHES

Qualité de service et ingénierie du trafic dans l'Internet

P. ANELLI, L. COSTA, C. DELEUZE, S. FDIDA, O. FOURMAUX, Y. MORET, J.-F. DE REZENDE, V. ROCA, T. ZIEGLER

L'axe majeur développé depuis le début 90 concerne les protocoles permettant la gestion de ressources et le support de la qualité de service dans des réseaux IP ou IP/ATM. Il s'agit de proposer des solutions en terme d'architecture et de protocoles qui permettent d'enrichir le modèle informatique « commutation de paquets/mode non connecté » de moyens permettant de garantir des propriétés aux flux transportés. Récemment sont apparues des propositions pour étendre le modèle de base (« Best Effort ») vers des services à garanties déterministes ou statistiques. Les modèles IntServ et DiffServ de l'IETF ont été développés dans ce but. De nombreuses études les ont accompagnés afin de concevoir les mécanismes de gestion de files d'attente (« Queue Management ») ou d'ordonnancement (« scheduling ») qui permettent de construire ces propriétés.

L'apparition de réseaux haut débit et de nouvelles applications provoquent 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.

De très nombreux projets existent sur ce sujet au niveau international, académique et industriel. Il serait trop long de les citer mais le nombre imposant de groupes de travail consacré à ce thème dans les grandes instances de normalisation (IETF, ATM Forum, ITU), le nombre de sessions dans les conférences internationales (Infocom, Sigcom, Globecom, Networ-

king...) en témoignent. Les principales équipes de recherche internationales sont très actives sur ce thème et participent à sa spécification. Citons par exemple les travaux sur les protocoles et architectures QoS tels que RSVP, DiffServ, IntServ, MPLS, SBM, COPS ou encore les travaux sur le routage ou les politiques de qualité de service. Ce thème est également largement porté par l'initiative américaine Internet2 et la plate-forme Q-Bone.

Nous avons proposé, implémenté et expérimenté des protocoles intégrés à l'environnement ATM d'une part, IntServ et DiffServ de l'IETF d'autre part. La plupart de ces travaux ont été développés dans le cadre de projets en coopération avec des partenaires académiques et industriels (RNRT, ESPRIT, IST, ITEA). Notre action a porté sur l'ingénierie du trafic et la conception de mécanismes de contrôle (algorithme ABR, ordonnancement proportionnel PQCM, algorithmes RED+ et MUV pour la détection des flux non courtois avec TCP, algorithme CLEP pour la partage de la capacité Ethernet...). L'ensemble de ces travaux constitue une contribution importante, qui s'inscrit parfaitement dans les propositions actuelles. Elles ont tout aussi bien porté sur la conception des algorithmes et leur évaluation que sur leur implémentation et la mesure de leur fonctionnement sur des plates-formes nationales ou internationales.

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, ou encore les difficultés de maintien de la qualité de service ainsi que de sa gestion, il est alors nécessaire de proposer de nouveaux mécanismes indispensables au support d'applications émergentes. Nous avons été précurseurs de la technologie de commutation IP avec QoS. Nous avons proposé d'utiliser un protocole de signalisation pour distribuer des labels qui permettent d'accélérer IP et de créer des routes explicites: la technologie « RSVP Switching ». Cette solution se rapproche des recommandations MPLS de commutation par labels proposées à l'IETF. Elle offre l'avantage de préserver la signalisation Internet tout en proposant un routage qui n'est plus basé sur l'adresse du destinataire et qui peut-être figée pour des besoins de qualité de service ou d'ingénierie du réseau. Nous avons proposé une extension de RSVP pour porter des labels sans remettre en cause sa compatibilité. Par ailleurs, cette solution est apte à supporter les communications multicast. Ce travail a été réalisé dans le cadre du pro-

jet DIS sur réseau IP/ATM (DRET/MENESR). L'application d'expérimentation est une application de DIS (Simulation Distribuée Interactive) développée par Dassault électronique. Elle présente de nombreuses fonctionnalités difficiles à considérer 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 a été 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 ont également été suivis par des partenaires industriels (EDF-DER, CEGETEL, PHILIPS Communications d'Entreprise). Un prototype a été développé sur la base de PCs qui contrôlent des commutateurs ATM du marché par le biais du protocole GSMP. Cette proposition se rapproche également des approches de type « Réseaux programmables » qui se développent aujourd'hui. Ce travail a directement produit les thèses d'Olivier Fourmaux et de Christophe Deleuze, ainsi que de nombreuses publications dont (Fourmaux et al. 1997, Fourmaux et al. 1999, Deleuze et al. 1999, Deleuze et al. 2000). Des coopérations avec l'université de Napoli ont abouti à des publications communes.

Nous avons développé 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). Ce travail a donné lieu à un brevet.

Au niveau national, nos contributions sont principalement valorisées dans le cadre du projet RNRT @irs (Architecture Intégrée de Réseaux et Services – <http://www.lip6.fr/airs>). Ce projet adresse la conception et l'expérimentation d'une architecture Internet de seconde génération. La solution proposée intègre des

moyens de gestion de la qualité de service différenciée, des éléments liés à la mobilité IP et au routage multipoint. Il s'appuie sur le protocole IPv6 et propose des expérimentations distribuées d'applications spécifiques. Il fournit également une plate-forme d'expérimentation pour les projets RNRT ou autres. Ce projet possède déjà une forte visibilité nationale et internationale. Il a donné lieu à de nombreuses présentations dans des forums (RNRT, IPv6 Foru...) et des conférences internationales, et valorise les résultats acquis dans la souche logicielle IPv6 MUSICA commercialisée par Thomson-Detexis. Nous avons implémenté les algorithmes de QoS choisis dans le projet RNRT @irs dans la pile MUSICA. Notre apport dans le projet est essentiel puisqu'il concerne aussi bien les axes stratégiques que les choix d'architecture. Notre contribution concerne l'ajout de nouveaux modèles de services et des mécanismes associés dans IP afin de fournir un modèle de type DiffServ. Nous avons donc conçu et évalué des techniques de gestion de files d'attente, d'ordonnement proportionnel PQCM (Moret et al. 1998) ainsi que les algorithmes RED+ (Ziegler et al. 1999) et MUV (Ziegler et al. 2000) pour la détection des flux non courtois avec TCP. PQCM est une technique originale de contrôle de la file d'attente d'un routeur qui permet de garantir statistiquement que chaque classe de service qui traverse ce routeur recevra une quantité de ressource directement proportionnelle à sa classe d'origine. Notre approche repose sur un contrôle de la longueur moyenne des files d'attente de deux services (Best Effort et Assuré). Une approche similaire a été proposée à la conférence Sigcomm'99 par C. Dovrolis de l'université du Wisconsin. Une seconde contribution concerne le problème du contrôle des usagers qui n'utilisent pas le protocole TCP mais UDP qui lui n'est pas réactif à la congestion. Nous avons proposé des techniques de contrôle de ces trafics afin de limiter leurs effets sur le trafic TCP. Deux solutions ont été publiées, RED+ et MUV. Elles reviennent à mesurer la bande passante équivalente que consommerait un flot s'il était régulé par le contrôle de flux installé par TCP. Enfin, de nouvelles techniques de gestion de files d'attente comme RED (Random Early Detection) ont été proposées par plusieurs chercheurs afin de palier certains problèmes dus en particulier au trafic TCP en présence de congestion. Nous avons largement étudié ces techniques afin d'en cerner les limites et recommandons l'utilisation de solutions alternatives de type Push-Out. A coté de ces axes principaux, nous développons des études sur d'autres thèmes moteurs tels que la routage à qualité de service. Nous avons proposé (Costa et al. 2000) un routage QoS, qui associe trois métriques, et dont l'efficacité et la simplicité sont d'un intérêt majeur.

Au niveau international, des travaux connexes de mise en œuvre de la qualité de service ont été développés dans le cadre du projet ESPRIT IV EDISON

(European Distributed and Interactive Simulation Over Network). 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. Le succès rencontré par ce projet (1996-2000) a suscité le projet IST-DES (Distributed System Engineering) qui étudie les outils d'ingénierie de systèmes distri-

bués. L'environnement DES a pour objet le support d'applications et de plates-formes d'ingénierie coopérative à grande échelle. Celles-ci adressent l'ensemble du cycle de vie d'un système d'ingénierie avec une attention particulière sur la conception et la vérification. Les principaux partenaires industriels sont Alenia, SIA (I), Aérospatiale (F) et IABG (D). Notre action dans ce projet concerne deux aspects: d'une part, l'ingénierie du réseau IP pour le support opérationnel des applications, et d'autre part, la proposition de solutions pour le support des besoins en communication multipoint. Ce second point rejoint les préoccupations développées dans le paragraphe consacré au multicast.

Techniques de contrôle de la qualité de service et adaptation

Y. ADIDA, 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 (CLEP) de contrôle du débit dans les réseaux à partage de ressource. Cette technique fait l'objet d'un dépôt de brevet. Cette technique a été également étendue pour une gestion des débits selon un modèle de type DiffServ (IETF).

Réseaux et mobilité

A. FLADENMULLER, E. HORLAIT, G. LEGRAND, J. BEN OTHMAN

La mobilité des utilisateurs avec leur terminaux implique des modifications dynamiques dans le choix des routes, notamment si l'on utilise des réseaux cellulaires sans fil. Ce déplacement appelé roaming peut être pris en compte par les réseaux cellulaires eux-mêmes sans faire intervenir les algorithmes de routage d'IP, on parle alors de routage intra-domaine car les données sont routées au sein du même domaine IP. Dans le cas contraire, on parle de routage inter-domaine ou de macro-mobilité et il devient alors nécessaire d'utiliser les protocoles tels que Mobile IP pour effectuer les handoffs, c'est-à-dire le passage d'un do-

maine IP à un autre. Dans ce cas de figure on peut là aussi utiliser le protocole Mobile IP.

Les routages inter et intra domaine ont néanmoins des aspects communs. Les déplacements fréquents des utilisateurs vont impliquer des déconnexions et reconnexions au réseau qui vont avoir un impact notable sur la qualité des transmissions (risque de perte de données, interruption momentanée de la transmission d'un flux...). Des améliorations importantes restent à apporter dans ce domaine pour garantir un maintien du service fourni aux utilisateurs mobiles (garantie de la QoS). C'est dans ce cadre que nous

avons débuté des études sur la réservation de ressources dans des réseaux cellulaires. Ces travaux se basent sur des études déjà menées au sein de l'équipe sur la répartition de l'accès à un support physique, typiquement un réseau Ethernet entre utilisateurs, afin d'améliorer la gestion de l'accès au médium.

Le protocole ici mis en place est adapté aux nouvelles contraintes des environnements mobiles, et notamment au fait que l'on doit favoriser la mobilité dans certaines cellules. Le but de ce protocole est donc de répartir équitablement la bande passante entre les utilisateurs d'une même cellule tout en favorisant le plus possible l'entrée de nouveaux arrivants dans cette cellule. Ces travaux menés conjointement par Gwendal Legrand (doctorant) et Jalel BenOthman (ATER) portent sur la conception d'un nouveau protocole. Une évaluation analytique de ce protocole est mise en œuvre à l'aide de chaînes de Markov et a déjà abouti à une publication. Cette approche sera validée par des tests de simulations sous NS. Ces deux modèles vont permettre d'évaluer l'impact du taux de blocage en fonction du degré de mobilité des utilisateurs dans la cellule (nombre de handoff/changement de cellule). Des travaux sont également en cours pour améliorer ce protocole en effectuant des prédictions de mouvement.

Ces travaux sont novateurs car ils permettent de proposer un meilleur partage des ressources entre utilisateurs, de manière extrêmement dynamique. Aucuns travaux dans ce domaine ne semblent être conduits, à part ceux concernant le multiplexage fréquentiel ou temporel, mais qui n'offrent en aucun cas les mêmes critères de dynamique que l'approche choisie ici.

Ces travaux sur la mobilité sont complétés par l'étude d'un autre problème lié au déplacement des routeurs au sein même d'un même réseau appelé réseau ad hoc. Plusieurs algorithmes de routage sont actuellement proposés et un groupe de travail de l'IETF a été mis en place pour traiter et étudier ces aspects. D'abord réservées à des applications restreintes, telles

que le déploiement rapide de réseaux dans des situations de crise (guerre, catastrophe naturelle...), ces technologies de routage sont amenées à être adaptées à de nouvelles applications telles que le routage au sein de réseaux cellulaires dont les nœuds de

commutation sont susceptibles de se déplacer les uns par rapport aux autres.

Ces nouvelles idées d'application coïncident avec l'arrivée sur le marché d'un nouveau standard, Bluetooth, pour les transmissions entre des réseaux micro (voire pico) cellulaires et sont également évoquées comme extensions possibles dans les spécifications de HIPERLAN 2. L'idée d'origine sous-jacente à la création de Bluetooth était le développement d'une interface radio à faible coût pour interconnecter des équipements personnels dans des environnements de bureau ou de domotique. Les évolutions récentes ont poussé à étudier l'utilisation de cette technologie pour l'interconnexion de PDA et la création de réseaux micro cellulaires. L'interconnexion de ces réseaux entre eux apparaît alors comme une évolution naturelle de ces travaux.

Avec l'arrivée dans notre équipe d'Adam Magi, un chercheur invité pour un an, travaillant à Ericsson en Hongrie, nous avons débuté cette année un axe de recherche avec Anne Fladenmuller sur l'étude d'un nouvel algorithme de routage IP permettant l'interconnexion de réseaux pico-cellulaires de type Bluetooth. Cette approche se base en partie sur les travaux les plus récents du groupe MANET de l'IETF, mais sont conditionnés par le choix de l'interface radio.

Dans le monde industriel (Motorola, Ericsson...) aussi bien qu'universitaire (Winlabs de l'Université de Rutgers (USA), l'université de technologie Lulea (Suède)...), des études sont actuellement en cours pour étudier ces aspects. Plusieurs échanges d'e-mails sur la liste du groupe de travail MANET attestent de l'intérêt croissant pour cette problématique ; cependant les études menées restent encore très récentes et aucun résultat n'est encore apparu.

Communication de groupe et multipoint

L. COSTA, A. DRACINSCHI, S. FDIDA, P. SPATHIS, K. THAI, R. VIDA

L'évolution des réseaux de communication vers la large bande est synonyme d'un accroissement accéléré de la capacité de transmission mais surtout de l'introduction de nouveaux services et fonctionnalités. En effet, les réseaux doivent faire face à l'augmentation soutenue de la demande en débit et en connectivité. Ce mouvement est en marche. Il va provoquer de nouveaux besoins et favoriser l'émergence de nouveaux modèles d'interaction, plus sophistiqués, plus dynamiques. Or, les architectures actuelles reposent sur des communications le plus souvent "unicast", n'impliquant que deux entités dans le dialogue (une

entité est généralement un individu, un processus applicatif ou une machine). Afin de favoriser l'émergence de nouvelles applications et usages, ces dix dernières années ont vu l'explosion de cette thématique, dénommée communément "Multicast", et qui concerne le transport de flux quelconques de 1 vers N (entités) ou de N vers M. Ce domaine fait l'objet d'une activité de recherche intense de la communauté internationale mais suscite également un fort intérêt des acteurs industriels. Malheureusement, le déploiement de ce service sur une échelle d'opérateur est très lent car il implique l'introduction d'une complexité signi-

ficative dans les routeurs et fait face à de nombreuses difficultés telles que le passage à l'échelle.

Les applications envisagées sont multiples, certaines sont encore inconnues et seront favorisées par la disponibilité du service. Nous pouvons citer les applications de type "Push", la distribution Audio/Vidéo Internet, le travail coopératif et les télé-activités, la simulation ou les jeux distribués, les communautés. Ces applications affichent en commun un invariant qui est la transmission d'une structure de donnée (un paquet IP) d'une ou de plusieurs sources vers plusieurs récepteurs. Par conséquent, les ressources du réseau vont être fortement sollicitées si l'on recourt à l'usage d'autant de flots unicast qu'il y a de récepteurs impliqués. Il faut donc développer des protocoles de routage capables de transporter, au moindre coût, l'information vers l'ensemble dynamique (dans le temps et l'espace) des membres du groupe. Ces solutions introduites dans le réseau doivent être complétées par des protocoles de bout-en-bout aptes à durcir le service offert en terme de fiabilité, de qualité de service, de sécurité ou d'efficacité. Ce sujet ouvre donc un champ de recherche original dans le domaine de l'architecture des réseaux, des protocoles et services, des applications et des usages.

Les premiers travaux développés au LIP6 sur le multicast datent de 1991. Ils ont porté sur les techniques de fiabilisation des protocoles multipoint. Nous animons l'action COST264 [www.lip6.fr/COST264] sur le multipoint et la communication de groupe au niveau européen. Notre activité a porté dans deux directions: les algorithmes permettant de fiabiliser des protocoles multicast de bout en bout et les techniques de contrôle de congestion multipoint. De nombreuses coopérations ont été établies dans ce cadre avec les universités de UCL et Lancaster (UK), Pisa (I), Manheim (D), Bell Labs et Sprint (USA).

La fiabilité du multicast a fait l'objet d'intenses travaux durant les années 90. Ils se sont conclus par une myriade de solutions dépendantes des besoins applicatifs et de l'environnement d'exploitation. En particulier, la capacité à supporter de grands groupes dynamiques, du filtrage de qualité de service et différents niveaux de fiabilité sont abordés. La sémantique de fiabilité a été élargie par rapport aux communications point-à-point. 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 com-

portement et 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.

Le contrôle de congestion est un problème fortement discuté aujourd'hui. En effet, le fonctionnement de l'Internet repose sur le mécanisme de contrôle de congestion de TCP (Slow-Start). Il est connu que des sources non adaptatives (i.e. qui ne réagissent pas à des conditions de congestion du réseau) présentes en quantité élevée dominent le trafic TCP et conduisent à une famine en bande passante de ces dernières. Le groupe de travail RM (Reliable Multicast) de l'IRTF a initialisé des travaux sur ce sujet en se limitant au trafic "Best-Effort" et en visant tout d'abord des mécanismes cordiaux avec TCP ("TCP friendly") pour des sources non TCP. On peut imaginer que le trafic non TCP (UDP, RTP) va évoluer en grandissant, renforçant ainsi sa pression sur l'équilibre de l'Internet. Nous avons proposé une solution (ECAM) (Dracinski et al. 2000) associant unicast et multicast et reposant sur des algorithmes modifiés de type AIMD ("Additive Increase Multiplicative Decrease"). ECAM est un algorithme adapté à la fois au trafic Unicast et Multicast « Best Effort ». Le principe de base de l'algorithme est le découplage introduit entre le contrôle de congestion et la fiabilité. Cela est possible grâce à l'adaptation des flots UDP à la dynamique du réseau indiquée par des paquets « Source Quench ». Nous avons montré que ce protocole réduit significativement le taux de perte des paquets, permet à UDP de coexister amicalement avec TCP et propose une solution simple et efficace à l'évitement de congestion.

Par ailleurs, des techniques d'ordonnement pour la transmission multicast ont été proposées, développées et évaluées [Roca 99]. Elles reposent sur l'utilisation de plusieurs groupes multicast. Ceci a le double intérêt de permettre de prendre en compte l'hétérogénéité inévitable des différents membres d'un groupe, et d'offrir un mécanisme de contrôle de congestion simple où un récepteur choisit le nombre de groupes reçus en fonction de ses possibilités et de celles de son réseau d'accès. Une bibliothèque offrant ce type de service a été développée et est actuellement diffusée [Roca 2000]. Ces travaux seront en particulier mis à profit au sein du projet européen IST DSE ("Distributed Systems Engineering") qui s'intéresse aux outils de travail coopératif.

A l'échelon national, nos travaux sur le multicast alimentent le projet RNRT REVE (Réseaux Virtuels Etendus). L'objectif de ce projet est de concevoir et de développer des solutions pour la création et l'administration de réseaux privés virtuels dynamiques (D-VPN). La solution retenue sera démontrée pour un service de distribution vidéo sur ADSL (TV Internet). Notre apport concerne les techniques de routage multicast à source unique, la gestion de groupe et l'archi-

teature du système. Les partenaires sont CS, France Telecom R&D, le LORIA et PRISM.

Une approche radicalement différente, basée sur le concept de réseau actif où il est possible de véhiculer du code dans des paquets, est développée au sein du projet RNRT AMARRAGE. Ce projet a un objectif double: d'une part, définir, concevoir et valider la faisabilité du concept de réseau actif, et d'autre part, de mettre en œuvre une plate-forme nationale (la première en France) d'expérimentation. Le concept de réseau actif est le fruit de réflexions démarrées en 1994-1995 au sein de la communauté de recherche DARPA en réaction à certaines limitations des réseaux actuels. L'enjeu est de taille, ainsi que l'atteste le nombre de projets lancés sur ce thème. Ce concept est en effet susceptible de révolutionner les architectures de communication classiques, en ouvrant de nouvelles perspectives pour la conception et le déploiement de nouveaux services. La possibilité pour les paquets de transporter en sus des données du code qui pourrait être exécuté à l'intérieur du réseau devrait permettre un degré de flexibilité maximum du réseau et une adaptation dynamique aux exigences individuelles des utilisateurs et des applications. Notre contribution concerne les apports de l'approche « active » pour le déploiement rapide de services de communication relevant traditionnellement associés au niveau transport, en mettant l'accent sur le multicast. En effet, nous pensons qu'une solution au problème de résistance au facteur d'échelle peut être obtenue par une collaboration « intelligente » des équipements du réseau: les routeurs intermédiaires de l'arbre de diffusion peuvent être mis à contribution pour protéger à la fois la source de données et le réseau des effets d'implosion. Dans ce cadre, nous nous intéressons à la spécification et conception d'un protocole de multicast fiable, à son déploiement sur la plate-forme du projet, et à son évaluation. Par ailleurs, il est peu réaliste de considérer qu'à court terme, tous les routeurs

seront dotés de capacités actives. Nous nous intéressons ainsi au problème de placement et de choix de routeurs actifs.

Le projet IST GCAP (Global Communication Architecture and Protocols for new QoS services over IPv6 network) démarré en 2000 a pour objet de proposer une architecture Internet innovante pour ce qui concerne les protocoles de bout-en-bout (ie directement entre utilisateurs/applications/machines). Il intègre des préoccupations concernant l'accès à plusieurs réseaux hétérogènes, le multipoint et les réseaux actifs/programmables. Il souhaite concevoir et évaluer une nouvelle architecture de transport, un protocole multimédia et un protocole multicast capables de supporter des applications coopératives présentant des contraintes de qualité de service. L'approche originale développée dans le projet est de proposer une conception capable de déployer rapidement les solutions proposées, exploitant l'approche des réseaux actifs/programmables. Les principaux partenaires sont Thomson-Detexis (F), Telebit (Suède), Austria Telecom (A), Alcatel Espace, le LAAS, les universités de Lancaster, Madrid et Darmstadt.

Nous participons également au projet ITEA RTIPA (Real Time Internet Platform Architectures) qui vise la conception d'une architecture Internet pour les applications temps réel. Les nombreux partenaires du projet considèrent aussi bien des aspects liés au support de la Qualité de Service, que le multicast, la sécurité ou l'administration du réseau. Nous nous intéressons à une architecture générique pour le multicast. L'évolution de la technologie de transmission milite en faveur d'une simplification du cœur de réseau et d'une augmentation des fonctions offertes au niveau des équipements de bordure. Nous étudions une architecture, incluant le routage multicast, impliquant des réseaux multicast à la périphérie et unicast au cœur.

Interopérabilité des environnements de réalité virtuelle

M. SOTO

La réalité virtuelle demeure encore aujourd'hui un domaine de recherches émergent. Les mondes virtuels émergent de la réalité virtuelle. L'interopérabilité émerge des mondes virtuels. Ainsi peut se résumer la genèse de cet axe de recherche. C'est-à-dire s'il est jeune, ce qui n'en diminue pas pour autant son importance stratégique. 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. En conséquence de cette jeunesse, les travaux s'intéressant à cette problématique sont peu nombreux. Il n'existe qu'un seul projet concurrent consacré entièrement au problème de

l'interopérabilité: le projet High Level Architecture (HLA) du Department of Defense (DoD) des États-Unis. HLA est un projet de grande envergure dont les résultats sont en cours de normalisation au sein de l'IEEE. Dans ce projet, le terme monde virtuel n'est pas employé: on parle de simulateur. Mais les simulateurs qui sont à l'origine de ce projet peuvent amplement être considérés comme des mondes virtuels. Le plus célèbre de ces mondes est NPSNET qui n'est rien d'autre qu'un monde virtuel de champs de bataille avec pour vocation l'entraînement des forces armées à grande échelle (plus de 100 000 participants). Mes travaux et HLA ont en commun une l'hypothèse de départ suivante:

Aucun simulateur ne peut satisfaire à tous les usages et tous les utilisateurs. Cette satisfaction passe nécessairement par la réutilisation et la composition de tout ou partie de simulateurs existants.

En dehors de cette hypothèse, tout nous sépare. En particulier, HLA aborde l'interopérabilité de façon statique, nous ne la concevons que de manière dynamique; HLA traite l'interopérabilité de manière très concertée ; nous ne la concevons que de la manière la moins concertée possible.

A part ce projet, l'interopérabilité des mondes virtuels, si elle est abordée, ne l'est que de manière partielle et le plus souvent comme une problématique secondaire.

Parmi les travaux qui s'intéressent peu ou prou à l'interopérabilité des mondes virtuels, nous citerons :

- AVIARY de l'Université de Manchester. L'interopérabilité y est vue sous l'angle orienté objet. La possibilité de migration d'un objet vers un autre monde est vérifiée en utilisant la hiérarchie des classes des mondes. Cela limite l'interopérabilité à des mondes appartenant à des classes très proches et développées de manière assez concertée.
- Spline du Mitsubishi Research Lab. Il s'agit d'une approche à la fois orientée objet et protocolaire de l'interopérabilité. Le protocole ISTP (Interactive Sharing Transfer Protocol) permet d'exporter des classes d'objets vers des mondes virtuels où elles n'existent pas. Cependant, rien n'est prévu pour évaluer le fonctionnement effectif des objets utilisant des méthodes ainsi exportées.
- BrikNet de l'Institute of Systems Science de l'Université Nationale de Singapour. Il s'agit d'une approche statique de l'interopérabilité. Rien n'est possible dès qu'on s'écarte des schémas d'interopérabilité préétablis. Cette approche proche de HLA.
- GENOCOVE de l'Université de Caroline du Nord. Il s'agit de la seule architecture qui se dote explicitement de techniques destinées à l'interopérabilité. Ces techniques reposent sur une approche orientée objet complétée par un mécanisme d'apprentissage. Une lacune de GENOCOVE réside dans son mécanisme d'apprentissage est trop mécanique pour garantir le fonctionnement des objets migrés d'un monde virtuel à un autre.
- ARéVi de L'École Nationale d'Ingénieurs de Brest (ENIB). Bien que la problématique de l'interopérabilité ne soit pas abordée en tant que telle, il existe dans cet atelier de réalité virtuelle des mécanismes qui s'en rapprochent énormément. L'approche ici est multi-agents. Les mécanismes permettant de migrer un objet d'un monde virtuel à un autre repose sur une technique de surcharge de méthode au niveau des instances plutôt qu'en ce qui concerne les classes. La principale critique que l'on puisse faire repose sur l'aspect totalement manuel de l'approche. Cette critique n'en est plus une au

regard de sa finalité originelle d'atelier d'application réalité virtuelle.

Nos travaux sur l'interopérabilité des mondes virtuels nous ont conduits à un travail en profondeur sur la compréhension de la nature exacte de ces mondes. Ce travail peut sembler très théorique mais il est absolument nécessaire. Les mondes virtuels sont trop complexes pour être appréhendés par une approche classique faisant l'économie des questions de fond même si cette approche est aussi structurée et normalisée que l'approche HLA. Ces travaux ont pour résultat la mise en évidence de l'action comme concept central des mondes virtuels et la définition d'une méthodologie de conception qui en découle afin de doter les mondes virtuels de capacité d'interopérabilité. Cette méthodologie se fonde sur le modèle influence/réaction issu des systèmes multi-agents que nous complétons avec des techniques d'apprentissage (treillis de Galois) pour relâcher l'hypothèse d'équivalence symbolique entre les mondes virtuels. Le modèle que nous avons défini possède la propriété intéressante de pouvoir être également utilisé au niveau de la gestion des ressources que sont le processeur et le réseau. En effet, la distribution efficace des mondes virtuels est un point crucial pour l'avenir afin que les mondes virtuels soient réellement utilisables. C'est un problème dont nous sommes conscients depuis le départ et que nous avons pris en compte dans le choix des solutions au problème de l'interopérabilité. Depuis peu une étude quantitative sur l'utilisation du modèle influence/réaction pour la définition de critères sémantiques de placement pour la distribution efficace des mondes virtuels sur des machines reliées au réseau. Le but de cette étude est d'abord de montrer que ces critères permettent un contrôle pertinent de la bande passante consommée et de la charge CPU des machines. Les résultats obtenus à ce jour doivent encore être consolidés mais sont prometteurs. La suite de cette étude est de comparer les résultats obtenus avec ceux obtenus avec les critères spatiaux de placement actuellement utilisés et reposant sur la proximité euclidienne des entités virtuelles et/ou un découpage cellulaire de l'espace.

Enfin, les résultats de nos recherches dépassent le cadre de l'interopérabilité des mondes virtuels et pourraient être adaptés à d'autres domaines. C'est le cas des agents mobiles dans le monde des télécommunications qui sont amenés à visiter des environnements d'exécution nombreux et hétérogènes où se posent donc des problèmes d'interopérabilité. Nous commençons à explorer cette possibilité dans le cadre de la collaboration avec l'Université d'Ottawa et le Conseil National de la Recherche du Canada à laquelle nous participons.

Visualisation, navigation de données et de systèmes complexes

B. LE GRAND, M. SOTO

Il existe aujourd'hui de nombreux prototypes et produits dans ce domaine. Ils ont tous pour objectifs d'apporter une aide à l'utilisateur pour discerner une information dans la marée toujours croissante des données produites par les applications.

Dans leur approche, ces produits ne sont pas tous comparables. Certains n'ont que peu de connaissance du modèle des données sur lesquelles ils travaillent. Leurs capacités d'analyse, de visualisation et de navigation s'en trouvent limitées. Ils ont cependant l'avantage de pouvoir fonctionner sur tout modèle de donnée. L'exemple type de cette approche est constitué par les moteurs de recherche du Web. A l'opposé, certains outils offrent de puissantes capacités d'analyse, de visualisation et de navigation car ils possèdent une parfaite connaissance du modèle des données qu'ils utilisent quand ils n'en imposent pas un qui leur est propre. Leur inconvénient est bien sur le champ restreint de leurs domaines d'application. C'est le cas des outils tels que :

- MinSet,
- SoftCity,
- FSN,
- WebBook,
- VENoM

Les inconvénients majeurs de ces outils sont leur manque de généralité et d'indépendance concernant les modèles des données explorées ainsi que leur incapacité plus ou moins marquée à passer d'un niveau d'abstraction élevé à un niveau plus détaillé. Nos tra-

vaux ont conduit à la définition d'une approche qui permet une navigation et une visualisation efficace de grands ensembles de données à plusieurs niveaux de détails. Notre approche repose sur l'utilisation de treillis de Galois pour agréger ou détailler les ensembles de données explorés. Les graphes correspondant aux treillis calculés servent également de modèle à la visualisation en 3D des ensembles de données et de support à la navigation. La masse des données ne peut être explorée telle quelle à cause de sa taille et de la variabilité des modèles de données. Pour cette raison nous nous sommes orientés sur l'utilisation des topic maps qui constitue un puissant modèle de structuration sémantique et une norme soutenue par l'ISO. En plus de leur capacité de structuration, les topic maps sont une proposition crédible pour un modèle universel de donnée procurant l'indépendance nécessaire des outils de découverte d'information vis-à-vis des modèles natifs des données. Néanmoins, appliqué à l'Internet, ce modèle ne suffit pas lui seul à répondre au problème d'échelle des ensembles de données explorés. C'est pourquoi notre proposition est d'appliquer les treillis de Galois pour agréger les topic maps lors des phases de navigation. Du point de vue du modèle de représentation des topic maps, le choix d'XML (eXtensible Markup Language) nous paraît incontournable et parfaitement adapté. Un prototype d'outil répondant à notre approche est en cours d'élaboration.

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 mé-

thode de Marie. Le principe de cette méthode est de partitionner le réseau en un ensemble de sous-réseaux et d'associer à cette partition un réseau à forme produit dont chaque station correspond à un sous-réseau du réseau initial. 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. 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 multiclassées avec disciplines FIFO ou priorités; réseaux de files d'attente avec mécanismes de synchronisations; réseaux à forme produit. Une extension de ces travaux concerne les réseaux fermés incluant des mécanismes de type Fork/Join (Baynat et al. 2000). Dans un tel système, un client peut, à un certain point du réseau, se décomposer en plusieurs sous-clients. Ces sous-clients poursuivent leurs chemins au travers du réseau indépendamment les uns des autres, puis en un point ultérieur, se recomposent en un seul client. Le réassemblage peut concerner des sous-clients correspondant au désassemblage du même client original, ce qui est le cas le plus courant, ou des sous-clients générés par différents clients. Dans le premier cas, le client original est souvent appelé le père, tandis que les sous-clients résultant de l'opération de désassemblage sont appelés les fils. Ce type de mé-

canismes se rencontrent fréquemment dans les modèles de systèmes informatiques parallèles et de réseaux de communications. Dans les systèmes parallèles, un processus est décomposé en un ensemble de tâches qui peuvent être exécutées indépendamment sur des processeurs parallèles. Le travail s'achève lorsque toutes les tâches ont été accomplies. Dans les réseaux de communication, un paquet est décomposé en un ensemble de trames qui sont transmises indépendamment à travers le réseau.

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.

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

Y. DALLERY, H. LE BIHAN, B. BAYNAT, D. DOUARD

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 ainsi qu'aux lignes de production bouclées, i.e., des lignes dans lesquelles circulent un nombre constant de palettes. Nous avons également proposé une amélioration de la méthode de décomposition qui tient compte des

deux ou des trois premiers moments des distributions de temps de réparations des machines "équivalentes", au lieu de seulement la moyenne dans la méthode originale. Nous nous sommes aussi intéressés au cas de lignes non-homogènes, c'est-à-dire où les machines peuvent avoir des temps de service différents. Deux approches ont été retenues:

- une approche d'homogénéisation qui consiste à transformer la ligne non-homogène en une ligne homogène "équivalente" pouvant être analysée par la méthode de décomposition de lignes homogènes et
- une approche directe qui décompose la ligne d'origine en sous-lignes non-homogènes.

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 systèmes de production avec pannes et blocages. L'objectif est d'arriver à court terme à un logiciel convivial, doté d'une interface graphique, intégrant les tout derniers développements sur ces techniques de

décomposition. 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

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

Un premier axe de recherche concerne les systèmes de production gérés à l'aide un mécanisme de type "Kanban". La méthode "Kanban" 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 (étiquettes) 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. 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 (Di Mascolo et al. 2000). 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). Une autre extension concerne une méthode plus générale que la méthode Kanban, le Kanban généralisé, et permet d'introduire des degrés de libertés supplémentaires dans la conduite d'un système de production à flux tiré. Nous avons étendu notre méthode à ces deux extensions en conservant le principe général de décomposition en un certain nombre de sous-systèmes. 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 perfor-

mance 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 nous sommes également intéressés au cas de systèmes de production multi-produits à flux tirés. Différentes extensions des politiques de contrôle Kanban et Base-Stock, ont été proposées pour le cas de systèmes capables de produire différents types de produits. Il faut alors distinguer deux grandes familles parmi toutes ces extensions, selon que les étiquettes (kanbans) sont dédiées ou partagées. Dans le cas d'étiquettes dédiées le nombre total d'étiquettes associées à un type de produit donné est constant. Dans le cas d'étiquettes partagées, il y a un nombre total d'étiquettes qui peuvent se répartir entre les différents types de produits. Le cas d'étiquettes dédiées conduit à des extensions multi-produits immédiates des différentes politiques de contrôle. Lorsqu'une étiquette d'un type donné se libère, soit il y a une pièce du même type en attente et l'étiquette est instantanément réutilisée, soit il n'y a pas de pièce du même type et l'étiquette est placée en attente. Lorsque les étiquettes sont partagées le problème n'est pas aussi simple. Lorsqu'une étiquette se libère, il s'agit en effet de décider à quel type de produit l'associer. Ce problème nous conduit

à multiplier le nombre de variantes de politiques de contrôle. Cette étude fait l'objet d'une collaboration avec J. Buzacott, professeur à York University.

Un autre axe de recherche concerne les systèmes de production gérés par des mécanismes de type CONWIP (Ryan et al. 2000). CONWIP signifie "CONstant Work In Process". L'objectif de ce type de mécanismes de contrôle est de limiter le nombre de pièces en attente ou en cours de fabrication dans l'atelier de production en associant au système un certain nombre de jetons, ou de cartes, encore appelés kanbans. Le problème est beaucoup plus complexe lorsque l'atelier de production fabrique différents types de produits et peu de résultats existent pour ce type de systèmes. Une extension naturelle du CONWIP consiste à associer un type de kanbans à chaque type de produit. On parle alors de kanbans dédiés. Le nombre total de pièces d'un type donné dans l'atelier est alors limité en permanence par le nombre de kanbans associés. Nous avons appelé ce type de systèmes le B-CONWIP. Tout le problème consistait à dimensionner le nombre de kanbans dédiés de chaque type. Pour cela nous nous sommes fixés comme objectif de respecter un certain ratio de production entre les différents types de produits. Nous avons alors développé une procédure d'optimisation, qui partant d'un faible nombre de kanbans de chaque type, incrémente à chaque itération de l'algorithme une de ces valeurs, calcule les performances du système avec ce jeu de kanbans dédiés et repart à l'itération suivante avec l'ensemble de valeurs qui a permis de se rapprocher le plus de l'objectif de production fixé. La procédure s'arrête lorsque l'on atteint un certain pourcentage, fixé à l'avance, de la capacité de production maximale, cette dernière pouvant être calculé à priori à partir du modèle.

Un dernier axe de recherche concerne 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 flexibles 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.

Modélisation et évaluation de performance des réseaux à haut-débit

G. URVOY, Y. DALLERY

Nous nous intéressons à développer des méthodes permettant d'évaluer les performances de réseaux à haut débit. 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 markovien-

nes 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 ré-

seau 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).

L'introduction de la qualité de service (QoS) est évidemment un problème de toute première importance à l'heure où l'Internet devient un outil essentiellement commercial. On rencontre à ce niveau deux problèmes: la conception d'un service capable d'offrir de la qualité de service; et, dans un second temps l'étude de l'extensibilité du service. L'un ne peut se faire sans l'autre vu la taille planétaire du réseau Internet. Lorsque l'on parle de QoS, il importe, dans un premier temps, de savoir quel sens on donne au contrat passé entre utilisateur et réseau. On peut, en effet, l'interpréter de manière statistique (un délai D garanti pour toutes les paquets sauf une proportion définie préalablement) ou de manière déterministes (tous les paquets doivent subir un délai d'au plus D). Dans nos études, nous nous sommes intéressés à la garantie de

contraintes de services dures Cette approche nous a permis d'utiliser les résultats du Network Calculus (introduit par R.L. Cruz, J. Y Le Boudec et C.S. Chang depuis une dizaine d'années) qui fournissent les moyens de modélisation et d'obtention de bornes déterministes sur les délais et les tailles des files d'attente d'un réseau. Nous avons dans un premier temps étudié une architecture particulière de réseaux, à savoir les réseaux d'accumulation. Nous avons été capables de trouver de bonnes approximations du délai de bout en bout maximum. Puis nous avons étudié l'algorithme d'admission d'appel correspond en tentant d'en souligner les forces et les faiblesses. Dans le cas d'architectures plus générales, nous avons proposé un nouveau service pour les sources multimedia capables de se décrire au travers de paramètres de leaky bucket. Ayant rencontré des problèmes d'extensibilité au niveau de l'admission d'appel dans le cas des réseaux d'accumulation, nous avons, cette fois-ci, opté pour une stratégie qui prenne en compte dès le départ les problèmes d'extensibilité tant au niveau de l'admission d'appel que de la phase opérationnelle: c'est l'algorithme AP (Avec Pré-traitement) qui consiste en un shaping adéquat des flux préalablement à leur entrée dans le réseau et permet de se ramener à un problème de flux à débits constants dans le réseau.

Evaluation de performances des systèmes partiellement symétrique

C. DUTHEILLET, J.-M. ILIÉ

L'utilisation des symétries est une technique maintenant bien connue pour réduire la taille du graphe d'états en vue de faire l'analyse des propriétés qualitatives du système représenté. Elle consiste à regrouper les états en classes sur la base de l'équivalence de comportement de certains composants du système. Sous certaines conditions de temporisation du modèle, cette réduction peut aussi être utilisée pour l'évaluation des critères de performance du système: le graphe d'états est alors isomorphe à une chaîne de Markov agrégée. Ce résultat avait été établi lors d'une précédente coopération avec l'université de Turin.

Nos derniers travaux nous ont permis d'étendre le cadre d'application de cette technique aux systèmes partiellement symétriques, c'est-à-dire à des systèmes dont les composants ont un comportement identique dans la plupart des situations, et des comportements différents uniquement lors de certaines actions. Ce type d'hypothèse se rencontre notamment dans le domaine de l'algorithmique répartie, où plusieurs sites exécutent le même algorithme avec certaines instructions dépendant de l'identité du site.

Pour ce type de systèmes, la réduction du graphe d'états se fait en retardant au maximum la prise en compte des asymétries, de manière à préserver le regroupement en classes tant que les composants ont des comportements identiques. L'extension de l'utili-

sation de ce graphe pour l'évaluation de performances est beaucoup plus difficile que dans le cas complètement symétrique, en raison de la nature du graphe qui comporte différents niveaux de classes d'états.

Nous avons proposé un algorithme permettant de décider de l'ergodicité du système. Ce résultat a fait l'objet d'une communication internationale. Nous avons aussi proposé un algorithme permettant d'obtenir une chaîne de Markov agrégée à partir du graphe d'états, ce qui permet d'effectuer l'analyse de performances sur un graphe réduit. Cette étude a été effectuée en partie dans le cadre d'un projet de coopération GALILÉE avec l'université de Turin (G. Franceschini, L. Capra).

Logique temporelle pour les systèmes temporisés et probabilisés

C. DUTHELLET, M. ZOUAOUI

La logique temporelle est un outil d'analyse qualitative extrêmement puissant, de par son large pouvoir d'expression et les techniques de vérification qui lui sont associées. Cependant, elle permet simplement de déterminer si une propriété est vraie ou fausse. Or il est souvent normal qu'une propriété ne soit vérifiée que par certaines exécutions d'un système, et il est alors important de déterminer avec quelle probabilité cette propriété est vraie. C'est le cas par exemple lorsqu'on s'intéresse à des systèmes avec panne.

Le but de ces travaux est de proposer des techniques de vérification pour un langage de logique temporelle intégrant des facteurs de temps et de probabilité. L'originalité essentielle de ces techniques est d'exploiter des informations extraites de la structure du réseau de Petri utilisé pour représenter le comportement du système afin de guider la construction du graphe sur lequel la formule doit être évaluée. Cette approche est particulièrement efficace dans le cas de propriétés se rapportant à des événements rares.

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 a été développé en partie dans le cadre d'un contrat passé avec la DRET et s'est prolongé avec le développe-

ment d'un simulateur distribué plus spécifique aux réseaux ATM. L'intérêt de ces travaux a permis à CD Pham de les poursuivre lors d'un séjour Post-Doctoral à UCLA.

Nous avons également étudié 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 (CNCPSST) et Cray T3E (IDRIS) sous PVM.

Nous avons également étudié 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 possi-

ble 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 (CNCPST) et Cray T3E (IDRIS) sous PVM.

PUBLICATIONS RP

Livres

- (1) B. Baynat : "La théorie des files d'attente : des chaînes de Markov aux réseaux à forme produit". Paris: Editions Hermès, 2000.
- (2) G. Cizault, P. e. a. Anelli : "IPv6: Théorie et Pratique": Editions O'Reilly, 1998.
- (3) S. Fdida : "Des Autoroutes de l'Information au Cyberspace": Flammarion, 1997.

Articles de revues

- (1) P. Anelli, M. Soto : "Evaluation of the APS Protocol for SDH Rings Reconfiguration", IEEE Transactions on Communications, vol. 47, pp. 1386-1393, 1999.
- (2) B. Baynat, Y. Dallery : "A product-form approximation method for general closed queueing networks with several classes of customers", Performance Evaluation, vol. 24, pp. 165-188, 1996.
- (3) B. Baynat, Y. Dallery : "An approximation method for general closed queueing networks with Fork/Join mechanisms", Journal of the Operational Research Society, vol. 51, pp. 198-208, 2000.
- (4) A. Bouhchouch, Y. Frein, Y. Dallery : "Performance evaluation of closed tandem queueing networks with finite buffers", Performance Evaluation, vol. 26, pp. 115-132, 1996.
- (5) G. Chiola, C. Dutheillet, G. Franceschinis, S. Haddad : "A Symbolic Reachability Graph for Coloured Petri Nets", Theoretical Computer Science B (Logic, semantics and theory of programming), vol. 176, pp. 39-65, 1997.
- (6) Y. Dallery, H. Le Bihan : "Homogeneization techniques for the analysis of production lines with unreliable machines and finite buffers", European Journal of Control, vol. 3, pp. 200-215, 1997.
- (7) Y. Dallery, H. Le Bihan : "An improved decomposition method for the analysis of production lines with unreliable machines and finite buffers", International Journal of Production Research, 1998.
- (8) Y. Dallery, Z. Liu, D. Towsley : "Properties of fork/join queueing networks with blocking under various operating mechanisms", IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 13, pp. 503-518, 1997.
- (9) C. Deleuze, S. Fdida : "Stateless Virtual Clock: Scalable Packet Scheduling for Delay Guarantees in Core Networks", , 2000.
- (10) C. Deleuze, S. Fdida : "A Scalable IntServ Architecture through RSVP Aggregation", Networking and Informations Systems Journal, 2000.
- (11) M. Di Mascolo, Y. Frein, Y. Dallery : "An analytical method for performance evaluation of kanban controlled production systems", Operations Research, Special Issue on New Directions in Operations Management, vol. 44, 1996.
- (12) S. Fdida : "Multimedia Transport Protocol and Multicast Communication", High-Speed Networking for Multimedia Applications, 1996.
- (13) S. Fdida, O. Fourmaux, R. O. Onvural : "Enabling Multimedia Networks", Electronic Journal on Networks and Distributed Processing (RERIR/EJNDP), vol. 5, pp. 28-32, 1997.
- (14) A. Fladenmuller, R. De Silva : "The effect of Mobile IP handoffs on the performance of TCP", Journal on Mobile Networks and Applications, vol. 4, pp. 131-135, 1999.
- (15) A. Fladenmuller, É. Horlait, A. Seneviratne : "QoS Management Scheme for Multimedia Applications in Best Effort Environments", Journal of Electrical and Electronics Engineering, 1996.
- (16) O. Fourmaux, S. Fdida : "Multicast for RSVP Switching", Telecommunication System Journal, pp. 85-104, 1999.
- (17) Y. Frein, C. Commault, Y. Dallery : "Modeling and analysis of closed-loop production lines with unreliable machines and finite buffers", IIE Transactions, vol. 28, 1996.
- (18) S. Haddad, J. M. Ilié, M. Taghelit, C. Dutheillet, P. Moreaux : "Contribution des Réseaux de Petri de Haut Niveau pour l'Etude des Protocoles", Technique et Science Informatiques, vol. 16, pp. 701-723, 1997.
- (19) H. S. Lee, A. Bouhchouch, Y. Dallery : "Performance evaluation of open queueing networks with arbitrary configuration and finite buffers", Annals of Operations Research, special issue on queueing networks with blocking, 1997.
- (20) H. S. Lee, A. Bouhchouch, Y. Dallery, Y. Frein : "Performance evaluation of open queueing networks with arbitrary configuration and finite buffers", Annals of Operations Research, Special Issue on Queueing Networks with Blocking, 1998.
- (21) C. Logé, V. Gay : "Systèmes coopératifs multi-media basés objet fondés sur RM-ODP", RERIR Revue électronique sur les réseaux et l'informatique répartie, vol. 4, pp. 21-48, 1996.
- (22) C. Logé, E. Najm : "A Computational Analysis of a Cooperative Binding Object", Distributed System Engineering Journal, 1997.
- (23) Y. Moret, S. Fdida, C. Galand, A. Fichou : "Evaluation of the ER Algorithm ERAQLES in Different ABR Environments", ATM Networks: Performance Modelling and Analysis, vol. 4, pp. 15, 1998.
- (24) C. D. Pham : "Simulations distribuées de réseaux ATM", Calculateurs parallèles, vol. 8, pp. 229-243, 1996.
- (25) V. Roca, T. Braun, C. Diot : "Demultiplexed Architectures: a Solution for Efficient STREAMS-based communication stacks", IEEE Network, vol. 11, 1997.

- (26) S. M. Ryan, B. Baynat, F. F. Choobineh : "Determining Inventory Levels in a CONWIP Controlled Job Shop.", *IIE Transactions*, vol. 32, pp. 105-114, 2000.
- (27) M. Soto, S. Allongue : "Modeling Methods for Reusable and Interoperable Virtual Entities in Virtual Worlds", *International Journal of Visual Computer*, 2000.
- (28) N. Srivatsan, Y. Dallery : "Partial characterization of optimal hedging point policies in unreliable two-part-type manufacturing systems", *Operations Research*, vol. 46, pp. 36-45, 1998.

Chapitres de Livres

- (1) C. Dutheillet, G. Franceschinis, S. Haddad : "Analysis techniques for colored Well-formed systems", in *Performance Models for Discrete Event Systems with Synchronizations : Formalisms and Analysis Techniques*, 2000, pp. 233-283.
- (2) C. Dutheillet, J. M. Ilié, D. Poitrenaud, I. Vernier : "State Space Based Methods and Model Checking", in *Petri Nets for System Engineering : a Guide to Modelling, Verification and Applications*. Hambourg: Springer-Verlag, 2000.
- (3) S. Fdida : "Communication de groupe et multicast", in *Logiciel et Réseaux de Communication*, vol. Arago 23, O. F. d. T. Avancées, Ed. Paris: Editions Tec&Doc, 2000.

Communications avec actes

- (1) S. Allongue and M. Soto, "Paradigmes sur les comportements dans le cadre de la réalité virtuelle," presented at Conférence francophone de modélisation et simulation (MOSIM'97), AFCET, Rouen, France, 1997, pp. 8.
- [2] E. Anique and K. L. Thai, "A Flexible Transport Service for Group Communication," presented at EUNICE summer school on telecommunications services, (EUNICE'96), Lausanne, Switzerland, 1996.
- [3] E. Anique and K. L. Thai, "Un service de transport flexible pour les communications de groupe," presented at Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles, Rabat, Morocco, 1996.
- [4] T. Atmaca, E. Borcoci, and N. Munteanu, "Multiservices with delay guarantees in ATM networks," presented at International Conference on Telecommunications, Istanbul, Turkey, 1996.
- [5] L. Capra, C. Dutheillet, G. Franceschinis, and J. M. Ilié, "Towards Performance Analysis with Partially Symmetrical SWN," presented at Proceedings of 7th International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS '99), Park MD, USA, 1999, pp. 148-155.
- [6] C. Chaouiya, G. Liberopoulos, and Y. Dallery, "Extended kanban control systems for assembly manufacturing systems," presented at International Conference on Industrial Engineering and Production Management, Lyon, France, 1997.
- [7] C. Chassot, F. Garcia, A. Lozes, P. Anelli, and T. Bonald, "Architecture de QoS en Environnement IPv6 à services différenciés," presented at Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles - CFIP'2000, Toulouse, 2000.
- [8] L. H. M. K. Costa and O. C. M. B. Duarte, "A Scalable QoS-based Routing Mechanism for Supporting Multimedia Applications," presented at IEEE ICMCS'99 - International Conference on Multimedia Computing and Systems, Florence, Italy, 1999, pp. 347-351.
- [9] L. H. M. K. Costa, S. Fdida, and O. C. M. B. Duarte, "Distance-vector QoS-based Routing with Three Metrics," presented at IFIP Networking 2000 / HPN - High Performance Networking, Paris, 2000.
- [10] L. H. M. K. Costa, S. Fdida, and O. C. M. B. Duarte, "Un Algorithme Résistant au Facteur d'Échelle pour le Routage avec Trois Métriques de QoS," presented at Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles - CFIP'2000, Toulouse, 2000.
- [11] Y. Dallery and H. Le Bihan, "Homogeneization techniques for the analysis of production lines with unreliable machines and finite buffers," presented at 5th International Conference on Computer Integrated Manufacturing and Automated Technology, Grenoble, France, 1996.
- [12] J. F. de Rezende and S. Fdida, "La communication de groupe de bout-en-bout," presented at Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles (CFIP'96), Rabat, Morocco, 1996, pp. 241-255.
- [13] J. F. de Rezende, A. Mauthe, S. Fdida, and D. Hutchison, "Fully Reliable Multicast in Heterogeneous Environments," presented at IFIP/IEEE Protocols for High-Speed Networks - PFHSN'96, Sophia Antipolis, France, 1996, pp. 13.
- [14] C. Deleuze and S. Fdida, "Agrégation de flots RSVP pour une architecture IntServ extensible," presented at DNAC'99, Paris, France, 1999, pp. 16.
- [15] B. Desclefs and M. Soto, "Navigation dans des Structures Hiérarchiques de Grande Dimension - Application à la Supervision de Réseau," presented at Proceedings of JDIR'99, France, 1999.
- [16] B. Desclefs and M. Soto, "Navigation in Huge Information Hierarchies - Application to Network Management," presented at ACM Workshop on New Paradigms in Information Visualization and Manipulation (NPIVM'99), in conjunction with the ACM Conference on Information and Knowledge Management (CIKM'99), Kansas City, USA, 1999.
- [17] B. Desclefs and M. Soto, "XML and information visualization: Application to Network management," presented at Markup Technologies'99 - SGML, XML and beyond: real data, real problems, real solutions, Philadelphia, USA, 1999.

- [18] B. Desclefs and M. Soto, "Information Management - Topic Maps Visualization," presented at XML Europe'2000, Paris, France, 2000.
- [19] B. Desclefs and M. Soto, "Visualizing Topic Maps," presented at XML Scandinavia'2000, Göteborg, Sweden, 2000.
- [20] M. Di Mascolo and Y. Dallery, "Performance evaluation of kanban controlled assembly systems," presented at Symposium on Discrete Events and Manufacturing Systems of the Multiconference IMACS-IEEE/SMC CESA'96, Lille, France, 1996.
- [21] A. Dracinschi and S. Fdida, "Congestion Avoidance for Unicast and Multicast," presented at 1st IEEE European Conference on Universal Multiservice Networks ECUMN'2000, Colmar, France, 2000.
- [22] A. Dracinschi and S. Fdida, "Un mécanisme de contrôle de congestion adapté aux flots unicast et multicast non-fiable," presented at Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles - CFIP'2000, Toulouse, 2000.
- [23] P. C. Duc and S. Fdida, "Evaluation de Performance des Réseaux ATM: Etude et Perspectives en Utilisant la Simulation Distribuée," presented at Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles - CFIP'96, Rabat, Morocco, 1996, pp. 17-31.
- [24] O. Fourmaux, "Gestion de Flots de Données Multicast, Dynamiques, et Hétérogènes avec RSVP sur les Réseaux ATM," presented at Journées Doctorales Informatique et Réseaux - JDIR'96, Paris, France, 1996, pp. 13.
- [25] O. Fourmaux, "QoS sur IP : RSVP," presented at Journée QoS dans CORBA, Amiens, France, 1998, pp. 5.
- [26] O. Fourmaux and C. Deleuze, "Qualité de service hétérogène et dynamique pour liaisons ATM point-à-multipoint," presented at Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles (CFIP'97), Liège, Belgium, 1997, pp. 16.
- [27] O. Fourmaux and S. Fdida, "RSVP Switching," presented at Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles, Nancy, France, 1999.
- [28] S. Hamma and T. Atmaca, "Traffic and congestion control mechanisms on the LAN-FR interconnection," presented at International Conference on Telecommunications, Istanbul, Turkey, 1996.
- [29] E. Horlait, S. Allongue, and R. Impey, "An Active Network Architecture allowing Mobile Agents Construction," presented at MATA'99, Ottawa, Canada, 1999.
- [30] E. Horlait and M. Bouyer, "Bandwidth Management and Reservation over Shared Media," presented at Séminaire Franco-Brazilien sur les Systèmes Informatiques Distribués - SFBSID'97, Fortaleza, Brasil, 1997, pp. 16.
- [31] E. Horlait and N. Rouhana, "Differentiated Services using Active Networks," presented at IEEE Workshop on Networking, Beyrouth, Liban, 1999.
- [32] E. Horlait and N. Rouhana, "La métrologie dans la gestion de réseaux," presented at GRES'99, Montréal, Canada, 1999.
- [33] E. Horlait and N. Rouhana, "Differentiated Services and Integrated Services use of MPLS," presented at IEEE ISCC, Antibes, France, 2000.
- [34] B. Jouaber and T. Atmaca, "On policing for high-speed networks," presented at International Conference on Telecommunications, Istanbul, Turkey, 1996.
- [35] K. Karaesmen and Y. Dallery, "A performance comparison of pull type control mechanisms for multi-stage manufacturing systems," presented at 10th International Working Seminar on Production Economics, Innsbruck, 1998.
- [36] A. Karmouch and E. Horlait, "Agent-based Multimedia Communications on Internet," presented at IEEE CCECE'98, Waterloo, Ontario, 1998.
- [37] H. Le Bihan and Y. Dallery, "New extensions of a decomposition method for the performance evaluation of manufacturing flow systems," presented at International Workshop on Performance Evaluation and Optimization of Production Lines, Samos, 1997.
- [38] G. Le Grand, J. Ben-Othman, and E. Horlait, "Providing quality of service in mobile environments with MIR (Mobile IP Reservation Protocol)," presented at IEEE ICON'2000, Singapour, 2000.
- [39] G. Le Grand, J. Ben-Othman, and E. Horlait, "Réservation de ressources dans un environnement mobile avec MIR," presented at Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles - CFIP'2000, Toulouse, 2000.
- [40] G. Le Grand and E. Horlait, "Comportement d'un réseau WaveLAN IEEE 802.11," presented at JDIR'99, 1999.
- [41] P. Leydekkers and V. Gay, "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," presented at 4th International IFIP Workshop on QoS, Paris, France, 1996.
- [42] C. Logé, "Etude et Conception de systèmes coopératifs fondées sur le modèle de référence ODP," presented at Journées Doctorales Informatique et Réseaux, Paris, France, 1996.
- [43] C. Logé and V. Gay, "Distributed Cooperative Multimedia Services based on RM-ODP," presented at EUNICE'96, Lausanne, Switzerland, 1996.
- [44] Y. Moret and S. Fdida, "ERAQLES an Efficient Explicit Rate Algorithm for ABR," presented at IEEE GLOBECOM'97, Phoenix, USA, 1997, pp. 801-805.
- [45] Y. Moret and S. Fdida, "A proportional Queue Control Mechanism to Provide Differentiated Services," presented at International Symposium on Computer System, Belek, Turkey, 1998, pp. 8.
- [46] B. Nasseridine, P. Anelli, E. Horlait, and A. Benkiran, "Support de QoS pour les Applications Multimédias sur LAN Partagé par Différentiation

- de Services,” presented at International Symposium on Image/Video Communications over Fixed and Mobile Networks - ISIVC'2000, Rabat, Morocco, 2000.
- [47] C. D. Pham, H. Brunst, and S. Fdida, “Conservative Simulation of Load-Balanced Routing in a Large ATM Network Model,” presented at 12th Parallel and Distributed Simulation workshop (PADS'98), Banff, Canada, 1998.
- [48] C. D. Pham, H. Brunst, and S. Fdida, “How Can We Study Large and Complex Systems,” presented at 31th Annual Simulation Symposium, Boston, USA, 1998, pp. 126-134.
- [49] C. D. Pham, J. Essmeyer, and S. Fdida, “Simulation of a Routing Algorithm Using Distributed Simulation Techniques,” presented at Euro-Par'97 Conference, Passau, Germany, 1997, pp. 1001-1008.
- [50] C. D. Pham and S. Fdida, “Evaluation de Performance des Réseaux ATM: Etude et Perspectives en Utilisant la Simulation Distribuée,” presented at Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles (CFIP'96), Rabat, Morocco, 1996, pp. 17-31.
- [51] C. D. Pham and S. Fdida, “Length-Based Blocking and Local Estimations in Distributed Simulation : A Case Study,” presented at 29th Annual Simulation Symposium, New Orleans, USA, 1996, pp. 97-106.
- [52] C. D. Pham and S. Fdida, “Perspectives in Performance Evaluation of Large ATM Networks,” presented at 5th IFIP Workshop on Performance Modelling and Evaluation of ATM Networks, Iikley, U.K., 1997, pp. 9.
- [53] F. Picard, J. F. Rezende, P. Anelli, M. Bouyer, J. P. Gautier, and S. Fdida, “Expérimentations IP et ATM dans le projet MIRIHADÉ,” presented at JRES 97, 2ième Journées Réseaux, La Rochelle, France, 1997, pp. 13.
- [54] P. Ray, C. Logé, and M. Fry, “Middleware for Heterogenous Multimedia Services,” presented at Proceedings of the European Conference on Networks and Optical Communications (NOC'96), Heidelberg, Germany, 1996.
- [55] P. Ray, C. Logé, V. Gay, and M. Fry, “Cooperative Network Management from ODP viewpoints,” presented at IFIP TC6, first electronic publication on Upper Layer Protocol Architecture and Applications (ULPAA), 1996.
- [56] V. Roca, “Packet scheduling for heterogeneous multicast transmissions,” presented at Protocols for High Speed Networks (PfHSN'99), Salem, USA, 1999, pp. 16.
- [57] V. Roca and C. Diot, “Une Architecture de Communication Efficace en Environnement STREAMS,” presented at Conférence Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles - CFIP'96, Rabat, Maroc, 1996.
- [58] S. P. Romano, C. Deleuze, J. F. Rezende, and S. Fdida, “Integrated QoS Architecture for IP Switching,” presented at 6th Open Workshop on High Speed Networks, Stuttgart, Germany, 1997, pp. 39-46.
- [59] S. P. Romano, C. Deleuze, J. F. Rezende, and S. Fdida, “Integrated QoS Architecture for IP Switching,” presented at 3rd European Conference on Multimedia Applications, Services and Techniques (ECMAST'98), Berlin, Germany, 1998, pp. 312-326.
- [60] M. Soto and S. Allongue, “A Semantic Approach of Virtual Worlds Interoperability,” presented at IEEE 6th Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE'97), Cambridge, USA, 1997, pp. 6.
- [61] M. Soto and S. Allongue, “Inter-Collaborative Virtual Environments,” presented at International Conference on Collaborative Virtual Environments 1998 (CVE'98), Manchester, U.K., 1998, pp. 8.
- [62] M. Soto and S. Allongue, “Interoperable Networked Virtual Environments,” presented at IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS'98), Austin, USA, 1998, pp. 5.
- [63] M. Soto and S. Allongue, “Modeling Methods for Reusable and Interoperable Virtual Entities in Virtual Worlds,” presented at International Conference on Multimedia Modeling (MMM'99), Ottawa, Canada, 2000.
- [64] M. Soto and H. Lê Van Gông, “Achieving Networked Virtual Environments Interoperability,” presented at Interactive Distributed Multimedia Systems and Telecommunication Services (IDMS'97), Darmstadt, Germany, 1997, pp. 10.
- [65] M. Soto and H. Lê Van Gông, “The Distributed Concepts in NOVAE,” presented at IEEE 6th Workshop on enabling Technologies: Infrastructure for collaborative enterprises. (WETICE 97), Cambridge, USA, 1997.
- [66] G. Urvoy and Y. Dallery, “CAC Procedures For Delay-constrained VBR sources,” presented at IFIP ATM'98, Bradford, U.K., 1998.
- [67] T. Ziegler and S. Fdida, “RED+ Gateways for Identification and Discrimination of Unfriendly Best-Effort Flows in the Internet,” presented at Broadband Communications 99, Hong Kong, 1999, pp. 12.
- [68] T. Ziegler and S. Fdida, “A Distributed Mechanism for Identification and Discrimination of non-TCP-friendly Flows in the Internet,” presented at IFIP Networking 2000 / HPN - High Performance Networking, Paris, France, 2000, pp. 13.

Autres publications

- (1) C. Deleuze : “Managing Best-Effort Traffic: RED”, Final Report COST 237 1999.
- (2) C. Deleuze : “Scheduling”, Final Report COST 237 1999.
- (3) O. Fourmaux : “Adaptation du Protocole RSVP sur les Réseaux ATM”, Research report 96/24, IBP-MASI, Paris, November 1996 1996.
- (4) O. Fourmaux, S. Fdida : “QoS Issues for Multicasting”, Final Report COST 237 1999.
- (5) E. Horlait, M. Bouyer : “CLEP (Controlled Load Ethernet Protocol): Bandwidth Management and Reservation Protocol for Shared Media”, Internet Draft draft-horlait-clep-00.txt, IETF, Juillet 1999 1999.

- (6) E. Horlait, N. Rouhana : “Diffserv and RSVP/Intserv use of MPLS (DRUM)”, Internet Draft draft-horlait-mpls-diffserv-rsvp-00.txt, IETF, May 2000 2000.
- (7) K. L. Thai, V. Vèque : “ATM networks: Recent Advances in the ATM Related Protocols”, Final Report COST 237 1999.



FORMATION PAR LA RECHERCHE RP

Habilitations

- (1) F. Guillemain : “Modélisation mathématique des réseaux de télécommunications probabilités appliquées”, Habilitation à diriger des Recherches, Université Paris 6, 22/01/1999.
- (2) M. Soto : “Réalité virtuelle : interopérabilité des mondes virtuels, navigation et visualisation de systèmes et de données complexes”, Habilitation à diriger des Recherches, Université Paris 6, 20/01/2000.

Thèses

- (1) B. Aidan : “Conception et réalisation d’un serveur d’objets multimedia répondant à la norme MHEG”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 29/10/1997, encadrée par E. Horlait.
- (2) S. Allongue : “Méthodes de modélisation pour l’interopérabilité des mondes virtuels, fondée sur les ontologies et des mécanismes d’apprentissage”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 11/12/1998, encadrée par E. Horlait.
- (3) E. Anique : “Communication de groupe: service et protocole de transport à fiabilité intègre”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 05/12/1997, encadrée par S. Fdida.
- (4) K. Brou : “Localisation et distribution des services multimédia distribués sur les réseaux à grande étendue”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 05/12/1996, encadrée par S. Fdida.
- (5) G. Damm : “Conception et réalisation d’une bibliothèque de modèles d’architectures parallèles”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 13/12/1996, encadrée par M. Becker.
- (6) C. Deleuze : “Qualité de service dans l’Internet: problèmes liés au haut débit et au facteur d’échelle”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 13/01/00, encadrée par S. Fdida.
- (7) P. Douillet : “Problèmes conceptuels liés à la simulation d’évènements extrêmement rares”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 12/06/1998, encadrée par M. Becker.
- (8) A. Fladenmuller : “Spécification de paramètres de qualité de service et étude de la gestion des ressources pour la gestion des applications multimédias”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 04/11/1996, encadrée par E. Horlait.
- (9) O. Fourmaux : “Les Communications Multipoints dans les Réseaux Haut Débit Multimédia: Le Multicast en Environnement IP sur ATM”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 14/12/1998, encadrée par S. Fdida.
- (10) V. Gay : “Conception d’Applications Multi-media dans des Environnements Répartis Ouverts”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 5/6/1997, encadrée par E. Horlait.
- (11) M. Gross Glauser : “Etude de trafic dans les réseaux à haut débit : mesures, analyses, et applications”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 21/04/1998, encadrée par S. Fdida.
- (12) I. Hamchaoui : “Réseaux privés virtuels”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 16/12/1999, encadrée par S. Fdida.
- (13) M. Harito : “Techniques à objets pour les méthodes de configuration des réseaux”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 07/03/1997, encadrée par E. Horlait.
- (14) M. Hendaz : “Mesure de la qualité et de l’efficacité des spécifications ESTELLE en vue d’une implémentation performante sur réseau ATM. Application au protocole XTP”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 28/10/1996, encadrée par S. Budkowski.
- (15) B. Jouaber : “Gestion du trafic dans les réseaux à haut débit : surveillance du trafic dans les réseaux à relais de Trames”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 06/10/1998, encadrée par Y. Dallery.
- (16) H. Kaddèche : “Modélisation et évaluation de performances d’un réseau multimédia à haut débit”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 23/07/1998, encadrée par M. Becker.
- (17) J. Kohlenberg : “Caractérisation du trafic A.T.M. performances des commutateurs A.T.M. dans des conditions non uniformes de fonctionnement”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 06/11/1996, encadrée par M. Becker.
- (18) H. Le Bihan : “Modèles stochastiques pour la conception et la gestion des systèmes de production”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 15/09/1998, encadrée par Y. Dallery.
- (19) H. Le Van Gong : “Paradigmes pour l’interopérabilité entre environnements virtuels”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 13/12/1996, encadrée par E. Horlait.
- (20) C. Loge : “Architecture Fonctionnelle pour Systèmes Cooperatifs Répartis Ouverts Fondée sur les Standards ODP et CORBA”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 08/11/1996, encadrée par E. Horlait et V. Gay.
- (21) Y. Moret : “Conception et évaluation d’un algorithme ABR dans les réseaux ATM: ERAQLES”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 12/12/1997, encadrée par S. Fdida.
- (22) S. Nacer : “Evaluation de performances des réseaux à relayage de trames (Frame Relay) et leur interconnexion avec les réseaux locaux et à haut débit”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 01/10/1998, encadrée par M. Becker.
- (23) C. D. Pham : “Techniques de simulation pour des systèmes de grande dimension”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 04/07/1997, encadrée par S. Fdida.
- (24) J. F. Rezende : “La Communication de Groupe pour les Applications Multi-media Distribuées”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 15/01/1997, encadrée par S. Fdida.

- (25) F. Royer De Véricourt : “Optimisation des flux dans les systèmes de production à flux tiré”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 17/01/2000, encadrée par D. Y.
- (26) M. Stheto : “Modélisation objet des éléments de trafic d’un réseau téléphonique”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 07/03/1997, encadrée par E. Horlait.
- (27) G. Urvoy-Keller : “Qualité de service de bout en bout et algorithmes d’admission d’appel”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 15/12/1999, encadrée par Y. Dallery.
- (28) A. Ziram : “Mécanismes de contrôles d’accès des connexions dans un commutateur ATM multi étage et multi chemin”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 05/11/1998, encadrée par M. Becker.
- (29) M. Zouaoui : “Définition d’un langage de type logique temporelle pour la spécification et l’évaluation de performances”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 20/03/1998, encadrée par S. Haddad et C. Dutheillet.

ANIMATION DE LA RECHERCHE RP

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)
- Wiley Series on Communications Technology (Editorial board)

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)
- Multimedia Telecommunications Services, Cost 237 - Final Report, Editor(s): Andre Danthine, Serge Fdida and David Hutchison, Springer Verlag, 1999.
- Networked Group Communication (NGC), Eds L. Rizzo, S. Fdida, LNCS 1736, Springer, 1999.
- Networking'2000, Eds G. Pujolle, H. Perros, S. Fdida, Y. Stravakakis, U. Korner, LNCS 1815, Springer, 2000.

Rédacteur associé d'une revue

Dallery Y.

- Special Issue on Queueing Networks with Finite Capacity, Annals of Operations Research (co-éditeur avec D. Kouvatsos), 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 M. Morganti)
- Networked Group Communication - NGC'99, novembre 1999, Pise (co-chairman L. Rizzo)
- IFIP Networking'2000, mai 2000, Paris (co-chairman H. Perros, G. Pujolle, U. Körner, I. Stavrakakis)

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 à 2000), Paris.
- 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.
- Conference Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles, CFIP, Nancy, 1999.
- ECMAST'99, mai 1999, Madrid.
- IOCOM'99, mai 1999, NY.
- ATM Workshop'99, mai 1999, Koshi, Japon.
- ISCC'99, juillet 1999, Egypte.
- BC'99, novembre 1999, Hong-Kong.
- NGC'99, novembre 1999, Pise.
- IFIP2000, mai 2000, Paris.
- INFOCOM'2000, mars 2000, Tel Aviv.
- ECUM'2000, octobre 2000, Colmar.
- ISCC'2000, juillet 2000, Sophia-Antipolis.
- NGC'00, novembre 2000, San-Francisco.

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.

- 2er workshop sur les agents mobiles dans les réseaux hétérogènes. Paris, France, septembre 2000

- 1er workshop sur les agents mobiles dans les réseaux hétérogènes. Ottawa, Canada, 7,8 octobre 1999
- EEE International Conference on Multimedia Computing and Systems, Florence, Italie, 1999

Thai K.

- Algotel, Algorithmique pour les Télécommunications, 2000.

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), Caunterets, co-responsable avec M. Diaz (LAAS) et C. Diot (Inria Sophia), organisation LAAS-CNRS
- Ecole d'été GDR-ARS (RHDM'98), Giens, co-responsable avec M. Diaz (LAAS) et C. Diot (Inria Sophia), organisation Inria-Sophia
- Ecole d'été GDR-ARS (RHDM'99), co-responsable avec M. Diaz (LAAS) et C. Diot (Inria Sophia), organisation ENST-B
- Ecole d'été GDR-ARS (RHDM'00), co-responsable avec M. Diaz (LAAS) et C. Diot (Inria Sophia), Organisation ENST/LIP6

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.

- Membre du Comité de Direction du GDR-PRS (1994-1997), puis ARS (depuis 1998)
- Responsable du Thème " Réseaux hauts débits et multimedia" du GDR PRS (Pôle Réseaux et Systèmes) puis ARS (Architecture, Réseaux et Systèmes)
- Président de la commission de spécialiste, 27e section, Université Paris 6
- Responsable du Thème "Réseaux et Performance " du laboratoire MASI puis LIP6 (Depuis 1994)
- 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"
- Responsable d'un projet CAPES-COFECUB Franco-Brésilien sur les réseaux multi-media coopératifs (1994-2000).
- Responsable d'un projet de coopération CNRS-CONICIT Franco-Vénézuélien (1997-1998)
- Représentant français du projet COST237- Multimedia Transport and Teleservices.
- Président du groupe de travail COST237 « Communications Support for Multimedia Applications » (1994-1998).
- Président de l'action européenne COST264 "Enabling Networked Group Multimedia Communication" (1999-)

- Membre du Cocostic (depuis 7/99): Comité de coordination des sciences et technologies de l'information.
- Membre de la commission d'expert N° 3 du RNRT (1998-)
- Membre du groupe "Internet du futur" du RNRT (1999-2000). Participation à la définition des éléments de l'Internet du futur et à la rédaction du document.
- Expert pour l'évaluation de projets du NSESRC (Canada)
- Expert au MENRT, DPST4 (1996-1998)
- Expert du programme Télécommunications du CNRS
- Membre du Comité de Pilotage du programme Télécommunication du CNRS (1997-).
- Membre de la Commission d'Evaluation de l'INRIA (1999-)

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 1er janvier 1997)
- 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 1er mars 1998)

Soto M.

- Représentant français de la revue VR PRESENCE.

PROJETS ET CONTRATS

Participation aux grands programmes de recherche nationaux

SAFIR - Service ATM Fédérateur d'Interconnexion Renater

Responsable scientifique : Fdida Serge, durée : 1/01/1997 - 31/12/1998, financement 300 kF.

•SAFIR : Service ATM Fédérateur d'Interconnexion

Renater. 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.

Partenaire(s) : CNRS-UREC, INRIA Sophia-Antipolis, LAAS.

PRC-ARS Pôle Réseaux et Systèmes

Responsable scientifique : Fdida Serge, durée : 1/01/1998 - 31/12/2000, financement 90 kF.

•Parallélisme, Réseaux et Systèmes Architecture Réseaux et Parallélismes sur la conception des Systèmes. Groupement de recherche Architecture/Réseaux/Systèmes. Animation du groupe RHDM (Réseaux Hauts Débits et Multimédia).

Partenaire(s) : ENST, ENST-Br, EURECOM, INRIA Sophia-Antipolis, IRISA, LAAS, LSIT, PRISM, ENSICA, Université de Nancy, Université de Villetaneuse, université de Grenoble, Université de Lyon I, Université de Toulouse.

RNRT-AIRS

Responsable scientifique : Fdida Serge, durée : 1/11/1998 - 1/03/2001, financement 1180 kF.

•Architecture Intégrée de Réseaux et Services. Ce projet adresse la conception et l'expérimentation d'une architecture Internet de seconde génération. La solution proposée intègre des moyens de gestion de la qualité de service différenciée, des éléments liés à la mobilité IP et au routage multipoint. Il s'appuie sur le protocole IPv6 et propose des expérimentations distribuées d'applications spécifiques. Il fournit également une plate-forme d'expérimentation pour les projets RNRT ou autres.

Partenaire(s) : Dassault, INRIA-Sophia Antipolis, LAAS-CNRS, LSIT, Aérospatiale, France-Telecom CNET, IMAG-LSR, RENATER.

RNRT-Amarrage

Responsable scientifique : Thai Kim, durée : 1/11/1999 - 31/10/2001, financement 876 kF.

•Architecture Multimédia et Administration Réparties sur un Réseau Actif à Grande Echelle. Ce projet constitue la première plate-forme de protocoles reposant sur le concept des réseaux actifs. Plusieurs thèmes sont traités dans ce cadre: transport vidéo, multicast, sécurité.

Partenaire(s) : LIP6 - Thème SRC, Thomson-CSF Communications, France Télécom R{&}D, BootsWorks, GET (Groupement des Ecoles de Télécommunications), L2TI - Institut Galilée, LAAS, LIP6 (thème RP), LORIA - INRIA, PRISM - Université de Versailles.

RNRT-Réseaux Virtuels Etendus (REVE)

Responsable scientifique : Fdida Serge, durée : 1/05/2000 - 30/10/2002, financement 904 kF.

•Application du concept Réseaux Virtuels Etendus à

la diffusion sélective et interactive de la vidéo sur boucle locale ADSL. L'objectif de ce projet est de concevoir et de développer des solutions pour la création et l'administration de réseaux privés virtuels dynamiques (D-VPN). La solution retenue sera démontrée pour un service de distribution vidéo sur ADSL (TV Internet).

Partenaire(s) : CS-Telecom, PRISM, LORIA/INRIA-Lorraine, CNET-France Telecom, CS-SI.

Contrats avec les établissements publics

Simulation parallèle du routage dans un réseau ATM

Responsable scientifique : Fdida Serge, durée : 1/12/1995 - 31/03/1997, 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).

Partenaire(s) : DRET-DGA.

ATM Forum

Responsable scientifique : Thai Kim, durée : 1/11/1996 - 31/12/1997, 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.

Partenaire(s) : DGA-DCN.

DGA/MESR - DIS sur Réseau IP/ATM

Responsable scientifique : Fdida Serge, durée : 6/01/1998 - 5/01/1999, financement 253 kF.

- 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.

Partenaire(s) : CEGETEL, Dassault Electronique, EDF-DER, INRIA Sophia-Antipolis, LAAS, PHILIPS Communications d'Entreprise.

Contrats industriels

Fonctions de communication

Responsable scientifique : Horlait Eric, durée : 1/03/1995 - 1/03/1998, financement 90 kF.

- Conception d'un modèle de représentation d'objets multimedia et d'un moteur respectant la norme MHEG et suivi technique du développement d'applications multi-media utilisant la structure MHEG.

Partenaire(s) : ALCATEL CIT.

Modélisation et évaluation d'algorithmes

Responsable scientifique : Dallery Yves, durée : 1/10/1996 - 1/10/1999, financement 138 kF.

- Modélisation et évaluation de performances d'algorithmes d'admissions d'appel et de routage dans les réseaux ATM à qualités de services multiples.

Partenaire(s) : Laboratoire d'Electronique Philips.

Réseaux hétérogènes à haut débit

Responsable scientifique : Horlait Eric, durée : 1/03/1997 - 1/03/2000, financement 8250 kF.

- Action de coopération stratégique sur la gestion d'environnements multimédias pour réseaux à haut débit. Axes principaux : garantie de service sur réseaux IP, applications et gestion de groupes, réalité virtuelle.

Partenaire(s) : ALCATEL CIT.

Réseaux Hauts Débits

Responsable scientifique : Fdida Serge, durée : 31/10/1997 - 31/10/2000, financement 815 kF.

- Nous étudions une méthodologie de définition d'architectures de Réseaux Hauts Débits à fortes contraintes de qualité de service. Les applications visées sont celles de simulation interactive distribuée rencontrées à AML (Aérospatiale Matra Lanceurs).

Partenaire(s) : AEROSPATIALE .

VPN

Responsable scientifique : Fdida Serge, durée : 1/06/1999 - 31/05/2002, financement 138 kF.

- Programme de recherche portant sur les VPN. (Réseaux Privés Virtuels) et communication de groupe.

Partenaire(s) : CS TELECOM.

Contrats internationaux

MATCH : Modelling and Analysis of Time Constrained and Hierarchical Systems (Human Capital and Mobility)

Responsable scientifique : Dallery Yves, durée : 19/09/1994 - 31/10/1997, 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.

Partenaire(s) : Université de Eindhoven, Université de Hambourg, Université de Turin, Université de Vienne, Université de Saragosse, Thème SRC (Girault Claude).

Brite Euram III MOD FLEX PROD

Responsable scientifique : Dallery Yves, durée : 1/05/1997 - 1/05/2000, financement 1448 kF.

- New Modular Production System Architecture to Combine Flexibility and Productivity. L'objectif du projet est le développement et la validation d'une nouvelle architecture de systèmes de production alliant productivité et flexibilité.

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

ESPRIT : Projet HPCN-EDISON

Responsable scientifique : Roca Vincent, Fdida Serge, durée : 1/03/1998 - 30/08/2000, financement 1587 kF.

- European Distributed and Interactive Simulation Over Network. EDISON est un projet européen qui vise la conception d'une architecture générique et intégrée pour la distribution d'applications de simulation interactive. Les domaines d'application représentés sont ceux du spatial et de l'automobile. Il intègre une forte composante applicative et middleware et s'inscrit dans un cadre Internet.

Partenaire(s) : AEROSPACIALE, D3, DLR - GSOC, ALENIA AEROSPAZIO, FOKKER Space, ITALDESIGN, Université de Stuttgart - RUS, SILICON WORLDS, .

ITEA-RTIPA

Responsable scientifique : Fdida Serge, durée : 1/09/1999 - 30/06/2001, financement 3282 kF.

- Real Time Internet Platform Architectures (RTIPA)

La conception d'une architecture Internet pour les applications temps réel est l'objectif de ce projet qui considère aussi bien des aspects liés au support de la Qualité de Service, que le multicast, la sécurité ou l'administration du réseau.

Partenaire(s) : Philips, Thomson CSF, Siemens, France-Telecom, Politecnico de Milano, Stichting Mathematisch Centrum, Eindhoven University, INRIA, GIP Renater, Ericsson Telebit A/S.

IST-GCAP

Responsable scientifique : Fdida Serge, durée : 1/01/2000 - 31/12/2001, financement 1141 kF.

- Global Communication Architecture and Protocols for new QoS services over IPv6 networks L'objectif de ce projet est de proposer une architecture Internet innovante pour ce qui concerne les protocoles de bout-en-bout. Il intègre des préoccupations concernant l'accès à plusieurs réseaux hétérogènes, le multipoint et les réseaux actifs/programmables.

Partenaire(s) : LAAS, Ericsson Telebit., Detexis, Group GmbH, University of Lancaster, Universidad Carlos III de Madrid, Alcatel Space Industries, Telekom Austria.

IST-DSE

Responsable scientifique : Roca Vincent, Fdida Serge, durée : 1/01/2000 - 31/12/2001, financement 1338 kF.

- Distributed System Engineering. Le projet DSE a pour objet le support d'applications à grande échelle de plates-formes d'ingénierie coopératives. L'ensemble du cycle d'ingénierie est pris en compte, avec une attention particulière pour les activités de conception et de vérification pour des systèmes à grande échelle, des projets internationaux impliquant plusieurs acteurs connectés en réseau.

Partenaire(s) : ALENIA SPAZIO, AM Lanceurs, IABG, SILOGIC, SIA, CNRS-DR14, D3 Group GmbH.

Activités internationales

Systèmes Informatique et applications multimedia - Brésil(CAPES-COFECUB n°8588)

Responsable scientifique : Fdida Serge, durée : 1/01/1994 - 1/01/1999.

- Cette coopération entre des universités de Rio de Janeiro et des équipes françaises (LIP6, PRISM, LAAS) concerne les nouveaux protocoles de l'internet. Elle favorise également l'échange de chercheurs et d'étudiants ainsi que l'organisation de manifestations communes.

Partenaire(s) : Université de Rio de Janeiro (Brésil).

Réseaux multimédias (Maroc)

Responsable scientifique : Horlait Eric, durée : 1/01/1996 - 31/12/2000.

- Action intégrée de recherche "Réseaux multimédias".

Partenaire(s) : Ecole Mohammadia d'Ingénieurs de Rabat (Maroc).

Mise en place du DEA Réseaux (Liban)

Responsable scientifique : Horlait Eric, durée : 1/01/1997 - 31/12/2001.

- Mise en place du DEA Réseaux.

Partenaire(s) : Université Saint Joseph de Beyrouth (Liban).

Gestion d'agents mobiles dans les réseaux (NRCCanada-CNRS)

Responsable scientifique : Horlait Eric, durée : 1/01/1998 - 31/12/2002, financement 80 kF.

- Qualité de service, agent mobile et multimedia. 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 multimedia à qualité de service prédictible et garantie.

Partenaire(s) : Université d'Ottawa(Canada).'



PROSPECTIVE

Les travaux du thème Sémantique, Preuve, Implantation (SPI) s'inscrivent dans le cadre du développement de méthodes formelles dans l'industrie du logiciel. L'apport de ces méthodes est bien reconnu dans le domaine des systèmes critiques, par exemple, ceux des transports ou du nucléaire. Elles émergent dans des domaines moins soumis à des exigences de sécurité, d'abord parce que quelques expériences ont montré qu'elles n'apportaient pas de réel surcoût dans le développement complet du logiciel et qu'elles facilitaient la maintenance, aussi parce que l'opinion publique accepte moins facilement les bogues logicielles. Les objectifs du thème SPI s'articulent autour de trois mots-clés, sémantique, preuve et implantations. Ils portent sur le développement de théories, de compilateurs et d'outils pour la définition de langages sémantiquement fondés pour la spécification, la programmation et la certification. Les applications concernent le domaine du synchrone, de la robotique et des systèmes embarqués, le calcul formel certifié, la démonstration automatique et les systèmes d'aide à la preuve.

Dans le domaine du synchrone, de la robotique et des systèmes embarqués, nos efforts portent sur le développement, tant sur le plan théorique que pratique, du langage Lucid Synchrone. Tout comme Lustre dont il est l'héritier, ce langage manipule des flots de données de manière synchrone. Tout comme ML dont il est l'héritier, il possède de plus la pleine fonctionnalité et un typage polymorphe puissant qui autorise la définition de traitements de flots très généraux. En outre, les horloges des flots ne doivent pas figurer explicitement dans le code, le compilateur les synthétise et assure la synchronisation entre les flots avançant à des vitesses différentes. La gestion des données est assurée directement par le langage Ocaml, langage vers lequel les programmes Lucid Synchrone sont actuellement compilés. L'utilité de ce langage pour traiter les questions de contrôle commande est reconnue. Nous pensons qu'il peut servir à traiter d'autres domaines et nous devons pour étayer cela étudier les points suivants.

Lucid Synchrone permet la récursivité dans le traitement des flots. Des travaux antérieurs ont montré l'intérêt de certaines formes de récursivité dites "terminales" comme moyen de décrire des systèmes reconfigurables dynamiquement. L'étude du pouvoir expressif de ces constructions, leur reconnaissance et leur compilation permettra de combiner des aspects déclaratif/impératif dans le langage lui-même et d'autoriser la reconfiguration dynamique.

Les structures de données de Lucid Synchrone sont importées de manière abstraite de Ocaml. Pour les internaliser, il faut gérer l'interaction entre les manipulations de ces données (pouvant être de grande taille)

et le traitement instantané des flots et donc étendre les méthodes d'analyse statique. Ce travail permettrait d'intégrer les structures de données dynamiques dans le modèle synchrone afin de pouvoir simuler des systèmes dynamiques complexes où la structure des calculs à effectuer à chaque instant change au cours du temps. Cette perspective est l'objet d'une collaboration en cours avec J-L Giavitto (LRI, Orsay) et O. Michel (LAMI, Evry).

Lucid Synchrone est à la frontière de deux domaines bien distincts. Celui du synchrone traite les systèmes réactifs, souvent embarqués, avec de très fortes contraintes temps-réel, ce qui a conduit à des méthodes de compilation très efficaces en automates. Celui du fonctionnel impose des contraintes temporelles beaucoup moins fortes, où par exemple la récursivité ou l'utilisation d'un ramasse-miettes (garbage collector) sont légitimes. Cela conduit aussi à des utilisations bien différentes, menant à deux modes distincts de traduction des programmes. D'une part, nous envisageons de développer un compilateur de Lucid Synchrone vers DC (Declarative Code), qui est le format de compilation commun des langages synchrones (Lustre, Esterel et Signal) afin de disposer de compilateurs pour des processeurs embarqués mais aussi de tous les outils de vérification par des techniques de modèles. D'autre part, nous souhaitons enrichir la compilation actuelle vers Ocaml. Celle-ci permet de profiter de toute la richesse de Ocaml, notamment pour la programmation d'applications graphiques.

En parallèle avec le développement de Lucid Synchrone, et dans le cadre d'une CTI CNET entre Paris 6 et l'INRIA, nous poursuivons l'étude de l'intégration du paradigme des flots synchrones à Ocaml.

Le second axe de recherche porte sur l'utilisation des méthodes formelles, qui 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:

- on ne dispose pas toujours d'un langage formel bien adapté à une application donnée
- 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 en étudiant l'un des problèmes difficiles de la certification, à savoir l'intégration dans un même système, donc dans un même logique, de phases d'aide à la preuve et de phases de démonstration automatique évoluée. La Logique Modulo, introduite en 1997 par G. Dowek, T. Hardin et C. Kirchner, fournit un fondement théorique à une telle intégration et une méthode de recherche de preuve par résolution, qui englobe toutes les méthodes de résolution connues (du premier ordre, équationnelles, d'ordre supérieur). Nous comptons porter nos efforts sur l'intégration de logiques et théories, adaptées à différents problèmes, dans ce cadre de déduction modulo et, en particulier, y placer la théorie des ensembles (théorie sous-jacente au système B, très utilisé dans la certification du transport). De plus, nous pensons que ce cadre peut être utilisé pour définir des techniques de démonstration automatique pour la concurrence, la mobilité et la sécurité, en s'appuyant sur le Join-calcul, langage de processus développé dans le projet Moscova de l'INRIA. Les travaux dans cet axe seront poursuivis en collaboration avec G. Dowek et C. Kirchner de l'INRIA et les membres du projet Moscova et devraient conduire à des avancées théoriques et pratiques.

Le développement du projet Foc concerne clairement les points 1. et 2. mentionnés plus haut. Il porte sur le développement d'un environnement de programmation certifiée pour le calcul formel, organisé autour de trois composantes : programmation (en Ocaml), preuves (en Coq), interface utilisateur. Actuellement, Foc offre une librairie couvrant la plupart des structures algébriques nécessaires aux différents domaines abordés par le calcul formel (intégration, systèmes triangulaires, etc.). Cette librairie doit être étendue pour offrir les algorithmes propres à chacun de ces domaines.

Toute unité contient des déclarations, définitions et des assertions et elle est obtenue, à partir d'unités déjà connues, par une suite d'étapes primitives de construction, établissant des relations de dépendance entre unités. La hiérarchie de la librairie est entièrement formalisée en Coq. Nous allons maintenant prouver les assertions de chacune des unités, et pour cela les insérer dans la formalisation de la hiérarchie. Cela nous permettra de réutiliser les preuves de ces assertions dans les unités qui en dérivent. Parallèlement, on cherchera à réutiliser des preuves concernant les structures algébriques faites par d'autres contributeur en Coq. Cette étude des deux facettes de la réutilisation est encore peu faite dans le domaine de la preuve et le projet Foc fournit un champ d'expérience en vraie grandeur.

La mise en place de l'interface utilisateur doit être poursuivie. Elle doit s'adapter au mieux à la pratique de l'ingénieur en calcul formel et donc masquer l'utilisation de Ocaml et Coq. Sa syntaxe concrète doit

permettre de décrire des informations de nature calculatoire

(pour construire le programme en Ocaml) et logique (assertions à traduire en Coq), dont il faut assurer la cohérence. Il y a donc à mener un travail de compilation à la fois vers un langage de programmation et vers un langage de preuve, qui est complètement inédit. La partie traitement des assertions est sans doute la plus difficile. Schématiquement, il faut extraire un squelette de preuve de la syntaxe concrète, replacer ce squelette dans la formalisation de la hiérarchie, compléter la preuve et éventuellement engendrer les obligations de preuve, enfin, soumettre la preuve complète à un vérificateur de preuves (Coq). Cette approche pour le développement d'un prouveur spécialisé à un métier soulève des questions théoriques difficiles et demande la construction d'un certain nombre d'outils, mêlant aspects syntaxiques et surtout sémantiques.

Le développement d'outils, fondés formellement, pour analyser la sûreté de fonctionnement des systèmes ou pour traiter de leur sécurité ressort du point 2. Ces travaux, effectués en collaboration avec des entreprises, seront poursuivis. Se rattachent aussi à ces deux points les travaux menés en collaboration très étroite avec l'équipe Programmation du CEDRIC-CNAM, dirigée par V. Viguié-Donzeau Gouge, sur la définition de méthodologies d'utilisation de systèmes d'aide à la preuve, en particulier au travers d'étude de cas.

BILAN SYNTHÉTIQUE DES RECHERCHES

Notre activité au cours des années 1996-1999 s'articule 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

Les travaux de M. Pouzet, P. Cuoq et G. Hamon s'articulent autour des liens entre les langages synchrones et les langages fonctionnels pour la description de systèmes réactifs. En collaboration avec Paul Caspi de VERIMAG (Grenoble), M. Pouzet a conçu le langage lucy, qui est un héritier à la fois de Lustre et de ML. Tout comme Lustre, il s'agit d'un langage de flots de données synchrone, mais dont les types de données sont ceux de ML, enrichis pour traiter ce flots. Il suit le modèle synchrone de lustre : chaque flot

porte une horloge (déclarée en Lustre) indiquant les instants où le flot est défini ; en lucy, ces horloges sont synthétisées par le compilateur. Les programmes sont compilés de manière modulaire en code séquentiel, écrit dans le langage hôte, ocaml. Le langage, développé par M. Pouzet, est distribué par ftp anonyme. La poursuite de son développement a donné lieu à plusieurs études : reconfiguration de systèmes, causalité, etc. Plusieurs outils ont été développés : simulateur, traducteur d'automates de mode, etc.

Certification

Sous ce vocable de certification, sont regroupés des résultats théoriques, des études méthodologiques et des réalisations d'outils.

Les travaux sur les langages de substitution explicite (T. Hardin, B. Pagano) ont été poursuivis : compilation, extension par de nouveaux opérateurs, etc. Ils ont amené à définir une nouvelle classe de logiques, les logiques modulo, qui permettent d'intégrer dans un cadre restant premier ordre à la fois des logiques d'ordre supérieur et des procédures de décision. De plus, une méthode de recherche de preuves a été définie, elle englobe toutes les méthodes de résolution connues dans une présentation unifiée.

Pour mieux comprendre l'utilisation des méthodes formelles pour la certification des systèmes informatisés, nous avons 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 et PVS, etc. (travaux d'Alexandre, Boulmé, Gureghian, Havelund, Manoury, Mammass, Nguyen). Cela nous a conduit à étudier la formalisation d'une spécification donnée en langage naturel (travaux de Boulmé, Gureghian, Mammass). 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 setoïdes (travaux d'Alexandre, Boulmé, Manoury, Chabanne, Saibi). Tous ces travaux ont été menés en collaboration avec l'équipe de V. Vigié au CEDRIC-CNAM.

Les travaux du projet Foc (responsable scientifique : T. Hardin) sont aussi présentés sous le vocable certification. Suite à la thèse de G. Alexandre étudiant l'ajout d'assertions dans un langage de calcul formel existant (Axiom), le groupe Foc a entrepris de construire un atelier de programmation certifiée pour le calcul formel, appelé aussi Foc et organisé autour de

trois composantes: programmation (en Ocaml), preuves (en Coq), interface utilisateur. Ce projet, démarré à l'automne 1997, fournit déjà une librairie de structures algébriques assez complète. Elle a été développée en suivant une méthodologie mise au point au travers de la réalisation de cinq (gros) prototypes. En suivant cette méthodologie, le code reste très proche de l'algorithme mathématique qui le sous-tend, diminuant déjà ainsi les risques d'erreur. Les tests effectués avec les mêmes algorithmes de sous-résultants implantés dans différents langages (Axiom, etc.) par R. Rioboo ont montré que Foc était le plus efficace. Les liens de dépendance entre les unités de la librairie, qui expriment

à la fois des propriétés mathématiques et sémantiques, ont été étudiés. La structure de la librairie est décrite en Coq. L'ajout d'une unité est compris comme une suite d'opérations sur des unités existantes. Ces opérations sont décrites à la fois par une certaine utilisation des constructions du langage-hôte Ocaml et par des définitions et propriétés en Coq.

Les travaux en collaboration avec la société Surlog portent sur le développement d'outils d'analyse statique de la sûreté de fonctionnement, écrits en Ocaml et, pour certains, certifiés en Coq. Ils utilisent des techniques de sémantiques opérationnelle et dénotationnelle ainsi que des calculs de contrainte.

BILAN DÉTAILLÉ DES RECHERCHES

Interopérabilité entre langages

T. SAURA

Faire coopérer harmonieusement des langages différents, comme C et Scheme, au sein d'un même espace mémoire est un problème délicat. Il dépend largement de propriétés linguistiques comme la possibilité, en Scheme, 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 mani-

pulation 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 a aussi été réalisé, il incorpore 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 l'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'environ-

nement 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-expansions 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.

Lucid Sychrone

M. POUZET, P. CUOQ, G. HAMON

Les langages synchrones sont des langages dédiés à la programmation ou la description de systèmes réactifs. Le langage lustre est un langage de flots de données synchrones, bien reconnu dans le monde industriel au travers de l'outil Scade de Verilog S.A. Le langage Lucid Sychrone vise à marier les traits de lustre et de ML, en conservant les propriétés du synchronisme et en incorporant la pleine fonctionnalité,

un système de types polymorphe et des analyses statiques facilitant la gestion des horloges des flots.

Les travaux de nature théorique menés en collaboration avec P. Caspi (Verimag) ont permis de donner un sens synchrone à des programmes d'ordre supérieur, en fournissant:

- une sémantique opérationnelle synchrone~[6, 7,8].
- un calcul d'horloges, méthode d'analyse statique permettant de ne conserver que des programmes

évaluables de fonction synchrone. Ce calcul d'horloges est décrit comme un calcul d'inférence de type [6, 7, 8].

- une méthode de compilation modulaire permettant d'associer un code séquentiel à un programme synchrone. Cette méthode est basée sur une caractérisation des fonctions synchrones par des techniques venant des co-algèbres [9].

Ces études théoriques ont servi de fondement à l'implantation de *lucy*, réalisée par M. Pouzet. *Lucid Synchrone* est un langage flot de données. Son langage de types est celui de *ml* à savoir un système de types polymorphes avec synthèse de types, enrichi pour tenir compte du caractère flot de données. C'est un langage d'ordre supérieur, eg, les fonctions peuvent prendre des fonctions en paramètre et leur résultat peut être une fonction. Le langage suit le modèle synchrone de lustre: chaque flot porte une horloge indiquant les instants où le flot est défini. Alors qu'elles sont déclarées par l'utilisateur en lustre, elles sont ici inférées, ce qui facilite grandement la tâche de l'utilisateur. Plusieurs analyses statiques ont été incorporées au compilateur: analyse de causalité qui permet de rejeter les "boucles instantanées", analyse d'initialisation qui vérifie que chaque mémoire est correctement initialisée, analyse de manipulation de tableaux pour garantir la réactivité. Les programmes sont compilés de manière modulaire en code séquentiel écrit dans le langage hôte, *ocaml*. Les programmes synchrones peuvent importer des fonctions écrites en *ocaml* servant à programmer par exemple des parties combinatoires du système. *Lucy* a été utilisé pour réaliser une plateforme de prototypage d'extensions de lustre. En effet, grâce à l'ordre supérieur et au polymorphisme, l'utilisateur peut définir son propre jeu d'opérateurs (e. g, la condition d'activation, des itérateurs, des reboucleurs de réseaux...) et les utiliser de suite, comme s'il s'agissait de constructions "cablées" dans le compilateur. Dans le cadre du contrat GENIE II sur les extensions de lustre, nous avons ainsi prototype des constructions de manipulation de tableaux.

Un traducteur des automates de modes vers *lucy*, fait par G. Hamon au cours d'un séjour de 2 mois à VERIMAG en 1999, permet de mieux comprendre l'interaction entre les traits impératifs des automates de mode et le traitement des flots de données.

Langages de substitution explicite

T. HARDIN, B. PAGANO

Le lambda-calcul est souvent utilisé pour modéliser la partie fonctionnelle des langages de programmation (stratégies de passage de paramètres, récursivité, etc.) mais ne permet pas de détailler la percolation des valeurs effectives (portée et capture) dans le corps de la fonction car l'opération correspondante de substitu-

Nous pensons que *Lucid Synchrone* peut être utilisé pour traiter des applications synchrones hors le domaine du contrôle/commande. Pour étayer cette thèse, nous avons développé des applications graphiques ayant un comportement dynamique, *ocaml* se chargeant de la partie graphique et *lucy*, de la partie dynamique. En particulier, nous avons construit un simulateur de programmes écrits en *lucy*, qui est lui-même un programme en *lucy*. Ainsi, un programme synchrone peut être observé simplement en le connectant à d'autres composants graphiques synchrones. Ceci a été obtenu en construisant une bibliothèque de composants graphiques (boutons, boutons à bascule, boîtes graphiques, lecture du clavier...) tous définis en *lucy*. Ce travail rejoint les expériences de programmation à flot de données des interfaces graphiques comme alternative à la programmation concurrente (e. g, les *Fudgets* de *haskell*). L'intérêt de l'approche synchrone développée ici est de garantir que le système global restera réactif et de profiter des analyses statiques et de l'efficacité venant de la compilation en code séquentiel. Ce travail a été réalisé avec Grégoire Hamon et est publié dans [10].

Les travaux avec P. Caspi avaient montré l'intérêt de certaines formes de récursivité dites "terminales" comme moyen de d'écrire des systèmes reconfigurables dynamiquement. L'étude du pouvoir expressif de ces constructions, leur reconnaissance et leur compilation se situe donc dans le prolongement des travaux menés actuellement dans la communauté synchrone sur la combinaison de formalismes déclaratif/impératif. Cette étude a été entreprise par Grégoire Hamon dans son stage de DEA et constitue son travail de thèse.

En parallèle avec le développement de *lucy*, et dans le cadre d'une cti CNET entre Paris 6 et l'INRIA, nous étudions comment intégrer directement le paradigme des flots synchrones à *ocaml*. Ce travail est effectué par Pascal Cuoq, thésard co-encadré par M. Mauny (INRIA) et M. Pouzet. Les études ont d'abord porté sur une analyse de causalité pour un langage de flots synchrones avec ordre supérieur, qui est faite par un système de types avec rangées (introduites par D. Rémy et M. Wand pour typer des enregistrements extensibles). La preuve de correction de cette analyse est faite vis-à-vis de la sémantique co-itérative des flots P. Caspi, M. Pouzet.

tion 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 publié dans le *Journal of Functional Programming*.

Dans sa thèse soutenue en 1998, B. Pagano a étendu les langages de substitution explicite 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, appelé XRS, permet d'ajouter au lambda-sigma-calcul des lieurs quelconques et d'affiner les conditions de réécriture. Il a été présenté 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 incomplètes. Ce travail a été présenté par à WESTAPP 98.

Avec C. Kirchner (INRIA Lorraine) et G. Dowek (INRIA Rocquencourt), T. Hardin a développé une thématique de recherche sur une présentation unifiée de différentes méthodes utilisées en démonstration automatique, en utilisant pour cela les substitutions explicites. 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, en collaboration avec G. Dowek et C. Kirchner (INRIA), a défini

un nouvel algorithme d'unification d'ordre supérieur, qui remplace cette unification dans le cadre habituel de l'unification équationnelle du premier ordre et permet ainsi l'utilisation de techniques très étudiées. Ce travail a été publié 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 WESTAPP 98, satellite de RTA (Rewriting Techniques and Applications) 98 à Tsukuba (Japon).

T. Hardin, avec G. Dowek et C. Kirchner, a ensuite défini une nouvelle famille de logiques, les logiques modulo. Ce sont des logiques du premier ordre, paramétrées par une relation de réécriture des propositions elles-mêmes. Elles sont décrites par un calcul de séquents, qui permet de remplacer "instantanément" une proposition atomique par sa version simplifiée (par exemple, passage "instantané" de $ab = 0$ à $a = 0$ ou $b = 0$). Cela autorise une séparation nette entre étapes de déduction (modus ponens par exemple) et étapes de calcul (effectuées par la réécriture). Ce travail permet donc de formaliser et d'étudier les propriétés des systèmes de vérification mixtes, mariant construction interactive de preuves et utilisation de procédures automatiques de décision. En s'appuyant sur la logique modulo, ils ont pu décrire les différentes méthodes de résolution connues (premier ordre, équationnel, ordre supérieur) par un même algorithme, ce qui permet de les utiliser conjointement. Ce travail est en cours de publication. Ce travail a permis de donner aussi une présentation au premier ordre de la logique d'ordre supérieur, à l'aide de substitutions explicites, qui a été présentée à RTA99. Une version longue esst acceptée pour publication dans *Math. Struct. of Computer Science*.

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 sé-

parés 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 en Coq

G. ALEXANDRE, C. BEN-YELLES, N. CHABANNE, P. MANOURY, A. SAIBI

Le système d'aide à la preuve Coq est fondé sur une très riche théorie des types, les Constructions, qui permet d'exprimer définitions et propriétés avec tous les détails et nuances souhaitées. La preuve est réalisée par une suite d'étapes de déduction, vérifiées pas à pas par le système. Le processus de spécification et de développement d'une preuve est en général très long et laborieux. Pour remédier à cela, les prouveurs offrent des tactiques, permettant d'enchaîner plusieurs étapes de preuves, qui peuvent être composées, conduisant ainsi à des tactiques sophistiquées implantant des procédures de décision. Dans sa thèse (encadrée par G. Huet-INRIA) et soutenue en 1998, A. Saibi a construit des outils facilitant la formalisation dans le prouveur Coq, mais qui peuvent être adaptés à d'autres systèmes de preuves. Il s'agit d'abord d'outils de modélisation, conservant la théorie du prouveur: 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.) et un outil effectuant la synthèse d'arguments, allégeant les déclarations de l'utilisateur. A. Saibi fournit ensuite un paquetage de réécriture multi-relations, qui offre à l'utilisateur des nouvelles tactiques pour définir ses propres stratégies de simplification. A. Saibi a aussi effectué la première formalisation d'une partie importante de la théorie des catégories (utilisée en sémantique, bases de données, etc.) dans une théorie des types intensionnelle (Coq). 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, soutenue en 1999, encadré par C. Ben-Yellès et T. Hardin, a porté aussi sur le développement d'outils de modélisation et de démonstration en Coq pour la réécriture du premier ordre. S'appuyant sur le développement des catégories fait par A. Saibi, N. Chabanne a défini les notions classiques des algèbres homogènes : termes, substitution, théories, en adoptant le point de vue le plus générique possible. Elle a fait la preuve des propriétés les plus utilisées ainsi que celle de l'algorithme d'unification du premier ordre. La réalisation de ces preuves de forte complexité l'a conduite à une interaction forte avec les développeurs de Coq en vue d'améliorer le système.

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, Axiom et un prouveur, Coq. Axiom dispose d'un système très riche d'unités de librairie, classifiant finement les structures algébriques manipulées (groupes, versus groupes abéliens, par exemple) mais n'offre aucun contrôle de l'utilisation de cette librairie (on

peut instancier l'unité des groupes abéliens avec une opération non commutative), ce qui peut conduire à des erreurs sémantiques graves. D'où l'idée du couplage de Axiom avec un prouveur, afin de valider chaque étape de développement. 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, en collaboration avec C. Ben-Yellès. Elle a été étendue en tactiques utilisables pour une théorie axiomatique quelconque (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 unités de Axiom. Puis, un prototype de compilateur du source Axiom vers Coq a été construit. Sa réalisation s'est heurtée à de grosses difficultés, dues aux ambiguïtés de la sémantique de Axiom, qui oblige à choisir entre plusieurs interprétations possibles pour une même construction syntaxique. Cela nous a conduit à définir le projet Foc.

C. Ben-Yellès s'intéresse plus particulièrement à la théorie des combinateurs, avec Chouhed BOUABANA (dans le cadre d'un accord programme avec l'US-THB). Ils ont étudié dans une première étape une axiomatisation de CL dans Coq (Bouabana, ISPS'99), l'étape suivante étant l'association des types ``à la Curry" aux combinateurs. Une autre direction serait l'étude de logiques minimales basées sur certains ensembles combinateurs.

Dans le cadre de l'accord programme avec l'US-THB (Université d'Alger) qui a pris fin en décembre 1999, je continue par ailleurs à collaborer et diriger à distance 4 enseignants-chercheurs sur des théorèmes portant plus particulièrement sur l'inférence de type et plus généralement sur les langages fonctionnels. Ceux-ci ont bénéficié de stages de 15 jours à 1 mois permettant de faire régulièrement le point sur l'état d'avancement de leurs travaux. La terminaison des programmes est une propriété requise pour une grande majorité des programmes. En termes logico-mathématiques, le problème de la terminaison récurrentes. 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. P. Manoury, avec M. Simonot, a décrit une famille de schémas de défini-

nitions récursives et donné un critère syntaxique simple de reconnaissance utilisant le filtrage du second ordre.

Méthodologie, études de cas

T. HARDIN, E. GUREGHIAN, B. MAMMASS, V.-L. NGUYEN

Au cours de sa thèse soutenue en 1999, B. Mammass a travaillé sur la décomposition modulaire de spécifications de protocoles en vue de leur certification. Il a effectué un imposant travail de bibliographie sur la modélisation par objets des protocoles, sur les langages formels de description de processus (en particulier, sur le pi-calcul de Milner), et sur les travaux de C.B. Jones liant modélisation orientée-objet et langages de processus. Il en ressort que les techniques objet, intéressantes pour la conception, ne sont pas encore suffisamment formalisées pour la certification. Le pi-calcul de Milner sert à modéliser les réseaux de processus mobiles et permet d'exprimer la spécification, l'implantation et les propriétés de protocoles. Cette théorie, bien étudiée d'un point de vue théorique, doit être testée « sur le terrain » en comprenant comment coder une définition informelle d'un protocole en pi-calcul et comment mener la preuve de correction. L'article [HarMam98] donne d'abord une preuve formelle du protocole BRP dans le pi-calcul, qui est modulaire. Ensuite, une étude comparative de cette preuve avec d'autres travaux effectués dans différents formalismes (B, PVS, Coq, etc.) permet d'illustrer comment le formalisme choisi influence les choix d'implantation et les techniques de preuve utilisées.

B. Mammass a aussi, dans sa thèse, introduit une logique modale pour les processus avec passage de valeur fondée sur CCS. Cette logique permet d'une part d'exprimer des spécifications non déterministes de systèmes concurrents pouvant être satisfaites par une collection d'implantations éventuellement non équivalentes, obtenues par raffinement. D'autre part, elle permet la vérification compositionnelle de ces systèmes. Cette logique modale a été formalisée dans le système d'aide à la preuve PVS et un prototype d'environnement interactif de preuve a été construit. Il permet la spécification de systèmes et la vérification de leur correction, en exploitant le résultat de compo-

sitionalité. B. Mammass propose une méthodologie de preuve compositionnelle qui utilise les techniques de décomposition et d'abstraction décrites dans la thèse pour réduire la preuve interactive d'un système infini à la vérification automatique d'une version abstraite finie. La thèse contient aussi une étude de l'extension au pi-calcul. Les résultats de cette thèse ont été présentés dans [MaHaLa99].

Le système d'aide à la preuve PVS a été utilisé aussi par V.-L. Nguyen pour prouver la correction deux algorithmes classiques `\find` et `\quicksort`. Comme PVS ne supporte pas le style de programmation impérative, un programme impératif doit être traduit en une spécification fonctionnelle de ses propriétés, ce qui conduit à coder les itérations par des fonctions récursives et surtout à déterminer les paramètres de la spécification fonctionnelle à partir des variables et paramètres du programme impératif. Cela se fait classiquement par l'étude du graphe de dépendances mais ici les dépendances portent sur les propriétés elles-mêmes, ce qui complique singulièrement l'analyse. Les preuves de ces algorithmes ont été également faites en B (V. Vigié, CNAM) et Coq (J.-C. Fillatre, LRI) et un article comparant les implantations est en cours de soumission.

E. Gureghian, qui effectue sa thèse dans la société Bertin, travaille sur l'expression des propriétés de sécurité des logiciels. 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, testé en effectuant la la rétro-ingénierie de code Fortran. Il cherche maintenant à définir un formalisme permettant de décrire différentes propriétés de sécurité (confidentialité, authentification, etc.) et teste ce formalisme par l'étude de différents protocoles cryptographiques.

Sûreté de fonctionnement

F. PARRENNES, T. HARDIN, M. POUZET

La collaboration avec la société Surlog S.A. porte sur l'analyse de la sûreté d'un système (incluant du logiciel). Elle peut être obtenue par des études de sûreté de fonctionnement du logiciel (analyse fonctionnelle et/ou dysfonctionnelle relativement au service délivré). Dans un processus d'évaluation de la sûreté des

systèmes logiciels, la première étape consiste à réaliser un modèle fonctionnel du logiciel à analyser. L'étude des différentes formes possibles de modèles fonctionnels, à partir d'une base mathématique solide, a permis d'extraire les concepts importants vis-à-vis de la sûreté et de les mettre en œuvre dans un outil,

appelé AGFL (Analyse de graphes fonctionnels), dont la sémantique a été spécifiée en Coq et pour lequel des méthodes de test ont été mises au point [SurlogJFLA2000].

L'étape suivante d'évaluation de la sûreté consiste à analyser en quoi les défaillances du logiciel (simples ou combinées) risquent de contribuer aux insécurités et à l'apparition de pannes dans le système. Pour cela, il est important de bien cerner la notion de défaillance (et d'effets de défaillance) dans l'analyse du modèle fonctionnel orienté sûreté et d'en donner une sémanti-

Projet Foc

S. BOULMÉ, T. HARDIN

Le travail de thèse de G. Alexandre ayant montré la difficulté d'ajouter des assertions pour un langage existant (Axiom), T. Hardin et R. Rioboo ont constitué le groupe Foc en septembre 1997. Il a pour objectif la construction d'un atelier de programmation raisonnée pour le calcul formel, appelé aussi Foc et organisé autour de trois composantes~: programmation, preuves, interface utilisateur. Son développement courant est assuré par S. Boulmé, T. Hardin (responsable scientifique), V. Ménissier-Morain et R. Rioboo. Le projet Foc a été soutenu en tant que projet LIP6 pendant les années 1998-1999 et son bilan et sa prospective sont décrites à ce titre dans le présent document et ne seront pas repris en détail ici.

La problématique de Foc est la suivante. Foc doit offrir une librairie de structures algébriques car tout programme de calcul formel repose de manière essentielle là-dessus. Pour permettre l'écriture de programmes certifiés, celle-ci doit fournir, pour chacun des outils classiques de manipulation des structures algébriques, non seulement son implantation mais aussi sa sémantique, sous forme d'assertions (prouvées) et de pré-conditions à établir pour les utiliser. L'utilisateur doit ainsi pouvoir spécifier son algorithme par assemblage d'éléments de cette librairie, en prouver certaines propriétés, enfin en définir une implantation et montrer la correction de celle-ci. Il faut donc une interaction très forte entre les composantes programmation, preuves et interface.

La première phase du projet a permis de fixer la méthodologie de développement de la librairie, à partir de la réalisation de prototypes, de manière à ce que le code, écrit en Ocaml, reste très proche des spécifications mathématiques et repose sur des propriétés sémantiques clairement identifiées. Cela nous a conduit à classer les différentes formes possibles de dépen-

que exacte. Cela a permis de valider les différents concepts définis précédemment, et de s'assurer que des analyses approchées de l'évaluation du modèle sont correctes vis-à-vis de la sûreté de fonctionnement. Dans cette optique, l'écriture en cours d'un analyseur sémantique de programmes permettra de construire automatiquement ou semi-automatiquement ce modèle. Elle repose sur des techniques d'analyse du logiciel (comme l'interprétation abstraite par exemple) et des calculs de contraintes.

dances (mathématiques ou sémantiques) entre unités de la librairie et à les planter, en Ocaml, par une combinaison bien dosée de modules et de classes. La librairie actuelle, développée par R. Rioboo, couvre à peu près toutes les structures algébriques et leurs implantations classiques. Les tests d'efficacité sont tout à fait satisfaisants puisque les temps d'exécution obtenus sont inférieurs à ceux demandés par Axiom et des systèmes similaires. Notons que les programmes adoptent un style purement fonctionnels, ce qui ne peut que faciliter la réalisation de leur preuve de correction.

La hiérarchie des unités et ses mécanismes de dépendance ont été en parallèle décrit en Coq, langage choisi comme prouveur, par S. Boulmé. Pour cela, il a fallu introduire une notion d'enregistrement avec champs dépendants, dont les composantes sont nommées, et comprendre comment représenter l'opération d'héritage simple ou multiple, l'opération de définition (passage du virtuel au concret) et de redéfinition, les instanciations de paramètre de type ou de valeur, etc. Ces notions ont été formalisées dans Coq et leur cohérence a été prouvée.

Le groupe Foc a participé à l'action incitative de l'INRIA Calcul Formel Certifié et T. Hardin a organisé plusieurs réunions de ce groupe, en particulier, le symposium de deux jours en mai 1999, qui a permis de rencontrer des équipes de l'Université de Kent, de Saint-Andrews et de Eidhoven. Plusieurs présentations des activités du groupe ont été faites (JFLA99, JFLA00, Calculemus 99, 24 mars). Des collaborations sont en train d'être mises en place avec l'Université de Kent et le groupe OpenMath. Les travaux du groupe se poursuivent actuellement par la réalisation de l'interface utilisateur, avec la collaboration de D. Doligez de l'INRIA Rocquencourt.

PUBLICATIONS SPI

Livres

- (1) L. Moreau, C. Queinnec, D. Ribbens, M. Serrano : "Recueil de petits problèmes en Scheme": springer, 1999.
- (2) C. Queinnec : "Lisp in Small Pieces": Cambridge University Press, 19996.

Articles de revues

- (1) P.-L. Curien, T. Hardin, J.-J. Lévy : "Confluence Properties of Weak and Strong Calculi of Explicit Substitutions", Journal of Association for Computing Machinery, vol. 43, pp. 362--397, 1996.
- (2) P.-L. Curien, T. Hardin, A. Rios : "Strong Normalizations of Substitutions", Journal of Logic and Computation, vol. 6, 1996.
- (3) G. Dowek, T. Hardin, C. Kirchner : "Higher-order unification via explicit substitutions", Journal of Information and Computation, vol. 157, 2000.
- (4) T. Hardin, L. Maranget, B. Pagano : "Functional runtime systems within the lambda-sigma calculus", Journal of Functional Programming, vol. 8(2), pp. 131-176, 1998.
- (5) B. Pagano : "Bi-simulations de machines abstraites en lambda-sigma calcul", Technique et Science Informatique, vol. 15, pp. 953-975, 1996.
- (6) M. Pouzet : "Une présentation fonctionnelle de la compaction de code", Techniques et Sciences Informatiques (TSI), vol. 15, 1996.
- (7) C. Queinnec, P. Weis : "Programmation applicative, État des lieux et perspectives", Technique et science informatiques, vol. 15, pp. 1009--1013, 1996.

Communications avec actes

- [1] P. Ayrault, M. Guesdon, and T. Hardin, "Méthodologie de développement d'un outil d'évaluation de la sûreté du logiciel, en langage OCaml.," presented at Journées Francophones des Langages Applicatifs, 2000, pp. 159-171.
- [2] S. Boulmé, "Opérateurs de raffinement sur les structures algébriques," presented at Journées Francophones des Langages Applicatifs, Le Mont-ST Michel, 2000.
- [3] S. Boulmé, T. Hardin, V. Ménissier-Morain, and R. Rioboo, "On the way to certify Computer Algebra Systems," presented at Calculemus 99, 1999.
- [4] S. Boulmé, T. Hardin, and R. Rioboo, "Modules Objets et Calcul Formel," presented at Journées Francophones des langages Applicatifs, 1999, pp. 171--188.
- [5] P. Caspi and M. Pouzet, "Réseaux de Kahn Synchrones," presented at Journées Francophones des Langages Applicatifs (JFLA), 1996.
- [6] P. Caspi and M. Pouzet, "Synchronous Kahn Networks," presented at ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming, 1996.
- [7] P. Caspi and M. Pouzet, "A Co-iterative Characterization of Synchronous Stream Functions," presented at Workshop on Coalgebraic Methods in Computer Science (CMCS'98), 1998.
- [8] P. Caspi and M. Pouzet, "Lucid Sychrone: une extension fonctionnelle de Lustre," presented at Journées Francophones des Langages Applicatifs (JFLA), 1999.
- [9] E. Chailloux, P. Manoury, and B. Pagano, "Types behind the mirror : a proposal for partial ML type reconstruction at run-time.," presented at Types in Compilation Workshop, 1997.
- [10] G. Dowek, T. Hardin, and C. Kirchner, "An intentional first-order expression of higher-order logic," presented at Proceedings of Rewriting Techniques and Applications, 1999.
- [11] G. Dowek, T. Hardin, C. Kirchner, and F. Pfenning, "Unification via Explicit Substitutions: The Case of Higher-Order Patterns," presented at International Joint Conference and Symposium on Logic Programming, 1996.
- [12] G. Hamon and M. Pouzet, "Un Simulateur Sychrone pour Lucid Sychrone," presented at Journées Francophones des Langages Applicatifs (JFLA), 1999.
- [13] T. Hardin and B. Mammass, "Proving the Bounded Retransmission Protocol in the Pi-calculus," presented at INFINITY'98 workshop, 1998.
- [14] T. Hardin, L. Maranget, and B. Pagano, "Functional Back-Ends within the Lambda-Sigma Calculus," presented at ACM Sigplan International Conference on Functional Programming, Philadelphia, 1996.
- [15] L. Moreau and C. Queinnec, "Design and Semantics of Quantum: a Language to Control Resource Consumption in Distributed Computing," presented at Usenix Conference on Domain Specific Language, DSL'97, 1997, pp. 183--197.
- [16] L. Moreau and C. Queinnec, "Distributed Computations Driven by Resource Consumption," presented at ICCL 98 IEEE International Conference on Computer Languages, 1998, pp. 68--77.
- [17] B. Pagano, "An explicit natural deduction," presented at Workshop on Explicit substitutions : Theory and Applications to Programs and Proofs, 1998.

- [18] B. Pagano, "X.R.S : explicit Reduction Systems, a first-order calculus for higher-order calculi," presented at Conference on Automated Deduction (CADE), 1998.
- [19] M. Pouzet, "Using the Parallel Complexity of Programs to Improve Compaction," presented at IEEE International Conference on Parallel Architectures and Compilation Techniques (PACT), 1996.
- [20] C. Queinnec, "Bribes de Dmeroon," presented at Actes des journées de recherche sur la Mémoire Partagée Répartie --- MPR 96, 1996, pp. 51--56.
- [21] C. Queinnec, "Distributed Generic Functions," presented at Second France-Japan workshop on Object-Based Parallel and Distributed Computing --- OBPDC '97, 1997.
- [22] C. Queinnec, "Sérialisation--de sérialisation en Dmeroon," presented at NOTERE97 Colloque international sur les NOUvelles TEchnologies de la RÉpartition, 1997, pp. 333--346.
- [23] C. Queinnec, "Marshaling Unmarshaling as a Compilation Interpretation Process," presented at Second Merged Symposium IPPS/SPDP 1999 13th International Parallel Processing Symposium 10th Symposium on Parallel and Distributed Processing, 1999, pp. 616--621.
- [24] C. Queinnec and L. Moreau, "Graceful disconnection," presented at PDCSIA'99 Parallel and Distributed Computing for Symbolic and Irregular Applications, 1999.

Autres publications

- (1) P. Caspi, M. Pouzet : "A Co-iterative Characterization of Synchronous Stream Functions", 07, VERIMAG 1997.
- (2) P. Caspi, M. Pouzet : "Lucid Synchronic, version 1.01. Tutorial, reference manual and distribution", Université Pierre et Marie Curie, LIP6 1999.
- (3) P. Caspi, M. Pouzet : "Lucid Synchronic, a functional extension of Lustre", Rapport LIP6, 2000.
- (4) J.-L. Colaco, M. Pouzet : "Prototypages", Verilog SA, Février 2000 2000.
- (5) G. Dowek, T. Hardin, C. Kirchner, F. Pfenning : "Unification via Explicit Substitutions: The Case of Higher-Order Patterns, Extended version", 3591, INRIA 1998.
- (6) G. Dowek, T. Hardin, C. Kirchner : "An intentional first-order expression of higher-order logic", RR 3556, INRIA 1998.
- (7) G. Dowek, T. Hardin, C. Kirchner : "Theorem proving modulo", RR 3400, INRIA 1998.
- (8) T. Hardin, B. Mammass : "Yet Yet on the Bounded Retransmission Protocol", Rapport LIP6 010, 1998.
- (9) L. Moreau, C. Queinnec : "On the Finiteness of Resources in Distributed Computing", 3147, INRIA 1997.
- (10) F. Parrennes : "Sûreté de fonctionnement et analyse du logiciel", N142/98, Surlog S.A 1999.
- (11) C. Queinnec : "Dmeroon A Distributed Class-based Causally-Coherent Data Model General documentation", 1998.

FORMATION PAR LA RECHERCHE SPI

Thèses

- (1) G. Alexandre : “De Aldor à Zermalo”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 02/02/1998, encadrée par T. Hardin et D. Lazard.
- (2) N. Chabane : “Formalisation de la Théorie de la Réécriture dans le Système Coq”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 17/12/1999, encadrée par .
- (3) B. Mammass : “Preuve de systèmes distribués”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 09/09/1999, encadrée par T. Hardin.
- (4) B. Pagano : “Des calculs de substitution explicite et de leur application à la compilation des langages fonctionnels”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 29/01/1998, encadrée par T. Hardin.
- (5) A. Saibi : “Outils Génériques de Modélisation et de Démonstration pour la formalisation des Mathématiques en Théorie des types. Application à la Théorie des Catégories.”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 19/03/1999, encadrée par T. Hardin.
- (6) T. Saura : “Etude des modèles d’exécution des langages fonctionnels et impératifs : Application à un évaluateur SCHEME”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 22/01/1999, encadrée par C. Queinnec.



ANIMATION DE LA RECHERCHE SPI

Activités éditoriales

Rédacteur de revues et membres de comités de lecture

Hardin T.

- TSI (jusqu'au 1/1/99)(comité de rédaction).

Queinnec C.

- TSI (jusqu'au 31/12/98 (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. Viguié Donzeau-Gouge)

Organisation scientifique de congrès et colloques

Hardin T.

- 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
- ICFP 99 co-président du comité de programme

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 (Har-

- din, Pagano), langages d'ordre supérieur (Dowek, Simonot), temps-réel (Caspi, Pouzet, Olivier) et sur leur mise en oeuvre (Lopez, Alexandre),
- exposés sur la conception d'outils pour les prouveurs (Burdy, Manoury, Alexandre, Boutin, Cornes, Munoz , Saibi).

PROJETS ET CONTRATS

Contrats avec les établissements publics

Calcul Formel Certifié

Responsable scientifique : Hardin Thérèse, durée : 1/01/1998 - 31/12/1999.

• Développement d'outils de Certification pour le Calcul Formel.

Partenaire(s) : INRIA.

Flots synchrones en ML

Responsable scientifique : Pouzet Marc, durée : 28/11/1998 - 1/08/2001, financement 342 kF.

• Etude concernant " Les flots synchrones en ML ".

Partenaire(s) : CNET, INRIA.

Contrats industriels

Sécurité des systèmes d'information

Responsable scientifique : Hardin Thérèse, durée : 11/02/1996 - 1/02/1999, financement 135 kF.

• Méthodes formelles appliquées à la sécurité des systèmes d'information.

Partenaire(s) : BERTIN et Cie.

Conseil en sémantique de langages de programmation

Responsable scientifique : Queinnec Christian, durée : 7/03/1997 - 1/08/1999, financement 241,2 kF.

• Développement des langages de commande interprétés pour mise en oeuvre de bibliothèques de programmes numériques.

Partenaire(s) : CEA.

Spécification du programme CONTI

Responsable scientifique : Manoury Pascal, durée : 12/05/1998 - 14/12/1999, financement 150 kF.

• Spécification et implémentation d'un logiciel industriel à l'aide de spécifications algébriques.

Partenaire(s) : EDF.

Sûreté de fonctionnement des systèmes

Responsable scientifique : Hardin Thérèse, durée : 15/09/1998 - 14/09/2001, financement 135 kF.

• Utilisation et développement des méthodes formelles et mathématiques appliquées à la sûreté de fonctionnement des systèmes d'information et à la spécification d'outils pour évaluer cette sûreté.

Partenaire(s) : SURLOG.



Invités au LIP6

Buchs Didier

Donatelli Susanna

Druschel Peter

Hamacher Carl

Moldt Daniel

Scherson Isaac

Zwaenepoel Willy

Professeur invité, École Polytechnique Fédérale, Lausanne (Suisse)
(janvier 1998)

Professeur invité, Université de Turin (Italie) (février 1998)

Professeur invité, (mai 2000)

Professeur invité, Université de Queen (Canada) (janvier 1997)

Professeur invité, Université d'Hambourg (Allemagne) (mars 1997)

Professeur invité, Université d'Irvine Californie (USA) (janvier à
juin 1997)

Professeur invité, (juin 1999)



PROSPECTIVE

L'évolution conjuguée de la technologie des télécommunications et de la structure des organisations conduit à l'émergence d'applications réparties de grande complexité. Pour conquérir des marchés industriels, ces applications doivent être novatrices, mais sûres et efficaces.

- Les applications doivent s'exécuter sur une grande variété d'architectures, de systèmes, et de réseaux. De plus l'environnement d'exécution relève de domaines d'organisation multiples, avec des objectifs, des politiques d'usage et de gestion et des contraintes différentes. Les problèmes d'interopérabilité, de coopération correcte et d'adaptation efficace aux environnements d'exécution contribuent fortement à la crise actuelle de développement des systèmes.
- Les besoins instantanés des applications et leurs supports d'exécution évoluent si rapidement que seule une adaptation dynamique est efficace. Les systèmes traditionnels conduisent à accumuler des modules d'interface et des serveurs spécialisés. Leur développement devient lourd et coûteux pour une efficacité faible. L'adaptation efficace aux environnements d'exécution et l'extension rapide des fonctionnalités deviennent indispensables pour le développement des applications à large échelle.
- De nombreux domaines d'applications sont critiques (développement matériel, communication, aérospatiale, énergies...). Leur complexité est accrue par la répartition et la coopération de composants hétérogènes, ou encore par l'introduction de contraintes temporelles. Le remplacement des processeurs spécialisés ou de composants informatiques embarqués ou enfouis dans les équipements est très onéreux. Leur développement et leur évolution doivent être rapides et sûrs, donc systématisés.

Nous voulons donc baser la conception de systèmes et d'applications parallèles réparties et coopératives sur de nouveaux concepts et méthodes pour aboutir à la réalisation de nouveaux mécanismes et environnements de développement. Cela nécessite une symbiose entre les axes de recherche sur l'interopérabilité, la réalisation de systèmes répartis et la vérification des systèmes. Les objectifs du thème SRC sont d'accroître ses compétences méthodologiques et leur synergie dans ces trois axes. Les projets suivants ont été déterminés soit comme des facteurs clés de remise en cause de la conception des systèmes (programmation par aspects, machine virtuelle virtuelle, conception orientée agents d'applications ouvertes, vérification formelle de systèmes complexes), soit comme des réalisations ambitieuses pour expérimenter les approches proposées (tolérance aux fautes, synchronisation en temps réel de documents musicaux), soit comme des environnements accélérant la réalisation et la dif-

fusion de systèmes (prototypage rapide de systèmes distribués).

La programmation par aspects concerne la programmation de fonctionnalités (mobilité, réplication, synchronisation...) basée sur une architecture de composants réflexive. Elle simplifie la conception en permettant de résoudre différents types de problèmes séparément puis d'intégrer leurs solutions. L'intégration efficace des aspects nécessite de résoudre de nombreux problèmes de langages et de compilation pour les systèmes répartis.

La machine virtuelle virtuelle (MVV) est une architecture cible de l'axe précédent. Elle définit et réalise une plate-forme d'exécution multi-langages réunissant les propriétés de flexibilité en fonction des environnements matériels et logiciels, d'adaptabilité lorsque les besoins changent et d'interopérabilité entre des applications écrites dans différents langages pour différents systèmes.

La tolérance aux fautes d'applications critiques, de longue durée ou à large échelle est cruciale. Les modifications techniques, les mises à jour, les surcharges, les erreurs humaines nécessitent des méthodes de sauvegarde et de reprise. Nous cherchons à adapter leur coût aux besoins effectifs des applications et à exploiter des agents fiables pour choisir dynamiquement les stratégies efficaces en fonction des besoins et des caractéristiques hétérogènes des systèmes et des réseaux.

La conception d'applications ouvertes a émergé pour supporter l'intégration permanente de services sophistiqués et interaction dans de multiples environnements eux mêmes évolutifs en permanence. Leur construction, leur déploiement, leur fonctionnement, leur maintenance posent des problèmes difficiles pour lesquels les solutions actuelles sont jugées insuffisantes par les utilisateurs et coûteuses par les opérateurs de services. Le saut conceptuel visé est de passer en amont de l'interopérabilité des composants à celle de leur spécification.

La synchronisation en temps réel de documents musicaux répartis vise le travail coopératif à distance de compositeurs et interprètes pour construire et écouter en temps réel de manière cohérente des partitions. Il faut donc assurer l'interopérabilité non seulement des logiciels d'édition et des formats d'échanges mais aussi des périphériques sonores. Quelques points clés sont la gestion extrêmement fine du temps, la spécification de synchronisations multimédia, l'élaboration d'une sémantique des documents musicaux, le passage à l'échelle de l'orchestre. La coopération avec l'IRCAM est un atout essentiel et les perspectives de valorisation sont importantes.

Les méthodes de vérification formelle se sont répandues avec succès dans des domaines d'applica-

tions critiques (développement matériel, communication, aérospatiale, énergies...) dont la complexité est accrue par la répartition et la coopération de composants hétérogènes, ou encore l'introduction de contraintes temporelles. Leur rôle croît dans de nouveaux domaines (systèmes embarqués et enfouis, domotique, commerce électronique, objets "intelligents"...). Le coût de ces méthodes limite cependant leur utilisation. Notre objectif est de diminuer leur complexité en réussissant la synergie de plusieurs approches telles que la définition de nouveaux formalismes, la composition et la réduction des modèles, la réduction de leurs graphes d'états, l'adaptation de la vérification aux propriétés demandées.

Programmation par aspects

La programmation par aspects (AOP pour Aspect Oriented Programming) est un style de programmation radicalement novateur qui a pour but d'intégrer et de configurer de façon souple les différentes fonctionnalités d'une application. C'est un enjeu majeur pour les applications système du futur qui tendent à incorporer de plus en plus de composants. Les aspects recouvrent aussi bien des fonctionnalités des systèmes (tolérance aux fautes, mobilité, réplication, etc.), que celles des langages de programmation (gestion d'exceptions, conversions de type, etc.). Alors que le principe dit de séparation des préoccupations (separation of concerns) est maintenant bien connu en génie logiciel, la programmation par aspects est une des rares approches existantes qui tentent de l'appliquer aux langages de programmation. Plutôt que de concevoir une application dans son ensemble, elle suggère de se concentrer sur un problème à la fois, en isolant les composants et stratégies nécessaires à sa réalisation. L'intégration des différents aspects, appelée tissage, pose de nombreux problèmes de spécification, de compilation et de définition de langages adaptés. C'est un axe de recherche de nombreuses équipes internationales (par exemple au Xerox PARC ou au IBM Thomas J. Watson Research Center). La notion d'aspect constitue un complément naturel à d'autres situées plus en amont dans le cycle de développement d'une application comme celle de point de vue introduite par la norme ODP.

L'AOP est rendue nécessaire par la complexité croissante des applications système construites autour des bus logiciels (CORBA, DCOM, EJB, etc.) et par l'hétérogénéité de leurs besoins: communication faiblement couplée ou à haut débit; sûreté de fonctionnement ou haute disponibilité; mobilité ou la réplication des données. Trop rigides, les approches actuelles répondent mal à l'ensemble de ces besoins. L'objectif de l'AOP est d'apporter une réponse à ce problème.

Le développement rapide des systèmes sûrs doit être étayé par un support intensif d'outils de modélisation et de vérification et aboutir à un code opérationnel conforme aux spécifications vérifiées. Toutefois la difficulté et le coût de ces méthodes restent des freins à leur vulgarisation. Nos recherches portent d'abord sur l'exploitation des techniques assurant la qualité des logiciels, sur l'émergence de formalismes et d'outils commodes ou transparents pour les utilisateurs, sur l'extensibilité des environnements logiciels par intégration rapide d'outils hétérogènes ou par leur exploitation sur des sites distants. De plus pour préserver la conformité globale des spécifications, nos travaux intègrent l'optimisation et le déploiement sur des architectures multiples.

Nous nous intéressons à trois problèmes majeurs ouverts par l'AOP:

- Elle inverse la dépendance entre l'implantation des services systèmes (vus comme des aspects) et les programmes applicatifs. Cette idée est plus attractive que de concevoir des bibliothèques système dont le programmeur doit maîtriser la syntaxe et la sémantique afin de les intégrer à son application: une conception naïve de bibliothèques par aspects ramènerait le tissage à des imbroglios d'appels. Notre approche reporte donc sur le concepteur de l'aspect système la mise à disposition d'outils pour que cet aspect s'intègre correctement, facilement, et automatiquement aux applications en épargnant un temps considérable aux programmeurs.
- Il faut résoudre les nombreux conflits entre un découpage modulaire d'une application issu d'un processus classique d'analyse/conception et un découpage en termes d'aspects. En effet, les aspects systèmes sont intrinsèquement transverses à plusieurs composants logiciels et viennent donc se superposer au découpage fonctionnel propre à l'application.
- L'intégration inter-aspects au sein d'une même application pose de nouveaux problèmes lorsque les aspects considérés ne sont pas complètement orthogonaux (par exemple, réplication de données et mobilité de code).

L'AOP devrait dans un avenir proche, avoir un impact comparable à celui de la programmation orientée objets et de la programmation réflexive. Son étude dans le cadre des systèmes répartis est porteuse de nombreuses perspectives entre autres pour la synchronisation et l'observation d'états globaux. Nos premières expérimentations concerneront des domaines tels que la mobilité et la réplication.

Systèmes Virtuels

L'aspect virtualisation d'un système d'exploitation suscite de nombreux projets de recherches. Les machines virtuelles permettent l'extensibilité et la portabilité sur différentes plates-formes matérielles et systèmes. La conférence HotOS, consacrée à la prospective des systèmes, contenait près d'un tiers des travaux liés aux machines virtuelles (pour l'extensibilité, la sécurité, les systèmes embarqués, etc.) sans que se soit dégagée une solution unifiée d'environnement d'exécution basé sur une machine virtuelle. La sémantique d'un langage étendu, vérifiable directement sur le code exécutable facilite le développement incrémental, la mise au point et la sécurité. Le succès de Java confirme ces avantages. Toutefois la consommation de processeur et de mémoire est importante bien que la traduction, la réorganisation et la recompilation de code à la volée puissent redonner des performances comparables à des codes compilés. L'hétérogénéité des machines virtuelles (Java, Emacs, Squeak, Smalltalk, Word...) limite l'interopérabilité. La Machine Virtuelle Universelle d'IBM permet la réutilisation et l'interopérabilité de composants de composants écrits en Java, Smalltalk et Visual Basic. Cependant, cette approche reste une extension statique de la machine virtuelle Smalltalk et rendra difficile l'adaptation dynamique à des langages bytécodés arbitraires. SPIN (Université de Washington), ExoKernel (MIT) and FLUX (Utah) sont de telles architectures reconfigurables et adaptables mais basées sur un langage fortement typé (MODULA 3) et un compilateur propriétaire. SPIN permet aux applications d'ajouter de manière sûre et dynamique de nouvelles fonctions au système. Trop rigides, ces approches ne permettent pas d'intégrer facilement des aspects applicatifs (qualité de service, sûreté de fonctionnement, degré de cohérence).

Notre but est de concevoir un environnement d'exécution multilingages, flexible, simple, portable au-dessus de divers systèmes d'exploitation natifs, spécialisable en fonction des besoins des applications (systèmes embarqués, travail coopératif, calculs scientifiques). L'extensibilité dynamique (ajout de fonction ou de langages à la volée) est essentielle pour supporter efficacement plusieurs langages de programmation "bytécodés" et permettre la réutilisabilité de composants logiciels. L'idée novatrice de notre machine virtuelle virtuelle (MVV) est de pousser le concept de spécialisation dynamique jusqu'au niveau des langages de programmation eux-mêmes. Sa plate-

forme d'exécution extensible permet de compiler, charger et modifier dynamiquement des VMlet qui sont des spécifications structurées mais exécutables de nouvelles machines virtuelles. Chaque VMlet introduit des primitives de langage spécifiques et de nouveaux services pour changer le noyau du système et l'adapter efficacement à chaque application. L'unicité du mécanisme d'exécution des VMlet permet un partage efficace des ressources physiques et une optimisation très poussée. Chacune est optimisable à deux niveaux : statiquement pour produire du bytecode compact et tenir compte des dépendances inter-variables, dynamiquement pour instancier efficacement la MV correspondante en fonction du noyau d'exécution cible (bibliothèques natives, interruptions et contrôle de processus, mémoire virtuelle et fichiers, périphériques et communications). Une application aux réseaux actifs (PLAN) a permis une densification considérable du code engendré et une simplification spectaculaire du coût de développement. Nous expérimentons une Machine Virtuelle Adaptative (MVA) offrant déjà une spécialisation statique de l'interface avec le système d'accueil, la spécification des modèles de mémoire et d'exécution et une spécialisation dynamique des jeux d'instructions. La MVV, beaucoup plus ambitieuse, permettra les interactions entre VMlet et assurera l'équilibre de leurs différentes stratégies.

Les applications visées sont les systèmes embarqués, les systèmes mobiles, les réseaux actifs, les cartes à puces. D'autres domaines informatiques pourront bénéficier de ces avancées (routeurs de réseau, téléphones mobiles, cartes à puces, réalité virtuelle, domotique, systèmes embarqués, robots d'exploration). L'approche MVV sera poussée jusqu'au niveau de la haute intégration, directement dans le matériel, tout en gardant l'adaptation des spécifications exécutables, chargeables ou optimisables dynamiquement.

En collaboration avec l'Observatoire de Meudon, une application spatiale va concerner le futur satellite COROT (pour l'observation des exo-planètes). L'objectif critique est d'adapter, en orbite, ses missions en fonction des résultats d'expérimentation. L'extrême limitation des créneaux et des débits de transmissions ainsi que les contraintes drastiques de l'architecture rendent cruciale l'efficacité des méthodes d'évolution dynamiques dont il faut munir le système embarqué.

Systèmes tolérants aux fautes

La tolérance aux fautes est depuis une vingtaine d'années l'une des préoccupations majeures de l'informatique répartie. De nombreuses plates-formes telles que Isis puis Horus et Ensemble de l'Université de Cornell ont été développées par l'équipe de

K. Birman et S. Toueg essentiellement pour supporter l'exécution d'applications fiables sur des réseaux locaux. Les outils développés dans l'équipe de A. Schiper à l'EPFL (Lausanne), de P. Verissimo à l'INESC (Lisbonne) ou de O. Babaoglu à l'Université

de Bologne, ont maîtrisé la réplication et la diffusion fiable dans les réseaux à large échelle.

Les concepteurs sont souvent démunis pour choisir la bonne stratégie au bon moment, en fonction de la charge des serveurs et du réseau ou des besoins instantanés des applications. Nous privilégions donc cet axe de recherche. Pour la tolérance aux fautes, nous concevons et évaluons le protocole de maintien de cohérence et de placement des réplicats en fonction des latences d'accès des serveurs, de leur charge et du niveau de criticité désiré. Généralement, cette stratégie est fixée par l'application et reste donc figée pendant l'exécution. Quelques supports d'exécution comme Voyager d'Object Space, Bast de l'EPFL ou MetaXa de l'Université d'Erlangen-Nürnberg, permettent de changer dynamiquement une partie des stratégies. Seules quelques approches (LAAS - Toulouse) définissent la stratégie de tolérance aux fautes, de manière semi-automatique à la compilation. Très peu abordent la remise en cause de ce choix à l'exécution. La plupart sont peu adaptées à un passage à grande échelle.

Construction d'applications réparties ouvertes

Le projet ODAC (Open Distributed Applications Construction) a pour objectif de fournir des méthodes et outils pour maîtriser la complexité du processus de construction d'applications réparties. Cette méthodologie vise à supporter la validation et le déploiement d'une application au sein d'environnements de type plate-forme à agents mobiles. Construire une application par assemblage cohérent de composants certes autonomes mais interagissant et localisés sur des sites distants, pose des problèmes d'intégration et d'interopérabilité. Ces composants, développés par des organisations distinctes ou écrits dans des langages différents, ne sont pas toujours homogènes ni propriétaires.

Nos recherches concernent la définition de modèles, de méthodes et d'outils pour maîtriser l'interopérabilité dès la spécification et la maintenir pendant tout le cycle de vie très long de ces applications. Pour prendre en compte à la fois l'élaboration et l'échange des spécifications, notre approche repose sur l'utilisation de la norme de traitement réparti ouvert (ODP), du paradigme agent, des méthodes formelles et de la méta-modélisation. Elle vise à utiliser des normes et techniques existantes et provenant de différents domaines pour les faire converger et définir une méthodologie de construction d'applications réparties fondée sur ODP. L'objectif est double: d'une part établir une méthodologie de spécification, de validation et de déploiement de systèmes à base d'agents mobiles fondée sur ODP et d'autre part permettre l'interopérabilité de spécifications en vue de leur réutilisation.

La norme ODP, développée par l'ISO et l'ITU-T, fournit un modèle de référence pour la construction

L'équipe SRC a une expertise dans les techniques de tolérance aux fautes et d'adaptation à la charge. Deux plates-formes STAR et GatoStar ont été réalisées pour supporter l'exécution d'applications scientifiques sur des réseaux locaux. Avec le thème OASIS du LIP6, nous étudions une nouvelle plate-forme, DarX, pour construire des applications réparties en utilisant des agents fiables communicants. Par leur mobilité et leur autonomie les agents constituent un paradigme particulièrement bien adapté aux grands réseaux. DarX est réflexif et la stratégie de réplication des agents peut être modifiée à tout moment. Les applications, l'extensibilité et l'optimisation de DarX introduisent de nombreux problèmes ouverts. Nous travaillerons d'abord sur des nouveaux algorithmes auto-stabilisants de quorum et de réplication ainsi que sur la mise au point d'heuristiques pour choisir dynamiquement les composants de stratégies de réplication les mieux adaptés à chaque application et aux paramètres des systèmes répartis supports.

de systèmes répartis. L'architecture ODP définit le concept de point de vue, subdivision d'une spécification d'un système complexe. Elle comprend cinq points de vue: entreprise, information, traitement, ingénierie et technologie. À chacun correspond un langage qui définit un ensemble de concepts et de règles pour la construction d'un système.

Notre méthodologie ODAC s'appuie sur le point de vue entreprise pour analyser les besoins du système, le point de vue traitement pour concevoir le système et le point de vue information pour exprimer les informations nécessaires. Ces trois points de vue sont décrits au moyen de la notation UML. L'outil logiciel de spécification de systèmes à base d'agents que nous avons déjà développé permet d'élaborer la spécification comportementale d'un système indépendamment de tout environnement cible. Nous voulons raffiner le parallèle informel entre étapes de cycle de vie et points de vue ODP afin de préciser les étapes de notre méthodologie. De plus, des points stables dans les étapes doivent être identifiés pour garantir la cohérence des spécifications de ces points de vue et éviter leur remise en cause.

La vérification formelle permet d'analyser et d'améliorer la qualité de la spécification avant le développement. La spécification comportementale dissocie les propriétés en séparant les divers aspects de la conception et simplifie ainsi la tâche de la vérification. La vérification globale s'obtient à partir de celle des comportements de l'ensemble des agents. On s'assure ainsi qu'il n'y a pas violation de règles de sûreté, que les états spécifiés sont accessibles, que les objectifs des agents seront atteints, qu'il y a bien adéquation entre les points de vue. On recherche les com-

portements non prévus, on vérifie les bornes des données et on identifie les comportements anormaux.

L'étape ultérieure prend en compte des cibles de type plates-formes à agents mobiles et réseaux actifs. La génération de composants et leur déploiement doivent tenir compte de leur répartition et intégrer le code nécessaire aux interactions. Nous allons d'abord définir une notation pour les caractériser selon le point de vue ingénierie d'ODP puis élaborer une spécification opérationnelle en associant la spécification comportementale à la caractérisation d'un environnement.

Une originalité d'ODAC est de prendre en compte l'échange de spécifications pour permettre d'intégrer des spécifications existantes, même établies dans des formalismes différents. Nous posons ainsi le problème inexploré de l'interopérabilité des spécifications. De même qu'un bus logiciel, de type CORBA, permet l'interopérabilité des objets, nous proposons de définir un méta-bus de connaissances. Ainsi un concepteur accèdera à la spécification d'un composant pour l'intégrer dans la spécification de sa propre applica-

tion. De même que l'interopérabilité des objets est assurée par l'IDL (Interface Definition Language), celle des spécifications nécessite un langage universel. Nous avons choisi la norme ODP et le standard XML (eXtended Markup Language) établi par le W3C. ODP fournit les concepts et règles de structuration, donc une sémantique, mais sans notation associée, tandis qu'XML nous fournit un mode adéquat de représentation des concepts ODP. Nous proposerons des règles de transformation d'une spécification source établies dans un formalisme quelconque pour obtenir la spécification ODP correspondante, puis une spécification cible. Pour établir le méta-modèle ODP, nous nous référons aux travaux de l'OMG sur la méta-modélisation à travers le standard MOF (Meta Object Facility). Les questions soulevées concernent la faisabilité de l'interopérabilité de spécifications, les risques de pertes lors de leur traduction, les limitations de leur réutilisation. Le succès des bus logiciels est un argument majeur pour vouloir les étendre au niveau des spécifications.

Synchronisation en temps réel de documents musicaux répartis

En collaboration avec l'IRCAM, un nouveau projet concerne l'édition coopérative, la synchronisation et l'exécution en temps réel de partitions musicales distribuées. Il s'appuie sur des résultats sur la qualité graphique d'une partition (Electronic Publishing 1998) et sur leur édition distribuée à travers des navigateurs (Journées d'Informatique Musicales 1999 et 2000). Un des problèmes est l'interopérabilité non seulement des logiciels d'édition et des formats d'échanges mais aussi des périphériques sonores. Une sémantique précise des coopérations en temps réel devient indispensable pour une gestion consensuelle des versions. Une première application vise les médiathèques des conservatoires de musique et assimilés, désireuses de communiquer leur fond à travers le Web, les partitions pouvant défiler à l'écran pour un exercice de déchiffrement avec une cadence imposée, supprimant le vieux problème jamais résolu de la tourne, la notion de page ayant disparue. Il s'agirait de remplacer par des écrans les pupitres des musiciens de tout un orchestre, le défilement de la partition étant assuré par le chef d'orchestre. À plus long terme, on peut espérer suffisamment de progrès dans le domaine de la reconnaissance des formes pour subordonner cette application à un pisteuseur de séquence sonore. Les systèmes d'exploitation des ordinateurs ont amélioré leur qualité de

service, notamment dans le temps de réponse des périphériques, et en particulier les matériels de traitement du son en temps réel (les services de la 4X, machine mise au point par l'IRCAM il y a quinze ans, sont aujourd'hui offerts par des cartes son standards pour un prix 100 fois inférieur). La refonte de la partie du noyau Linux s'occupant de ces périphériques, financée et bientôt distribuée par Suse, montre à quel point ces questions sont d'actualité. Les débits offerts par les cartes réseaux d'aujourd'hui permettent d'envisager des applications musicales réparties, évidemment en temps réel à condition de bien négocier la qualité de service nécessaire. Parallèlement à cette évolution, les langages de programmation se sont successivement intéressés aux nombres, aux structures de données (Algol, C, Ada) aux programmes eux-mêmes (Lisp, Scheme, ML) puis aux documents graphiques (PostScript puis ses épigones). Ces enrichissements ont toutefois rarement débordé le cadre algorithmique classique. L'évolution des systèmes montre que les problèmes de la programmation concernent ici la gestion extrêmement fine du temps, le résultat d'un programme n'étant plus un document prévu pour l'impression sur papier, mais une séquence, visuelle et/ou sonore, dont la temporalité doit être réglable à volonté.

Méthodes de vérification formelle

Notre équipe a été l'une des pionnières pour la théorie des réseaux de Petri de haut niveau et la vérification structurelle des systèmes répartis. La vérification structurelle dégage des propriétés macroscopiques

d'un système par une analyse directe de son modèle sans explorer son graphe d'états et donc sans explosion combinatoire. Pour des propriétés plus fines les méthodes dites de model-checking rencontrent un fort

succès mais nécessitent l'exploration du graphe d'états. L'explosion combinatoire est retardable par la réduction du modèle, la construction partielle ou la réduction de l'espace d'états, et des représentations efficaces par BDD ou MBD. Les environnements classiques, entre autres SMV (CMU), Murphi (SRI), Cospan (Bell Labs), ont permis de vérifier des systèmes de plus de 10^{10} états. Nos résultats majeurs portent sur des améliorations du model-checking et ses applications à des systèmes paramétrés. Nos techniques exploitant l'expression des propriétés, les symétries de comportement ou l'ordre partiel des actions concurrentes ont permis un facteur de réduction exponentiel.

Les symétries partielles sont très fréquentes. Nous voulons étendre leur exploitation qui est difficile. Moyennant des hypothèses supplémentaires, nous viserons la réduction des chaînes de Markov pour évaluer les performances de réseaux de Petri temporisés et effectuer des vérifications probabilistes. Avec le LAMSADE (Paris 9 - Dauphine), nous automatisons le filtrage des symétries admissibles.

Les techniques de vérification à la volée, permettront de réduire plus finement le graphe d'états en fonction des propriétés à vérifier en exploitant simultanément des résultats d'analyse structurelle. Chacune exploite une particularité du système étudié, leurs gains devraient être combinables. Développer leur synergie est donc notre axe majeur mais exige un travail théorique important pour garantir leur compatibilité ou définir les adaptations nécessaires.

Un axe classique consiste à combiner les méthodes exploratoires avec la démonstration de théorèmes. Nous avons préféré une voie originale mariant la démonstration de propriétés structurelles et le model-checking. Avec le CEDRIC (CNAM) nos travaux visent à réduire la structure d'un système avant de construire son espace d'états pour vérifier des propriétés de logique temporelle. Avec le LaBRI (Bordeaux),

nous étendrons l'utilisation des relations d'ordre partiel en préservant la vérification des propositions atomiques de propriétés. Nous comptons tirer de l'analyse structurelle des réseaux de Petri (invariants, réductions, compositions modulaires) des optimisations significatives du model-checking. L'analyse incrémentale d'un système amène à vérifier des formules voisines sur des spécifications proches, nous voulons donc caractériser des familles de formules vérifiables à partir des mêmes simplifications du graphe.

Les approches modulaires butent sur la méthode de découpage d'un modèle. Nous proposons un découpage au niveau le plus fin : celui de l'action élémentaire. Une nouvelle structure de données exploite un ordre partiel pour simplifier la construction d'un graphe complet à partir des graphes d'états des modules. Elle devrait permettre des densifications mieux exploitables pour l'analyse que celles obtenues par les diagrammes binaires de décisions (BDD). Cette approche sera étendue à d'autres formalismes munis d'une sémantique opérationnelle et si possible étendue aux vérifications quantitatives.

Un dilemme porte sur l'expressivité des formalismes considérés et la décidabilité des algorithmes de vérification. Avec le LAMSADE (Paris 9-Dauphine), nous avons défini les réseaux de Petri récursifs (RdP-R) qui sont bien adaptés à la modélisation de systèmes à structure dynamique (planification dans des systèmes multi-agents, systèmes tolérants aux fautes, programmation orientée buts). Notre étude théorique montre que les RdP-R sont une extension stricte de l'union des réseaux de Petri et des grammaires "context-free". Leur vérification générale n'est pas décidable mais le devient pour une sous-classe qui préserve une grande part du pouvoir d'expression. Notre objectif est de déterminer des méthodes et des algorithmes de validation efficaces.

Spécification et génération de codes sûrs

Nous capitalisons plus de 10 années de persévérance de développement d'une infrastructure pour intégrer nos techniques de vérification et les faire coopérer avec celles d'autres universités. Notre plateforme FrameKit accélère la réalisation des outils et l'évolution des procédés d'analyse. L'environnement CPN-AMI fait coopérer nos propres techniques de vérification des RdP et celles d'autres universités européennes. Il est diffusé sur Internet et exploité sous licence libre dans une soixantaine d'universités. Les objectifs sont une standardisation des formats d'échanges ainsi que le travail coopératif sur des modèles distribués.

Pour rendre les méthodes formelles accessibles aux ingénieurs, la communauté scientifique étudie des associations avec des représentations de plus haut ni-

veau (UML, OMT par exemple). Nous proposons de rendre ces méthodes formelles transparentes en définissant des représentations adaptées aux systèmes répartis. Avec le Laboratoire de Génie Logiciel de l'EPFL (Lausanne), nous étudions le comportement d'un système conçu avec une approche orientée objets complétée par des spécifications algébriques, pour vérifier formules définies au niveau de la représentation initiale, en particulier des propriétés comme l'interopérabilité pour finalement produire du code exécutable.

Les besoins, les enjeux et les contraintes industrielles de développement d'applications réparties sûres imposent le prototypage pour disposer très tôt d'un produit logiciel exécutable et évaluable dans un environnement réaliste. Les environnements de génie lo-

giciel sont donc munis de générateurs automatiques de code (Rational/Rose, VERILOG, ICASE (DoD)). Rational/Rose génère un squelette d'application (essentiellement les interfaces) qu'il faut "remplir". La Postgraduate Naval School (San-Diego) réalise un prototypage par utilisation efficace de bibliothèques de fonctions et étudie l'apport de méthodes formelles. Aérospatiale et Boeing élaborent des environnements de ce type (modélisation, analyse, génération) pour produire le code embarqué sur leurs avions.

Nous voulons optimiser les programmes générés et de plus les intégrer dans des environnements cibles. Seuls quelques centres font cela dans le cadre d'une approche co-design où l'aspect matériel est crucial: University of Washington, TIMA (Grenoble). Un projet tel que Ptolemy (Berkeley) utilise des méthodes similaires en intégrant des outils interfacés avec des bibliothèques graphiques. Pour permettre l'interopérabilité, nous éviterons de dépendre d'une architecture cible particulière (Unix, Windows NT, l'environnement Java ou l'environnement Small-Talk). Notre originalité est de paramétrer des environnements multiples pour l'exécution répartie et d'intégrer ces aspects dans un langage de spécification "frontal" de nos approches formelles.

Notre plate-forme FrameKit devra faire coopérer des méthodes basées sur des formalismes hétérogènes pour l'ensemble du cycle de vie des systèmes en visant particulièrement les environnements hétérogènes. La transformation générique de spécifications, de modèles et de résultats visera l'optimisation des systèmes produits et leur administration à distance. Une application industrielle est la gestion de configurations dans des réseaux de commutateurs situés sur des plates-formes hétérogènes et communiquant via des bus de type CORBA ou Java/RMI.



BILAN SYNTHÉTIQUE DES RECHERCHES

La coopération d'applications réparties dans toutes les branches d'activités industrielles, commerciales, médicales, administratives ou grand public fait interférer de plus en plus de composants d'origines diverses sur des systèmes hétérogènes distants via de multiples types de communications. La multiplicité de ces interactions est une source de complexité et d'inefficacité. Nos recherches visent à maîtriser la complexité de la conception de ces applications, l'efficacité de leur exécution et la sûreté de leur réalisation.

- La conception des systèmes ouverts pose des problèmes de spécification, d'hétérogénéité, de performances, de fiabilité. Pour maîtriser les processus de construction et de développement, nous approfondissons l'architecture de ces systèmes en les basant sur de nouveaux concepts tels que ceux de points de vue, d'agents mobiles, de spécification du contrôle, de hiérarchies de groupes d'objets.
- L'adaptation des applications réparties hétérogènes aux caractéristiques des environnements d'exécution doit être dynamique pour rendre efficace leur exploitation. Nous avons développé des méthodes d'équilibrage dynamique des charges requises par les différents utilisateurs, et de réplication des composants sensibles ou surchargés. Pour systéma-

tiser les mécanismes d'extension dynamique des noyaux des systèmes, nous avons généralisé la notion de machine virtuelle. Cette approche s'est avérée très efficace pour la réalisation de messages actifs.

- La vérification d'applications coopératives est justifiée par des utilisations critiques et des objectifs de qualité. Les systèmes enfouis ou embarqués dans des appareils sont aussi coûteux à maintenir de sorte que leur vérification est très rentable. Les méthodes de vérification de modèles de comportement sont de plus utilisées industriellement mais soulèvent des problèmes de complexité d'analyse des graphes d'états. Nous avons proposé de nouvelles méthodes pour optimiser la représentation et la construction de ces graphes. Nous les avons appliquées pour valider l'interopérabilité de services de télécommunication et la composition de commandes avioniques. Pour simplifier et sécuriser la génération de code, nous avons exploité les propriétés vérifiées formellement pour optimiser les méthodes de prototypage de systèmes répartis. Enfin nous avons développé des environnements logiciels pour faciliter la réalisation et la mise en œuvre d'outils de vérification et de prototypage.

Conception orientée agents de systèmes ouverts

Nos recherches concernent la construction d'applications réparties ouvertes et coopératives. Elles se focalisent sur la maîtrise de l'intégration, de

l'interopérabilité et du contrôle des composants d'une application.

Conception orientée agent de services de télécommunications.

Nous définissons des méthodes et des outils pour construire des services de télécommunication sous forme de composants interagissants assemblés selon un schéma d'interaction. Les composants sont spécifiés sous forme d'agents logiciels, qui facilitent l'intégration d'une application dans un système opérationnel, la combinaison d'applications et l'automatisation de l'usage des applications. La norme ODP (Open Distributed Processing) développée par l'ISO et l'ITU-T, nous fournit un modèle de référence pour construire des applications réparties. L'architecture ODP définit le concept de point de vue, subdivision d'une spécification d'un système complexe, qui permet la séparation des préoccupations.

Pour vérifier que l'assemblage fournit bien les fonctionnalités attendues, nous avons enrichi le paradigme agent. Le formalisme de spécification et de validation OF-Class permet une traduction automatique de la spécification des composants en réseaux de Petri colorés modulaires. On peut alors vérifier incrémentalement la sûreté et la fiabilité d'une application. Un langage, appelé AF-Class, permet de spécifier une ap-

plication sous la forme d'un ensemble d'agents interagissants. Un modèle a été défini pour structurer les interactions, pour inclure un mode d'emploi au gabarit d'une interaction puis pour définir une qualité de service associée. Cette approche a été illustrée sur le suivi de contrat dans le cadre d'une agence électronique de voyages et sur les services de télécommunication dans le cadre de la consultation thématique CNET CARISMA.

Nous avons établi les fondations d'une méthodologique ODAC (Open Distributed Applications Construction) pour le développement d'applications réparties. Elle est basée sur l'intégration des concepts issus de la norme ODP et des approches de génie logiciel. Sa version actuelle décrit les trois points de vue ODP "entreprise", "information" et "traitement" au moyen de la notation standardisée UML (Unified Modeling Language). Ces travaux contribuent au programme Télécommunications du CNRS au projet RNRT Amarrage. Un partenariat avec EDF a été instauré dans le domaine des systèmes d'information.

Spécification et implantation du contrôle dans les applications réparties coopératives

Les environnements de programmation répartie actuels (CORBA, EJB, DCOM, etc.) et les systèmes d'exploitation répartis (Amoeba, GUIDE, JavaOS, etc.) fournissent des outils de gestion des communications et d'utilisation de processus concurrents. Les applications telles que les collecticiels pour la rédaction coopérative de documents, la vidéoconférence ou l'intelligence artificielle distribuée, mettent en jeu de nombreux objets munis de schémas d'interaction et de contrôle complexes.

Nous avons défini la notion de programme de groupe pour des applications réparties orientées objet. Un programme de groupe abstrait le comportement d'un ensemble d'objets répartis et leurs échanges de messages. Avec l'équipe "Objets, temps et ordre dans les systèmes répartis" du laboratoire CEDRIC-CNAM, nous avons défini une syntaxe pour ces programmes et une méthode semi-formelle basée sur une logique modale dite logique épistémique. Son intérêt est de formaliser la notion de connaissance pour un groupe d'entités réparties.

Systemes dynamiquement adaptables

La conception d'applications réparties sur de grands réseaux nécessite de gérer dynamiquement des ressources distantes en fonction des variations de la charge des systèmes et des réseaux ainsi que de l'irrégularité des besoins des applications. Notre système GatoStar rend cette exécution transparente, tolérante aux fautes et cependant efficace.

Nous étendons ces stratégies à de nouvelles architectures telles que les réseaux à haut débit et les réseaux à large échelle. Nous adaptons les stratégies de placement au maintien de la cohérence dans des mé-

Équilibrage de charge et tolérance aux fautes

L'équilibrage de charge et le placement en environnement réparti visent à exploiter de manière transparente l'ensemble des ressources distantes. Notre plate-forme "GatoStar" permet de développer des applications parallèles et de les répartir automatiquement sur un ensemble de sites hétérogènes puis de les exécuter efficacement. Des algorithmes multi-critères prennent en compte la charge des machines et le comportement des applications. De plus, en unifiant le placement dynamique et la tolérance aux fautes, GatoStar fournit un support complet et cohérent pour l'exécution d'applications parallèles à longue durée de vie.

Pour améliorer les stratégies de placement, nous avons défini un modèle à base de files d'attente. L'originalité est d'affiner le modèle en le rapprochant le plus possible des résultats réels mesurés dans GatoStar. Les algorithmes sont évalués et modifiés directement dans le modèle puis intégrés dans GatoStar.

La conception d'applications coopératives oblige à se préoccuper des synchronisations, des contraintes temps réel, des communications, de la répartition de ressources, du contrôle des accès partagés, de la tolérance aux fautes, des interfaces avec les utilisateurs et avec des bases de connaissances. Une structuration en couches permet de traiter ces facettes techniques au moyen de squelettes d'interaction ("Frameworks") définis par des composants abstraits et des protocoles de collaboration. Ces squelettes garantissent l'interopérabilité et la réutilisabilité des implantations.

Les optimisations locales (compilation à la volée) ou réparties (équilibre de charge, contrôle de congestion) ainsi que le comportement des composants (instanciation dynamique, mobilité, adaptation) conduisent à l'exécution de code dans des environnements non connus à la compilation. Nous avons défini une plate-forme coopérative rendant accessibles des observations et une abstraction de l'environnement d'exécution des composants. Elles permettent aux composants applicatifs de négocier l'usage des ressources.

moires partagées réparties qui déchargent les programmeurs de la localisation des données.

L'adaptation à la volée d'applications sur des systèmes et réseaux spécifiques ou hétérogènes nécessite des méthodes nouvelles de conception normalisant les interactions avec les noyaux des systèmes supports. En collaboration avec le projet Système à Objets Répartis de l'INRIA-Rocquencourt, nous concevons un environnement d'exécution extensible dynamiquement et multi-langages (Machine Virtuelle Virtuelle).

Nous gérons ainsi des seuils dynamiques de placement et de migration de tâches. Nous avons décrit d'autres environnements (multi-réseaux, réseaux hybrides comportant des machines parallèles, réseaux à haut débit) pour choisir les algorithmes de gestion en fonction des architectures.

Un outil générique d'observation avec une granularité variable et adaptable aux applications collecte efficacement des informations fines et analyse leur comportement en termes d'utilisation du processeur, de la mémoire et des communications. Avec le thème ANP du LIP6, nous étudions comment engendrer un placement, à partir d'une description fine d'une application, en utilisant des heuristiques de recherche opérationnelle de type tabou.

Les réseaux à large échelle présentent des taux élevés de fautes, de grandes variations des débits et des temps de latence. C'est pourquoi nous avons conçu de nouveaux algorithmes de tolérance aux fautes. Pour

conserver de bonnes performances nous changeons dynamiquement d'algorithme de réplication ou de sauvegarde en fonction de l'évolution des délais de transmission, de la disponibilité des sites et des besoins de qualité de services des applications. Nous avons défini une plate-forme DarX qui fiabilise le sys-

Mémoires partagées réparties

Pour améliorer la localité donc les performances d'applications parallèles communicantes par mémoires partagées réparties (MPR), nous combinons le placement de processus et celui de données. Nous avons introduit le concept d'affinités de processeur, de mémoire et de communication pour caractériser les "forces" qui lient les programmes aux différentes stations. Une première implantation a été faite dans le système de MPR Millipede, développé au-dessus de Windows NT par l'Institut Technion d'Haifa (Israël).

L'exécution de systèmes de MPR sur plusieurs réseaux et un grand nombre de sites augmente leur puissance mais le coût des accès distants devient l'obstacle principal. Nous réduisons ce coût au moyen de nouveaux protocoles, hiérarchiques et extensibles, de maintien de cohérence. Une adaptation originale

Machine Virtuelle Virtuelle

Les technologies de répartition sont parvenues à un bon degré de maturité, avec l'apparition des produits de standardisation (CORBA), ou de standards de fait (Java de SUN Microsystem ou DCOM de Microsoft). Cependant ces supports d'exécution restent mal adaptés aux applications ayant de fortes contraintes de qualité de service (taille, temps réel, sûreté de fonctionnement) et difficilement spécialisables.

Nous avons défini et réalisé un environnement d'exécution flexible multi-langages, la Machine Virtuelle Virtuelle (MVV), qui est un saut conceptuel par rapport à l'approche traditionnelle des systèmes. La MVV est basée sur une machine virtuelle générique ayant un jeu de services systèmes extensible dynamiquement. Son jeu d'instructions "bytecodées" (représentation intermédiaire entre le langage de programmation et le langage machine) est spécialisable en fonction des besoins des applications. À la différence de la Java Virtual Machine (JVM), la MVV peut supporter plusieurs modèles d'exécution, chacun étant spécifié sous forme d'une Machine Virtuelle MV compilée sous forme d'une MVlet bycodée. Une MVlet est chargeable et optimisable dynamiquement selon les contraintes du matériel cible et les besoins des applications. Pour la flexibilité, la MVV peut se comparer à SPIN (University of Washington), Exo-Kernel et Fluke (Utah University) et Aegis (M.I.T.) qui proposent des architectures reconfigurables et adaptables dynamiquement. Pour l'interopérabilité, la Machine Virtuelle Universelle (UVM) d'IBM et Tali-

ème multi-agents DIMA développé par le thème OASIS du LIP6. Chaque agent peut contrôler sa stratégie de réplication et changer son nombre de copies. Une nouvelle stratégie à base de quorum auto-stabilisant est en cours de développement.

du concept d'estampilles vectorielles les rend indépendantes du nombre de sites tout en continuant à capturer la causalité des mises à jour de la mémoire. Une version hiérarchique du protocole de cohérence "Lazy Release Consistency" a été intégrée dans la MPR TreadMarks de Rice University.

Nous étudions de nouvelles stratégies de swap et de pagination en mémoire distante sur des réseaux à haut débit, ce qui est plus efficace que sur des disques locaux. Cette étude a abouti au développement de la plate-forme "Maïs" développée dans le cadre du projet MPC du thème ASIM du LIP6. Un prototype a été développé dans FreeBSD sur un réseau Ethernet 100 Mb/s avec une émulation du réseau "High Speed Link" utilisé dans MPC.

gent, sont une extension d'une machine virtuelle existante (Smalltalk). L'avantage de la MVV est l'acceptation dynamique de nouveaux langages, et la simplicité du procédé.

Nous avons réalisé une Machine Virtuelle Adaptative (MVA). Elle possède des mécanismes d'exécution compatibles, indépendants des langages, des bibliothèques réutilisables de fonctions de base, une spécification du langage, du modèle mémoire et d'exécution d'une MV mais une interface externe dépendante de la plate-forme d'accueil et du système d'exploitation. La modification dynamique des jeux d'instructions et des fonctionnalités offertes aux applications, facilite la spécialisation et la mise à jour incrémentales. Les expérimentations ont montré des gains considérables en compacité de code des applications et en simplification de conception pour réaliser un réseau actif.

La MVV transposera la philosophie des systèmes d'exploitation configurables au domaine des langages "bytecodés". D'autres domaines informatiques pourront bénéficier de ces avancées (routeurs de réseau, téléphones mobiles, cartes à puces, réalité virtuelle, domotique, systèmes embarqués, systèmes enfouis dans des équipements, lourds, lointains ou mal accessibles, robots d'exploration). L'approche MVV sera poussée jusqu'au niveau de la haute intégration, directement dans le matériel, tout en gardant l'adaptation des spécifications exécutables, chargeables ou optimisables dynamiquement.

Vérification et génie logiciel des systèmes répartis

La part croissante de l'informatique dans l'industrie rend crucial le problème de la validité et de la sûreté des logiciels. Le caractère distribué et les contraintes temporelles augmentent la difficulté de ce problème. De nombreuses méthodes formelles sont utilisées avec un investissement important et des coûts de calcul ou de stockage parfois rédhibitoires. Notre expérience de la théorie des réseaux de Petri colorés nous a permis d'obtenir des résultats majeurs en conjun-

Optimisation de la vérification de modèles

Avec le laboratoire CÉDRIC (CNAM), nous avons défini les conditions d'application des réductions structurelles préservant les informations pour vérifier des formules de logique temporelle à temps linéaire. Cette approche a été évaluée sur différents exemples et a démontré que l'usage conjoint des réductions et des techniques d'ordre partiel permettait de repousser d'un pas supplémentaire les limites de l'explosion combinatoire.

Les techniques de vérification d'ordre partiel sont basées sur la relation de causalité liant les événements du système. Avec le LaBRI, nous avons proposé une nouvelle technique basée sur une représentation explicite de l'ordre partiel par rapport à un ensemble d'événements. Cette représentation prend la forme d'un réseau de Petri appelé dépliage. Nous avons montré que la représentation nécessaire à la vérification d'une propriété (formule de logique temporelle à temps linéaire) nécessitait la construction d'un graphe de dépliages. Ce graphe est construit automatiquement à partir de la description du système et des propositions atomiques définies dans la propriété.

Prototypage d'applications réparties coopératives

L'implémentation d'une solution exprimée dans les formalismes classiques entraîne souvent des dérives liées à une mauvaise interprétation de la spécification initiale. C'est pourquoi, la génération automatique de programmes est expérimentée avec succès dans des contextes industriels. Le prototypage comprend les opérations de modélisation, d'analyse du modèle de système, avant de générer du code et d'analyser ses exécutions.

Nous avons élaboré une méthodologie de prototypage de systèmes répartis basée sur des langages de description de haut niveau afin d'encapsuler l'utilisation de méthodes formelles et ce jusqu'à la phase d'installation et d'exécution répartie. L'utilisateur peut alors se concentrer sur ses spécifications sans devoir introduire lui-même une représentation formelle. Un niveau semi-formel et une représentation de haut ni-

Environnement de modélisation, vérification et génération de code

La vérification et le prototypage mettent en œuvre de nombreux outils et doivent facilement interopérer avec ceux qui sont développés dans d'autres labora-

quant les méthodes de vérification structurelle et des optimisations du model checking.

Pour que les propriétés vérifiées sur les spécifications restent conservées jusqu'à la réalisation et l'exploitation du système, nous automatisons la génération et l'implantation répartie du code. Nous avons développé un environnement de génie logiciel intégrant un ensemble facilement extensible d'outils coopératifs d'analyse et de prototypage.

L'exploitation des symétries définit un graphe quotient, dont les nœuds sont des classes d'équivalence d'états symétriques. Nous avons automatisé la vérification d'une propriété de logique temporelle quand le système est modélisé par un réseau de Petri coloré, dit "réseau bien formé" et que les symétries considérées sont globales. Avec le laboratoire LAMSADE (Paris 9) ainsi qu'avec le thème "Réseaux et Performance" du LIP6, nous avons aussi caractérisé des symétries partielles définies localement. Une agrégation des états de l'automate est alors réalisée préalablement à la phase de vérification.

Avec le département d'informatique de Rice University, plusieurs méthodes et outils de model checking (COSPAN et SPIN de Bell Labs, MURPHI du SRI) ont été comparés pour vérifier des algorithmes de cohérence de mémoires partagées distribuées au-dessus d'un anneau à jeton. Plusieurs erreurs ont été détectées puis les spécifications corrigées ont été vérifiées.

veau aident à structurer la spécification. Deux langages permettent de décrire le modèle conceptuel focalisé sur la vérification (basé sur les Réseaux de Petri Colorés) et le modèle opérationnel dédié à la génération d'applications. Une synthèse de spécification fait passer du niveau semi-formel au niveau formel en préservant la sémantique du modèle initial selon un point de vue lié à la propriété que l'on cherche à vérifier. Les résultats du calcul des propriétés sont exprimés dans les termes des spécifications source. La représentation conceptuelle est ensuite transformée en une représentation opérationnelle conforme. La génération de code produit un prototype intégrable dans un environnement d'exécution préexistant pouvant même inclure des composants externes. Des optimisations exploitent des propriétés calculées au niveau formel.

toires. Pour faciliter le développement et l'extension des environnements de génie logiciel, nous avons développé FrameKit qui est notre seconde génération de

notre plate-forme d'accueil. Elle factorise tous les éléments constituant une plate-forme d'intégration logicielle et facilitant sa diffusion. Elle permet la manipulation de modèles graphiques et hiérarchiques, l'application de services sur ces modèles et le stockage des résultats obtenus et l'administration d'entités comme les utilisateurs, les formalismes et les services. Un environnement produit à partir d'une telle plate-forme d'accueil est paramétré par des formalismes et des outils associés à ces formalismes. FrameKit peut ainsi exporter et importer efficacement des outils et s'adapter à diverses théories.

Depuis longtemps, notre équipe réalise des outils et un environnement accompagnant les avancées théoriques dans le domaine des réseaux de Petri et du prototypage. En tirant profit de Frame-Kit, nous avons

réalisé un Environnement de Génie Logiciel expérimental: CPN-AMI qui permet la coopération d'un des ensembles les plus vastes d'outils de vérification sur ce formalisme. Les outils de CPN-AMI, issus des recherches en vérification formelle sont rassemblés autour de FrameKit et accessibles via l'interface utilisateur Macao. L'ensemble représente environ 500000 lignes de sources dans trois langages de programmation. 40 % de ces sources sont issus de collaborations universitaires (Bell labs, Université technique d'Elelsinki, Université de Turin, Université de Munich). CPN-AMI est diffusé via Internet. Il constitue une base expérimentale importante pour évaluer la pertinence de notre approche sur des cas d'étude de grande taille, issus d'applications industrielles.



BILAN DÉTAILLÉ DES RECHERCHES

La coopération d'applications réparties dans toutes les branches d'activités industrielles, commerciales, médicales, ou administratives explose du niveau local au niveau mondial. La synergie de ces applications apporte des plus-values importantes par la variété des sources d'information exploitées et des traitements mis en œuvre ainsi que par la communication à une large échelle des résultats élaborés. Cependant une des principales causes de leur complexité est la multiplicité des composants logiciels produits par des sociétés différentes sur des matériels, systèmes et réseaux hétérogènes, exploités sous des contraintes évoluant fréquemment. Utiliser de nombreux services sur des sites distants mobilise dynamiquement des ressources de calcul, de mémorisation et de communication au sein des systèmes et des réseaux. Nos recherches visent à maîtriser la complexité de la conception de ces applications, l'efficacité de leur exécution et la sûreté de leur réalisation.

- La conception des systèmes ouverts pose des problèmes de spécification, d'hétérogénéité, de performances, de fiabilité. Pour mieux maîtriser le processus de construction et de maintenance de ces applications nous approfondissons de nouveaux concepts tels que ceux de séparation des points de vue, d'agents mobiles, de messages actifs, de virtualisation des composants.

- L'adaptation aux caractéristiques des environnements d'exécution doit être dynamique pour rendre efficace l'exploitation d'applications réparties hétérogènes. Nous avons d'abord développé l'équilibrage dynamique des charges requises par les différents utilisateurs, et la réplication des composants sensibles ou surchargés. Nous avons ensuite affiné cette adaptabilité en généralisant la notion de machine virtuelle. L'efficacité de cette approche a été montrée pour la réalisation de messages dits actifs.
- La vérification d'applications coopératives est justifiée par des utilisations critiques ou des objectifs élevés de qualité. Nous avons optimisé des méthodes de vérification de modèles de comportement dont l'utilisation se répand dans l'industrie. Nous les avons appliquées pour valider l'interopérabilité de services de télécommunication et la composition de commandes avioniques. Pour simplifier et sécuriser la génération de code, nous avons exploité les propriétés vérifiées formellement pour optimiser les méthodes de prototypage de systèmes répartis. Enfin nous avons développé des environnements logiciels pour faciliter la mise en œuvre de ces méthodes.

Conception orientée agent de systèmes ouverts

Nos recherches concernent la construction d'applications réparties ouvertes et coopératives. Elles se fo-

calisent sur la maîtrise de l'intégration, du contrôle et de l'interopérabilité de composants d'une application.

Conception orientée agent de services de télécommunications

M.-P. GERVAIS, A. DIAGNE, J.-F. DAUCHEZ,
X. BLANC, F. MUSCUTARIU, P. ESTRAILLIER

Nous définissons des méthodes et des outils pour construire des services de télécommunication sous forme de composants interagissants assemblés selon un schéma d'interaction. Les composants doivent présenter de réelles caractéristiques de flexibilité pour s'adapter à l'assemblage. Nous considérons des agents logiciels, qui exhibent des capacités d'interaction et d'adaptation. Le paradigme de système multi-agents offre en effet un niveau de modélisation qui facilite l'intégration d'une application dans un système opérationnel, la combinaison d'applications et l'automatisation de l'usage des applications.

- Un agent exhibe des caractéristiques de personnalisation, de délégation, de suivi de contrat et de combinaison de services. La norme ODP (Open Distributed Processing) de traitement réparti ouvert, développée conjointement par l'ISO et l'ITU-T, fournit un modèle de référence pour construire des applications réparties. L'architecture

ODP définit le concept de point de vue, subdivision d'une spécification d'un système complexe, qui permet la séparation des préoccupations.

- Pour vérifier que l'assemblage fournit bien les fonctionnalités attendues, nous avons enrichi le paradigme agent. Le formalisme de spécification et de validation OF-Class, (thèse d'A. Diagne 1997) permet de décrire des composants et leurs interactions conformément au modèle objet et d'interactions ODP. C'est aussi un formalisme de validation car il offre une traduction automatique de la spécification des composants en réseaux de Petri colorés modulaires à partir desquels une vérification peut être menée. On peut alors vérifier la sûreté et la fiabilité d'une application dans une démarche incrémentale en tirant profit de la modularité des composants pour éviter l'explosion combinatoire. Le bénéfice est de disposer de composants certifiés aux interfaces bien définies. Cette approche a été illustrée, en modélisant l'introduction d'un nouveau service avec comme objectif la détection de

comportements inattendus. Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet européen MATCH.

L'approche choisie repose sur une démarche de génie logiciel conforme au cadre architectural défini par le modèle de référence ODP. L'étude a porté sur le point de vue traitement ODP et s'est focalisée sur l'aspect système et contrôle de l'approche agent. Un langage de traitement orienté agent, appelé AF-Class, permet à un concepteur de spécifier une application sous la forme d'un ensemble d'agents interagissants. AF-Class formalise des interactions entre agents qui obéissent à des protocoles d'échange de messages fixés a priori. Un modèle d'interactions a été défini, fondé sur une classification des interactions construite à partir de celles d'ODP et de règles de structuration. Ainsi une interaction de haut niveau peut être définie à partir d'interactions plus élémentaires structurées selon des règles de séquençement. Ceci correspond à inclure un mode d'emploi au gabarit d'une telle interaction puis à définir une qualité de service associée au gabarit. Cette qualité est garantie si le mode d'emploi est respecté. Cette approche a été illustrée sur l'exemple d'un gabarit de suivi de contrat dans le cadre d'une agence électronique de voyages. Les méthodes et outils proposés sont focalisés sur la

Spécification et implantation du contrôle dans les applications réparties coopératives

L. SEINTURIER, P. BARRIL, E. COMMELIN,
PH. DARCHE, P. ESTRAILLIER, D. PRUN.

Les environnements de programmation répartie actuels (CORBA, EJB, DCOM, etc.) et les systèmes d'exploitation répartis (Amoeba, GUIDE, JavaOS, etc.) fournissent un ensemble d'outils qui facilitent la gestion des communications et l'utilisation de processus concurrents. L'approche objet, retenue par la quasi-totalité de ces plates-formes, clarifie aussi l'organisation des données. Néanmoins, il reste toujours difficile de décrire les interactions entre les objets et leur enchaînement au sein d'une application répartie. Or, les applications telles que les collecticiels pour la rédaction coopérative de documents multimédia, les applications de vidéoconférences, ou les algorithmes répartis du domaine des réseaux, des systèmes ou de l'intelligence artificielle distribuée, mettent en jeu de nombreux objets et nécessitent des schémas d'interaction et de contrôle complexes entre ces objets. Les méthodes de conception existantes (UML, OMT, etc.) offrent peu de solutions pour ces problèmes.

Nos travaux fournissent des méthodes et des outils pour spécifier et implanter des structures d'interaction et de contrôle complexes dans des applications réparties orientées objet. Nous avons défini la notion de programme de groupe pour de telles applications. Un programme de groupe abstrait le comportement d'un ensemble d'objets répartis et les échanges de messages entre ces objets. Il est construit à partir de structures de contrôle (condition et itération réparties) dont

conception orientée agent et la validation de la spécification de traitement. Ils sont appliqués aux services de télécommunication et ont fait l'objet de contributions dans le cadre de la consultation thématique CNET CARISMA.

Nous avons établi les fondations d'une méthodologique ODAC (Open Distributed Applications Construction) pour le développement d'applications réparties. Elle est basée sur l'intégration des concepts issus de la norme ODP et des approches de génie logiciel. Sa version actuelle décrit les trois points de vue ODP "entreprise", "information" et "traitement" au moyen de la notation standardisée UML (Unified Modeling Language). L'outil logiciel que nous avons développé permet d'élaborer la spécification comportementale de systèmes à base d'agents selon ces points de vue, donc indépendamment de tout environnement cible d'exécution (thèse en cours de X. Blanc).

Ces travaux sont appliqués dans deux domaines cibles. Dans celui des télécommunications, ils donnent lieu à des contributions dans l'action du programme Télécommunications du CNRS et le projet RNRT Amarrage. Dans le domaine des systèmes d'information, un partenariat avec EDF a été instauré.

nous avons systématisé la définition. Nous avons défini une syntaxe pour ces programmes et nous les avons associés à une méthode semi-formelle basée sur une logique modale dite logique épistémique. Son intérêt est de formaliser la notion de connaissance pour un groupe d'entités réparties. Ces travaux sont réalisés en collaboration avec l'équipe "Objets, temps et ordre dans les systèmes répartis" du laboratoire CEDRIC-CNAM.

Les applications informatiques actuelles sont exécutées dans des environnements complexes. Celles déployées à large échelle sur des réseaux comme le Web ont une durée de vie longue et doivent permettre leur maintenance tout en préservant leur disponibilité. Les optimisations locales (compilation à la volée) ou réparties (équilibre de charge, contrôle de congestion) ainsi que le comportement des composants (instanciation dynamique, mobilité, adaptation) conduisent à l'exécution de code dans des environnements non connus à la compilation. Nous définissons donc une plate-forme coopérative rendant accessibles des observations et une abstraction de l'environnement d'exécution des composants. Elle permet aux composants applicatifs de négocier l'usage des ressources.

La conception et la maintenance d'une application coopérative obligent à se préoccuper des synchronisations ou des contraintes temps réel, des communications, de la répartition de ressources, du contrôle des accès partagés, de la tolérance aux fautes, des interfaces avec les utilisateurs et avec des bases de connais-

sances. Une structuration en couches permet de traiter ces facettes techniques au moyen de squelettes d'interaction ("Frameworks") définis 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 sur les compromis dans un cas d'usage précis. Pour les objets séquentiels, la mé-

thode 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 sont substitués à la paire "données-traitements" (thèse de D. Prun en 1998).

Systèmes dynamiquement adaptables

La conception d'applications réparties sur de grands réseaux est rendue difficile par la gestion dynamique des ressources distantes en fonction des variations de la charge des systèmes et des réseaux ainsi que de l'irrégularité des besoins des applications. Nous avons conçu un nouveau système GatoStar pour rendre cette exécution transparente, tolérante aux fautes et cependant efficace.

Nous étendons ces principes à des systèmes complexes fortement hétérogènes et à de nouvelles architectures telles que les réseaux à haut débit et les réseaux à large échelle. Nous adaptons les stratégies de placement au maintien de la cohérence dans des

mémoires partagées réparties qui déchargent les programmeurs de la localisation des données.

L'adaptation à la volée d'applications sur des systèmes et réseaux spécifiques ou hétérogènes nécessite des méthodes nouvelles de conception normalisant les interactions avec les noyaux des systèmes supports. Pour éviter la complexité sans cesse croissante des systèmes, nous développons des techniques pour engendrer des systèmes spécialisés denses et efficaces. En collaboration avec le projet Système à Objets Répartis de l'INRIA-Rocquencourt, nous concevons un environnement d'exécution extensible dynamiquement et multi-langages.

Équilibrage de charge et tolérance aux fautes

B. FOLLIOU, X. BONNAIRE, F. BELKOUCH,
B. BRETTELE, C. BOUTROS-SAAB, D. COLLARD,
PH. DANCHE, Y. HAJ MAHMOUD, F. MÉVEL, P. SENS

L'équilibrage de charge et le placement en environnement réparti visent à exploiter de manière transparente l'ensemble des ressources distantes. Notre plate-forme "GatoStar" permet de développer des applications parallèles et de les répartir automatiquement sur un ensemble de sites hétérogènes puis de les exécuter efficacement. Des algorithmes multi-critères prennent en compte la charge des machines et le comportement des applications. Des algorithmes de migration réagissent aux variations d'utilisation des ressources. Les processus sont automatiquement repris après la défaillance de machines en utilisant des points de reprise incrémentaux et une journalisation des messages. En unifiant le placement dynamique et la tolérance aux fautes, GatoStar fournit un support complet et cohérent pour l'exécution d'applications parallèles à longue durée de vie.

Pour améliorer les stratégies de placement de GatoStar, nous avons défini un modèle à base de files d'attente baptisé SIGAP. L'originalité est d'affiner le modèle en le rapprochant le plus possible des résultats réels mesurés dans GatoStar. Les algorithmes sont évalués et modifiés directement dans le modèle puis intégrés dans GatoStar (thèse de Yanal Haj Mahmoud 1999). Nous gérons ainsi des seuils dynamiques de placement et de migration de tâches. Nous avons décrit d'autres environnements (multi-réseaux, réseaux

hybrides composés de machines parallèles et de stations de travail, réseaux à haut débit) pour déterminer les algorithmes de gestion les plus pertinents en fonction des architectures.

Nous développons un outil générique d'observation avec une granularité variable et adaptable aux applications pour collecter efficacement des informations fines et analyser leur comportement en termes d'utilisation processeur, de communication et d'utilisation mémoire (thèse en cours de Céline Boutros). Nous étudions de nouveaux algorithmes multi-critères qui, à partir d'une description fine d'une application, génèrent un placement en utilisant des heuristiques de recherche opérationnelle de type tabou. Deux modèles ont été définis pour décrire le comportement des tâches et l'architecture cible (thèse en cours de Damien Collard co-dirigée par Michel Minoux du thème ANP).

Les réseaux à large échelle présentent des taux élevés de fautes, de grandes variations des débits et des temps de latence. C'est pourquoi nous avons conçu de nouveaux algorithmes de tolérance aux fautes. Pour conserver de bonnes performances nous changeons dynamiquement d'algorithme de réplication ou de sauvegarde en fonction de l'évolution des délais de transmission, de la disponibilité des sites et des besoins de qualité de services des applications. Nous proposons des modèles hybrides de réplication en fonction des coûts de communications. Par exemple, lorsque les temps de réponse d'un réplicat deviennent

trop lents, on passe de la réplication active à une réplication passive et on ajuste dynamiquement la fréquence des mises à jour. Une collaboration avec le thème OASIS du LIP6 a abouti à une nouvelle plateforme DarX qui fiabilise le système multi-agents

Mémoires partagées réparties

B. FOLLIOT, P. SENS, L. BEZERRA ARANTES,
B. BRETTELLE, PH. CADINOT

Pour améliorer la localité donc les performances d'applications parallèles communicantes par mémoires partagées réparties (MPR), nous combinons le placement de processus et celui de données. Nous avons introduit le concept d'affinités de processeur, de mémoire et de communication pour caractériser les "forces" qui lient les programmes aux différentes stations (thèse de Bruno Bretelle en 1999). Une première implantation a été faite dans le système de MPR Millipede, développé au-dessus de Windows NT par l'Institut Technion d'Haifa (Israël).

L'exécution de systèmes de MPR sur plusieurs réseaux et un grand nombre de sites augmente leur puissance mais le coût des accès distants devient l'obstacle principal. Nous réduisons ce coût au moyen de nouveaux protocoles, hiérarchiques et extensibles, de maintien de cohérence. Une adaptation originale du concept d'estampille vectorielle la rend indépendante du nombre de sites tout en continuant à capturer

Machine Virtuelle Virtuelle

B. FOLLIOT, C. BAILLARGUET, C. KHOURY,
I. PIUMARTA

Les technologies de répartition sont parvenues à un bon degré de maturité, avec l'apparition des produits de standardisation (CORBA), ou de standards de fait (Java de SUN Microsystem ou DCOM de Microsoft). Cependant ces supports d'exécution restent mal adaptés aux applications ayant de fortes contraintes de qualité de service (taille, temps réel, sûreté de fonctionnement) et difficilement spécialisables.

Nous avons défini un environnement d'exécution flexible multi-langages, la Machine Virtuelle Virtuelle (MVV), qui est un saut conceptuel par rapport à l'approche traditionnelle des systèmes. La MVV est basée sur une machine virtuelle générique ayant un jeu de services systèmes extensible dynamiquement. Son jeu d'instructions "bytecodées" (représentation intermédiaire entre le langage de programmation et le langage machine) est spécialisable en fonction des besoins des applications. Un langage de haut niveau facilite la spécification et la spécialisation de machines virtuelles. À la différence de la Java Virtual Machine (JVM), la MVV supporte plusieurs modèles d'exécution. L'exécution est ainsi optimisable selon les contraintes du matériel et les besoins des applications.

DIMA développé par le thème OASIS. Chaque agent peut contrôler sa stratégie de réplication et changer son nombre de copies. Une nouvelle stratégie à base de quorum auto-stabilisant est en cours de développement.

la causalité des mises à jour de la mémoire. Une version hiérarchique du protocole de cohérence "Lazy Release Consistency" a été intégrée dans la MPR TreadMarks de Rice University (thèse en cours de Luciana Arantes).

Nous étudions de nouvelles stratégies de swap et de pagination en mémoire distante sur des réseaux à haut débit. Cette exploitation des mémoires de machines peu chargées permet des accès plus efficaces que sur un disque local. Nos stratégies sont adaptables à la vitesse du réseau, au préchargement différé de pages ou au recouvrement entre traitement et échanges via le réseau. Cette étude a abouti au développement de la plateforme "Maïs" développée dans le cadre du projet MPC du thème ASIM du LIP6. Un prototype a été développé dans FreeBSD sur un réseau Ethernet 100 Mb/s avec une émulation du réseau "High Speed Link" utilisé dans MPC. Selon le type d'accès, le rapatriement d'une page d'une mémoire distante est de 2 à 35 fois plus rapide que depuis un disque (thèse en cours de Philippe Cadinot).

Pour expérimenter les concepts de la MVV, nous avons réalisé une Machine Virtuelle Récursive (MVR). Elle possède des mécanismes d'exécution compatibles, indépendants des langages, des bibliothèques réutilisables de fonctions de base, une spécification du langage, du modèle mémoire et d'exécution d'une MV mais une interface externe dépendante de la plateforme d'accueil et du système d'exploitation (thèse en cours de C. Baillarguet). La modification dynamique des jeux d'instructions et des fonctionnalités offertes aux applications, facilite la spécialisation ou la mise à jour par modifications incrémentales. L'architecture modulaire de la MVR sépare bien la spécialisation du langage et des primitives systèmes de celle des mécanismes d'exécution. Nous améliorons ainsi la réutilisabilité, la compatibilité, et le libre remplacement des éléments indépendamment les uns des autres. Les expérimentations ont montré des gains considérables en capacité de code et en simplification de conception pour réaliser un réseau actif (thèse en cours de C. Khoury).

Pour la flexibilité, la MVV peut se comparer à SPIN (University of Washington), ExoKernel et Fluke (Utah University) et Aegis (M.I.T.) qui proposent des architectures reconfigurables et adaptables dynamiquement. L'utilisation de micronoyaux ou de "meta-object protocol" permettrait également de concevoir des systèmes flexibles. Pour l'interopérabilité, la Ma-

chine Virtuelle Universelle (UVM) d'IBM et Taligent, sont une extension d'une machine virtuelle existante (Smalltalk). L'avantage de la MVV est l'acceptation dynamique de nouveaux langages, et la simplicité du procédé. La MVV transpose la philosophie des systè-

mes d'exploitation configurables au domaine des langages "bytecodés". Cette recherche se fait dans le cadre d'une consultation thématique du CNET et du projet RNR phoenix.

Vérification et génie logiciel des systèmes répartis

La part sans cesse croissante de l'informatique dans l'industrie rend crucial le problème de la validité et de la sûreté des logiciels. La complexité accrue des applications introduite par le caractère distribué et l'introduction de contraintes temporelles augmentent la difficulté de ce problème. Notre expérience de la théorie des réseaux de Petri et plus particulièrement des réseaux de Petri colorés nous a permis d'obtenir des résultats majeurs en conjuguant les méthodes de vérification structurelle et des optimisations du model

checking exploitant les notions d'ordre partiels et des symétries. Pour que les propriétés vérifiées sur les spécifications restent conservées jusqu'à la réalisation et l'exploitation du système, nous automatisons la génération et l'implantation répartie du code. Le développement d'un environnement de génie logiciel intégrant un ensemble des outils coopératifs d'analyse et de prototypage fournit un cadre unifié facilitant la pratique des méthodes de vérification.

Optimisation de la vérification de modèles

J.-M. ILIÉ, K. KLAI, A. KHALIL, E. PAVIOT-ADET, D. POITRENAUD, I. VERNIER-MOUNIER

Avec le laboratoire CÉDRIC (CNAM), nous avons défini les conditions d'application des réductions structurelles préservant les informations pour vérifier des formules de logique temporelle à temps linéaire. Cette approche a été évaluée sur différents exemples et a démontré que l'usage conjoint des réductions et des techniques d'ordre partiel permettait de repousser d'un pas supplémentaire les limites de l'explosion combinatoire.

Les techniques de vérification d'ordre partiel sont basées sur la relation de causalité liant les événements du système. Avec le LaBRI, nous avons proposé une nouvelle technique basée sur une représentation explicite de l'ordre partiel par rapport à un ensemble d'événements. Cette représentation prend la forme d'un réseau de Petri appelé dépliage. Nous avons montré que la représentation nécessaire à la vérification d'une propriété (formule de logique temporelle à temps linéaire) nécessitait la construction d'un graphe de dépliages. Ce graphe est construit automatique-

ment à partir de la description du système et des propositions atomiques définies dans la propriété.

L'exploitation des symétries définit un graphe quotient, dont les nœuds sont des classes d'équivalence d'états symétriques. Nous avons automatisé la vérification d'une propriété de logique temporelle quand le système est modélisé par un réseau de Petri coloré, dit "réseau bien formé" et que les symétries considérées sont globales. Avec le laboratoire LAMSADE (Paris 9) ainsi qu'avec le thème "Réseaux et Performance" du LIP6, nous avons aussi caractérisé des symétries partielles définies localement. Une agrégation des états de l'automate est alors réalisée préalablement à la phase de vérification et s'adapte à des évaluations performances.

Avec le département d'informatique de Rice University, plusieurs méthodes et outils de model checking (COSPAN et SPIN de Bell Labs, MURPHI du SRI) ont été comparés pour vérifier des algorithmes de cohérence de mémoires partagées distribuées au-dessus d'un anneau à jeton. Plusieurs erreurs ont été détectées puis les spécifications corrigées ont été vérifiées.

Prototypage d'applications réparties coopératives

F. KORDON, D. REGEP, J.-L. MOUNIER

L'implémentation d'une solution exprimée dans les formalismes habituellement proposés entraîne souvent des dérives importantes liées à une mauvaise interprétation de la spécification initiale. La génération de programmes présente une solution expérimentée avec succès dans des contextes industriels parfois critiques (par exemple, l'avionique). Nous avons élaboré une méthodologie de prototypage de systèmes répartis basée sur des langages de description de haut niveau et exploitant la puissance des méthodes formelles à des fins de validation.

Le prototypage comprend aussi les opérations de modélisation, d'analyse du modèle de système, de génération de code en vue d'obtenir un prototype et d'analyse des exécutions de ce prototype. Nous proposons d'encapsuler l'utilisation de méthodes formelles pour que l'utilisateur se concentre sur ses spécifications sans devoir introduire lui-même une représentation formelle. Un niveau semi-formel s'appuie sur une représentation de haut niveau permettant de structurer la spécification. Deux langages sont disponibles pour décrire le modèle conceptuel focalisé sur la vérification (basée sur les Réseaux de Petri Colorés) et le modèle opérationnel dédié à la génération d'applications. La synthèse de spécification permet de passer du ni-

veau semi-formel au niveau formel en préservant la sémantique du modèle initial selon un point de vue lié à la propriété que l'on cherche à vérifier. Les résultats du calcul des propriétés sont exprimés dans les termes des spécifications source. La représentation concep-

tuelle est ensuite transformée en une représentation opérationnelle conforme. La génération de code produit un prototype intégrable dans un environnement d'exécution préexistant. Des optimisations exploitent des propriétés calculées au niveau formel.

Environnement de modélisation, vérification et génération de code

J.-M. ILIÉ, F. KORDON, J.-L. MOUNIER, E. PAVIOT-ADET, D. POITRENAUD, I. VERNIER-MOUNIER

La vérification et le prototypage mettent en œuvre de nombreux outils et doivent facilement interopérer avec ceux qui sont développés dans d'autres laboratoires. Pour faciliter le développement et l'extension des environnements de génie logiciel, nous avons développé FrameKit qui est notre seconde génération de notre plate-forme d'accueil. Elle factorise tous les éléments constituant une plate-forme d'intégration logicielle et facilitant sa diffusion. Elle permet la manipulation de modèles graphiques et hiérarchiques, l'application de services sur ces modèles et le stockage des résultats obtenus et l'administration d'entités comme les utilisateurs, les formalismes et les services. Un environnement produit à partir d'une telle plate-forme d'accueil est paramétré par des formalismes et des outils associés à ces formalismes. FrameKit peut ainsi exporter et importer efficacement des outils et s'adapter à diverses théories.

Depuis longtemps, notre équipe réalise des outils et un environnement accompagnant les avancées théoriques dans le domaine des réseaux de Petri et du prototypage. En tirant profit de FrameKit, nous avons réalisé un environnement de génie logiciel expérimental: CPN-AMI qui permet la coopération d'un des ensembles les plus vastes d'outils de vérification sur ce formalisme. Les outils de CPN-AMI, issus des recherches en vérification formelle sont rassemblés autour de FrameKit et accessibles via l'interface utilisateur Macao. L'ensemble représente environ 500000 lignes de sources dans trois langages de programmation. 40 % de ces sources sont issus de collaborations universitaires (Bell labs, Université technique d'Elsinki, Université de Turin, Université de Munich). CPN-AMI est diffusé via Internet. Cet environnement constitue une base expérimentale importante pour évaluer la pertinence de notre approche sur des cas d'étude de grande taille, issus d'applications industrielles.

PUBLICATIONS SRC

Livres

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

Articles de revues

- (1) M. Boufaïda : "What Courseware Dedicated to Computer Science", In : SIGCSE Bulletin, vol. 28, pp. 8-14, 1996.
- (2) M. Boufaïda, P. Barril : "A Multi-layered Architecture for Managing Graphical Interfaces and Tutoring Mixed-strategy Dialogues", Software, Practice and Experience, vol. 29, pp. 1223-1239, 1999.
- (3) C. Coste, L. Duchien, G. Florin, L. Seinturier : "Les relations d'ordre partiel dans un environnement coopératif : une approche pour définir des protocoles de communication sur groupe", Calculateurs Parallèles, vol. 10, pp. 659-684, 1998.
- (4) L. Duchien, G. Florin, L. Seinturier : "Structures de contrôle pour des comportements répartis", TSI, 2000.
- (5) B. Folliot : "Contribution à une approche système du placement dynamique dans les systèmes répartis hétérogènes", , 1996.
- (6) B. Folliot : "Introduction du numéro thématique placement dynamique et répartition de charge", Calculateurs Parallèles, vol. 8, pp. 7-10, 1996.
- (7) M.-P. Gervais, A. Diagne : "Enhancing Telecommunication Service Engineering with Mobile Agent Technology and Formal Methods", IEEE Communications Magazine, 1998.
- (8) J.-P. Lesot, J.-M. Rifflet : "From Centralized to Distributed CORBA: Experiences and Performances", , 1997.
- (9) Y. H. Mahmoud, B. Folliot, P. Sens : "Simulation et Evaluation de Performances d'un Système de Répartition de Charge", Technique et Science Informatiques, vol. 18, pp. 1005-1028, 1999.
- (10) L. Seinturier : "CAOLAC : un protocole à méta-objets pour la synchronisation d'objets concurrents", L'Objet, vol. 4, pp. 241-272, 1998.
- (11) P. Sens, B. Folliot : "The STAR Fault Manager for Distributed Environments", Software Practice and Experience, 1998.

Chapitres de Livres

- (1) B. Bretelle, T. Terracol, B. Folliot, P. Sens : "Problématique du placement dynamique dans les systèmes répartis à haut débit. Placement dynamique et répartition de charge : Application aux systèmes répartis et parallèles", in Placement à grain fin, vol. Chapitre 3, C. INRIA, Ed., 1997, pp. 197-212.
- (2) P. Folliot, P. Sens : "Load Sharing and Fault Tolerance Manager", in High Performance Cluster Computing: Rajkumar Buyya (ed), Prentice-Hall, 1999, pp. 534-552.

Communications avec actes

- (1) K. Ajami, S. Haddad, and J.-M. Ilié, "Exploiting Symmetry in Linear Time Temporal Logic Model Checking," presented at Proceedings of the European Conference on Theory and Practice of Software, Lisbon, Portugal, 1998, pp. 52-67.
- [2] F. Andres, B. Folliot, P. Cadinot, K. Kaneko, A. Makinouchi, K. Ono, and P. Sens, "The TOSDHIM System Management of Distributed Heterogeneous Multimedia Information," presented at Proceedings of the Eighth International Workshop on Database and Expert Systems Applications, 1997.
- [3] L. Arantes, B. Folliot, and P. Sens, "Problématique de la conception d'une MPR hétérogène," presented at Deuxièmes Journées de Recherche sur Le Placement Dynamique et la Répartition de Charge, 1998.
- [4] L. Arantes, B. Folliot, and P. Sens, "An approach for a Multi-LAN DSM based on lazy release consistency," presented at Proceedings of the third european research Seminar on Advances in Distributed Systems (ERSADS'99), Funchal, Portugal, 1999.
- [5] L. Arantes, B. Folliot, and P. Sens, "A customised logical clock for timestamp-based relaxed consistency DSM systems," presented at The 1999 Workshop on Software Distributed Shared Memory held in conjunction with the 1999 International Conference in SuperComputing, Rhode, Grèce, 1999, pp. 1-6.
- [6] L. Arantes, B. Folliot, and P. Sens, "A node-count independent logical clock for scaling lazy release consistency protocol," presented at Euro-Par'99 - Parallel Processing, Toulouse, France, 1999, pp. 815-822.
- [7] L. Arantes, B. Folliot, and P. Sens, "A proposal for a parallel programming support for Multi-LAN platforms," presented at Proceedings of the 11th Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing, Natal, Brazil, 1999.
- [8] L. Arantes, B. Folliot, and P. Sens, "Une mémoire partagée répartie extensible basée sur la cohérence paresseuse relâchée," presented at 1ère Conférence Française sur les Systèmes d'exploitation, Rennes, France, 1999, pp. 185-196.

- [9] L. Arantes and L. Sato, "CPAR-DSM: a Support for Parallel Programming on Top of DSM," presented at Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, Las Vegas, USA, 1998.
- [10] C. Baillarguet, "MVV : langage & système, plus qu'un mariage de raison.," presented at Journées des Jeunes Chercheurs en Informatiques, Conférence Française des Systèmes d'Exploitations, Rennes, 1999, pp. 247-250.
- [11] I. Bakam, F. Kordon, C. L. Page, and F. Bousquet, "Formalization of a spatialised multiagent model using Coloured Petri nets for the study of an hunting management system," presented at proceedings of Formal Approaches to Agent-Based Systems (LNCS), Greenbelt, MD, USA, 2000.
- [12] M. Bari, "Using ROOM for Designing Embedded Real-Time Systems," presented at 10th IEEE Real Time Conference, Beaune, France, 1997, pp. 483-487.
- [13] K. Barkaoui, J.-M. Ilié, and Y. Maizi, "High Level Formalism for an Efficient Interpretation of Deductive Databases," presented at 4th Maghrebien Conference on Software Engineering and Artificial Intelligence, Alger, Algeria, 1996.
- [14] L. Benalycherif and C. Girault, "Behavioural and Structural Composition Rules Preserving Liveness By Synchronization for Coloured Fifo Nets," presented at Proceedings of the 16th International Conference on Applications and Theory of Petri Nets, Osaka, Japan, 1996, pp. 73-92.
- [15] F. Bergdolt, L. Duchien, G. Florin, and L. Seinturier, "From the Specification to the Debug: a Distributed Application Trace Construction and its Use in a Distributed OO Environment," presented at Proceedings of the 2nd European Research Seminar on Advances in Distributed Systems (ERSADS'97), 1997.
- [16] G. Bernard and B. Folliot, "Problématique du Placement Dynamique et de la Répartition de Charge," presented at Actes de PRS Placement Dynamique et Répartition de Charge, Presqu'Ile de Giens, France, 1996.
- [17] X. Blanc, M. P. Gervais, and R. L. Delliou, "Using the UML Language to express the ODP Enterprise concepts," presented at Proceedings of the 3rd Enterprise Distributed Object Computing Conference, Mannheim, Germany, 1999, pp. 50-59.
- [18] X. Bonnaire and D. Prun, "Flexible Distributed Replay in a Message Server Network Environment," presented at ISCA 9th International Conference on Parallel and Distributed Computing Systems (PDCS), Dijon (France), 1996, pp. 88-93.
- [19] X. Bonnaire and M. C. Riff, "An effective evolutionary algorithm for Space Planing Problem," presented at Third Metaheuristics International Conference MIC'99, Brasil, 1999, pp. 417-422.
- [20] L. Bonnet, L. Duchien, G. Florin, and L. Seinturier, "Some Specification Steps of a Spanning Tree Algorithm with an Object-Oriented Approach," presented at Proceedings of the 1st IFIP Workshop on Formal Methods for Open Object-Based Distributed Systems (FMOODS'96), 1996, pp. 115-131.
- [21] L. Bonnet, L. Duchien, G. Florin, and L. Seinturier, "Spanning Tree Object-Oriented Distributed Algorithm: Specification and Proof," presented at Proceedings of the Method Integration Workshop (MIW'96), 1996.
- [22] C. Boutros Saab and X. Bonnaire, "Architecture d'Observation à Granularité Variable," presented at Journée des Jeunes Chercheurs en Système (JCS'99), CFSE'1, ACM-SIGOPS, Rennes, 1999.
- [23] B. Bretelle, "Approche multi-critère pour la migration de tâches dans une mémoire partagée répartie," presented at Journées des jeunes chercheurs en systèmes informatiques, Rennes, 1999.
- [24] B. Bretelle and B. Folliot, "Placement dynamique d'applications parallèles communicantes dans les mémoires partagées réparties," presented at 2èmes Journées de Recherche sur le Placement Dynamique et la Répartition de Charge, GDR ARP/CNRS, Lille, 1998.
- [25] B. Bretelle, T. Terracol, B. Folliot, and P. Sens, "Placement dynamique dans les systèmes répartis à haut débit," presented at Ecole d'Eté CNRS & PRS sur le placement dynamique, Presqu'Ile de Giens (France), 1996, pp. 255-262.
- [26] B. Bretelle, T. Terracol, B. Folliot, and P. Sens, "Problématique du Placement Dynamique dans les Systèmes Répartis à Haut Débit," presented at Actes des 8ièmes Rencontres Francophone du Parallélisme, Bordeaux, France, 1996.
- [27] D. Buchs, A. Diagne, and F. Kordon, "Testing Prototypes Validity to Enhance Code Reuse," presented at proceedings of the 9th International Workshop on Rapid System Prototyping, Leuven, Belgium, 1998, pp. 6-12.
- [28] P. Cadinot and D. Collard, "Maïs: un mécanisme de pagination en mémoire distante dans un réseau à haut débit, implémentation et évaluation," presented at Acte de la Conférence Française sur les Systèmes d'Exploitation, 1999, pp. 243-246.
- [29] P. Cadinot, N. Dorta, B. Folliot, and P. Sens, "Swap réparti," presented at Actes des Journées de Recherche sur la Mémoire Partagée Répartie, Bordeaux, France, 1996.
- [30] L. Capra, C. Dutheillet, G. Franceschinis, and J.-M. Ilié, "Towards Performance Analysis with Partially Symmetrical SWN," presented at Proceeding of MASCOT'99, Int Symp. on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems, 1999.
- [31] S. Castiel and W. E. Kaïm, "Interoperability and Performance of an Object Distributed Application Based on Corba," presented at Proceedings of the International Conference On principles of Distributed Systems, Chantilly, France, 1997.
- [32] P. Chevochot, J.-P. Lesot, and J.-M. Rifflet, "Mesure du temps comme méthode à l'évaluation de la charge multi-critères en environnement hétérogène," presented at Actes RenPar'8, Bordeaux, France, 1996, pp. 218.

- [33] D. Collard, "Approche multicritères pour le placement d'applications parallèles," presented at Acte de la Conférence Française sur les Systèmes d'Exploitation, 1999, pp. 233-236.
- [34] E. Commelin, "Des Objets Actifs pour la Programmation des Systèmes Embarqués et Mobiles," presented at Revue Electronique sur les Reseaux et l'informatique Répartie, 1997.
- [35] E. Commelin and P. Darche, "ActPL : un modèle acteur adapté à la programmation des systèmes embarqués," presented at Actes du Congrès Rencontres Francophones RenPar8, Bordeaux, France, 1996.
- [36] C. Coste, L. Duchien, G. Florin, and L. Seinturier, "Différentes Approches des Relations d'Ordre dans un Environnement Coopératif," presented at Actes des Journées de Recherche sur le Contrôle Réparti dans les Applications Coopératives (CRAC'96), 1996, pp. 17-22.
- [37] J.-M. Couvreur, S. Grivet, and D. Poitrenaud, "Designing a LTL Model-Checker based on Unfolding Graphs," presented at Proceedings of the 21th International Conference on Applications and Theory of Petri Nets, Aarhus, Denmark, 2000.
- [38] J.-M. Couvreur and D. Poitrenaud, "Model Checking based on Occurrence Net Graph," presented at Proceedings of the 9th International Conference on Formal Description Techniques for Distributed Systems and Communication Protocols, Kaiserslauter, Germany, 1996, pp. 380-396.
- [39] J.-M. Couvreur and D. Poitrenaud, "Detection of Illegal Behaviours Based on Unfoldings," presented at Proceedings of the 20th International Conference on Application and Theory of Petri Nets, Williamsburg, Virginia, USA, 1999, pp. 364-383.
- [40] P. Darche, P.-G. Raverdy, and E. Commelin, "ActNet: The Actor Model Applied to Mobile Environments," presented at Object-Based Parallel and Distributed Computation, 1996.
- [41] J.-F. Dauchez and M.-P. Gervais, "An ODP-based Environment to Design Telecommunications Services," presented at Proceedings of the 6th International Conference on Intelligence in Networks, 2000.
- [42] F. Derrough-Darche, "Set Differentiation: A Method for the Automatic Generation of Filtering Algorithms," presented at Proceedings of the 11th Knowledge-Based Software Engineering Conference, 1996.
- [43] A. Diagne and P. Estrailier, "Formal Specification and Design of Distributed Systems," presented at Proceedings of the Formal Methods for Object-based Open Distributed Systems, Paris, France, 1996.
- [44] A. Diagne, P. Estrailier, M.-P. Gervais, and I. Vernier, "Formal Design of Telecommunication Systems," presented at Proceedings of the Object-Based Parallel and Distributed Computation France-Japan Workshop, Toulouse, France, 1997.
- [45] A. Diagne, P. Estrailier, and F. Kordon, "Quality Management Issues along Life-cycle of Distributed Applications," presented at Proceedings of CARI'98, Dakar, Sénégal, 1998, pp. 753-763.
- [46] A. Diagne and M. P. Gervais, "Building Telecommunications Services as Qualitative Multi-Agents Systems: the ODAC project," presented at Proceedings of the IEEE Globecom'98, Sydney, Australia, 1998.
- [47] A. Diagne, J.-M. Ilié, and D. Moldt, "Integration of Semi-Formal and Formal Approaches," presented at 11th Conference on Object-Oriented Programming, ECOOP'97, Jyväskylä, Finland, 1997.
- [48] A. Diagne and F. Kordon, "A multi formalisms prototyping approach from formal description to implementation of distributed systems," presented at Proceedings of the 7th IEEE International Workshop on Rapid System Prototyping, Saloniki, Greece, 1996.
- [49] A. Diagne, D. Moldt, and J.-M. Ilié, "Verification and Validation Techniques to Use UML for the Specification of Reactive Systems," presented at Hawaiian International Conference on System Sciences, Hawaii, 1998.
- [50] L. Duchien and L. Seinturier, "Reflective Observation of CORBA Applications," presented at Proceedings of the 11th IASTED International Conference on Parallel and Distributed Applications and Systems, 1999.
- [51] P. Estrailier and F. Kordon, "Structuration of large scale Petri nets : an association with higher level formalisms for the design of multi-agent systems," presented at Proceedings of the International Conference on Systems, Man and Cybernetics Information, Intelligence and Systems, Beijing, China, 1996.
- [52] P. Estrailier and F. Kordon, "Structuration of Large Scale Petri Nets: an Association with Higher Level Formalisms for the Design of Multi-agent Systems," presented at Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Beijing, China, 1996, pp. 3198-3203.
- [53] K. Fislser and C. Girault, "Modeling and Model Checking of a Shared Memory Consistency Protocol," presented at Proceedings of the 18th International Conference on Applications and Theory of Petri Nets, Lisboa, Portugal, 1998, pp. 84-103.
- [54] B. Folliot, D. Cailliau, I. Piumarta, and R. Bellenger, "PLERS : Plateforme Logiciel Embarqué Reconfigurable pour Satellites - Application au satellite Corot," presented at Actes RenPar'12, 2000.
- [55] B. Folliot, C. Girault, P. Sens, and P.-G. Raverdy, "Proceedings of the Resource Allocation for Parallel Applications, From Local Area Networks to Multi-clustered High-speed Networks," presented at IFIP W. G.10.3 Workshop, Paris, France, 1996.
- [56] B. Folliot, I. Piumarta, and F. Riccardi, "A Dynamically Configurable, Multi-language Execution Platform," presented at Proc. of the 8th ACM SIGOPS European Workshop, Sintra, Portugal, 1998, pp. 175-181.
- [57] B. Folliot, I. Piumarta, and L. Seinturier, "Reflective and Middleware Features of the VVM," presented at Proceedings of the Reflective Middleware workshop at the IFIP/ACM International Conference on Distributed Systems Platforms and Open Distributed Processing, New York, USA, 2000.

- [58] B. Folliot and P.-G. Raverdy, "Adaptative Partitionning and Dynamic Allocation for Large Computing Systems," presented at Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed processing Techniques and Applications, Sunnyvale, USA, 1996.
- [59] M.-P. Gervais and A. Diagne, "Formalization of Service Creation in Intelligent Network," presented at Proceedings of the 4th International Conference on Intelligence in Networks, Bordeaux, France, 1996, pp. 90-95.
- [60] M.-P. Gervais and A. Diagne, "Service Creation Using Agent Technology and Formal Methods," presented at 7th IEEE International Workshop on Intelligent Networks, Bordeaux, France, 1998.
- [61] M.-P. Gervais and B. Jabbari, "A Framework for Mobility in Wireless Personal Communications," presented at Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, Dallas, Texas, USA, 1996, pp. 1148-1152.
- [62] M.-P. Gervais and N. Ruffel, "Coupling Software Agent Technology and Formal Methods for the Production of Telecommunication Services," presented at IEEE International Workshop on Quality and Productivity for Communications, Ojai Valley, USA, 1997.
- [63] M.-P. Gervais and N. Ruffel, "Design of Telecommunication Service Based on Software Agent Technology and Formal Methods," presented at Proceedings of the IEEE Globecom'97, Phoenix, USA, 1997, pp. 1724-1728.
- [64] M. P. Gervais, "La technologie agent et les télécommunications," presented at 2ème colloque francophone sur la gestion de réseau et de service, Rennes, France, 1997, pp. 173-184.
- [65] S. Haddad, J.-M. Ilié, M. Taghelit, and C. Duthellet, "Contribution des réseaux de Petri de haut-niveau à la validation d'un réseau de communication haut-débit," presented at Techniques et Sciences Informatiques, 1997.
- [66] S. Haddad and D. Poitrenaud, "Theoretical Aspects of Recursive Petri Nets," presented at Proceedings of the 20th International Conference on Application and Theory of Petri Nets, Williamsburg, Virginia, USA, 1999, pp. 228-247.
- [67] S. Haddad and D. Poitrenaud, "Modelling and Analyzing Systems with Recursive Petri Nets," presented at 5th Workshop on Discrete Event Systems, WODES'2000, Ghent, Belgium, 2000.
- [68] J.-M. Ilié and K. Ajami, "Model Checking through Symbolic Reachability Graph," presented at Theory and Practice of Software Development, TAPSOFT'97, Lille, France, 1997, pp. 213-224.
- [69] W. E. Kaïm and J.-M. Menaud, "VODEL : Un langage de description d'applications parallèles à granularités variables," presented at Actes du PRS Placement Dynamique et Répartition de Charge, Presqu'île de Giens, France, 1996.
- [70] C. Khoury and B. Folliot, "Environnement de programmation actif pour la mobilité," presented at Actes de la conf. Jeunes chercheurs en systemes, GDR ARP et ASF, Besançon, France, 2000.
- [71] F. Kordon, "MetaScribe, an Ada-based Tool for the Construction of Transformation Engines," presented at proceedings of the International Conference on Reliable Software Technologies - Ada-Europe'99, Santander, Spain, 1999, pp. 308-319.
- [72] F. Kordon and J.-L. Mounier, "FrameKit and the prototyping of CASE environments," presented at proceedings of the 8th International Workshop on Rapid System Prototyping, Raleigh-Durham, USA, 1997, pp. 91-97.
- [73] F. Kordon and J.-L. Mounier, "FrameKit, an Ada Framework for a Fast Implementation of CASE Environments," presented at Proceedings of the ACM/SIGAda ASSET'98 Symposium, Monterey, USA, 1998, pp. 42-51.
- [74] F. Kordon and J.-L. Mounier, "FrameKit: A Generic Platform offering High-Level Standardization Procedure for the Prototyping of CASE Environments," presented at Proceedings of GL'98, Paris, France, 1998.
- [75] F. Kordon and J.-L. Mounier, "Implementation of Genericity for customizable CASE environments," presented at Proceedings of CARI'98, Dakar, Sénégal, 1998, pp. 765-776.
- [76] F. Kordon and E. Paviot-Adet, "Using CPN-AMI to validate a safe channel protocol," presented at Toolset Proceedings of the International Conference on Theory and Applications of Petri Nets, Williamsburg, Virginia, USA, 1999.
- [77] F. Kordon, N. Poizot, G. Filliatreau, and C. Kordon, "BioMedScape: a Web based Environment for Diffusion and Analysis of Research Data in Discrete Areas of Life-Sciences," presented at Proceedings of the thirteenth International Conference on Computer Communication, Cannes, France, 1997, pp. 149-154.
- [78] I. Labed and P. Barril, "Towards a Model Supporting Synchronization of Multimedia Data and Cost Estimation," presented at Proceedings of the 4th International Symposium on Programming and Systems, Alger, Algérie, 1999, pp. 42-51.
- [79] Y. H. Mahmoud and B. Folliot, "Comparaison du Placement et de la Migration dans un Systeme de Repartition de Charge," presented at Deuxieme Journees de Recherche sur le Placement Dynamique et la Repartition de Charge, Lille, France, 1998.
- [80] Y. H. Mahmoud and B. Folliot, "Modele d'un Systeme de Repartition de Charge pour l'Etude des Performances du Placement Dynamique," presented at Rencontres Francophones du Parallelisme des Architectures et des Systemes, Strasbourg, France, 1998.
- [81] Y. H. Mahmoud and B. Folliot, "Queuing Network Model for Load Balancing in a Heterogeneous Distributed System," presented at Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, Las Vegas, USA, 1998.
- [82] Y. H. Mahmoud, B. Folliot, and P. Sens, "Performance Evaluation of a Load Sharing System on a Cluster of Workstations," presented at Proceeding of the International Conference on High Performance Computing, Calcutta, Indes, 1999.

- [83] Y. H. Mahmoud, B. Folliot, and P. Sens, "Quantifying the Performance Improvement of Migration Mechanism in Load Distributing Systems," presented at Proceedings of International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, Las Vegas, USA, 1999.
- [84] F. Mevel and J. Simon, "Distributed communication services in the Masix system," presented at Proceedings of the 15th International Conference on Computers and Communications, Phoenix, 1996, pp. 172-178.
- [85] F. Mevel and J. Simon, "Secure Communication Services in the Masix Distributed Operating System," presented at Proceedings of the NETWORKS, Orlando, 1996, pp. 5-9.
- [86] R. Pawlak, L. Duchien, G. Florin, L. Martelli, and L. Seinturier, "Distributed Separation of Concerns with Aspects Components," presented at Proceedings of TOOLS Europe 2000, Mont Saint-Michel, France, 2000.
- [87] R. Pawlak, L. Duchien, L. Seinturier, P. Champagnoux, D. Enselme, and G. Florin, "A Reflective Implementation of a Distributed Programming Model," presented at Workshop on Reflective Object-Oriented Programming and Systems at ECOOP'98, 1998.
- [88] R. Pawlak, L. Seinturier, L. Duchien, G. Florin, and L. Martelli, "Towards a Language for Groups of Distributed Objects," presented at Proceedings of the Reflective Middleware workshop at the IFIP/ACM International Conference on Distributed Systems Platforms and Open Distributed Processing, New York, USA, 2000.
- [89] I. Piumarta, "CCG: a tool for writing dynamic code generators," presented at OOPSLA'99 Workshop on simplicity, performance and portability in virtualmachine design, Denver, Colorado, USA, 1999.
- [90] I. Piumarta, B. Folliot, L. Seinturier, C. Baillarguet, and C. Khoury, "Highly configurable operating systems: the VVM approach," presented at ECOOP'2000 Workshop on Object Orientation and Operating Systems, Cannes, France, 2000.
- [91] D. Poitrenaud and J.-F. Pradat-Peyre, "Pre and post-agglomerations for LTL model checking," presented at Proceedings of the 21th International Conference on Applications and Theory of Petri Nets, Aarhus, Denmark, 2000.
- [92] F. Popentiu and P. Sens, "A Software Architecture for Monitoring the Reliability in Distributed Systems," presented at Proceedings of European Safety and Reliability Conference, Munich, Allemagne, 1999.
- [93] D. Prun and P. Barril, "Observation du contrôle dans les applications distribuées," presented at Actes de la Rencontre Francophone sur le Parallélisme, Bordeaux, France, 1996.
- [94] D. Prun and P. Barril, "Observation du contrôle dans les applications multi-agents," presented at Actes des Journées PRS sur le contrôle réparti dans les applications coopératives, Paris, France, 1996, pp. 59-64.
- [95] P.-G. Raverdy, P. Darche, and B. Folliot, "Distributed Data and Information Networks, Dynamic Management of Cooperative Applications for Mobile Systems," presented at Proceedings of the The Information Revolution: Impact on Science and Technology, 1996, pp. 141-148.
- [96] D. Regep and F. Kordon, "Using MetaScribe to prototype an UML to C++/Ada95 code generator," presented at proceedings of the 11th IEEE International Workshop on Rapid System Prototyping, Paris, France, 2000.
- [97] N. Ruffel and M.-P. Gervais, "Un modèle d'interactions orienté-agent pour la conception de services de télécommunications," presented at 5èmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents, La Colle-sur-Loup, France, 1997, pp. 86.
- [98] C. B. Saab and X. Bonnaire, "Architecture d'observation à granularité variable pour le placement d'applications scientifiques," presented at JCS'99, Journée des jeunes chercheurs en systèmes, Rennes, France, 1999.
- [99] Z. Sahnoun, M. Boufaïda, and P. Barril, "A Multi-Agent Based Model for the Software Engineering Process," presented at Software Quality Engineering, Udine, Italy, 1997, pp. 103-112.
- [100] Y. Saito, E. Hoffman, B. Bershad, H. Levy, D. Becker, and B. Folliot, "The Porcupine Scalable Mail Server," presented at Proc. of the 8th ACM SIGOPS European Workshop, Sintra, Portugal, 1998, pp. 48-52.
- [101] L. Seinturier, "A Language for Distributed Behavior Design of Cooperative Applications," presented at Workshop for Doctoral Students at ECOOP'96, 1996.
- [102] L. Seinturier, "Un Langage de Coordination pour les Applications Coopératives," presented at Actes des 9ème Rencontres Francophones du Parallélisme (RenPar'9), 1997, pp. 145-148.
- [103] L. Seinturier, "JST: An Object-Synchronization Aspect for Java," presented at Proceedings of the Workshop on Aspect-Oriented Programming at the 13th European Conference on Object-Oriented Programming (AOP/ECOOP'99), 1999.
- [104] L. Seinturier and L. Duchien, "Group Behavior Patterns in an Object-Oriented Methodology for Distributed Applications," presented at Workshop on Methodologies for Distributed Objects at OOPSLA'96, 1996.
- [105] L. Seinturier, L. Duchien, and G. Florin, "A Meta-Object Protocol for Distributed OO Applications," presented at Proceedings of TOOLS 23, Santa Barbara, Ca, 1997.
- [106] L. Seinturier, A. Laurent, B. Dumant, E. Gressier-Soudan, and F. Horn, "A Framework for Real-Time Communication Based Object Oriented Industrial Messaging Services," presented at Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'99), 1999.
- [107] P. Sens and B. Folliot, "Performance Evaluation of Fault Tolerance for Parallel Applications in Networked Environments," presented at Proceedings of 26th International Conference on Parallel Processing, 1997, pp. 334-341.
- [108] P. Sens, F. Popentiu-Valdicesdu, and M. Adrian, "Software Reliability Forecasting for Adapted Fault Tolerance Algorithms," presented at Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, 1998.

- [109] M. Taghelit, S. Haddad, and P. Sens, "A Structural Approach to Design Reliable Distributed Applications," presented at Proceedings of 2nd European Research Seminar on Advances in Distributed Systems, 1997.
- [110] M. Taghelit, P. Sens, and K. Foughali, "A New Scheme for the Provision of Reliable Access to Network Services," presented at Proceedings of the International Conference on Telecommunications, 1998.
- [111] I. Vernier, "Symbolic executions of symmetrical parallel programs," presented at Proceedings of the 4th Euromicro Workshop on Parallel and Distributed Processing, Braga, Portugal, 1996, pp. 327-334.
- [112] N. Zakhama and P. Estrailier, "Formal distributed heterogeneous prototyping : a perspective for system continuous development," presented at Proceedings of the Telecommunication Distribution Parallelism, L'Agelonde, 1996.

Autres publications

- (1) K. Ajami, S. Haddad, J.-M. Ilié : "Exploiting Symmetry in Linear Time Temporal Logic Model Checking: One Step Beyond", Rapport de Recherche LIP6 1998/020, Université Paris 6 - CNRS - Laboratoire d'informatique de Paris 6, Paris, France, May 1998.
- (2) K. Ajami, J.-M. Ilié : "An Automatique Technique for CTL* Model Checking", Rapport de Recherche LIP6 1997/017, Université Paris 6 - CNRS - LIP6, Paris, France, September 1997.
- (3) X. Blanc, M.-P. Gervais, R. Le-Delliou : "Using the UML Language to Express the ODP Enterprise Concepts", Rapport de Recherche LIP6 1999/024, Université Paris 6 - CNRS - Laboratoire d'informatique de Paris 6, Paris, France, November 1999.
- (4) B. Bretelle, I. Guerin-Lassous, E. Thierry : "Implantation d'un algorithme parallèle de traitement de graphes", Poster 9èmes Rencontres Francophones du Parallélisme, Lausanne (Suisse) 1997.
- (5) B. Bretelle, T. Terracol, B. Folliot, P. Sens : "Gestion des Ressources dans les Systèmes Répartis à Haut Débit", Poster 8èmes Rencontres Francophones du Parallélisme, Bordeaux 1996.
- (6) D. Buchs, A. Diagne, F. Kordon : "Testing Prototypes Validity to Enhance Code Reuse", Rapport de Recherche LIP6 1998/017, Université Paris 6 - CNRS - LIP6, Paris, France, April 1998.
- (7) P. Cadinot, N. Dorta, B. Folliot, P. Sens : "Mécanisme de va-et-vient réparti en mémoire dans un environnement réseau à haut débit", Rapport de recherche 96/14, IBP-MASI, May 1996.
- (8) J.-M. Couvreur, D. Poitrenaud : "Model checking based on occurrence net graph", Rapport de recherche 96/06, IBP-MASI, April 1996.
- (9) J.-F. Dauchez, M.-P. Gervais : "Specifying and verifying the behavior of telecommunications services", Rapport de Recherche LIP6 1999/025, Université Paris 6 - CNRS - Laboratoire d'informatique de Paris 6, Paris, France, November 1999.
- (10) A. Diagne : "Architectural Concepts for Agent Paradigm~: A Way to Separate Concerns in Open Distributed Systems", Rapport de Recherche LIP6 1997/004, Université Paris 6 - CNRS - LIP6, Paris, France, May 1997.
- (11) A. Diagne, P. Estrailier : "A Component-based Framework for the Specification, Verification and Validation of Open Distributed Systems", Rapport de Recherche LIP6 1997/037, Université Paris 6 - CNRS - LIP6, Paris, France, December 1997.
- (12) A. Diagne, P. Estrailier, F. Kordon : "Quality Management Issues along Life-cycle of Distributed Applications", Rapport de Recherche LIP6 1998/025, Université Paris 6 - CNRS - Laboratoire d'informatique de Paris 6, Paris, France, June 1998.
- (13) A. Diagne, P. Estrailier, F. Kordon, I. Vernier, J. Cazin, M. Doche, C. Seguin, V. Wiels : "Spécification et Validation Modulaires de Systèmes Avioniques : Projet FORMA - Opération VaMos, Rapport Final", Rapport de recherche 4/3599.00/DERI, ONERA - CERT, 2, avenue Edouard Belin, BP 4025, 31055 Toulouse, cedex 04 1997.
- (14) A. Diagne, M.-P. Gervais : "Building Telecommunications Services as Qualitative Multi-Agent Systems: the ODAC Project", Rapport de Recherche LIP6 1998/033, Université Paris 6 - CNRS - Laboratoire d'informatique de Paris 6, Paris, France, July 1998.
- (15) A. Diagne, F. Kordon : "From Formal Specification to Optimized Implementation of Distributed Systems~: A Multi-Formalism Approach", Rapport de Recherche LIP6 1997/039, Université Paris 6 - CNRS - LIP6, Paris, France, December 1997.
- (16) B. Folliot, P. Sens, P.-G. Raverdy : "Plate-forme de répartition de charge et de tolérance aux fautes pour applications parallèles en environnement réparti", Rapport de recherche 96/01, IBP-MASI, February 1996.
- (17) M.-P. Gervais, A. Diagne : "Formalization of Service Creation in Intelligent Network", Rapport de Recherche LIP6 1997/012, Université Paris 6 - CNRS - LIP6, Paris, France, July 1997.
- (18) M.-P. Gervais, A. Diagne : "Enhancing Telecommunication Service Engineering with Mobile Agent Technology and Formal Methods", Rapport de Recherche LIP6 1997/036, Université Paris 6 - CNRS - LIP6, Paris, France, December 1997.
- (19) M.-P. Gervais, B. Jabbari : "A framework for mobility in wireless personal communications", Rapport de recherche 96/08, IBP-MASI, April 1996.
- (20) M.-P. Gervais, N. Ruffel : "Design of Telecommunication Services Based on Software Agent Technology and Formal Methods", Rapport de Recherche LIP6 1997/013, Université Paris 6 - CNRS - LIP6, Paris, France, July 1997.

- (21) S. Haddad, D. Poitrenaud : "Decidability and Undecidability Results for Recursive Petri Nets", Rapport de Recherche LIP6 1999/019, Université Paris 6 - CNRS - Laboratoire d'informatique de Paris 6, Paris, France, September 1999.
- (22) F. Kordon : "Enregistrement des services dans la plate-forme d'accueil FrameKit", Rapport de Recherche LIP6 1998/038, Université Paris 6 - CNRS - Laboratoire d'informatique de Paris 6, Paris, France, July 1998.
- (23) F. Kordon : "MetaScribe : un outil pour la génération de moteurs de réécriture", Rapport de Recherche LIP6 1998/037, Université Paris 6 - CNRS - Laboratoire d'informatique de Paris 6, Paris, France, July 1998.
- (24) F. Kordon, J.-L. Mounier : "FrameKit and the Prototyping of CASE Environments", Rapport de Recherche LIP6 1997/001, Université Paris 6 - CNRS - LIP6, Paris, France, May 1997.
- (25) F. Kordon, J.-L. Mounier : "FrameKit, an Ada Framework for a Fast Implementation of CASE Environments", Rapport de Recherche LIP6 1998/034, Université Paris 6 - CNRS - Laboratoire d'informatique de Paris 6, Paris, France, July 1998.
- (26) F. Kordon, J.-L. Mounier : "Implementation of Genericity for Customizable CASE Environments", Rapport de Recherche LIP6 1998/026, Université Paris 6 - CNRS - Laboratoire d'informatique de Paris 6, Paris, France, June 1998.
- (27) J.-P. Lesot : "De l'amélioration des performances par la réplication des objets : une approche par estampillage", Thèse de Doctorat de l'Université Paris 6 LIP6 1999/006, Université Paris 6 - CNRS - Laboratoire d'informatique de Paris 6, Paris, France, March 1999.
- (28) J.-P. Lesot, J.-M. Rifflet : "Estampilles d'Ordonnancement~: Principes & Utilisations", Rapport de Recherche LIP6 1998/001, Université Paris 6 - CNRS - LIP6, Paris, France, February 1998.
- (29) P.-G. Raverdy, P. Darche, B. Folliot : "Dynamic management of cooperative applications for mobile systems", Rapport de recherche 96/13, IBP-MASI, May 1996.
- (30) L. Seinturier, L. Duchien : "Observation of Distributed Computations: a Reflective Approach for CORBA", Rapport de Recherche LIP6 1999/028, Université Paris 6 - CNRS - Laboratoire d'informatique de Paris 6, Paris, France, December 1999.
- (31) I. Vernier : "Symbolic executions of symmetrical parallel programs", Rapport de recherche 96/15, IBP-MASI, May 1996.
- (32) I. Vernier : "Model Checking and Parameterized Distributed Systems", Rapport de Recherche LIP6 1997/011, Université Paris 6 - CNRS - LIP6, Paris, France, July 1997.



FORMATION PAR LA RECHERCHE SRC

Habilitations

- (1) B. Folliot : "Contribution à une approche système du placement dynamique dans les systèmes répartis hétérogènes", Habilitation à diriger des Recherches, Université Paris 6, 09/12/1996.
- (2) M.-P. U. P. Gervais : "Construction et Fonctionnement : d'Applications Réparties ouvertes : Application aux services de Télécommunication", Habilitation à diriger des Recherches, 15/12/1998.
- (3) F. Kordon : "Prototypage d'applications coopératives réparties et d'environnements de génie logiciel.", Habilitation à diriger des Recherches, Université Paris 6, 02/12/1998.

Thèses

- (1) A. Baggio : "références vers objets répliqués dans un système réparti", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 02/06/1999, encadrée par C. Girault.
- (2) C. Ben Achour : "Extraction des besoins par Analyse de Scénarios Textuels", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 29/01/1999, encadrée par C. Rolland.
- (3) M. Bénalychérif : "Méthodes d'Analyse des Systèmes de Processus Communicants Modélisés en Réseaux de Petri Files", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 18/12/1998, encadrée par C. Girault.
- (4) X. Bonnaire : "Architecture, Mécanismes et Outils pour la conception d'applications réparties "Hautement Administrables"", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 15/12/1998, encadrée par P. Estraillier.
- (5) J. Boulos : "Optimisation et evaluation des performances des systèmes de bases de données", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 22/07/1996, encadrée par C. Girault.
- (6) B. Bretelle : "Placement dynamique multicritère dans les systèmes à mémoires virtuelles partagées réparties", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 17/12/1999, encadrée par B. Folliot.
- (7) G. Brun-Cottan : "Cohérence de données répliquées partagées par un groupe de processus coopérant à distance", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 30/09/1998, encadrée par C. Girault.
- (8) E. Commelin : "Des objets actifs rélexifs pour la programmation des applications réactives.", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 18/09/1998, encadrée par B. Folliot.
- (9) D. Conan : "Tolérance aux fautes par recouvrement arrière dans les systèmes informatiques répartis", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 09/09/1996, encadrée par C. Girault.
- (10) M. Coriat : "Une méthode d'analyse de systèmes distribués basée sur le concept d'agent et de Réseau de Petri", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 27/11/1996, encadrée par P. Estraillier.
- (11) A. Diagne : "Une approche multi-formalismes de spécification de systèmes répartis : Transformation de composants modulaires en réseaux de Petri colorés", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 02/06/1997, encadrée par P. Estraillier.
- (12) W. El Kaim : "Méthodologie de structuration, de placement et d'exécution de composants logiciels dans les applications distribuées. mise en oeuvre avec des applications construites selon le paradigme client serveur", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 10/12/1997, encadrée par P. Estraillier.
- (13) Y. Haj Mahmoud : "Modèles et simulation d'équilibrage de charge pour des systèmes répartis hétérogènes", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 08/03/1999, encadrée par B. Folliot.
- (14) N. Hubart : "Observation et mise au point pour calculateur distribué temps réel critique", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 01/07/1997, encadrée par C. Girault.
- (15) O. Kapitskaia : "Traitement de requêtes dans les systèmes d'intégration des sources de données distribuées", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 16/11/1999, encadrée par P. Valduriez.
- (16) B. Langou : "Recherche d'itinéraire dans une base de données géographiques : proposer un langage de définition, de données", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 29/01/1998, encadrée par M. Mainguenaud.
- (17) J. P. Lesot : "Répartition de charge et tolérance aux fautes sur micro-noyaux hétérogènes", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 11/03/1999, encadrée par J.-M. Rifflet.
- (18) J. Maisonneuve : "Hobbes : un mécanisme de liaison de références réparties", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 07/10/1996, encadrée par C. Girault.
- (19) D. Poitrenaud : "Graphes de processus arborescents pour la vérification de propriétés", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 12/12/1996, encadrée par C. Girault.
- (20) D. Prun : "Méthodologie de conception de composants logiciels Coopératifs : une approche pour l'observation, la mise au point et la maintenance évolutive d'applications réparties", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 09/03/1998, encadrée par P. Estraillier.
- (21) S. Rodriguez : "Simulateur logiciel pour l'analyse de la sûreté de fonctionnement appliquée à des systèmes industriels", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 16/12/1999, encadrée par A. Caron.



ANIMATION DE LA RECHERCHE SRC

Activités éditoriales

rédacteur de revue et membres de comités de lecture

Folliot, B.

- "Calculateurs Parallèles Réseaux et Systèmes Répartis", (depuis 1996), Hermès, ISSN 1260-3198.
- "Placement dynamique et répartition de charge", (avec Chassin de Kergommeaux, J. Roucairol eds.), CalculateursParallèles, 8(1), 1996.
- "Réseaux à haut débit de stations pour le support d'applications parallèles et réparties", (avec Tourancheau eds.), Calculateurs Parallèles, Réseaux et Systèmes Répartis, 10(1), 1998.

Seinturier, L.

- numéro spécial: "Évolution des plates-formes orientées objets répartis", Calculateurs Parallèles, Hermès

Gervais, M.-P.

- revue Technique et Science Informatiques (TSI), depuis 1999

Éditeur d'actes de congrès ou d'ouvrages collectifs

Folliot, B.

- "Placement dynamique et répartition de charge, Applications aux systèmes répartis et parallèles". (avec Bernard, G., Chassin de Kergommeaux, J., Roucairol, C. Eds.), INRIA, xii+287 pages, ISBN 2 7261 1057 6, 1997

Kordon, F.

- "Special issue Design and Automation for Embedded Systems" (august 2000), (avec Muller-Glaser, K.)

Rédacteur associé à une revue

Girault, C.

- "Computacion y Sistemas" Journal

Organisation scientifique de congrès et colloques

Folliot, B.

- Ecole d'Été thématique du CNRS GDR-PRS, Placement Dynamique et la Répartition de Charge: Application aux Systèmes Répartis et Parallèles, Giens, juillet 1996. (avec Bernard, G., Chassin de Kergommeaux, J., Roucairol, C.)
- 2èmes Journées de Recherche sur le Placement Dynamique et la Répartition de Charge: Application aux Systèmes Répartis et Parallèles, Université de Lille I, mai 1998. (avec Geib, J.-M., Roucairol, C.)

Girault, C.

- membre du Petri Nets Steering Committee

Kordon, F.

- Organisateur de RSP'2000 (Rapid System Prototyping)

Sens, P.

- Organisateur de JCS'99: journée des jeunes chercheurs en système, Rennes, Mai, 1999
- Co-organisateur avec Folliot, B de CFSE'2001 : 2ème Conférence Française sur les Systèmes d'Exploitation, Paris avril 2001

Président de conférence

Barril, P.

- Journées GDR-PRS sur "contrôle réparti dans les applications coopératives (CRAC'96), Paris, mai 1996

Kordon, F.

- RSP'2000 (Rapid System Prototyping)

Membre de comités 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.

Folliot, B.

- Journées de Recherche sur la Mémoire Partagée et Répartie, Bordeaux, mai 1996.
- 8ème Rencontres Francophones du Parallélisme, RenPar,8, Bordeaux, mai 1996.
- École d'Été CNRS & PRS Placement Dynamique et la Répartition de Charge: Application aux Systèmes Répartis et Parallèles, Presqu'île de Giens, juillet 1996.
- Journées sur la Conception de Systèmes Adaptatifs et Spécialisables, Rennes, avril 1997.
- 9ème Rencontres Francophones du Parallélisme, RenPar,9, Lausanne, Suisse, mai 1997.
- 17th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems, ICDCS,97, Performance of Distributed Systems, Baltimore, mai 1997.
- DEXA Workshop on Query Processing in Multimedia Information Systems, Toulouse, France, septembre 1997.
- 2nd DEXA Workshop on Query Processing in Multimedia Information Systems, Vienne, Autriche, septembre 1998.
- International Symposium on Automatic Control and Computer Science, SACCS,98, Iasi, Roumanie, novembre 1998.
- 2ème Journées de Recherche sur le Placement Dynamique et la Répartition de Charge: Application aux Systèmes Répartis et Parallèles, Lille, mai 1998.
- 10ème Rencontres Francophones du Parallélisme, RenPar,10, Strasbourg, juin 1998.
- 11ème Rencontres Francophones du Parallélisme, RenPar,11, Rennes, juin 1999.
- 1ère Conférence Française sur les Systèmes d'Exploitation, CFSE, Rennes, juin 1999.
- 12ème Rencontres Francophones du Parallélisme, RenPar,12, Besançon, juin 2000.
- Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing, Sao Paulo, Brésil, octobre 2000.

Gervais, M.-P.

- congrès francophone GRES (Gestion de Réseau et de Service), depuis 1995
- comité scientifique de la 1ère Université des Réseaux Intelligents, 1998
- International Workshop on Mobile Software Agents for Telecommunication Applications (MATA'1999, MATA'2000)
- International Conference on Intelligence in Networks (ICIN'2000, ICIN'2001)

Girault, C.

- 17th International conference on theory and applications of Petri nets, Toulouse, juin 1997
- IFIP WG 10.3 Parallel Architectures and Compiler Techniques, Paris 1998
- 19th International conference on theory and applications of Petri nets, Williamsburgh, juin 1999

- Workshop on High Level Petri Nets, Aarhus, juin 2000
- 12th Symposium on Computer Architecture and High performance Computing (IFIP), São Pedro SP, Brazil, october 2000

Kordon, F.

- 8th IEEE Workshop on Rapid System Prototyping, Chapel Hill (USA), June 1997.
- 9th IEEE Workshop on Rapid System Prototyping, Leuven (Belgique), June 1998.
- Ecole d'été (projet MATCH) Petri nets and System Engineering, Jaca (Espagne) September 1998
- 10th IEEE Workshop on Rapid System Prototyping, Clearwater (USA), June 1999.
- 4th Reliable Software technologies - Ada-Europe, Santander (Espagne), June 1999
- 11th IEEE Workshop on Rapid System Prototyping, Paris (France), June 2000.
- 5th Reliable Software technologies - Ada-Europe, Potsdam (Allemagne), June 1999

Vernier-Mounier, I.

- 11th IEEE Workshop on Rapid System Prototyping, Paris (France), June 2000.

Coordinateur de projets européens

Girault, C.

- Human Capital and Mobility Programme (projet MATCH CHRX-CT-940452, 1994-1998). Modelling and Analysis of Time Constrained and Hierarchical systems (universités d'Eindhoven, Gènes, Hambourg, Saragosse, Turin, Vienne)
- projet ALFA (America Latina Formacion Academica): Project B1: 3.0190.6 + Draft Project B2: 3.0190.7 - réseau PARNET: Parallel Network - Activités préliminaires à la mobilité et Projets de Recherche Communs - réseau PARNET (Universidad Central de Venezuela, Instituto Politecnico Nacional: Mexico, University of Edimburgh, Universidad Politécnica de Cataluña: Barcelona, Université Paris 6)
- projet ALFA (America Latina Formacion Academica): Project B3: 7-0010-9 - réseau PARNET: Parallel Network -Echanges de Boursiers) America Latina Formacion Academica (réseau PARNET: Parallel Network avec Universidad de Chile: Santiago, Universidad Central de Venezuela, Instituto Politecnico Nacional: Mexico, University of Edimburgh, Universidad Politécnica de Cataluña: Barcelona, Université Paris 6)

Organisation de séminaires

Folliot, B.

- séminaires systèmes de l'Ecole Doctorale de l'Université Paris 6 (1996-1998).
- séminaire franco-japonais TOSDHIM: NACSIS, Kyushu University, LIP6, Université Pierre et Marie Curie, septembre 1997.

Sens, P.

- Responsable de l'organisation des séminaires systèmes de l'école doctorale (1998-2000)

Administration de la recherche

Folliot, B.

- coresponsable du pôle Systèmes et Applications Répartis du GDR Architectures, Réseaux & Systèmes et Parallélisme (depuis juin 1997 avec Riveill, M)
- Création avec Marc Shapiro du Chapitre français Système d'Exploitation de l'ACM-SIGOPS de France (ASF), (Création avec Shapiro, M.)
- Vice-président de l'ASF, octobre 1997-2000.
- Membre du comité exécutif de l'IEEE Task Force on Cluster Computing, TFCC, 1999

Kordon, F.

- Président d'Ada-France.

membre du conseil**Folliot, B.**

- responsable du pôle Methodologie des Systèmes Informatiques du LIP6 (depuis octobre 1998)

Gervais, M.-P.

- conseil scientifique de l'IUT de Paris 5: membre nommée 1993-1999
- commission de spécialistes de l'Université Paris 5 (27ème section): membre titulaire de rang B 1998-1999
- conseil du laboratoire LIP6: membre nommée du conseil depuis 1998

Girault, C.

- Directeur adjoint de l'Ecole Doctorale d'Electronique, Informatique et télécommunications (EDITE) 1999-2000
- Comité Scientifique du Laboratoire d'Informatique de Besançon, 1999

Kordon, F.

- conseil d'UFR d'informatique de l'université Paris VI.

PROJETS ET CONTRATS

Participation aux grands programmes de recherche nationaux

RNRT-Projet Phénix

Responsable scientifique : Folliot Bertil, durée : 29/10/1999 - 30/10/2002, financement 1100 kF.

- Noyau d'infrastructure répartie adaptable.

Partenaire(s) : CNET, INRIA, IRISA.

RNRT- Projet Amarrage

Responsable scientifique : Gervais Marie-Pierre, durée : 1/11/1999 - 31/10/2001, financement 876 kF.

- Architecture Multimédia et Administration Réparties sur un Réseau Actif à Grande Echelle.

Partenaire(s) : LIP6 - Thème RP, Thomson-CSF Communications, France Télécom R{&}D, BootsWorks, GET (Groupement des Ecoles de Télécommunications), L2TI - Institut Galilée, LAAS, LIP6 (thème SRC), LORIA - INRIA, PRISM - Université de Versailles.

Contrats avec les établissements publics

CNET - CARISMA

Responsable scientifique : Estrailier Pascal, Ferber Jacques, durée : 22/12/1995 - 31/12/1998, financement 1713 kF.

- Etude sur les moyens à fournir au concepteur de logiciel pour développer des agents logiciels coopérants.

Partenaire(s) : LIRMM, Thème OASIS.

BioNetScape

Responsable scientifique : Estrailier Pascal, durée : 1/01/1996 - 1/01/1998, financement 450 kF.

- Programme de recherche sur la construction d'une plate-forme de travail coopératif basée sur Internet entre chercheurs dans une discipline des Neurosciences.

Partenaire(s) : INSERM, Université de Franche-Comté, .

Projet FORMA - Opération VaMoS

Responsable scientifique : Estrailier Pascal, durée : 1/01/1997 - 31/12/2000, financement 249 kF.

- Spécification et vérification modulaires d'un système de contrôle de commandes de vol.

Partenaire(s) : ONERA DTIM, Sextant Avionique.

Programme télécommunication du CNRS

Responsable scientifique : Estrailier Pascal, durée : 1/01/1997 - 31/12/1999, financement 220 kF.

- Conception formelle de services de télécommunication selon le paradigme agent.

AProDis (Aspects pour la programmation distribuée)

Responsable scientifique : Seinturier Lionel, durée : 1/01/1999 - 31/12/2001, financement 100 kF.

- L'objectif de ce projet est de fournir un environnement permettant d'intégrer de façon souple et flexible les différents aspects d'une application distribuée.

Partenaire(s) : MEN.

Modélisation d'éco-systèmes à l'aide de réseaux de Petri

Responsable scientifique : Kordon Fabrice, durée : 1/03/1999 - 1/06/1999, financement 10 kF.

- Programme de recherche sur la modélisation formelle d'éco-systèmes afin d'en étudier le comportement et d'en prédire les tendances du point de vue comportemental.

Partenaire(s) : CIRAD-TERA.

Infrastructure d'un Système flexible et Adaptable (ISA)

Responsable scientifique : Folliot Bertil, durée : 22/02/2000 - 22/05/2002, financement 870 kF.

- Définir et réaliser une plate-forme flexible d'exécution virtuelle qui est dynamiquement spécialisable en fonction des besoins d'une application donnée et de l'environnement matériel.

Partenaire(s) : France-Telecom (Branche développement CNET).

Contrats industriels

Mise au point des calculateurs embarqués, répartis, tolérants aux fautes

Responsable scientifique : Girault Claude, durée : 19/09/1994 - 19/09/1997, financement 120 kF.

- Moyens d'observation et de mise au point pour des réseaux de calculateurs redondants. Reconfiguration, réallocation de tâches et reprise de calculs après défaillance. Environnement logiciel pour les bancs d'essais.

Partenaire(s) : SNECMA.

Étude des performances de la synchronisation des réseaux de télécommunication

Responsable scientifique : Girault Claude, durée : 1/01/1998 - 30/09/2001, financement 110 kF.

- Étude des mécanismes de Synchronisation Digitale Hiérarchique (SDH) des réseaux numériques à fibres optiques. Reconfiguration en cas de défaillance pour minimiser les dérives temporelles et assurer la qualité des synchronisations.

Partenaire(s) : ALCATEL CIT.

Représentation d'un système réparti par le langage d'entreprise ODP

Responsable scientifique : Estrailier Pascal, durée : 5/03/1998 - 4/02/1999, financement 330 kF.

- Étude sur une méthodologie de développement d'applications coopératives selon les points de vue RM-ODP et leurs corrélations.

Partenaire(s) : EDF (Direction des Etudes et Recherches).

Méthodologie ODP pour les applications coopératives

Responsable scientifique : Gervais Marie-Pierre, durée : 23/12/1998 - 22/12/2001, financement 985 kF.

- Étude sur une méthodologie de développement d'applications coopératives selon les points de vue RM-ODP et leurs corrélations.

Partenaire(s) : EDF (Direction des Etudes et Recherche).

Génération de programmes agent dans des environnements d'exécution paramétrés

Responsable scientifique : Kordon Fabrice, durée : 1/06/1999 - 31/05/2002, financement 138 kF.

- Programme de recherche portant sur la généricité des interfaces dans le domaine middleware.

Partenaire(s) : CS TELECOM.

Agents mobiles

Responsable scientifique : Gervais Marie-Pierre, durée : 1/06/1999 - 1/06/2002, financement 138 kF.

- Configuration de services de télécommunication sur plate-forme à agents mobiles.

Partenaire(s) : CS TELECOM.

Contrats internationaux

MATCH : Modelling and Analysis of Time Constrained and Hierarchical Systems (Human Capital and Mobility)

Responsable scientifique : Girault Claude, durée : 1/11/1994 - 31/10/1997, financement 420 kF.

- Développement de méthodes de vérification et d'évaluation pour des systèmes complexes intégrant des paramètres de temps. Notre contribution a porté sur les méthodes de modélisation, de vérification et de génération de code. Élaboration de méthodes efficaces d'analyse basées sur la décomposition du modèle, la réduction du graphe d'états, et les symétries du système. Application aux protocoles de communication et à l'interopérabilité de services télématiques.

Partenaire(s) : Université de Eindhoven, Université de Hambourg, Université de Turin, Université de Vienne, Université de Saragosse, Thème RP (Dallery Yves).

Modélisation multi-agents pour les systèmes coopératifs

Responsable scientifique : Estrailier Pascal, durée : 1/01/1997 - 31/12/2001, financement 143 kF.

- Modélisation multi-agents pour les systèmes coopératifs. Application aux systèmes de gestion de données multimédia.

Partenaire(s) : Université de Constantine (Algérie) - Laboratoire LIRE.

Activités internationales

Création d'un réseau de formation et de recherche avec l'Amérique Latine en calcul distribué et parallèle

Responsable scientifique : Girault Claude, durée : 1/03/1997 - 1/03/1998.

- Programme européen ALFA B1 et B2. Cours avancés et élaboration de sujets de recherche pour des thèses en calcul scientifique parallèle, traitement d'images, systèmes et bases de données distribués, agents coopératifs, applications.

Partenaire(s) : ALFA réseau Parnet

Réseau d'accueil de doctorants d'Amérique Latine en calcul distribué et parallèle

Responsable scientifique : Girault Claude.

- Programme européen ALFA B3 pour l'envoi de boursiers venant de l'Instituto Politecnico de Mexico, l'Universidad Central de Venezuela à Caracas et l'Universidad de Chile à Santiago vers les universités de Paris 6, l'universidad Politecnica de Catalunya, l'Universidad Central de Venezuela et l'Universidad de Chile.

Partenaire(s) : ALFA réseau Parnet.

Système d'information adaptatif pour applications multimédia en environnement hétérogène (Japon)

Responsable scientifique : Folliot Bertil, durée : 1/01/1996 - 31/12/1998.

- CNRS-JSPS (Japon Society for the promotion of science) : Programme de recherche en coopération sur conventions internationales du CNRS.

Partenaire(s) : UPMC - Kyushu University (Japon).

Université Tecnica Federico Santa Maria Valparaiso (Chili)

Responsable scientifique : Bonnaire Xavier, durée : 1/01/2000 - 31/12/2000.

- Algorithmes Evolutionistes Adaptatifs pour résoudre des CSP de grande taille : une architecture répartie pour le contrôle dynamique de paramètres.



Munier Alix
Person Patrick
Picouveau Christophe

Professeur, Université de Paris 12
Maître de conférences, Le Havre
Maître de conférences, CNAM

Invités au LIP6

Cavalcanti Marcos

Professeur invité, Université fédérale Rio de Janeiro (Brésil)
(juin 1997)

Fodor Janos

Professeur invité, Inst. math. et d'info. Gödöllo (Hongrie) (juin-juillet 1998)

Jensen Finn

Professeur invité, Université d'Aalborg (Danemark) (février 1998)

Maculan Nelson

Professeur invité, Rio de Janeiro (Brésil) (janvier 2000)

NaveiroRicardo

Professeur invité, Université fédérale Rio de Janeiro (Brésil)
(juin 1997)

Ramakotti Sadananda

Professeur invité, Asian Institute of Tehnology Bangkok
(Thaïlande) (mai 1997)

Scarsini Marco

Professeur invité, Université d'Annunzio, Pescara (Italie) (mars-avril 1999)

Stefanescu Anton

Professeur invité, (février 2000)



PROSPECTIVE

Le thème Systèmes d'Aide à la Décision et à la Formation (SYSDEF) a pour objectifs fondamentaux des avancées théoriques ou méthodologiques et leur mise en œuvre concrète dans des réalisations logicielles au service d'applications privilégiées relevant de problèmes de décision et de formation.

Trois actions de recherche structurent les activités du thème: optimisation et heuristiques, aide à la décision, systèmes d'aide à la formation. Les deux premières ont en commun de développer des méthodes tenant à la fois de la recherche opérationnelle (RO) et de l'intelligence artificielle (IA); les deux dernières de donner une place essentielle à l'interaction homme-machine et au facteur humain: capacités cognitives, préférences et croyances.

Tous ces domaines connaissent actuellement une vigoureuse activité tant de recherche que de développement. Côté théorie, la RO et l'aide à la décision connaissent depuis plus d'une décennie une deuxième jeunesse, liée au développement de la théorie de la complexité et de méthodes approchées pour l'une, de nouvelles approches axiomatiques pour l'autre. Tant au niveau des revues (RAIRO, EJOR, Theory&Decision) que des conférences (ROADEF, FUR) la place de SYSDEF est internationalement reconnue. Quant aux SIAD (systèmes intelligents d'aide à la décision), nés au sein de l'IA, leur essor continue et SYSDEF (éditeur de J. Decision Systems, organisateur de CONTEXT) y a une position majeure. Côté applications, SYSDEF a entrepris la réalisation d'une gamme de logiciels valorisant ses résultats théoriques (réseaux probabilistes, optimisation multicritère, ordonnancement, etc.).

SYSDEF joue aussi un rôle important dans l'animation de la communauté des Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur (EIAO), au niveau international (revue Int. J. of AI in Education, congrès AI in Education, congrès Intelligent Tutoring Systems) et national (revue francophone Sciences et Techniques Educatives, journées Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur, Hypermédias et Apprentissage). L'essor actuel du domaine est d'autant plus important qu'il est lié à l'utilisation massive de nouveaux dispositifs de formation tant en formation initiale qu'en formation professionnelle. L'équipe poursuivra son effort pour construire des environnements de formation réellement interactifs et riches de contenu.

Les projets précis de recherche des différentes équipes de SYSDEF sont les suivants:

L'équipe optimisation et heuristiques travaillera les prochaines années dans plusieurs sous-domaines de l'Ordonnancement et poursuivra ses collaborations industrielles sur des sujets plus diversifiés en Optimisation Combinatoire.

Jusqu'à présent, la recherche en Ordonnancement a porté essentiellement sur des problèmes pour lesquels la qualité d'un ordonnancement augmente lorsque les dates d'exécution de ses tâches se rapprochent. Ces critères d'évaluation sont dits réguliers et le plus étudié d'entre eux a été le "makespan" (durée totale de l'ordonnancement). Or, pour de nombreuses applications comme la production juste-à-temps, ces critères ne reflètent qu'en partie la qualité d'une solution. On étudiera donc, dans le cadre de l'ordonnancement à critères non réguliers, le problème central de l'ordonnancement, le problème à une machine (projet LIP6) et certains problèmes à machines identiques ou spécialisées (job-shop).

D'autre part, la synthèse de circuits de haut niveau, l'optimisation de code, la parallélisation automatique posent des problèmes d'ordonnancement cyclique difficiles pour lesquels de nombreuses questions restent ouvertes (résolution exacte efficace, résolution approchée avec garantie, niveau efficace de K-périodicité...).

Enfin l'exécution de systèmes de tâches sur des réseaux de processeurs nécessite la prise en compte des temps de communication dus aux transferts de données entre tâches dépendantes exécutées sur des processeurs distincts. Ces problèmes d'ordonnancement avec communications sont étudiés depuis une dizaine d'années, mais les modèles ne prennent pas encore en compte la réalité des contraintes dues au réseau et au mode de communication. L'équipe, qui a été pionnière et est restée très pointue par ses résultats sur le classement en complexité et en résolution exacte et approchée, développera son activité dans ce domaine.

En outre, l'équipe poursuivra, dans le cadre de collaborations industrielles, ses applications à l'optimisation des routes aériennes et à diverses variantes du job-shop.

Par ailleurs, une partie de l'équipe, en collaboration avec des physiciens et des probabilistes, va concentrer sa recherche sur l'étude des phénomènes de transition de phase dans les problèmes combinatoires et cherchera à exploiter ses résultats afin d'améliorer pratiquement la résolution algorithmique de ces problèmes.

Les projets de recherche de l'équipe aide à la décision se rattachent à plusieurs axes. Tout d'abord, la modélisation des connaissances, des préférences et des croyances: l'équipe a une expertise reconnue pour ses travaux théoriques dans le domaine de la décision, en particulier sur les approches axiomatiques de modélisation du comportement dans l'incertain et de la décision multicritère. En décision dans l'incertain, l'étude de la modélisation non-probabiliste des croyances par des mesures non-additives (intervalles de probabilité, capacités, mesures floues) sera

poursuivie; l'évaluation de ces quantités et leur intégration dans des critères de choix posent d'intéressants problèmes encore non résolus. En décision multicritère, les travaux porteront principalement sur l'axiomatique des règles d'agrégation ordinales et sur la construction interactive de modèles non-additifs.

La mise en œuvre de l'aide à la décision constitue le deuxième volet de recherche de l'équipe.

Dans le cadre des réseaux bayésiens, qui permettent de modéliser des systèmes experts probabilistes, les travaux théoriques de l'équipe ont des compléments logiciels et l'équipe a entrepris plusieurs réalisations, dont MoByDiCk, librairie graphique complète de gestion de graphes, réseaux probabilistes et diagrammes d'influence. La construction d'un réseau probabiliste comme la propagation d'information dans le réseau sont déjà possibles. La continuation de ce travail comportera principalement la réalisation de la partie décisionnelle: construction du diagramme d'influence et algorithme de détermination de la stratégie optimale. Ces réalisations seront testées dans deux projets qui viennent d'être lancés et mettent en œuvre des réseaux bayésiens, l'un dans le domaine de la gestion hospitalière, l'autre en urbanisme.

Un projet LIP6 (en collaboration avec le thème APA) a permis l'application de la décision multicritère à la recherche d'information (site Web "Film conseil"); la méthode, qui s'appuie sur une modélisation fine des préférences des utilisateurs, sera perfectionnée afin d'intégrer des techniques d'apprentissage aux méthodes d'aide à la décision permettant d'améliorer la qualité des recommandations et leur justification. Ce travail sera complété par une étude sur l'apport des méthodes multicritères pour l'agrégation et la combinaison d'experts. Ces travaux visent plus généralement le développement de nouveaux outils de classification adaptés à des objets évaluables selon de multiples aspects (e.g. des textes).

Les Systèmes d'Assistance Intelligents en Contexte (SAIC) resteront un domaine central de recherche de l'équipe, qui a fortement contribué dans le passé à faire reconnaître l'importance de la notion de contexte. Après avoir étudié cette notion de contexte au niveau de la représentation des connaissances et du raisonnement tenu sur ces connaissances, l'équipe s'attachera à préciser:

- la dimension dynamique entre les connaissances contextuelles et le contexte procéduralisé dans le processus de prise de décision;
- les liens entre les notions de contexte et de schème et leur représentation dans un système informatique; et
- le rôle du contexte dans la gestion de plusieurs tâches au sein d'une même application (par exemple, gestion d'incidents et maintenance). Les résultats de ces recherches, obtenus dans le projet SAIC, seront validés dans l'application SART (Système d'Aide à la Régulation du Trafic) en col-

laboration avec la RATP. Les résultats théoriques déjà utilisés pour le nouveau PCC (Poste de Commande Centralisé) de la ligne 4, devraient être étendus à l'ensemble des futurs PCC de toutes les lignes du métro parisien, puis d'autres villes comme Rio de Janeiro.

L'équipe systèmes d'aide à la formation poursuivra ses travaux, qui ont déjà conduit à des réalisations significatives pour la formation professionnelle et pour la formation initiale, selon les axes principaux suivants: la conception d'interfaces et d'hypermédiat pédagogiques, la conception de systèmes basés sur des simulateurs d'entraînement, la modélisation de connaissances et la modélisation d'apprenants.

En particulier, les chercheurs impliqués dans le projet combien? (projet commun avec le CRIP5), qui travaillent sur la conception conjointe de méthodes de résolution de problèmes et d'interfaces pédagogiques, étudieront la transposition des principes mis en œuvre dans combien? à des domaines autres que les dénombremments. Ils approfondiront la méthodologie de conception des EIAO dans les domaines où la résolution de problèmes nécessite une activité importante de modélisation plutôt qu'un enchaînement d'inférences ou de calculs, l'objectif étant de proposer des activités constructives plutôt que déductives, présentées via des interfaces pédagogiques adaptées aux classes de problèmes.

Pour l'action Systèmes d'Aide à l'Exploitation de Simulateurs d'Entraînement, il conviendra de prendre en compte les aspects distribués des simulateurs ainsi que l'évolution très rapide de leur puissance. Aujourd'hui les instructeurs disposent de simulateurs pleine échelle en réseau sur lesquels ils entraînent simultanément à des tâches collectives plusieurs groupes de stagiaires qui interagissent via la simulation. Pour gérer une simulation distribuée, il est nécessaire de spécifier un scénario collectif mettant en scène des événements qui vont affecter chaque poste de simulation et permettant de planifier dynamiquement chaque scénario individuel. De même l'évaluation des stagiaires doit prendre en compte la dimension collective de l'entraînement.

A la suite du projet riscos urbanos, deux autres projets de conception de simulateurs pour la formation à la gestion de problèmes de sécurité civile sont envisagés.

L'équipe compte aussi contribuer à l'adaptation et à l'intégration des principes de conception d'hypermédiat pédagogiques et des principes de modélisation en EIAO aux dispositifs nouveaux de formation, liés aux développements des NTIC (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication). Ces dispositifs, qui offrent des possibilités nouvelles de formation (campus virtuel par exemple), posent en effet les problèmes de la conception de ressources pédagogiques réellement interactives et de leur utilisation à distance (en particulier sur le Web), ainsi que des

problèmes de conception de modules d'assistance intelligents pour les utilisateurs, apprenants et formateurs, qui doivent coopérer à distance. Il s'agit du domaine désigné récemment par le sigle EIAH (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain).

Les recherches de l'équipe Systèmes d'Aide à la Formation sont ouvertes sur l'extérieur par le biais de collaborations au sein du GDR I3 du CNRS et de pro-

jets industriels nationaux (TTS) et européens (Ville de Lisbonne, Conseil de l'Europe).

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 ses actions et oriente ses travaux présents et futurs.



BILAN SYNTHÉTIQUE DES RECHERCHES

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 d'identifier les cas favorables à une résolution effective de problèmes (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 a défini la notion de garantie pour les problèmes d'ordonnancement cyclique et a développé des algorithmes approchés avec garantie pour certains de ces problèmes. Il a également établi des conditions suffisantes pour que des garanties connues pour des problèmes d'ordonnancement classiques soient encore valides pour leur variante cyclique. C. Hanen et A. Munier ont travaillé sur les problèmes d'ordonnements avec communications, où, les tâches étant exécutées par un réseau de processeurs, les délais de communication viennent s'ajouter aux contraintes classiques. Elles ont en particulier développé des algorithmes approchés avec garantie et, dans le cas où la duplication est autorisée, étudié le problème de la minimisation du nombre de duplicata lorsque le délai est fixé. Dans sa thèse, Ch. Lahlou a lui aussi travaillé sur les problèmes d'ordonnement avec communications et obtenu de nombreux résultats de complexité pour des problèmes associés à différentes topologies et divers modes de communication et a obtenu des résultats très intéressants (complexité et algorithme approché) sur la minimisation du nombre de communications à délai fixé. F. Sourd a travaillé dans sa thèse sur le problème du job-shop. Il a élaboré des techniques originales et efficaces de resserrement des fenêtres d'exécution des tâches qui s'appuient en particulier sur l'intégration des contraintes de ressources aux contraintes de précédence. Ses résultats ont per-

mis de faire tomber des instances non résolues jusqu'ici et s'avèrent aussi très efficaces sur les problèmes de flowshop. Dans le cadre d'un projet LIP6 portant sur la résolution exacte du problème à une machine avec pénalités d'avance et de retard, Ph. Chrétienne, F. Sourd, S. Kédad-Sidhoum, B. Baynat (MSI) et Cl. Dutheillet (MSI) ont travaillé sur la recherche de bornes inférieures et la détermination d'une bonne solution initiale. Les premiers résultats sont encourageants puisqu'ils permettent d'obtenir une solution à moins de 1 % de la valeur d'une solution optimale. En dehors du cadre strict de l'ordonnement, Ch. Picouleau a travaillé sur des problèmes combinatoires de tomographie discrète : complexité et reconstruction de solutions à partir de projections. F. Sourd et Ph. Chrétienne ont également développé, dans le cadre d'une collaboration avec l'observatoire de Meudon un algorithme efficace d'affectation de fibres optiques maximisant le nombre d'objets célestes observés.

Dans les problèmes NP-difficiles, les phénomènes de transition de phase révèlent des paramètres, dits de contrôle, qui jouent un rôle déterminant dans l'existence d'une solution d'une instance ; de plus, ils possèdent des valeurs critiques rendant en moyenne les instances associées exponentiellement plus difficiles que toute autre instance du problème. L'expérimentation montre qu'il existe un phénomène de transition de phase pour le problème central des problèmes NP-complets, le problème de satisfiabilité ou problème SAT. O. Dubois et Y. Boufkhad ont établi la meilleure fonction majorante du seuil de satisfiabilité et calculé pour les instances 3-SAT le meilleur majorant actuel du seuil grâce à une approche nouvelle syntaxique et non plus sémantique. Cela leur a permis, sur le plan pratique, de mettre au point l'algorithme C-SAT qui a actuellement les meilleures performances sur tout type d'instances SAT et qu'ils ont appliqué en tomographie pour la reconstruction d'images binaires. Y. Boufkhad, O. Dubois et M. Nivat ont pu ainsi améliorer de façon considérable les performances de reconstruction d'images. Enfin dans le cadre d'une collaboration avec l'INRETS, O. Dubois et G. Dequen ont étudié des méthodes de Vérification, Validation et Evaluation de bases de connaissances utilisées dans un système de régulation de trafic routier en nous ramenant à des instances du problème SAT.

Aide à la décision

La modélisation des connaissances, des préférences et des croyances est une question fondamentale en aide à la décision, à laquelle les approches axiomatiques permettent de donner des réponses précises.

En décision dans l'incertain, on peut envisager, à côté du modèle probabiliste, la représentation des croyances par des mesures non-additives (intervalles de probabilité, capacités, mesures floues). De telles représentations doivent être complétées par des critères de décision les intégrant. La justification axiomatique d'une famille particulière de critères a été apportée par J.-Y. Jaffray et F. Philippe, qui ont également montré comment on pouvait construire des intervalles de probabilité subjectifs. Une approche ordinale a été étudiée par P. Perny. De son côté, M. Grabisch a montré comment on pouvait remédier à la complexité de ces modèles en recourant à des approximations.

P. Perny et M. Grabisch ont également montré l'intérêt de l'introduction des mesures non-additives dans les modèles de décision multicritère, en particulier dans les méthodes d'agrégation ordinale. Dans le domaine voisin de la décision multi-attributs, Ch. Gonzales a apporté une contribution à la fois théorique et opérationnelle au problème d'existence d'une utilité additive.

La mise en oeuvre de modèles décisionnels exige elle-même une réflexion théorique. Les préoccupations de P. Brézillon sont de faciliter les interactions entre un utilisateur et une machine au cours de la résolution d'une tâche en développant des systèmes d'assistance intelligents en contexte (SAIC). Les éléments essentiels d'un SAIC sont la coopération homme-machine, les explications, l'acquisition incrémentale de connaissances et la prise en compte explicite de la notion de contexte. Après être intervenu activement dans les communautés explication et acquisition des connaissances, P. Brézillon s'est attaché ces dernières années à cerner plus précisément la notion de contexte dans les SAIC, en portant une attention particulière à la modélisation et à la représentation en machine. Ces recherches tirent une partie de leur inspiration de plusieurs applications, entre autres à la RATP (I. Saker, et M. Secron, thèses, 1999, et L. Pasquier, thèse en cours) et en œnologie (J. Agabra, thèse, 1999). Les limites inhérentes à l'utilisation des systèmes d'aide à la décision et des systèmes à base de connaissances ont été analysées par P. Brézillon et J.-Ch. Pomerol en s'appuyant sur leur expérience dans ces domaines. Ces recherches confirment la nécessité de maîtriser le contexte et d'étudier les flux réels de décision dans les organisations (F. Adam, thèse, 1999). Les idées de P. Brézillon sur le rôle du contexte dans les systèmes informatiques ont largement contribué à l'évolution de la communauté scientifique, il est le président fondateur de la

société internationale chargée de développer les recherches sur le contexte.

La mise en oeuvre du modèle EU (Espérance d'Utilité), modèle standard de décision dans l'incertain probabilisé, par la technique classique des arbres de décision, se heurte en pratique à des problèmes de complexité de représentation et de calculs, qui ont conduit au développement des réseaux bayésiens, pour la partie purement probabiliste, et des diagrammes d'influence, pour l'aspect décisionnel. Dans le cadre des réseaux bayésiens, l'équipe a obtenu des résultats théoriques contribuant à l'amélioration de la propagation de l'information dans le réseau : délimitation de zones d'influence de l'information évitant des calculs superflus (Ch. Gonzales, P.-H. Willemin et A. Faÿ); justification d'une méthode coupe-cycles par conditionnement local (A. Faÿ et J.-Y. Jaffray). Ces travaux se poursuivent actuellement par la recherche d'une optimisation de la coupe et des calculs; la méthode définitive pourra alors être insérée au coeur d'un algorithme d'optimisation dans un diagramme d'influence. Ces travaux théoriques de l'équipe ont des contreparties logicielles. P.-H. Willemin, Ch. Gonzales et P. Person ont entrepris plusieurs réalisations, dont 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. La continuation de ce travail comportera principalement la réalisation de la partie décisionnelle: construction du diagramme d'influence et algorithme de détermination de la stratégie optimale.

Enfin, plusieurs applications ont fait appel à la méthodologie multicritère. Dans le cadre d'un projet LIP6, P. Perny et J.-D. Zucker (APA) ont développé le site Web "Film conseil". Pour aider l'utilisateur à localiser rapidement les éléments d'information qui l'intéressent, ils s'appuient sur une modélisation fine, multicritère, des préférences des utilisateurs. Ils prévoient d'intégrer des techniques d'apprentissage aux méthodes d'aide à la décision, afin d'améliorer la qualité des recommandations et leur justification. P. Perny a également entamé une étude sur l'apport des méthodes multicritères pour l'agrégation et la combinaison d'experts avec F. d'Alché (APA). Des techniques multicritères sont également les outils de base de l'étude menée par M. Grabisch, avec l'IRIT et le LTC de Toulouse, ayant pour but de mettre sur pied une technique d'évaluation de la charge mentale de

travail. M. Grabisch collabore également, avec Renault et l'U. T. Troyes, à la modélisation de l'inconfort

dynamique ressenti par un conducteur en position assise prolongée.

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 difficultés de conception de tels systèmes tiennent en grande partie à la nature et à la diversité des connaissances mises en jeu, ainsi qu'à la qualité nécessaire de l'interaction homme-machine et des interfaces. L'équipe travaille sur différents aspects de

modélisation qui ont été mis en œuvre dans des réalisations significatives pour la formation professionnelle et la formation initiale. Les travaux concernent trois axes principaux: la conception d'interfaces et d'hypermédiat pédagogiques, la conception de systèmes d'aide à l'exploitation de simulateurs d'entraînement, la modélisation de connaissances et la modélisation d'apprenants.

Conception d'interfaces et d'hypermédiat pédagogiques

H. Giroire et G. Tisseau, impliqués dans le projet COMBIEN? (projet commun avec le CRIP5 de l'université Paris 5), travaillent sur la conception conjointe de méthodes de résolution de problèmes et d'interfaces pédagogiques. COMBIEN? est un EIAO dans le domaine des dénombrements, dont l'objectif est de permettre à l'apprenant de construire une représentation adaptée du problème en privilégiant l'activité de modélisation, les interfaces jouant le rôle de support pour l'apprentissage de la méthode. Dans ce projet, une méthode de résolution originale, adaptée aux conceptions usuelles des apprenants, a été définie (la méthode constructive). Elle permet l'accès à la théorie mathématique du domaine. Une classification des problèmes du domaine, associée à des schémas de résolution, a été établie et utilisée comme base d'un système de résolution de problèmes (SYRCLAD-Combinatoire). La thèse de N. Guin (déc. 1997) a proposé une architecture générale de système de résolution de problèmes, utilisant des connaissances orga-

nisées autour d'une classification des problèmes du domaine. Le résolveur SYRCLAD qu'elle a ainsi réalisé a été utilisé dans quatre domaines différents. L'équipe a défini un modèle orienté objets des concepts mathématiques adaptés à une exploitation interactive de la méthode constructive. Pour réaliser les nombreuses interfaces pédagogiques nécessaires, elle a, en parallèle, défini un formalisme IREC pour spécifier le dialogue d'une interface, et développé un Environnement de Développement d'Interfaces (EDIREC) qui engendre une interface à partir de sa spécification.

Les hypermédiat 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, dans le projet PROFIL, a conçu et réalisé des outils d'aide à la navigation pour les spécialistes d'un domaine ou pour des utilisateurs naïfs s'initiant à un nouveau système complexe.

Systèmes d'Aide à l'Exploitation de Simulateurs d'Entraînement

O. Auzende, M. Futersack, M. Joab et C. Moinard, travaillent sur les Systèmes d'Aide à l'Exploitation de Simulateur d'Entraînement (SAESE). Ces systèmes sont destinés à la formation d'opérateurs humains engagés dans des tâches de supervision et de contrôle de dispositifs dynamiques. Ce sont des simulateurs enrichis par des fonctions d'aide à l'instructeur (création et gestion de cursus, suivi du stagiaire, aide au débriefing) et des fonctions d'aide aux stagiaires (explications, conseils). Leur conception cumule les difficultés de conception d'un EIAO et celles dues à la complexité technique du domaine de la formation. La démarche de recherche prend en compte toutes les composantes du problème (perception des stagiaires, modélisation des connaissances du domaine, dimension collective de l'entraînement, dimension temps réel) et se situe dans un cadre pluridisciplinaire (informatique, ergonomie cognitive, didactique professionnelle). L'approche vise à l'abstraction du domaine d'application, qu'il s'agisse de réaliser des composants logiciels indépendants du domaine ou d'extrait-

re, à partir des réalisations, un apport méthodologique pour la classe des SAESE. L'équipe propose une démarche d'ingénierie des connaissances qui capitalise les connaissances en interne, c'est-à-dire qui exploite les bases de connaissances acquises dans les premières étapes pour les autres bases de connaissances du même système. Cette approche a été exploitée dans DIAPASON (O. Auzende, M. Joab, C. Moinard), un système de formation professionnelle destiné aux chargés de conduite des réseaux français de distribution électrique moyenne tension qui a fait l'objet d'un contrat avec EDF.

O. Auzende, M. Futersack et M. Joab animent un projet, en collaboration avec Thomson Training & Simulation, qui a pour but de développer un système d'aide à l'instructeur pour des simulateurs d'entraînement. Ils ont conçu et réalisé STREX, logiciel générique d'aide à la structuration d'une base d'exercices et à la construction de cursus, couplé au logiciel de création et de gestion d'exercices. L'étude en cours porte sur la conception de l'évaluation du dé-

roulement de l'exercice de simulation, dans le cadre de la simulation distribuée.

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. Le logiciel INTEMPÉRIES a été conçu comme noyau de simulation à la base de systèmes

Modélisation de connaissance, modélisation d'apprenants

Sur les thèmes de la modélisation de domaines, de la modélisation d'apprenants et du diagnostic cognitif, M. Baron a étudié plusieurs approches de modélisation de la résolution de problèmes, ainsi que des approches symboliques de représentation et de traitement de "connaissances imparfaites" (logiques de connaissance et de croyance, formalisation de raisonnements révisables, systèmes de maintien de cohérence). Outre l'animation avec M. Vivet du groupe EIAO du PRC-GDR IA rassemblant une dizaine

permettant de gérer la coopération entre plusieurs institutions intervenant pour la gestion de crise. En collaboration avec la société ISA Technologies, H. Caetano a réalisé deux projets : Riscos Urbanos, un simulateur pour la formation et l'aide à la décision pour les pompiers professionnels de la ville de Lisbonne, et IMAGIS, un serveur d'images sur Internet conçu pour préparer les agents de la sécurité civile à faire face aux tremblements de terre (Conseil de l'Europe).

d'équipes (jusqu'à fin 1997), elle a contribué à plusieurs articles de synthèse et à un numéro spécial de revue sur ces thèmes.

Dans le cadre du groupe pluridisciplinaire PRO-VERB de l'Association pour la Recherche Cognitive, J.-M. Labat et J.-Ch. Pomerol ont réalisé plusieurs simulations pour tester et affiner la modélisation du processus cognitif d'une personne engagée dans une tâche de résolution de problèmes, à partir de l'analyse psycholinguistique de protocoles verbaux.

BILAN DÉTAILLÉ DES RECHERCHES

Optimisation et heuristiques

PH. CHRÉTIENNE, A. DADDI-MOUSSA, O. DUBOIS, M. FUTTERSACK, F. GHEDJATI, CL. HANEN, S. KEDAD-SIDHOUM, J.-M. LABAT, CH. LAHLOU, L. MYNARD, A. MUNIER, CH. PICOULEAU J.-CH. POMEROL, S. RIGAL, F. SOURD.

Ordonnements

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. 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 [Lahlou, 2000].

Pour les problèmes à temps de communication, la duplication permet d'obtenir des ordonnements 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 Cl. 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 Hanen., 1997] que sa performance relative est $2-2/m$, soit la même valeur que pour une liste quelconque sans temps de communication. A. Munier et Cl. Hanen ont également développé un algorithme polynomial permettant de minimiser le nombre de duplicata pour une durée fixée de l'ordonnement d'une arborescence [Hanen et Munier., 2000].

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 $2-1/(1+r)$.

Ordonnements cycliques

Un problème d'ordonnement 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'ordonnement 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 ordonnements 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'ordonnement au temps de cycle minimum absolu est inférieur à $2-1/m$. Il a montré que les ordonnements 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 $K^* = \min(H^*, m)$ et H^* est la hauteur minimale d'un circuit du graphe réduit.

Job-Shop

F. Sourd a travaillé sur l'amélioration des bornes inférieures sur le problème du job-shop. Il a en particulier montré comment on peut intégrer les contraintes machines aux contraintes de précédence pour resserrer les fenêtres d'exécution des tâches. Mis en œuvre sur les problèmes benchmarks de la littérature, ces résultats constituent de manière évidente l'amélioration la plus significative réalisée sur ce problème depuis les résultats de J. Carlier et E. Pinson qui concernaient une seule machine.

Job-Shop généralisé

F. Ghedjati a montré l'efficacité des heuristiques dynamiques et, a contrario, les performances relativement faibles des algorithmes génétiques sur des classes de problèmes très généraux, sans précédence 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. La méthode par brassage d'heuristiques introduite dans la thèse de F. Ghedjati commence à recevoir une certaine attention [Ghedjati et Pomerol, 2000].

Problème à une machine avec pénalités d'avance et de retard

Dans certaines applications, en particulier en Productique (production juste à temps), terminer une tâche en avance ou en retard induit un coût. Dans le cadre d'un projet LIP6 (1998 et 1999) faisant collaborer l'équipe d'Optimisation Combinatoire et celle de Productique (Y. Dallery), Ph. Chrétienne a montré que l'algorithme de Garey et al. pour le problème à une machine et séquence fixée pouvait être étendu sans perte de complexité au cas de coûts quelconques [Ph. Chrétienne, 1999]. En 2000, nous avons proposé dans le cadre des projets LIP6 une collaboration entre l'équipe d'Optimisation Combinatoire, B. Baynat et Cl. Dutheillet, pour la résolution exacte du problème

Problèmes NP-difficiles

Phénomènes de transition de phase

Depuis qu'il est possible de réaliser des expérimentations de taille suffisante sur la résolution de problèmes NP-difficiles, de nombreux phénomènes de transition de phase y ont été mis en évidence. Ces phénomènes se traduisent par un changement brutal de la probabilité de l'existence d'une solution, de voisine de 0 à voisine de 1 ou l'inverse, pour une valeur critique, appelée seuil, d'un certain paramètre dit de contrôle des instances du problème. Un phénomène de transition de phase révèle donc un paramètre essentiel d'un problème qui sépare en probabilité les instances d'une taille fixée qui ont une solution de cel-

général (la séquence n'est pas fixée) pour des tailles de problèmes allant jusqu'à 50 tâches. Ce projet a été accepté et les premiers résultats sur les bornes inférieures et supérieures sont très encourageants puisque qu'ils permettent d'ores et déjà de calculer des solutions à 1 % de l'optimum.

Problème PERT avec pénalités d'avance et de retard

La résolution du problème à une machine et séquence fixée nous a amenés à étudier le problème de la minimisation des coûts de pénalités pour un graphe de précédence quelconque et sans contraintes de ressource. Ph. Chrétienne et F. Sourd ont montré que la structure de blocs optimaux à droite et à gauche d'une solution optimale dans le cas d'une séquence peut être généralisée à ce problème et permet de le résoudre.

Autres problèmes d'optimisation combinatoire

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 [Sourd, 1999]. De portée suffisamment générale, ces heuristiques ont ensuite été adaptées et testées sur le problème d'ordonnancement 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 [Sourd, 2000].

S. Rigal a commencé une thèse en octobre 1999, en collaboration avec le Centre Expérimental d'Eurocontrol, organisation européenne chargée de la sécurité de la navigation aérienne. Cette thèse s'intègre à un des projets d'optimisation de l'ATFM (Air Traffic Flow Management) qui consiste à allouer des routes navigables tenant compte de nombreuses contraintes pratiques (accessibilité des arcs en fonction du temps, changement de caps, de niveaux de vol...). En particulier, S. Rigal travaille sur un problème de plus court chemin soumis à des contraintes de parcours (séries de sommets à emprunter ou à éviter en fonction du trajet parcouru ou à parcourir).

les qui n'en ont pas. De plus on constate expérimentalement que les instances qui correspondent à une valeur de ce paramètre de contrôle s'approchant du seuil marquent un pic de difficulté de résolution à croissance exponentielle. Les instances correspondant au seuil fournissent ainsi, une source inépuisable d'instances difficiles pour mettre au point et tester l'efficacité d'algorithmes de résolution. Il apparaît donc fondamental du point de vue de la complexité calculatoire d'étudier les phénomènes de transition de phase qui existent dans les problèmes NP-difficiles afin d'améliorer l'efficacité des algorithmes de résolution de ces problèmes. Si de nombreux phénomènes de

transition de phase ont été observés expérimentalement pour des problèmes NP-difficiles, on peut se demander s'il n'en existerait pas pour tous les problèmes NP-difficiles. Jusqu'à présent seul celui concernant l'existence d'un circuit Hamiltonien dans un graphe a pu être établi et la fonction seuil calculée rigoureusement. Depuis une dizaine d'années, les expérimentations ont montré qu'il existait également un phénomène de seuil pour le problème central des problèmes NP-complets, le problème de satisfiabilité ou problème SAT. De nombreux travaux ont été consacrés à l'étude du phénomène de seuil de SAT avec des approches venues de disciplines diverses et en particulier récemment avec des approches de physique statistique. O. Dubois et Y. Boufkhad, puis récemment J. Mandler, ont fortement contribué à faire progresser l'étude du phénomène de seuil du problème SAT en définissant des structures combinatoires appelés NPS (Negatively Prime Solutions) et Hyper Implicants permettant de mieux décrire la structure de l'espace des solutions. Les NPS ont donné lieu au calcul d'une fonction majorante de la fonction seuil pour le problème SAT général qui est actuellement la meilleure connue [Dubois et al., 1996b, 1997a]. Les Hyper Implicants ont été appliqués à la compilation de Bases de Connaissances et ont donné lieu à une méthode de compilation efficace [Dubois et al., 1996c]. De plus en ce qui concerne la difficulté de résolution des formules au seuil, ils ont montré que contrairement à l'intuition, cette difficulté ne venait pas de l'extrême rareté des solutions car leur nombre croît exponentiellement avec la taille des instances dans presque toute formule. Une borne inférieure a été explicitement calculée [Dubois et al., 1997b, 1999]. Enfin pour les instances du problèmes SAT appelées instances 3-SAT, auxquelles peut se réduire toute autre instance SAT par transformation polynomiale, ils ont défini et mis en œuvre une toute nouvelle approche qui est syntaxique, alors que jusqu'à présent les approches étaient uniquement sémantiques, ce qui a conduit pour l'estimation majorante du seuil à une amélioration d'une importance qui n'était plus obtenue par les approches sémantiques [Dubois et al. 2000]. Très récemment O. Dubois a développé des coopérations avec des physiciens statisticiens pour combiner les différentes approches [Dubois 1998a, 1999a].

Algorithme de résolution du Problème de Satisfiabilité

Le problème de satisfiabilité constitue un problème de référence pour mesurer les progrès des algorithmes heuristiques de résolution des problèmes NP-complets. De nombreuses heuristiques ont été proposées et expérimentées pour améliorer la résolution d'instances SAT difficiles se situant au seuil. O. Dubois et Y. Boufkhad ont mis au point des heuristiques en fonction de critères probabilistes. Considérant des espaces probabilistes bien définis, ils ont établi des

fonctions qui indiquent quelles variables choisir au cours du développement d'un arbre de recherche d'une solution. Ces heuristiques ont été implémentées dans un programme de résolution appelé 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 d'instances SAT [Dubois et al., 1996a]. Plus récemment grâce aux progrès réalisés par O. Dubois et al. dans l'étude du phénomène de seuil, O. Dubois et G. Dequen ont proposé de nouvelles heuristiques qui ont d'ores et déjà montré leur efficacité.

Tomographie

Le problème de tomographie en informatique consiste à reconstruire des images binaires bi-dimensionnelles à partir de projections selon des directions déterminées, par exemple en imagerie médicale ce sont typiquement des coupes d'organes du corps humain. O. Dubois et Y. Boufkhad en ont fait une application originale du problème SAT. La reconstruction d'images bi-dimensionnelles à partir de projections orthogonales exactes ou approximatives, avec dans ce dernier cas minimisation d'une certaine distance bien définie entre les projections des images reconstruites et les projections approximatives fournies, a été traduite sous la forme d'un problème SAT pour répondre à trois cas de reconstruction d'images: images horizontalement et verticalement convexes, images de plus horizontalement et verticalement connexes et enfin images sans contrainte de convexité ou de connexité. Pour chacun des cas, un codage spécifique sous la forme d'instances SAT a été mis au point et un algorithme spécifique de résolution a été adapté. Par ces méthodes Y. Boufkhad et O. Dubois ont pu améliorer de façon considérable les performances de reconstruction d'images binaires [Boufkhad, Dubois et Nivat, 1999b 1999c].

Méthodes de Vérification, Validation et Evaluation des Bases de Connaissances utilisées dans un système de régulation du trafic routier développé par l'INRETS

L'INRETS a développé depuis 1984 un système de régulation de trafic routier qui met en œuvre des bases de connaissances. Depuis cette date ce système, appelé SAGE à l'origine et aujourd'hui CLAIRE, a beaucoup évolué, s'est doté de nombreuses fonctions et est devenu un système très sophistiqué et compliqué. Il est alors apparu nécessaire de pouvoir vérifier, valider et tester les bases de connaissances mises à jour en permanence et utilisées par le système. A cette fin, l'INRETS a demandé à O. Dubois et G. Dequen

d'étudier des méthodes permettant de vérifier la complétude et la consistance logique, de valider les bases du point de vue de la complétude et de la consistance sémantique et d'évaluer les bases de connaissances en situation réelle. Par ailleurs des

propositions ont été faites pour augmenter la puissance du formalisme des bases de connaissances et faire évoluer les méthodes de vérification et validation en conséquence. Cette étude a fait l'objet d'un rapport délivré à l'INRETS [Dubois et Dequen, 1999d].

Aide à la décision

F. ADAM, J. AGABRA, I. ALVAREZ, P. BRÉZILLON, A. FAÏ, C. GENTILE, M. FUTTERSACK, CH. GONZALES, F. GHEDJATI, M. GRABISCH, L. HENRIET, J.-Y. JAFFRAY, M. JOAB, X. JURET, J.-M. LABAT, D. LECCAS, L. MYNARD, L. PASQUIER, P. PERNY, P. PERSON, J.-CH. POMEROL, I. SAKER, M. SECRON, P.-H. WUILLEMIN

Des SBC et SIAD aux Systèmes d'Assistance Intelligents en contexte

De la nécessité de prendre en compte le contexte

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 pouvoir expliquer à un 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. Par ailleurs, cette observation de P. Brézillon et J.-Ch. Pomerol [1996a, 1996b, 1997a, 1997b] explique en grande partie les limites des systèmes à base de connaissances (SBC) et des systèmes intelligents d'aide à la décision (SIAD). Ces chercheurs poursuivent maintenant leurs efforts avec L. Pasquier sur la représentation explicite du contexte au niveau des connaissances et du raisonnement.

Des résultats révélateurs sur l'importance du contexte

La nécessité de modéliser le contexte en vue de son implémentation dans les logiciels est maintenant largement reconnue. P. Brézillon a activement 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 deux conférences internationales et interdisciplinaires CONTEXT-97 et CONTEXT-99. Des rapports sur ces manifestations ont été publiés [Brézillon, 1997a]. Il existe maintenant une communauté qui émerge à travers les disciplines. P. Brézillon a accepté la charge de structurer cette communauté internationale et interdisciplinaire, d'une part en présidant le Comité de Pilotage (Steering Committee) de la prochaine conférence CONTEXT-01 et, d'autre part, en créant une société internationale pour réunir cette communauté de chercheurs s'intéressant au contexte.

Après sa prospection bibliographique des années précédentes [Brézillon, 1996, 1999], 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 fermenta-

tion 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.

Les résultats obtenus dans l'application pour la RATP sont particulièrement significatifs [Brézillon et al., 1999 ; Brézillon et al., 1999], mais ont une portée qui dépasse le cadre de cette seule application. Tout d'abord, P. Brézillon et J.-Ch. Pomerol [Brézillon et Pomerol, 1998, 1999 ; Pomerol et Brézillon, 1998, 1999] ont mis en évidence que dans ce que l'on appelait le contexte, il fallait distinguer les connaissances contextuelles en lien avec un problème des autres connaissances dites externes. A une étape donnée d'une résolution de problème, une partie des connaissances contextuelles est structurée et "compilée" pour être utilisée explicitement dans la résolution (appelé le contexte procéduralisé). Bien sûr, il y a une dynamique de ce contexte procéduralisé d'une étape à la suivante de la résolution. P. Brézillon et J.-Ch. Pomerol s'attachent maintenant à mieux cerner cette dynamique, leur souci principal étant de pouvoir l'implémenter en machine.

Les conclusions de ces chercheurs se concrétisent en particulier dans le cadre de l'application SART pour la RATP (voir à <http://www.lip6.fr/SART> pour plus de détails sur le projet SART), Avec I. Saker, P. Brézillon et J.-Ch. Pomerol ont réussi à modéliser les connaissances du domaine de la RATP sur la base de la métaphore de l'oignon [Brézillon et al, 1997 ; Brézillon et Pomerol, 1997 ; Brézillon et Saker, 1998]. Selon cette métaphore, on peut mettre en évidence une organisation des connaissances contextuelles à

une étape donnée de la résolution d'un incident en couches autour des connaissances effectivement utilisées à cette étape. Ce type de représentation de connaissances en contexte ne se limite pas à l'application pour la RATP puisque nous avons pu la retrouver dans l'application pour l'œnologie [Agabra et al., 1997]. Avec L. Pasquier, P. Brézillon et J.-Ch. Pomerol ont montré comment un arbre de décision complexe pouvait se transformer en un ensemble de graphes beaucoup plus simple, qu'ils ont appelés graphes contextuels [Brézillon et Pomerol, 1998; Brézillon et al., 1999; Pasquier, 2000]. Parmi les nombreux avantages de ce nouveau paradigme, il y a le fait de pouvoir proposer aux opérateurs une représentation très proche de leur manière de penser. Par exemple, quand un opérateur donne l'ordre à un conducteur de faire évacuer sa rame, il n'explique pas le fait qu'il faut d'abord amener la rame à la station la plus proche. Dans un esprit très similaire aux graphes conceptuels de Sowa (1992) et de ses mécanismes d'expansion et d'agrégation, l'organisation des modes de raisonnement en sous-graphes contextuels ouvre des perspectives très intéressantes sur les problèmes précédents de génération d'explications et d'acquisition de connaissances dans les systèmes d'assistance intelligents en contexte. Ces problèmes seront reconsidérés bientôt dans ce nouveau mode de représentation basée sur le contexte.

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]. Dans le même esprit, la thèse de M. Monnet est consacrée à une formalisation de la décision par analogie (Case-Based Reasoning et décision) [Monnet et al., 1998]. Cette réflexion a convergé avec les problèmes de contexte évoqués précédemment pour aboutir au concept de graphes contextuels. Nous menons également une réflexion, qui devrait déboucher sur un livre, à propos de l'impact de la théorie de la décision sur la pratique de la décision. Cette réflexion puise, au moins partiellement, son inspiration dans l'utilisation des méthodes heuristiques ou des méthodes de l'Intelligence Artificielle dans la décision [Pomerol, 1997] ou dans la décision multicritère [Perny et Pomerol, 1999].

I. Alvarez, arrivée au LIP6 en 1999, fera bénéficier l'équipe de son expérience sur la mise en oeuvre des techniques de l'I. A., acquise dans le cadre du projet BED. Le projet européen de transfert de technologie "BED" clôturait des travaux de recherche initiés en 1989 et dont un des buts était de permettre à la communauté agricole française et européenne de bénéficier des apports des techniques d'I.A. dans des domaines où ces techniques sont peu employées.

Dans ce projet il s'agissait de diffuser un banc de diagnostic de moteur de tracteurs auprès des réparateurs et des associations préoccupées par la maîtrise de la pollution. L'intérêt du projet résidait dans les possibilités de validation du système à base de connaissances qui effectue le diagnostic. Le fonctionnement en conditions réelles et la constitution d'une large base de résultats ont permis d'étudier les problèmes de diffusion et de validation du système (par rapport à l'expert et par rapport à l'utilisateur). Les possibilités d'amélioration en exploitant la base de données résultat ont aussi été examinées. Ses travaux appliqués ont décidé I. Alvarez à chercher à exploiter le paradigme géométrique pour l'aide à la décision dans les directions suivantes :

- qualification des résultats (sensibilité par rapport à la frontière de décision, prise en compte de l'utilisateur par les changements de métrique, définition de solutions prototypiques par les propriétés de la surface de décision) ;
- comparaison de modèles et intégration de modèles dans ce paradigme. Les applications, en collaboration avec le Cemagref, porteront principalement sur des problèmes liés à l'environnement et à l'agriculture (l'aide à la gestion de la ressource en eau, la sécurité des barrages, le diagnostic des machines agricoles, etc.).

Liaison entre Recherche Opérationnelle et Intelligence Artificielle

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. Enfin, P. Perny et M. Futersack ont commencé à travailler sur l'application de fonctions d'évaluation multicritères à des algorithmes de recherche heuristique comme A* [Futersack et Perny, 2000].

Explication et dialogue dans les systèmes d'assistance intelligents et SIAD

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 Négoiciées) 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 a édité un numéro spécial (n° 9-10) de la revue "Psychologies de l'Interaction" (L'Harmattan, Paris) en 1999. M. Joab a organisé les journées Explication'96.

Les travaux du groupe GENE ont porté 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, linguiste de l'U.

Modélisation des connaissances, des préférences et des croyances

Réseaux Bayésiens

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 une extension de cette méthode au cas de graphes comportant des cycles : il s'agit d'une méthode coupe-cycles par conditionnement local [Faÿ et Jaffray, 2000]. Une meilleure gestion des messages informatifs, permettant de réduire de moitié les temps de calcul, a été proposée par A. Faÿ, Ch. Gonzales et P.-H. Wuillemin. De plus, l'exploitation de possibilités de factorisation des calculs, qui permettra de réduire drastiquement les temps d'exécution et de limiter la taille mémoire utilisée, est à l'étude ; pour l'instant, seule une heuristique à base d'arbres binaires pour permettre la factorisation a été développée par Ch. Gonzales. Par ailleurs, P.-H. Wuillemin, avec P. Person, a 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.

L'équipe a par ailleurs entrepris deux applications des réseaux probabilistes : la première, qui fait l'objet d'un contrat inter-thèmes LIP6 (avec G. Blain et B. Huet d'OASIS), s'attaque au problème des journées d'hospitalisation non-pertinentes ; la seconde a pour but d'améliorer l'évaluation des prix fonciers et immobiliers. Dans les deux cas, des études préliminaires ont montré l'intérêt de l'approche choisie.

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].

Modélisation non-probabiliste de l'incertain

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 (U. Johns-Hopkins), J.-Y. Jaffray a montré que l'on pouvait contourner les problèmes résultant de l'inobservabilité des dotations initiales [Jaffray et Karni, 1999]. 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 Philippe, 1997 ; Philippe, 2000]. Enfin la théorie de l'utilité linéaire avec probabilités inférieures/supérieures a été développée dans un cadre très général (espaces polonais) par [Philippe et al., 1999].

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, 1996].

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 Jaffray, 1997].

La pratique décisionnelle montre qu'il n'est pas toujours possible d'obtenir une information préférentielle

suffisamment riche pour construire de manière fiable un modèle quantitatif des préférences (e.g. utilité cardinale, incertain probabiliste). C'est pourquoi P. Perny, s'est intéressé à l'étude de modèles qualitatifs pour la décision dans l'incertain. En interaction avec H. Fargier, D. Dubois et H. Prade, il s'est intéressé à des modèles purement qualitatifs tels que les "lifting rules" dont l'intérêt principal est de n'utiliser qu'une relation d'importance relative et une relation de préférence sur les conséquences des alternatives. Ils ont alors obtenu une caractérisation axiomatique de ces règles [Fargier et Perny, 1998, 1999a, Dubois et al., 2000] fondée sur l'introduction, dans l'axiomatique de Savage, d'un axiome forçant le caractère purement ordinal de la règle.

Modélisation des préférences et Aide multicritère à la décision

La prise en compte de critères multiples et potentiellement conflictuels dans les procédures de décision est une source importante de difficulté en aide à la décision. Au sein de l'équipe, nous nous intéressons à la construction de structures de préférences à partir de fonctions critères, à l'agrégation de critères ou de relations de préférences et à l'exploitation et à la définition de procédures de choix, de classification ou de rangement utilisant ces modèles.

- Construction de structures de préférences

La plupart des problèmes de 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, ainsi que de 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., 1998 ; Perny et Roubens, 1998). En s'appuyant sur l'arsenal algébrique des ensembles flous, ils ont défini et étudié diverses structures de préférences floues. En complément P. Perny s'est attaché, en collaboration avec A. Tsoukiàs, à proposer une extension floue de la logique à 4 valeurs de Belnap pour mieux manipuler des informations incomplètes ou partiellement contradictoire dans les procédures d'aide à la décision (Perny et Tsoukiàs, 1998).

- Étude et caractérisation axiomatique de procédures d'agrégation multicritères

Le problème de l'agrégation multicritère est de 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. Ces dernières années, nos contributions concernent les approches axiomatiques pour la représentation des préférences et la définition de nouvelles procédures d'agrégation. P. Perny a notamment établi, en collaboration avec H. Fargier, un théorème de représentation pour les règles de concordance qui sont des règles d'agrégation ordinales n'utilisant qu'une relation d'importance relative des critères et n'ont recours à aucune quantification numérique [Fargier et Perny, 2000]. Ces règles sont la contrepartie en multicritère des "lifting rules" mentionnées plus haut dans le cadre de la décision dans l'incertain. Le résultat permet d'une part d'exhiber des conditions simples sous lesquelles des préférences sont représentables par une règle de concordance et donne les moyens de révéler les préférences du décideur sur les différents attributs et l'importance relative qu'il attache à ces attributs. Ces travaux ont conduit également à formuler de nouvelles procédures d'agrégation ordinales qui généralisent les méthodes de concordance en comparant des paires d'alternatives via des tiers ce qui permet d'éviter les difficultés classiques liées à l'agrégation ordinale (cf. le théorème d'Arrow).

Des problèmes voisins se rencontrent dans la représentation classique des préférences qui 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, 1998]

Enfin, l'activité de recherche de M. Grabisch (arrivé au LIP6 début 2000) est centrée sur les modèles non-additifs de décision multicritère, qui sont basés sur les capacités et les intégrales de Choquet et de Sugeno. Le but est de parvenir à une construction interactive du modèle par interrogation du décideur, ce qui nécessite une parfaite lisibilité du modèle pour le décideur. Les principaux sous-thèmes traités sont les suivants: i) construction cardinale, basée sur la méthodologie Macbeth, en particulier, construction de modèles 2-additifs et leur caractérisation ; ii) construction ordinale basée sur l'intégrale de Sugeno et étude axiomatique des modèles multicritères basés sur cette intégrale ; iii) critères bipolaires dans le cas ordinal et valeur de Shapley et transformée de Möbius dans le cas ordinal.

- 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., 1998] ;
- des procédures de filtrage et d'affectation multicritère graduelle d'objets à des catégories [Henriet et Perny, 1997, Perny 1998].

Décision multicritère et recherche d'information

Les outils de recherche d'information sont devenus indispensables de nos jours, du fait de la quantité d'information de plus en plus importante disponible sur support informatique, en particulier sur des sites Web visités par un nombre croissant d'utilisateurs. Face à la masse et à la diversité des documents disponibles, l'utilisateur a besoin d'une assistance lui permettant de focaliser rapidement sur des éléments d'information qui l'intéressent. Ces dernières années, nous avons développé le site Web "Film conseil" avec J.-D. Zucker (APA) dans le cadre d'un projet LIP6, en s'appuyant sur une modélisation fine des préférences des utilisateurs

(Perny et Zucker, 1999). Nous continuons actuellement ces développements pour intégrer des techniques d'apprentissage aux méthodes d'aide à la décision, en visant d'autres applications (avec J.-D. Zucker, F. D'Alché et P. Gallinari (APA).

Problèmes multicritères et combinatoires

En aide à la décision, de nombreux problèmes concrets tels que la recherche d'un parcours optimal, la configuration d'un réseau de communications ou la planification de tâches peuvent être formulés comme des problèmes d'optimisation dans les graphes (plus court chemin, circuit hamiltonien de valeur minimale, arbre couvrant de poids minimum). Cependant, dans de nombreuses situations on doit résoudre un problème multicritère admettant un nombre combinatoire de solutions potentielles. Généralement, ces problèmes ne sont pas réductibles à un problème monocritère et leur résolution nécessite des développements originaux. C'est pourquoi nous avons entrepris une étude sur la recherche de solutions de compromis dans des problèmes de multicritères combinatoires, principalement des problèmes de graphes, en vue de l'aide à la décision. Quelques pistes intéressantes ont été examinées pour des problèmes de chemins multicritères [Futtersack et Perny, 2000] et deux thèses débutent sur ce sujet sous la direction de P. Perny, l'une théorique, l'autre appliquée en liaison avec le CNET pour des problèmes de conception et le développement de réseaux cellulaires.

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

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 "apprenants". Ceux-ci 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 et de l'interaction ainsi que l'intégration de ces différents modèles. Les difficultés tiennent en grande partie à la nature, la diversité et la quantité des connaissances (et des métaconnaissances) mises en jeu, 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. Avec le développement des NTIC, des dispositifs de travail et de formation de plus en plus distribués sont envisagés. Ils amènent à

reconsidérer les approches antérieures de conception d'environnements pour l'apprentissage et posent de nouveaux problèmes de communication et de coopération à distance, ce que veut marquer le nouveau sigle EIAH (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain).

Le groupe Systèmes d'aide à la formation joue un rôle important dans l'animation scientifique de 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. Futtersack, 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], ainsi qu'à la proposition d'une

action incitative “Environnements Informatiques pour l’Apprentissage Humain” (resp. N. Balacheff, Grenoble). 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, 1998) par B. de La Passardière.

Le groupe Systèmes d’aide à la formation travaille sur différents aspects de conception d’EIAO, avec des réalisations significatives pour la formation professionnelle et pour la formation initiale. Les travaux concernent trois axes principaux : la conception d’interfaces et d’hypermédias pédagogiques, la conception de systèmes d’aide à l’exploitation de simulateurs d’entraînement, la modélisation de connaissances et la modélisation d’apprenants.

Conception d’interfaces et d’hypermédias pédagogiques

H. Giroire et G. Tisseau sont à l’origine, avec F. Le Calvez M. Urtasun (CRIP5 Paris 5), du projet Combien?, qui vise à réaliser un environnement interactif d’apprentissage avec ordinateur dans le domaine mathématique des dénombrements. Dans ce domaine, les exercices se ramènent à déterminer le nombre d’éléments d’un ensemble défini déclarativement à l’aide de contraintes ; leur résolution repose sur une activité de modélisation à partir de l’énoncé, ce qui en constitue la difficulté. L’approche suivie est d’offrir à l’élève une présentation proche des formulations usuelles qu’il a tendance à donner spontanément, tout en garantissant la rigueur mathématique des raisonnements. Pour cela trois niveaux de modélisation ont été introduits [Tisseau et al., 2000] : d’abord une formalisation mathématique du raisonnement intuitif des élèves, ensuite un modèle conceptuel informatique du domaine et enfin une présentation suivant plusieurs interfaces correspondant chacune à une classe différente de problèmes.

Une méthode de résolution a été élaborée : la méthode constructive de dénombrement. Elle consiste à concevoir une définition formelle 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]. Plusieurs classes d’exercices ont été identifiées, avec les schémas de résolution associés. Un langage, permettant de représenter un problème ainsi qu’une solution suivant la méthode constructive, a été défini et utilisé pour implémenter un système d’IA capable de vérifier une so-

lution écrite dans ce langage. Ce langage s’étant révélé trop général et abstrait, un deuxième niveau de modélisation a été introduit sous la forme d’un modèle conceptuel du domaine. Ce modèle orienté objet, mieux adapté à une utilisation interactive, permet aussi bien d’effectuer des raisonnements mathématiques que de communiquer avec l’élève. Il a donné lieu à différentes implémentations expérimentales d’interfaces de saisie de problèmes. Le troisième niveau de modélisation est celui des interfaces 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].

Dans le cadre de la résolution utilisant une classification, N. Guin a conçu et réalisé une architecture de système de résolution de problèmes indépendante du domaine. Son 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. Cette méthode a été mise en œuvre dans le système syrclad et appliquée avec succès à quatre domaines différents, dont les dénombrements. La thèse de N. Guin, soutenue en décembre 1997, a permis de montrer que la résolution à partir d’une classification est opérationnelle et que la tâche de classification nécessite une expertise non négligeable.

Pour réaliser des interfaces à but pédagogique, le groupe Combien? a défini un formalisme général de spécification du dialogue d’une application interactive (IREC, Interacteurs à REseaux de Contrôle). Il a implémenté un générateur de code permettant d’engendrer une grande partie du code de l’application à partir d’une spécification. Un environnement de développement (EDIREC, Environnement de développement d’interfaces à réseaux de contrôle) permet la saisie de la spécification de l’interface, sa vérification, le lancement de la génération de code et l’édition de l’interface [Tisseau et al., 1999].

Les travaux en cours du groupe Combien? concernent la mise en place d’une architecture multi-agents pour l’évaluation de la solution de l’élève. L’objectif visé est d’élaborer une réponse pour chaque élément de solution proposée par l’élève.

Dans le projet PROFIL (Institut des Textes et Manuscrits Modernes), B. de La Passardière a développé une base de données iconographiques intégrant des fonctionnalités hypertextuelles. A partir des éléments du descriptif standard des manuscrits modernes, elle a mis en place une interface d’interrogation pour des chercheurs confrontés à des problèmes d’identification du scripteur, de datation d’un écrit, de classification des pages d’un manuscrit, ces chercheurs étant 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).

Systèmes d'Aide à l'Exploitation de Simulateurs d'Entraînement

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 fait l'objet d'un contrat avec EDF. C'est un système d'entraînement fondé sur la simulation, où le stagiaire est placé en situation de résolution de problèmes, dans un environnement proche d'un environnement de travail réel. DIAPASON suit le stagiaire sans influencer sur sa résolution, il lui fournit des explications et une évaluation [Joab et al. 2000].

O. Auzende a conçu et réalisé un module de génération d'explications. L'explication, construite en fonction des actions du stagiaire et de l'évolution du dispositif industriel simulé, porte sur le comportement du dispositif conduit : elle interprète les observables et fait émerger les événements significatifs. Parallèlement à la simulation, un mécanisme d'anticipation crée et réactualise les éléments d'explication, à partir desquels le module explicateur peut, à tout moment, synthétiser en temps réel une explication pour répondre à une demande de l'opérateur. Cette recherche a abouti à une méthode de conception d'explications dynamiques [Auzende, 1996a, 1996b, 1997, 1998], [Auzende et al., 1996a, 1996b].

C. Moinard a développé dans sa thèse un module d'évaluation du stagiaire. L'évaluation porte sur les performances et sur la démarche du stagiaire, par rapport à une norme de l'activité que les instructeurs souhaitent promouvoir. 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 [Moinard, 1996, 1998] [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.

M. Joab recherche des méthodes d'ingénierie des connaissances spécifiques pour les environnements de formation à base de simulation [Joab, 1999]. Elle propose une démarche qui capitalise les connaissances en interne, c'est-à-dire qui exploite les bases de connaissances acquises dans les premières étapes (simulation, résolution) pour constituer d'autres bases du système (explication, classification des scénarios de simulation, évaluation).

Depuis 1997, O. Auzende, M. Fattersack et M. Joab animent un projet en collaboration avec

Thomson Training & Simulation. Ce projet a pour but de développer un système d'aide à l'instructeur qui forme un stagiaire via un simulateur d'entraînement. Deux simulateurs pleine échelle constituent la cible du projet : l'un reproduit le poste de commande du char Leclerc, l'autre, la cabine d'un camion. L'équipe a conçu et réalisé une première fonction d'aide à l'instructeur : STREX, logiciel générique d'aide à la structuration d'une base d'exercices et à la construction de cursus, couplé au logiciel de création et de gestion d'exercices [Joab et al. 1998, 2000]. Elle étudie actuellement la conception de l'évaluation du déroulement de l'exercice dans le cadre de la simulation distribuée.

L'ensemble des activités de H. Caetano et J. Mathieu est orienté vers la réalisation d'outils informatiques pour la formation et l'aide à la décision, destinés à des cadres d'institutions nationales ou européennes. Ils 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. L'analyse de la gestion de catastrophes fait apparaître que les dysfonctionnements les plus notables sont dus à un défaut de coopération entre les institutions qui interviennent. Un objectif important est donc de réaliser des systèmes de formation prônant cette coopération ; le logiciel INTEMPÉRIES a été conçu comme noyau de simulation pour de tels systèmes [Caetano, 1997].

En collaboration avec la société ISA Technologies, H. Caetano a réalisé, avec J.-Ph. Jacquet et R. Rispoli, deux autres projets. Le projet RISCOS URBANOS a pour objet la réalisation d'un simulateur destiné à la formation et l'aide à la décision pour les pompiers professionnels de la ville de Lisbonne. Le projet IMAGIS (Conseil de l'Europe) a donné lieu à la conception, la réalisation et la mise en place d'un serveur d'images sur Internet, pour préparer les agents de la sécurité civile à faire face aux tremblements de terre dans un pays européen. Parmi les activités en cours, le Projet Flux Urbains, pour la Sécurité Civile Nationale Portugaise, vise à recenser tous les ponts de la Zone Métropolitaine de Lisbonne, à analyser leur vulnérabilité sismique et à les décrire (recueil d'expertise et modélisation) pour les intégrer au simulateur Riscos Urbanos.

Modélisation de connaissances, modélisation d'apprenants

Quels modèles sont susceptibles de rendre compte de l'état des connaissances et des capacités de raisonnement d'un apprenant, ainsi que de leur évolution ? Comment par ailleurs donner à un système la capacité d'inférer les contenus d'un tel modèle, à partir de la trace du comportement d'un apprenant à l'interface ? Comment tenir à jour ces contenus, pour suivre l'évo-

lution de l'apprenant au fur et à mesure de son apprentissage ? Sur ce thème de la modélisation d'apprenant et du diagnostic cognitif, M. Baron a poursuivi l'étude de plusieurs approches symboliques 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]. Une partie de 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), et à sa généralisation à des dispositifs où plusieurs apprenants (et éventuellement des formateurs) peuvent communiquer à distance, via un réseau, ce qui rejoint une problématique de modélisation multi-agents. Une application a été effectuée dans le cadre du projet CHENE (équipe COAST, CNRS-IRPEACS, ENS de Lyon, resp. A. Tiberghien, DEA de C. Lund), où l'objectif était de modéliser les conceptions d'apprenants collaborant à distance pour résoudre des problèmes [Lund et al., 1996]. En outre, M. Baron a coordonné avec J.-M. Labat (LIP6) un numéro spécial "Modélisation de l'apprenant", de la revue Sciences et Techniques éducatives (Vol.5-2, juin 1998, Hermès).

La modélisation d'activités cognitives humaines, celles d'apprenants en particulier, pose des problèmes difficiles d'adéquation à un système formel, à cause des limites des ressources cognitives et de la rationalité humaines. Pour concevoir un système interactif destiné à favoriser des apprentissages, il convient de préciser les besoins de modélisation en fonction des activités d'apprentissage visées et de l'interactivité souhaitée. Ces questions nécessitent des coopérations pluridisciplinaires avec des disciplines de sciences humaines qui étudient les processus d'apprentissage humain, les processus d'enseignement et la communication homme-machine (didactique, psychologie cognitive, linguistique, sciences de l'éducation).

Sur le thème de la modélisation cognitive en situation de résolution de problèmes, J.-M. Labat et J.-Ch. Pomerol ont participé au groupe pluridisciplinaire PROVERB (groupe de production verbale et résolution de problème) de l'Association pour la Recherche Cognitive. Ils ont réalisé plusieurs simulations pour tester et affiner la modélisation du processus cognitif d'une personne engagée dans une tâche de résolution de problèmes, à partir de l'analyse psycholinguistique des protocoles verbaux. Les résultats obtenus leur permettent d'envisager 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].



PUBLICATIONS SYSDEF

Livres

- (1) F. Adam, M. Healy : "Practical Guide to Postgraduate Research in the Business Area". Dublin: Blackhall Publishing, 2000.
- (2) F. Adam, C. Murphy : "A manager's Guide to Current Issues in Information Systems". Dublin, Ireland: Blackhall Publishing, 1999.
- (3) S. Barba-Romero, J.-C. Pomerol : "Decisiones Multicriterio Fundamentos teoricos y utilizacion practica": Universidad de Alcala Publicaciones, 1997.
- (4) S. Barba-Romero, J.-C. Pomerol : "Choix Multicritère dans l'entreprise": Universidad de Alcala Press (1996, Espagne) et Tehnica (1999, Roumanie), 1999.
- (5) D. Batanov, P. Brézillon : "Successes and Failures of Knowledge-Based Systems in Real-World Applications". Bangkok, Thailand: Asian Institute of Technology, 1996.
- (6) D. Berkeley, G. Widmeyer, P. Brézillon, V. Rajkovic : "Context-Sensitive Decision Support Systems". London: Chapman & Hall, 1998.
- (7) P. Brézillon Ed : "Special Issue on Modeling and Using Context in Applications", vol. 48, 1998.
- (8) P. Brézillon, R. Turner, J.-C. Pomerol, E. Turner Eds : "Modeling Context in AI Applications", vol. ISBN 1-57735-098-7: AAAI, 1999.
- (9) M. Cavalcanti, P. Brézillon : "Modeling and Using Context (CONTEXT-97)". Rio de Janeiro, Brasil: Federal University of Rio de Janeiro, Brasil, 1997.
- (10) M. Cavalcanti, P. Brézillon : "Formal and Linguistic aspects of Context". London: Kluwer Series, 1998.
- (11) M. Grabisch, T. Murofushi, M. Sugeno : "Fuzzy Measures and Integrals --- Theory and Applications": Physica Verlag, 2000.
- (12) P. Humphreys, L. Bannon, A. McCosh, P. Migliarese, J.-C. Pomerol Eds : "Implementing Systems for Supporting Management Decisions". London: Chapman & Hall, 1996.
- (13) J.-C. Pomerol, S. Barba-Romero : "Multicriterion Decision Making in Management (trad. en Roumain)": TEHNICA, 1999.
- (14) J.-C. Pomerol, S. Barba-Romero : "Multicriterion Decision Making in Management": Kluwer Series in Operation Research, 2000.
- (15) G. Tisseau : "Intelligence artificielle, problèmes et méthodes": PUF, 1996.

Articles de revues

- (1) F. Adam : "Social network analysis - a new mode of analysis for DSS development and DSS research", ECON'96, vol. 3, pp. 30-35, 1996.
- (2) F. Adam, F. Cahen : "L'achat des systèmes d'information informatiques comme alternative au développement spécifique : le cas Socrate", Systèmes d'Information et Management, vol. 3, pp. 79-100, 1998.
- (3) F. Adam, M. Fahy, C. Murphy : "A Framework for the Classification of DSS Usage Across Organisations", Decision Support Systems - The International Journal, vol. 22, pp. 1-14, 1998.
- (4) F. Adam, M. Fahy, C. Murphy : "Evaluating Organisational Maturity with DSS based on the Spread and Complexity of the Portfolio of Applications Developed", Journal of Decision Systems, vol. 7, pp. 10-25, 1998.
- (5) F. Adam, B. Fitzgerald : "Nouveaux Regards sur les Méthodologies d'Analyse, de Conception et de Programmation Informatiques", Systèmes d'information et Management, vol. 3, pp. 5-22, 1998.
- (6) O. Auzende : "Aide à l'opérateur dans un système de formation à la conduite de processus", Revue d'Intelligence Artificielle, vol. 12, pp. 467-496, 1998.
- (7) M. Baron : "Introduction au numéro spécial Modélisation de l'Apprenant", Sciences et Techniques éducatives, vol. 5, pp. 117-122, 1998.
- (8) M. Baron, B. Bouchon-Meunier : "Comment utiliser des connaissances imparfaites ?", Cahiers de Nutrition et de Diététique, vol. 31, pp. 232-238, 1996.
- (9) P. Brézillon : "Successes and Failures of KBSs in Real-World Applications: Report on the International Conference", International Journal on Knowledge-Based Systems, vol. 10, pp. 253-258, 1997.
- (10) P. Brézillon : "Preface of the Special Issue on Using Context in Applications", International Journal on Human-Computer Studies, vol. 48, pp. 303-305, 1998.
- (11) P. Brézillon : "Context in Artificial Intelligence: I. A survey of the literature", Computer & Artificial Intelligence, vol. 18, pp. 321-340, 1999.
- (12) P. Brézillon : "Context in Artificial Intelligence: II. Key elements of context", Computer & Artificial Intelligence, vol. 18, pp. 425-446, 1999.
- (13) P. Brézillon : "Context in problem solving: A survey", The Knowledge Engineering Review, vol. 14, pp. 1-34, 1999.

- (45) F. Philippe, G. Debs, J.-Y. Jaffray : "Decision making with monotone lower probabilities of infinite order", *Mathematics of Operations Research*, vol. 24, pp. 767-784, 1999.
- (46) C. Picouleau : "Worst-case analysis of fast heuristics for packing squares into a square", *Theoretical Computer Sciences*, vol. 164, pp. 59-72, 1996.
- (47) J.-C. Pomerol : "Artificial Intelligence and decision making", *European Journal of Operational Research*, vol. 99, pp. 3-25, 1997.
- (48) J.-C. Pomerol : "Scenario Development and Practical Decision Making under Uncertainty: Application to Requirements Engineering", *Requirements Engineering*, vol. 3, pp. 174-181, 1998.
- (49) J.-C. Pomerol, B. Roy, C. Rosenthal-Sabroux : "Development of an "intelligent" system for the evaluation of railway timetables: problems and issues", *Journal of Decision Systems*, vol. 5, pp. 249-267, 1996.
- (50) F. Sourd : "Scheduling Tasks on Unrelated Machines : Large Neighborhood Improvement Procedures", *Journal of Heuristics*, 2000.
- (51) F. Sourd, P. Chrétienne : "Fiber-to-Object Assignment Heuristics", *European Journal of Operational Research*, vol. 117, pp. 1-14, 1999.

Chapitres de Livres

- (1) F. Adam : "Experimentation with Organisation Analyser, a tool for the study of decision making networks in organisations", in *Implementing Systems for Supporting Management Decisions - Concepts, Methods and Experiences*, B. Humphreys, McCosh, Migliarese and Pomerol, Ed. London: Chapman and Hall, 1996, pp. 1-20.
- (2) F. Adam, V. Coatnan : "The World Wide Web : Implications for business", in *A manager's Guide to Current Issues in Information Systems*, A. a. Murphy, Ed. Dublin: Blackhall Publishing, 1999, pp. 137-151.
- (3) F. Adam, G. Crossan : "Teleworking in Ireland – Issues and Perspectives", in *Challenges of Remote Work*, N. Johnson, Ed.: Idea Group Publishing, 2000.
- (4) F. Adam, J. Haslam : "The Irish experience with IS disaster recovery planning: high levels of awareness may not suffice", in *Information Security Management: Global Challenges in the Next Millennium*, G. Dhillon, Ed.: Idea Group Publishing, 2000.
- (5) F. Adam, C. Murphy : "Executive Information Systems : meeting top managers' information needs", in *A manager's Guide to Current Issues in Information Systems*, F. Adam et C. Murphy, Eds. Dublin: Blackhall Publishing, 1999, pp. 59-70.
- (6) F. Adam, J.-C. Pomerol : "Context sensitive decision analysis based on the investigation of organizational information networks", in *Context-Sensitive Decision Support Systems*, G. W. D. Berkeley, P. Brézillon & V. Rajkovic, Ed. London: Chapman & Hall, 1998, pp. 122-145.
- (7) F. Adam, J.-C. Pomerol : "Supporting managerial decision making", in *A Manager's Guide to Current Issues in Information Systems*, F. A. e. C. Murphy, Ed. London, UK: Blackhall Publishing, 1999, pp. 3-21.
- (8) F. Adam, J.-C. Pomerol : "How Knowledge representation and decision making evolved in an organisation after computerisation", in *Decision Support through Knowledge Management*. Stockholm, Sweden: Chapman & Hall, 2000.
- (9) F. Adam, J.-C. Pomerol : "Decision making and Decision Support Systems", in *Information Systems at the Core*, P. F. a. C. Murphy, Ed. Dublin: Blackhall Publishing, 2000, pp. 117-144.
- (10) P. Brézillon, J.-C. Pomerol : "Misuse and nonuse of knowledge-based systems: The past experiences revisited", in *Implementing Systems for Supporting Management Decisions*, vol. 1, P. H. e. al, Ed. London: Chapman & Hall, 1996, pp. 44-60.
- (11) P. Brézillon, J.-C. Pomerol : "Using contextual information in decision making", in *Context-Sensitive Decision Support Systems*, vol. 1, W. G. Berkeley D., Brézillon P. & Rajkovic V., Ed. London: Chapman & Hall, 1998, pp. 158-173.
- (12) P. Brézillon, I. Saker : "Modeling context in information seeking", in *Exploring the Contexts of Information Behaviour*, T. D. W. D. K. Allen, Ed. London: Taylor Graham, 1999, pp. 479-493.
- (13) E. Bruillard, B. de La Passardière : "Fonctionnalités hypertextuelles dans les environnements d'apprentissage", in *Les hypermédias - approches cognitives et ergonomiques*, A. T. e. J.-F. Rouet, Ed. Paris: Editions Hermès, 1998, pp. 95-122.
- (14) E. Doyle, F. Adam : "Board Gais Eireann: Exciting and Dynamic Times for the Natural Gas Industry", in *Exploring Corporate Strategy*, G. J. a. K. Scholes, Ed. London: Prentice Hall, 1998, pp. 827-837.
- (15) J. Fodor, S. Orlovski, P. Perny, M. Roubens : "The Use of fuzzy Preference Models in Multiple Criteria Choice, Ranking and Sorting", in *Handbook of Fuzzy Sets and Possibility Theory*, vol. 4, Operations Research and Statistics, R. Slowinski, D. Dubois, et H. Prade, Eds., 1997, pp. chapitre 3.
- (16) J. Fodor, P. Perny, M. Roubens : "Decision Making and Optimization", in *The Handbook of Fuzzy Computations*, vol. F5, P. B. a. W. P. E. Ruspini, Ed., 1998, pp. 1-14.
- (17) M. Grabisch : "The interaction and Möbius representations of fuzzy measures on finites spaces, k-additive measures: a survey", in *Fuzzy Measures and Integrals --- Theory and Applications*, T. M. M. Grabisch, and M. Sugeno, Ed.: Physica Verlag, 2000, pp. 70-93.

- (18) M. Grabisch : "Fuzzy integral for classification and feature extraction", in *Fuzzy Measures and Integrals --- Theory and Applications*, T. M. M. Grabisch, and M. Sugeno, Ed.: Physica Verlag, 2000, pp. 348-374.
- (19) M. Grabisch : "New Pattern recognition tools based on fuzzy logic for image understanding", in *Soft Computing for Image Processing*, A. G. S.K. Pal, M.S. Kundu, Ed.: Physica Verla, 2000, pp. 299-310.
- (20) M. Grabisch : "On lower and upper approximation of fuzzy measures by k-order additive measures", in *IPMU'98: In Information, Uncertainty, Fusion*, R. R. Y. a. L. Z. B. Bouchon-Meunier, Ed.: Kluwer Science Publisher, 2000, pp. 105-118.
- (21) M. Grabisch, M. Roubens : "Application of the Choquet Integral in Multicriteria Decision Making", in *Fuzzy Measures and Integrals --- Theory and Applications*, T. M. M. Grabisch, and M. Sugeno, Ed.: Physica Verlag, 2000, pp. 415-434.
- (22) J. Haslam, F. Adam : "Disaster recovery planning", in *A manager's Guide to Current Issues in Information Systems*, F. A. a. C. Murphy, Ed. Dublin: Blackhall Publishing, 1999, pp. 73-88.
- (23) C. Lahlou : "Scheduling with unit processing and communication times on a ring network: approximation results", in *Lecture Notes in Computer Sciences*, vol. 1124, *Lecture Notes in Computer Science*: Springer-Verlag, 1997, pp. 538-542.
- (24) L. Pasquier, P. Brézillon, J.-C. Pomerol : "Context and decision graphs in incident management on a subway line", in *Modeling and Using Context (CONTEXT-99)*, vol. *Lecture Notes in Computer Science* N° 1688, P. B. P. Bouquet, L. Serafini, M. Benerecetti et F. Castellani, Ed. Berlin: Springer Verlag, 1999, pp. 499-502.
- (25) L. Pasquier, P. Brézillon, J.-C. Pomerol : "From representation of operational knowledge to practical decision making in operations", in *Decision Support Through Knowledge Management*. London: Chapman & Hall, 2000.
- (26) P. Perny, R. M. : "Preference Modelling", in *Handbook of Fuzzy Sets and Possibility Theory, Operations Research and Statistics*, R. Slowinski, Ed.: Kluwer, 1998, pp. 69-101.
- (27) P. Perny, J.-C. Pomerol : "Use of Artificial Intelligence in MultiCriteria Decision Making", in *Multicriteria Decision Making Advances in MCDM Models, Algorithms, Theory and Applications*, T. Gal, T. J. Stewart, et T. Hanne, Eds. New York: Kluwer, 1999, pp. 1-43 (Chapter 15).
- (28) J.-C. Pomerol, P. Brézillon : "Dynamics between contextual knowledge and proceduralized context", in *Modeling and Using Context (CONTEXT-99)*, vol. *Lecture Notes in Computer Science* N° 1688, P. B. P. Bouquet, L. Serafini, M. Benerecetti et F. Castellani, Ed. Berlin: Springer Verlag, 1999, pp. 284-295.

Communications avec actes

.....

- (1) F. Adam, "Can social network analysis provide a new analytical approach for DSS development and DSS research?," presented at *Proceedings of the Fifth European Conference on Information Systems (ECIS)*, Ork, Ireland, 1997, pp. 413-428.
- [2] F. Adam, P. Bowe, and C. Murphy, "Ireland - An Island Adrift in a Network or Networks," presented at *Proceeding of the Fourth SISnet Conference*, Lisbon, Portugal, 1996, pp. 1-15.
- [3] F. Adam and E. Doyle, "A Methodology for Adding Value to Organisations Using a Resource Based Analysis of Organisational Networks," presented at *Second Conference on Management Research in Ireland*, Dublin, Ireland, 1997.
- [4] F. Adam and B. Fitzgerald, "A Framework for Analysing the Evolution of the IS Field - Can IS Become a Stable Discipline?," presented at *Fourth European Conference on Information Systems, ECIS'96*, Lisbon, Portugal, 1996, pp. 17-32.
- [5] J. Agabra, I. Alvarez, and P. Brézillon, "Acquisition et implémentation de connaissances contextuelles dans un SBC en œnologie," presented at *Ingénierie des Connaissances (IC'97)*, Roscoff, 1997.
- [6] J. Agabra, I. Alvarez, and P. Brézillon, "Contextual knowledge based system: A study and design in enology," presented at *First International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context (CONTEXT-97)*, Rio de Janeiro, Brasil, 1997, pp. 351-362.
- [7] O. Auzende, "Explaining the evolution of a simulated system," presented at *European Conference on AI in Education (EuroAIED 96)*, Lisbonne, Portugal, 1996, pp. 59-65.
- [8] O. Auzende, "Aide à la compréhension du comportement d'un dispositif simulé," presented at *Première Conférence Francophone de Modélisation et de Simulation, Systèmes de Production et de Logistique (MOSIM'97)*, Rouen, 1997.
- [9] O. Auzende and M. Joab, "Explications dynamiques d'un dispositif simulé," presented at *Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle (RFIA'96)*, Rennes, 1996, pp. 387-394.
- [10] O. Auzende and M. Joab, "L'explication temps réel : une aide à l'opérateur," presented at *Explication'96*, Sophia-Antipolis, 1996, pp. 93-105.
- [11] M. Baker, L. Charnay, M.-H. Gréboval, M. Joab, B. Lemaire, B. Safar, and D. Schlienger, "Conception d'une interface de validation d'un diagnostic médical," presented at *Explication'96*, Sophia-Antipolis, 1996, pp. 17-30.
- [12] M. Baker, L. Charnay, M.-H. Gréboval, M. Joab, B. Lemaire, B. Safar, and D. Schlienger, "Transposer les principales fonctions d'un dialogue explicatif dans une interface graphique," presented at *Journées Nationales du PRC IA*, Grenoble, 1997, pp. 339-355.

- [38] H. Caetano, L. Mendes Victor, and P. Teves Costa, "The LIRIS Project," presented at 1ère Assemblée Luso-Espagnole de Géodésiet de Géophysique, Alméria, Espagne, 1998.
- [39] H. Caetano, P. Teves Costa, and R. Rispoli, "Le Simulateur ECARISCOPO : Un outil informatique pour l'intégration des diverses connaissances permettant l'évaluation du risque sismique dans la coline du Château de S. Jorge (Lisbonne)," presented at 5° Colloque de l'Association Française du Génie Parasismique, Cachan, 1999.
- [40] P. Chrétienne, "Minimizing the earliness-tardiness cost of a sequence of tasks on one machine," presented at ROADEF'99, Grenoble, 1999, pp. 55.
- [41] P. Chrétienne, "On the Graham's Bound for Cyclic Scheduling," presented at ECC'99, Karlsruhe, Germany, 1999.
- [42] P. Chrétienne, "Minimizing the earliness-tardiness mean cost of an infinite task stream on one machine," presented at ROADEF'2000, Nantes, 2000.
- [43] P. Chrétienne and A. Munier, "Timed Petri nets and cyclic scheduling," presented at Advanced Tutorial, ICATPN'9, Osaka, Japon, 1996.
- [44] P. Chrétienne, D. Tayachi, and K. Mellouli, "Modélisation du Problème Pm/prec/Cmax et Résolution par une méthode Tabou," presented at Congrès FRANCORO II, Tunisie, 1998.
- [45] P. d'Argence, "An asymptotically optimal affine schedule on bounded convex polyhedric domains," 1996.
- [46] O. Dubois, "Horn renomability thresholds for random r-SAT formulae," presented at Workshop on the satisfiability problems, Sienna, Italie, 1996.
- [47] O. Dubois, "Strategy to estimate from the above the satisfiability threshold," presented at Workshop on the Interfaces between Statistical Physics and Computer Science, Turin, 1998.
- [48] O. Dubois and Y. Boufkhad, "Negatively Prime Solutions to reduce searching space for solving SAT formulae," presented at Fourth International Symposium on Artificial Intelligence and Mathematics, Floride, Etats-Unis, 1996.
- [49] O. Dubois and Y. Boufkhad, "What influences strongly the satisfiability and the hardness of SAT instances," presented at Workshop on the Satisfiability Problem : Theory and Applications, Rutgers, Etats-Unis, 1996.
- [50] O. Dubois, Y. Boufkhad, and J. Mandler, "A new approach to better estimate the satisfiability threshold," presented at Conference on NP-Hardness and Phase Transitions, Trieste, 1999.
- [51] O. Dubois, Y. Boufkhad, and J. Mandler, "Typical random 3-SAT formulae and the satisfiability threshold," presented at Proceedings of the Eleventh ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, San Francisco, California, 2000, pp. 124-126.
- [52] J. Duma, H. Giroire, F. L. Calvez, G. Tisseau, and M. Urtasun, "Spécification de dialogues et construction d'interfaces modulaires et réutilisables," presented at Colloque Intelligence Artificielle, Berder, 1999, pp. 117-129.
- [53] H. Fargier and P. Perny, "Qualitative decision models under uncertainty without the commensurability hypothesis," presented at Uncertainty in Artificial Intelligence, Stockholm, 1999, pp. 188-195.
- [54] H. Fargier and P. Perny, "Qualitative Models for Decision Making under Uncertainty: an Axiomatic Investigation," presented at Proceedings of the FUR IX Conference, Marrakesh, Marocco, 1999.
- [55] H. Fargier and P. Perny, "Une approche axiomatique pour les méthodes de surclassement basées sur une règle de concordance," presented at 50èmes Journées du groupe de travail Européen "Aide multicritere à la décision", Cerisy La Salle, 1999.
- [56] B. Fitzgerald and F. Adam, "The Future of IS: Expansion or Extinction?," presented at First Annual Conference of the United Kingdom Academy for Information Systems, Cranfield, UK, 1996, pp. 1-15.
- [57] B. Fitzgerald and F. Adam, "Méthodologies de Conception et de Programmation: il est grand temps de remettre les pendules à l'heure," presented at Actes des Deuxièmes Journées de Projectique de la Société Européenne de Projectique, Bayonne, France, 1996, pp. 199-220.
- [58] M. Futersack and P. Perny, "BCA*, une généralisation d'A* pour la recherche de solutions de compromis dans des problèmes de recherche multiobjectifs," presented at Actes de RFIA'2000, Paris, 2000, pp. 377-386.
- [59] F. Ghedjati, "Genetic algorithm for the generalized job-shop scheduling problem," presented at IPMU'96, Grenada, Spain, 1996, pp. 793-807.
- [60] F. Ghedjati and J.-C. Pomerol, "Algorithmes génétiques pour le problème d'ordonancement job-shop avec machines en parallèle et contraintes de précédence: méthode par brassage d'heuristiques," presented at Journées Nationales sur la Résolution Pratique de Problèmes NP-Complets (JNPC'98), Nantes, 1998, pp. 137-144.
- [61] A. Giannakos, J.-C. Koeni, and A. Munier, "On the Cyclic Scheduling Problem with Small Communication Delays," presented at Europar96, Parallel Processing, 1996, pp. 578-582.
- [62] C. Gonzales, "Utilitarianism With Individual Variations In Utility," presented at Third International Meeting of The Society For Social Choice And Welfare, Maastricht, Pays-Bas, 1996.
- [63] N. Guin, "Problem solving using classification of the domain problems," presented at EXPERSYS-96, Paris-Marne La Vallée, 1996.
- [64] N. Guin, "Building a new model in order to solve a problem : use of classification," presented at IJCAI-97, Nagoya, Japon, 1997, pp. 42.
- [65] N. Guin, "Changer de modèle pour résoudre un problème : utilisation de la classification," presented at 5èmes Journées francophones EIAO, Cachan, 1997, pp. 223-235.
- [66] N. Guin, "Changing the representation of a problem in order to solve it : use of classification," presented at AI-ED 97, Kobe, Japon, 1997, pp. 583-585.

- [93] P. Perny, "Non-monotonic decision procedures resulting from iterated choices," presented at EURO XVI, Bruxelles, Belgique, 1998.
- [94] P. Perny, "On the structure of Fuzzy Preference Relations derived from the comparison of alternatives under uncertainty," presented at Eufit'98, Aachen, 1998, pp. 530-534.
- [95] P. Perny and L. Henriët, "Fuzzy assignment methods for multicriteria decision problems," presented at Euro Working Group on Multicriteria Decision Making, Bruxelles, Belgique, 1996.
- [96] P. Perny and A. Tsoukiàs, "On the continuous extension of a four valued logic for preference modelling," presented at IPMU, Paris, 1998, pp. 302-309.
- [97] P. Perny and D. Vanderpooten, "The elaboration of stable prescriptions for decision aid," presented at IFORS'96, Vancouver, Canada, 1996, pp. 140.
- [98] P. Perny and J. D. Zucker, "Collaborative filtering methods based on Fuzzy Preference Relations," presented at EUROFUSE-SIC'99, Budapest, 1999, pp. 279-285.
- [99] J.-C. Pomerol, "Cognition and Decision: about some recent results in neurobiology," presented at ISDSS 97, 1997.
- [100] J.-C. Pomerol, "Scenario development and practical decision making under uncertainty: robustness, case-based reasoning and "risk control"," presented at IEEE CESA-98, 1998, pp. 238-242.
- [101] J.-C. Pomerol, "Scenario development and practical decision making under uncertainty," presented at Fifth International Conference of the International Society for Decision Support Systems, Melbourne, Australia, 1999, pp. 1-9.
- [102] J.-C. Pomerol, "Scenario development and practical decision making under uncertainty: Robustness and action postponement," presented at 5th International Conference of the Decision Science Institute, Athens, Greece, 1999, pp. 1428-1430.
- [103] J.-C. Pomerol and P. Brézillon, "Are interactivity problems in KBSs similar to DSSs ones?," presented at International Conference on Successes and failures of Knowledge-Based Systems in Real-World Applications, Bangkok, Thailand, 1996, pp. 1-10.
- [104] J.-C. Pomerol and P. Brézillon, "Organizational experiences with multicriteria decision support systems: Problems and issues," presented at 30th Hawaiï International Conference on System Sciences, Wailea, Hawaiï, USA, 1997.
- [105] J.-C. Pomerol and P. Brézillon, "From DSSs to cooperative systems: some hard problems still remain.," presented at Proceedings of The Hawaiï International Conference on System Sciences., Hawaiï, 1998, pp. 64-71.
- [106] J.-C. Pomerol and P. Brézillon, "Scenario development and practical decision making," presented at 2ndes Journées Francophones de Recherche Opérationnelle, FRANCORO II, Sousse, Tunisie, 1998.
- [107] J.-Y. Pomerol and P. Brézillon, "Multicriteria decision making: A cooperative process explainable in context.," presented at 13th International Conference on Multiple Criteria Decision Making., Cap Town, 1997.
- [108] B. Rottembourg and C. Helleu, "A 6/5 approximation algorithm for a Steiner problem with edge lengths 1 and 2," presented at Symposium on Combinatorial Optimization CO'96, 1996.
- [109] B. Rottembourg and N. Mathurin, "Efficient estimation of rain cell kinetics via hypergraph matchings," presented at European Geophysical Society Conference EGS'97, 1997.
- [110] B. Rottembourg and L. Pinori, "Application des méthodes de faisceaux à la relaxation lagrangienne de problèmes combinatoires," presented at Journées de l'Optimisation JO'97, Montréal, Canada, 1997.
- [111] F. Sourd, "Fiber-to-Object Allocation Algorithms for Fiber Positionners," presented at Fiber Optics in Astronomy III, Astronomical Society of the Pacific Conference, 1998, pp. 111-116.
- [112] F. Sourd, "Relations de précédences et contraintes disjonctives," presented at ROADEF'2000, Nantes, 2000.
- [113] G. Tisseau, H. Giroire, F. L. Calvez, M. Urtasun, and J. Duma, "Design principles for a system to teach problem solving by modelling," presented at ITS'2000, Montreal, Canada, 2000.
- [114] P.-H. Wuillemin and C. Gonzales, "Implémentation efficace d'algorithmes de propagation dans les réseaux probabilistes," presented at FRANCORO II, Sousse, Tunisie, 1998.
- [115] C. Zanarelli and L. Pasquier, "Conception centrée sur l'activité réelle : Développement d'un outil d'aide à la régulation de trafic Métro," presented at Ergonomie et Facteurs Humains dans le transport ferroviaire. Journée satellite de la SELF, Toulouse, 2000, pp. à paraître.
- [116] C. Zanarelli, I. Saker, and L. Pasquier, "Un projet de coopération ergonomes-concepteurs autour de la conception d'un outil d'aide à la régulation du trafic du métro," presented at Conférence Ingénierie des Connaissances, 1999, pp. 161-170.
- [117] P. Zaraté, "Decision making and decision support systems for insurance problems," presented at Summer school decision making and insurance, Constantza, Roumanie, 1996.
- [118] P. Zaraté, "Systèmes interactifs d'aide à la décision : cas d'une grande compagnie aérienne," presented at JETAI'96, 1996.
- [119] P. Zaraté and A.-M. Alquier, "A generic decision support system for project management," presented at 7th meeting of the european working group on DSS, Ispra, Italie, 1996.
- [120] P. Zaraté, H. El Mansouri, and A.-M. Alquier, "An oriented agent model for the cooperative decision making," presented at COOP-96, Sophia-Antipolis, 1996.
- [121] P. Zaraté, X. Gandibleux, and C. Rosenthal-Sabroux, "Artificial Intelligence and decision support systems: which interaction?," presented at 14th EURO Conference, Jérusalem, Israël, 1996.
- [122] P. Zaraté, C. Rosenthal-Sabroux, and A. Tsoukias, "The process of decision aid: is it possible a formal representation," presented at IFORS'96, Vancouver, Canada, 1996.

Autres publications

- (1) F. Adam, P. Bow, C. Murphy : "Internet, the Key to Wonderland?", Technology Ireland, Dublin, Ireland, October 1996.
- (2) F. Adam, V. Coatman : "Is the World Wide Web good for Business?", #11, Executive Business Review 1997.
- (3) F. Adam, C. Murphy : "Guidelines For A Computer System To Support Executives' Information Flows", Data Warehouse Report, issue 9, Dublin, Winter 1996/1997 1997.
- (4) J. Agabra, I. Alvarez, P. Brézillon : "Organisation et implémentation de connaissances contextuelles dans un SBC en œnologie", Rapport LIP6 1997/006, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 12/06/1997 1997.
- (5) I. Alvarez, S. Huet : "BED : an innovative diagnose tool for european farm machinery repairers", Rapport final du Transfer of Technology Project IN 10004 I, 2000.
- (6) M. Annell, V. Malhet, H. Giroire, G. Tisseau : "Construction d'interface de saisie d'un problème de dénombrement", Rapport LIP6 1999/009, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 06/04/1999 1999.
- (7) N. Balacheff, M. Baron : "Dossier "Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain"", Bulletin de l'AFIA 40,, janvier 2000.
- (8) M. Baron, P. Tchounikine : "Explications et EIAO", Rapport LAFORIA 1996/33, LAFORIA, Paris 1996.
- (9) A. Borgi : "Vers une Modélisation du Raisonnement Qualitatif en Statistiques", 96/14, LAFORIA, Paris 1996.
- (10) P. Brézillon : "Contexte? Vous avez dit contexte?", Actes de la Journée Explications et EIAO 96/33, LAFORIA 96/33, Paris, France 1996.
- (11) P. Brézillon : "Context in human-machine problem solving: A survey", 96/29, LAFORIA, Paris 1996.
- (12) P. Brézillon, V. Rajkovic : "Context-Sensitive Decision Support Systems: Supplement papers", Rapport LIP6 1998/019, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 18/05/1998 1998.
- (13) P. Chrétienne : "Performance of cyclic list schedules", GO III meeting, Leukerbaad 1996.
- (14) P. Chrétienne : "Minimizing the earliness and tardiness cost of a sequence of tasks on a single machine", Rapport LIP6 1999/007, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 06/04/1999 1999.
- (15) M. Futersack : "ATLAS and OLIVER: Combination of Approximation and Search Again", Rapport LAFORIA 1997/04, LAFORIA, Paris 1997.
- (16) F. Ghedjati : "Genetic algorithms for the job-shop scheduling problem with parallel machines and precedence constraints : heuristic mixing method", Rapport LIP6 1998/013, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 16/03/1998 1998.
- (17) F. Ghedjati, J.-C. Pomerol : "Résolution du problème d'ordonnancement de type Job-Shop généralisé par des heuristiques dynamiques", Rapport LIP6 1997/005, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris 1997.
- (18) N. Guin : "Résolution de problèmes à partir de la classification du domaine", rapport de recherche 96/05, LAFORIA, Paris 1996.
- (19) M. Joab : "Rapport final sur le Générateur de cursus du simulateur d'entraînement du char Leclerc", Contrat TT&S-LIP6 1998.
- (20) J.-M. Labat, M. Futersack : "Constraint Programming within CLIPS", Rapport LIP6 1997/029, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 12/11/1997 1997.
- (21) J.-M. Labat, J.-C. Pomerol, J.-M. Nigro, J. Caron, J. Caron-Pargue, M. D. Fievre : "Computer and human problem solving strategies: the case of the tower of Hanoi", Rapport LAFORIA 1997/02, LAFORIA, Paris, 03/1997 1997.
- (22) C. Moinard : "Evaluation dynamique d'un opérateur pour un système d'entraînement à la conduite d'un dispositif industriel", LAFORIA, Paris 6, Paris 1996.
- (23) E. MUSTIL : "Sur la notion de modèle en informatique", 96/12, LAFORIA, Paris, France, juin 1996.
- (24) L. Pasquier : "Modélisation de raisonnements tenus en contexte et application aux agents d'aide à la gestion d'incidents de SART", Rapport LIP6 2000/010, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 21/03/2000 2000.
- (25) P. Perny : "Multicriteria filtering methods based on concordance and non-discordance principles", Rapport LAFORIA 1997/31, LAFORIA, Paris, 11/1996 1996.
- (26) C. Philippe : "On the Graham's bound for cyclic scheduling", Rapport LIP6 1999/013, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 19/05/1999 1999.
- (27) J.-C. Pomerol : "Cognition et Décision: A propos de quelques résultats récents en neurobiologie", 1996/27, LAFORIA, Paris, France 1996.
- (28) J.-C. Pomerol : "Cognition and Decision: about some recent results in neurobiology", Rapport LAFORIA 1997/05, LAFORIA, Paris, 03/1997 1997.
- (29) F. Sourd : "Assignation de fibres optiques pour la spectroscopie multi-objets", Rapport LIP6 1998/047, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 15/12/1998 1998.
- (30) F. Sourd, W. Nuijten : "Scheduling with tails and deadlines", Rapport LIP6 1999/032, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris, 20/12/1999 1999.
- (31) F. Sourd, W. Nuijten : "Multiple-Machine Lower Bounds for Shop Scheduling Problems", Rapport LIP6 2000/015, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris 2000.
- (32) G. Tisseau : "Les activités d'un chercheur en intelligence artificielle : méthodes et conseils", rapport de recherche 97/06, LAFORIA, Paris 1997.

- (33) G. Tisseau, H. Giroire, F. Le Calvez, M. Urtasun, J. Duma : “Une méthode "constructive" de résolution de problèmes de dénombrement et sa mise en œuvre”, rapport de recherche 96/11, LAFORIA, Paris 1996.

FORMATION PAR LA RECHERCHE SYSDEF

Habilitations

- (1) M. Joab : “Méthodologie de conception des Systèmes d’Aide à l’Exploitation des Simulateurs d’Entraînement”, Habilitation à diriger des recherches, Université Paris 6, 12/01/1999.
- (2) J.-M. Labat : “Résolution de problèmes : Interaction s entre l’homme et la machine”, Habilitation à diriger des recherches, Université Paris 6, 15/12/1997.
- (3) A. Munier : “Algorithmes approchés pour des problèmes d’ordonnement à temps de communication”, Habilitation à diriger des recherches, Université Paris 6, 06/12/1996.
- (4) P. Perny : “Modélisation des préférences, agrégation multicritère et systèmes d’aide à la décision”, Habilitation à diriger des recherches, Université Paris 6, 25/01/2000.

Thèses

- (1) F. Adam : “Informatique et décision dans les entreprises”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 31/08/1999, encadrée par J.-C. Pomerol.
- (2) J. Agabra : “Coopération entre modèles construits par apprentissage, modèles issus de l’expertise et modèles déterministes”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, encadrée par I. Alvarez et P. Brezillon.
- (3) Y. Boufkhad : “Aspects algorithmiques et probabilistes du problème de satisfiabilité”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 03/12/1996, encadrée par O. Dubois et J.-C. Pomerol.
- (4) A. Daddi Moussa : “Une méthode arborescente pour les problèmes d’ordonnement avec délais de communication”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 07/11/1997, encadrée par P. Chrétienne.
- (5) C. Etavard : “Analyse d’images scintigraphiques”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 19/01/2000, encadrée par G. Stamon et J.-C. Pomerol.
- (6) A. Fay : “Sur la propagation de l’information dans les réseaux probabilistes”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 18/12/1997, encadrée par J.-Y. Jaffray.
- (7) C. Gonzales : “Utilités additives : existence et construction”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 10/12/1996, encadrée par J.-Y. Jaffray.
- (8) L. Guéguen : “Partitionnement maximalement prédictif sous contrainte d’ordre total. Applications aux séquences génétiques”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 18/01/2000, encadrée par J.-C. Pomerol.
- (9) N. Guin : “Reformuler et classer un problème pour le résoudre. Le système SYRCLAD et son application à quatre domaines”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 12/12/1997, encadrée par H. Giroire et J. Pitrat.
- (10) H. Hammouche : “De la modélisation des tâches utilisateurs au prototype de l’interface homme-machine. Une approche pluridisciplinaire : Informatique et Ergonomie.”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 15/12/1995, encadrée par J.-C. Pomerol.
- (11) C. Lahlou : “Conception d’Algorithmes approchés pour les problèmes d’ordonnement avec délais de communication”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 17/12/1998, encadrée par P. Chrétienne.
- (12) C. Moinard : “L’évaluation dynamique d’un opérateur pour un système d’entraînement à la conduite d’un dispositif”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 25/09/1996, encadrée par M. Joab et J.-C. Pomerol.
- (13) J.-M. Monnet : “Représentation du raisonnement humain dans la décision : Application à la photo-interprétation”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 11/12/1998, encadrée par R. Teullier et J.-C. Pomerol.
- (14) L. Mynard : “Exploration locale oscillante heuristiquement ordonnée”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 22/01/1998, encadrée par J.-M. Labat et J.-C. Pomerol.
- (15) F. Philippe : “Sur des modèles capacitaires en théorie de la décision”, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 01/10/1997, encadrée par J.-Y. Jaffray.
- (16) I. Saker : “Modélisation de connaissances contextuelles et leur utilisation par des usagers”, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 17/12/1999, encadrée par P. Brezillon.



ANIMATION DE LA RECHERCHE SYSDEF

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 Educatives (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)

Chretienne Ph.

- RAIRO, Recherche Opérationnelle (comité de rédaction)
- Journal Européen des Systèmes Automatisés (comité de rédaction)
- International Journal of Operations and Industrial Scheduling (comité de rédaction)

Jaffray J.-Y.

- Theory and Decision (comité de rédaction)
- Decisions in Economics and Finance (comité de rédaction)
- RAIRO, Recherche Opérationnelle (comité de lecture)

Joab M.

- International Journal of Artificial Intelligence in Education (comité de lecture)
- Sciences et Techniques Educatives (comité de rédaction jusqu'en avril 1998)

Labat J.-M.

- Sciences et Techniques Educatives (comités de lecture puis de rédaction depuis 1998)

de La Passardière B.

- Sciences et Techniques... ducatives (comité de rédaction)

Pomerol J.-Ch.

- Journal of Decision Systems (rédacteur en chef)
- Traité des Sciences pour l'Ingénieur, Information, Communication, Contrôle, IC2 (membre du comité de coordination, responsable de l'informatique)

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-éditeur : Batanov D.)
- Proceedings of the First International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context (CONTEXT-97). Federal University of Rio de Janeiro Publisher, Brasil, 1997 (co-éditeur : 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 (Editeur Invité)
- Special issue "Using and Modeling Context in Applications" of the International Journal Human-Computer Studies, 48(3) 1998 (Editeur Invité avec M. Cavalcanti)
- Context-Sensitive Decision Support Systems, Chapman & Hall, 1998 (co-éditeurs: Berkeley D., Rajkovic V. & Widmeyer G.)
- Context-Sensitive Decision Support Systems: Supplement papers, LIP6, Rapport de recherche 98/12, 1998 (co-éditeur : Rajkovic V.)
- Modeling and Using Context In: Lecture Notes in Artificial Intelligence, N° 1688, Springer Verlag (ISBN 3-540-66432-7). Co-éditeurs: Benerecetti M., Bouquet P., Castellani F. & Serafini L.
- Actes du AAAI-99 Workshop on Modeling Context in AI Applications, AAAI Technical Report, ISBN 1-57735-098-7. Co-éditeurs: Turner R.M., Pomerol J.-Ch. & Turner E.H.
- Formal aspects of context, Kluwer Series, 2000 (à paraître) (co-éditeur : Cavalcanti M.)

Joab M.

- Etude 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).
- Simulation et formation professionnelle dans l'industrie (co-Éditeur avec G. GouardÈres), Sciences et Techniques Educatives, HermÈs, à paraître en 2000.

de La Passardière B.

- Actes du séminaire Hypermédias, Education et Formation, Paris, 1996
- F. Rouet, B. de La Passardière (Eds) Hypermédias et Apprentissages 4, Actes du 4e colloque "Hypermédias et Apprentissages", Editions INRP-EPI, 1999, 345p (ISBN 2-7342-0625-0)
- E. Bruillard, B. de La Passardière, G-L. Baron (rédacteurs) Le livre électronique, Numéro spécial de la revue "Sciences et Techniques éducatives", Ed. Hermès, vol 5, n° 4, 1998, 118p (ISBN 2-86601-746-3)

Perny P.

- co-éditeur avec A. Tsoukias d'un numéro spécial de J. Multicriteria Decision Analysis, "Theoretical Foundations of Multicriteria Decision Aid", Wiley, 1996

Pomerol J.-Ch.

- Implementing Systems for Supporting Management Decisions, Chapman & Hall, 1996 (co-éditeurs : Bannon L., Humphreys P., McCosh A., Migliarese P.)
- Actes du AAAI-99 Workshop on Modeling Context in AI Applications, AAAI Technical Report, ISBN 1-57735-098-7. Co-éditeurs: Turner R.M., Brézillon P. & Turner E.H.

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 (avec Berkeley D., Rajkovic V. & Widmeyer G.)
- Second International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context, CONTEXT-99, Trente, Italy, 1999

Chrétienne P., A. Munier

- Ecole d'été : 'Ordonnancement Déterministe pour l'Informatique et la Production', Aussois, sept 2000

Jaffray J.-Y.

- Journées Risque, l'Incertitude et la Décision, Chantilly juin 1997, Paris juin 1998 et 1999 (co-organisateur)

Jaffray J.-Y. et Perny P.

- RUD'2000, journées sur le Risque, l'Incertitude et la Décision, UPMC, 26-27 Juin 2000 Joab M.,
- Journées Explication'96, 1996, Sophia-Antipolis (parrainées par le PRC-GDR IA, l'INRIA, l'ARC, l'AFIA et l'AF CET)

de La Passardière B.

- Hypermédias et Apprentissages, Poitiers, 1998
- Hypermédias et Apprentissages, Grenoble, 2001

Perny P.

- International Conference on Multicriteria Decision Making, FUCAM, Mons, 1997
- co-responsabilité du groupe de travail 6.3 du PRCI3 " Aide à la Décision "
- Co-organisateur, avec J. Lang, d'une Journée " Systèmes d'Aide à la Décision " du groupe de travail 6.3 du PRC I3 , 12 Mai 1999
- Co-organisateur, avec I. Bloch et J. Lang, d'une Journée " Fusion et Décision Décision " du groupe de travail 6.3 du PRC I3, 4 février 2000

Perny P. et Pomerol J.-Ch.

- Co-organisateurs, avec F. Abdelaziz et K. Mellouli du colloque Agrégation et Fusion de Données, Douz, 6-8 avril 2000

Pomerol J.-Ch.

- Première Conférence Internationale sur les Nouvelles Technologies de l'Information pour la Décision dans le Domaine du Génie Civil, Montréal, 1998 (co-président)
- Deuxième Conférence Internationale sur les Nouvelles Technologies de l'Information pour la Décision dans le Domaine du Génie Civil, Lyon, novembre 2000 (membre des comités d'organisation et de programme)

Membres de Comité de Programme

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
- Journées "Environnements informatiques de calcul symbolique et apprentissage des mathématiques", Rennes, 15-16 juin 2000 (membre du comité de programme)
- ITS'2000, 20 juin 2000, Workshop "Learning algebra with the computer, a transdisciplinary Workshop" (membre du comité de programme)
- ERGO-IHM'2000, 1-3 octobre, Biarritz (membre du comité scientifique)
- CAPS'3 (Third International Conference on Human-System Learning), 13-14 décembre 2000, Paris

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
- AAI-99 Workshop on Reasoning in Context for AI Applications, Orlando, Florida, 17-18 July, 1999 (co-organisateurs: R. Turner, J.-Ch. Pomerol & E. Turner).
- IFIP Conference on Decision Support through Knowledge Management, Stockholm, Sweden, July 9-11, 2000
- ECAI-2000 Workshop on "Applied Semiotics: Control Problems", Berlin, August 2000
Chrétienne P.,
- Congrès ROADEF'98, Paris
- Congrès 'New Trends on Parallel and Distributed Scheduling', Aussois, juin 1999.
Chrétienne P., A. Munier
- Ecole d'été : 'Ordonnement Déterministe pour l'Informatique et la Production', Aussois, sept 2000

Jaffray J.-Y.

- Congrès FUR IX, Marrakech, juin 1999
- Congrès ISIPTA, Gand, Juin/juillet 1999

Joab M.

- Intelligent Tutoring Systems 2000, ITS'2000, Montréal, juin 2000
- Technologies de l'Information et de la Communication dans les Enseignements d'Ingénieurs et dans l'Industrie, TICE 2000, Troyes, octobre 2000
- 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
- Hypermédias et Apprentissages, Grenoble, 2001

Perny P.

- Int. Conf. on Multicriteria Decision Making, FUCAM, Mons, 14-17 Mai 1997
- Euro Prime, Varsovie, 11-14 Sept. 1999
- LFA'99 (logique floue et applications) Valenciennes, 21-22 Oct. 1999
- ROADEF 2000, Nantes, 26 au 26 janvier 2000
- LFA'00, La Rochelle, Oct. 2000

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
- AAI-99 Workshop on Reasoning in Context for AI Applications, Orlando, Florida, 17-18 July, 1999 (co-organisateur: P. Brézillon, R. Turner & E. Turner)
- International Workshop on Data Fusion, Douz, avril 2000

Oganisation de séminaires

Baron M.

- Journée Explications et EIAO, 1996, Paris
- groupe national EIAO du PRC-GDR IA (avec M. Vivet, depuis 1992 jusqu'à fin 1997)

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'AF CET (GTIEF jusqu'en 1997)

Chrétienne P., Munier A., Picouleau C.

- Groupe de travail Ordonnancement du GDR PRS

Jaffray J.-Y.

- Risque, incertitude et décision (UPMC) (bi-mensuel, en collaboration avec A. Chateaufort et M. Cohen, Paris I)
- Sciences de la décision (ENS Cachan) (mensuel, en collaboration avec D. Bouyssou, ESSEC et B. Munier, ENS Cachan)
- Réseaux Bayésiens (UPMC) (groupe de travail)

Joab M.

- Groupe Explication (AFCET, AFIA, PRC IA) (en collaboration avec M. Baker, ENS Lyon, A. Giboin, INRIA, G. Kassel, UTC, B. Safar, LRI, P. Tchounikine, IRIN) jusqu'en 1997

Labat J.-M.

- L'intelligence en jeu (UPMC)
- Groupe de travail AFCET IA et jeux de réflexion, comité technique reconnaissances des formes et IA

de La Passardière B.

- Hypermédias, Education et Formation (en collaboration avec E. Bruillard, IUFM Créteil, G.-L. Baron, INRP)

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 Technologiques 1997-1998
- 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 (janvier 1992- décembre 1996)
- Membre du Conseil de Direction du LIP6 (depuis mars 1999)
- Membre du Conseil de Laboratoire du LIP6 (depuis janvier 1997)
- Membre suppléant de la commission de spécialistes, section informatique de l'UPMC depuis février 2000
- Modérateur d'une 'mailing list' sur le contexte (septembre 1995-septembre 1999) Chrétienne P.,
- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (CNAM-Paris)
- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (UTC)
- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (Clermont-Ferrand)

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.,

- Président de la commission des thèses d'informatique (UPMC)
- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (UPMC)

Joab M.

- Membre du conseil de laboratoire du LIP6 depuis février 1998.
- Membre du conseil scientifique du LIP6 depuis juin 1998.
- 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)
de La Passardière B.,
- Membre élu (1995-2003) et vice-présidente de la 27^{ème} section du CNU (1995-1999)
- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (Université du Maine) (depuis 1998)
- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (IUFM de Créteil) (depuis 1998)

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)
- Membre de la commission de spécialistes, section informatique (Paris XII)

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
- Responsable du Département des Relations Industrielles et du Transfert Technologique de l'UPMC



PROJETS ET CONTRATS

Contrats industriels

SART

Responsable scientifique : Brézillon Patrick, durée : 21/11/1996 - 20/11/1998, financement 90 kF.

- Représentation basée sur le contexte des connaissances du domaine nécessaires à l'agent "Gestionnaire d'incidents" de SART.

Partenaire(s) : RATP, Gouvernement Algérien (via bourse de thèse).

Générateur de cursus (char Leclerc)

Responsable scientifique : Joab Michelle, durée : 28/11/1997 - 27/11/1998, financement 85 kF.

- Générateur de cursus pour le simulateur d'entraînement de l'équipage du char Leclerc.

Partenaire(s) : Thomson Training Simulation.

Algorithmes de recherche/problème d'ordonnement

Responsable scientifique : Chrétienne Philippe, durée : 1/03/1998 - 28/02/1999, financement 20 kF.

- Elaboration et test d'algorithmes d'optimisation et d'approximation pour des problèmes d'ordonnement.

Partenaire(s) : ILOG.

SART-SAGIM

Responsable scientifique : Brézillon Patrick, durée : 21/11/1998 - 20/11/2000, financement 90 kF.

- Unification basée sur le contexte de raisonnements à base de cas et sous forme d'arbres de décision dans SART pour la résolution d'incidents sur une ligne de métro.

Partenaire(s) : RATP, ANRT.

Simulateur d'entraînement conduite poids lourd

Responsable scientifique : Joab Michelle, durée : 26/07/1999 - 25/03/2000, financement 88 kF.

- Etude relative au générateur du cursus pour le simulateur d'entraînement à la conduite de poids lourd TRUST et à son intégration dans le logiciel TRAMS développés par TTS.

Partenaire(s) : Thomson Training Simulation.

Contrats internationaux

Environnement et climat

Responsable scientifique : Pomerol Jean-Charles, durée : 1/05/1996 - 30/04/1999, financement 500 kF.

- Land Use Planning Chemical Sites, Environnement et climat.

Partenaire(s) : CLIMAT.

Programme Recherche-Industrie France-Brésil

Responsable scientifique : Brézillon Patrick, durée : 1/01/1999 - 31/12/2001, financement 200 kF.

- Réalisation de la plateforme multi-agents de SART.

Partenaire(s) : UFRJ, RATP, Métro-Rio, MAE.

Activités internationales

UPMC-University College Cork (Irlande)

Responsable scientifique : Pomerol Jean-Charles, durée : 1/01/1995 - 31/12/1999.

- UPMC-University College Cork, Department of Accounting Finance and Information Systems.

Partenaire(s) : Irlande.

UPMC-Asian Institute of Technology (AIT) - Thaïlande

Responsable scientifique : Brézillon Patrick, durée : 1/01/1996 - 31/12/2000.

- Coordination d'une convention internationale entre l'UPMC et l'Institut Asiatique de Technologie (Thaïlande).

Partenaire(s) : School of Advanced Technologies, School of Environment, Energy Research et Development of AIT, Ambassade de France en Thaïlande (pour la région asiatique).

UPMC-Université Fédérale de Rio de Janeiro (Brésil)

Responsable scientifique : Brézillon Patrick, durée : 1/01/1996 - 31/12/2000.

- UPMC-Université Fédérale de Rio de Janeiro, Coordination des programmes de post-graduation en Ingénierie.

Partenaire(s) : UFRJ-COPPE (Brésil).

COFECUB-CAPES (Brésil)

Responsable scientifique : Brézillon Patrick, durée : 1/01/1996 - 31/12/1999.

•Montage d'un consortium franco-brésilien.

Partenaire(s) : MAE, Ministère des Affaires Étrangères brésilien.

LIRIS (Portugal)

Responsable scientifique : Caetano Herculano, durée : 1/01/1998 - 31/12/2000.

•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.

Partenaire(s) : Municipalité de Lisbonne.

Cariscopio (Portugal)

Responsable scientifique : Caetano Herculano, durée : 1/01/1998 - 31/12/1999.

•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.

Partenaire(s) : Municipalité de Lisbonne.

LES PROJETS LIP6

Modélisation et Vérification de Systèmes Multi-Agents	349
Microb2: Équipes de robots footballeurs	353
Mondes virtuels interopérables par apprentissage	357
Gestion de Systèmes de Production Multi-Produits à Flux Tirés.	361
Vérification de Modèle et Aide à la Preuve	365
Formel OCAML et Coq (FOC)	367
Indexation Multimedia	373
Indexation de 60 heures de vidéo	379
Mise en œuvre de la machine MPC	385
Bilan Projet MPC LIP6 1999	389
CAO de circuits et systèmes intégrés	393
MICRobES	401
Projet MICRobES (Bilan et Prolongation).	405
Agents intelligents pour la recherche d'information et l'aide à la décision	407
Modélisation des préférences et recherche d'information pour le conseil aux utilisateurs dans un contexte distribué.	411
Extraction de connaissances à partir de bases de données multidimensionnelles	413
Répartition et fiabilité de systèmes multi-agents	415
Ordonnancement avec pénalités d'avance et de retard.	417
Système d'exploitation des grands logiciels complexes.	419
Aide à la gestion des services hospitaliers: Analyse de l'origine des journées non-pertinentes	421
Plate-forme logicielle embarquée reconfigurable pour satellite (PLERS)	423

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, 95-99) (OASIS)

DESCRIPTION DU PROJET MODÉLISATION ET VÉRIFICATION DE SYSTÈMES MULTI-AGENTS

Introduction

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 était donc d'étudier dans quelle mesure il était possible de rapprocher et combiner ces expertises complémentaires dans le domaine de la spécification et vérification de systèmes multi-agents.

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). L'objectif est de pouvoir modifier une partie du service offert par un agent (son comportement) sans remise en cause des autres services.

La syntaxe SCD est basée sur la notion d'état/transition dans le but de pouvoir modéliser des protocoles de coordination entre agents. Enfin, 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). De manière à construire des agents, les différents types de composants sont connectés les uns aux autres selon deux modes de communication: asynchrone et 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 implémentation d'agents mobiles dont le comportement correspond exactement au modèle de concep-

tion Vérification de systèmes répartis ouverts: le formalisme OF-Class

OF-Class (Diagne, 1997) est un modèle de composant conforme aux recommandations du modèle de référence d'ODP. 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).
- 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.

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 (Varpaaniemi et al., 1995).

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, sont explicites au niveau des composants Java mais n'apparaissent 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 avec le CNET (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 (appel d'offre) 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'occa-

sion d'un projet plus appliqué (la CTI CARISMA) sur un premier scénario d'utilisation. Nous avons intégré certaines de 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.
- Kimmo Varpaaniemi, Jaakko Halme, Kari Hiekkänen, Tino Pyssysalo, Prod Reference Manual, Series B, Technical Reports, No 13, Helsinki University of Technology, Finlande, août (1995),
- Yoo M.-J., Briot J.-P., Ferber J., Using Components for Modeling Intelligent and Collaborative Mobile Agents, Proceedings of the 7 th IEEE International Workshop on enabling Techniques: Infrastructure for collaborative enterprises, WetIce'98, édité par D. Milojcic, 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, Simula-

tion Series), 30(1), The Society for Computer Simulation, janvier (1998) pp. 23-28.



MICROB2 : ÉQUIPES 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)

(OASIS)

DESCRIPTION DU PROJET MICROBES 2

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'ap-

prentissage, 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.

Description

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 dis-

tribuée, 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 93/1996 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 :

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

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 comporte-

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).

Conclusion

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 jonction, 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 raisonna-

Bibliographie :

Drogoul A. & Zucker J.-D., Methodological Issues for Designing Multi-Agent Systems with Machine Learning Techniques: Capitalizing Experiences from

(15 cm x 15 cm) 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 (45 cm x 45 cm) 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.

ments robustes. L'atelier de développement comprend une bibliothèque de composants comportementaux réutilisables, un environnement de test et d'entraînement (SoccerTrainer).

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:

ble. 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.

the RoboCup Challenge, Rapport de recherche LIP6 (1998) à paraître.





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, 1995) (RP)

DESCRIPTION DU PROJET MONDES VIRTUELS

Enjeux scientifiques

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 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. Il n'existe aujourd'hui aucune méthodologie de conception des mondes RV même si on laisse de côté la problématique de l'interopérabilité. Une telle méthodologie est pourtant nécessaire pour diminuer les coûts actuels de développement des mondes RV et les doter de capacités d'évolution afin d'amortir ces mêmes coûts. Dès que la problématique de l'interopérabilité doit être prise en compte dans la conception d'un monde VR, une méthodologie s'avère alors indispensable.

Positionnement scientifique

Malgré l'absence de méthodologie, il existe d'autres approches, différentes de l'approche NOVAE, du problème de l'interopérabilité des mondes RV. La première est une approche protocolaire au niveau applicatif. Ici, toutes les machines participant à la simulation d'un monde RV parlent le même protocole. Cela autorise une hétérogénéité à la fois matérielle et architecturale importante mais en aucun cas une hétérogénéité applicative (qualifiée de sémantique dans NOVAE). En effet le protocole utilisé est spécifique au domaine d'application qui est prédéfini. Toutes les machines participantes manipulent et connaissent la même liste de concepts et d'objets et attachent donc le même sens aux informations véhiculées par le protocole. Le protocole DIS (Distributed Interactive Simulation) est à l'origine de cette approche dans le domaine de la simulation de champs de bataille à des fins d'entraînement des troupes américaines.

La deuxième approche est architecturale. Elle est une réponse à l'approche protocolaire afin d'en repousser les limites. Ici, toutes les machines participantes ne simulent pas des mondes RV relevant du même domaine d'application : il peut donc y avoir des différences dans la liste des concepts et des objets connus. Pour pouvoir fonctionner, cette approche re-

quiert, dans un premier temps, la définition d'un ensemble de concepts commun aux mondes RV voulant interopérer. Cet ensemble est appelé fédération et il est possible de définir autant de fédérations que nécessaire. Dans un deuxième temps, il faut spécifier les différences qui existe entre les mondes RV devant interopérer et la fédération. Ces différences sont spécifiées sous forme d'un lexique. Au moment de la simulation, chaque monde RV interopérant est ainsi capable d'effectuer une correspondance entre ses propres concepts et ceux des autres mondes. Cette approche a le mérite d'autoriser une hétérogénéité applicative. Elle présente pourtant de sérieux inconvénients. Tout d'abord, l'hétérogénéité est limitée par les concepts formant la fédération : des mondes RV utilisant des concepts trop éloignés de la fédération ne pourront interopérer. Il faudra dans ce cas définir une autre fédération. C'est là une autre difficulté de cette approche que la définition des "contours" de la fédération. Trop large, la fédération perd son unité conceptuelle et ne signifie plus rien ; trop étroite, peu de mondes pourront interopérer autour d'elle. De plus la définition d'une fédération implique un lourd travail de consensus tant sur le fond, c.-à-d. les concepts, que sur la forme, c.-à-d. comment spécifier les concepts. Enfin, il s'agit d'une approche statique. Tout ajout

d'un concept dans une fédération implique de re-spécifier les concepts des mondes RV par rapport au nouveau concept. Le projet HLA (High Level Architecture) est à l'origine de cette approche. Il s'agit par exemple faire interopérer des mondes RV simulant des champs de bataille terrestre avec mondes RV des champs de batailles navales (débarquement). Ou bien encore, de faire interopérer des mondes RV simulant des champs de bataille de différents corps d'armées (infanterie, parachutiste, légion, etc.).

L'approche choisie dans le projet NOVAE est une approche architecturale à plat par opposition à l'approche top-down de type HLA. Cela a pour conséquence qu'il n'est plus nécessaire de définir au préalable un ensemble de concepts fédérateurs : les mondes RV peuvent ainsi être conçus de façon totalement indépendante, ce qui correspond d'avantage à la réalité pratique. Autre conséquence, l'interopérabilité n'est plus envisagée de manière statique mais au besoin et de façon totalement dynamique. Dans ce contexte la méthodologie de conception des mondes RV et les paradigmes sur lesquels elle s'appuie deviennent des points cruciaux. Le point de départ de notre démarche repose sur la constatation que l'action est le concept central des mondes RV. En effet, les mondes RV sont peuplés d'utilisateurs et d'objets appelés entités virtuelles dans le vocabulaire NOVAE. La nature des entités est fonction du domaine d'application du monde. Certaines de ces entités ne possèdent pas de comportement propre comme par exemple, une table, un bureau ou un fichier. D'autres, pour la plupart, possèdent un comportement qui peut être purement réactif (sans pour autant être simple) comme par exemple une voiture, un avion, un train, une molécule.

Objectif

En pratique les actions des entités virtuelles sont décrites sous forme de lois dites de comportement. La réaction du monde RV permettant le calcul du résultat effectif des actions des entités virtuelles est, elle aussi, décrite sous forme de lois dites de réaction. Les lois de comportement et de réaction sont écrites selon une syntaxe à la STRIPS. NOVAE dispose d'un moteur de loi interprétant cette syntaxe pour donner vie au monde RV. Il dispose également d'un gérant d'interopérabilité qui raisonne sur les lois ainsi décrites. Le seul pré requis en terme d'interopérabilité avec NOVAE est donc que les mondes RV soient décrits selon le modèle influence et réaction et la syntaxe associée par NOVAE à ce modèle. L'interopérabilité ainsi atteinte est satisfaisante. Elle possède cependant une limite qui repose sur l'hypothèse que les symboles utilisés dans des mondes RV différents sont identiques s'ils se rapportent au même concept ou que des symboles identiques ne se rapportent pas à des concepts différents. Ces symboles sont utilisés par le gérant d'interopérabilité pour son raisonnement. Cela signifie, par

D'autres, enfin, possèdent un comportement autonome, comme par exemple, un robot, un avatar humain. Ces comportements se déroulent dans parallélisme le plus total. Les comportements ne sont rien d'autre que des ensembles d'actions. Dans un objectif d'interopérabilité et plus encore dans l'approche NOVAE, il importe que les actions puissent être décrites de façon la plus indépendante possible du monde RV où elles se réalisent. En effet, interopérer signifie, d'une part, que les entités virtuelles auront à se comporter dans ou avec des mondes RV étrangers autres que celui pour lequel elles ont été initialement conçues et que, d'autre part, il n'est pas possible de faire d'hypothèse sur la nature de ces mondes. En pratique, cela a pour conséquence que :

- Certaines actions du comportement d'une entité ne seront plus réalisables
- Les résultats des actions du comportement d'une entité encore réalisables dans le monde RV étranger pourront être différents des résultats de ces mêmes actions dans le monde natif de l'entité.

Il faut donc se doter d'un modèle exécutable de l'action permettant d'identifier les actions non réalisables et de calculer les résultats des actions encore réalisables dans le monde RV étranger. Le modèle de l'action choisi dans NOVAE est le modèle influence/réaction issu des systèmes multi-agents où la problématique de l'action est aussi une problématique forte. Ce modèle propose une séparation nette entre la description de l'action et la description des conséquences de l'action qui sont en fait calculées par le monde où elles sont réalisées. Ceci est tout à fait satisfaisant du point de vue de l'interopérabilité.

exemple qu'une loi se référant au symbole vent dans son monde natif sera identifiée comme invalide dans un monde RV étranger ou c'est le symbole wind qui est utilisé pour le même concept, d'où une perte d'interopérabilité dans ce cas. Un autre problème peut également survenir si une propriété inexistante chez une entité virtuelle dans son monde RV natif s'avère nécessaire pour interopérer dans le monde RV étranger. C'est le cas par exemple de la propriété masse que les entités ne possèdent pas dans leur monde natif alors qu'elle est utilisée dans le monde étranger pour calculer le mouvement des entités.

Afin de prendre en compte ces types de problèmes, NOVAE complète le gérant d'interopérabilité par des mécanismes d'apprentissage. Ces mécanismes sont, dans l'ordre d'application, le déguisement, l'imitation et l'apprentissage

Le déguisement est un mécanisme qui construit la hiérarchie des entités virtuelles du monde RV étranger et de leurs propriétés afin de rendre l'entité virtuelle du monde RV natif "semblable" à une entité

virtuelle du monde RV étranger. Ceci permet à une entité virtuelle de compléter ses attributs. Il s'agit de la phase qualitative du déguisement.

Exemple: si toutes les entités virtuelles possèdent un attribut CX (résistance de l'air) on s'en affublent un.

Il faut aussi se préoccuper de l'aspect quantitatif afin de fournir une valeur aux attributs issus de la phase qualitative. On pourra aussi envisager de se doter d'une valeur par défaut pour ces attributs ou bien prendre, par exemple, la valeur moyenne de ces valeurs pour les entités virtuelles existant dans le monde RV étranger.

Le gérant d'interopérabilité utilise un algorithme de regroupement conceptuel de type COING pour organiser les connaissances disponibles sur les entités virtuelles du monde RV étranger et ensuite un ensemble de règles heuristiques de déguisement.

L'imitation est un mécanisme d'analyse des comportements du point de vue statique (les contextes, les entités virtuelles en jeu, etc.) pour identifier à quels états du monde ils s'intéressent et quelles influences ils produisent pour agir. Le but de cette analyse est de

se comporter suivant les mêmes règles que celles du monde RV étranger.

Exemple: si toutes les entités virtuelles du monde RV étranger sont sensibles à la gravité il faut que les entités virtuelles pénétrant dans le monde RV étranger y soient sensibles aussi.

Enfin, l'apprentissage est un mécanisme d'analyse et d'amélioration de l'interopérabilité. Concrètement, c'est ici le comportement même de l'entité virtuelle que le gérant d'interopérabilité essaie d'adapter au monde RV étranger.

Exemple: si l'entité virtuelle ne bouge pas dans le monde étranger alors qu'elle bougeait dans le monde RV natif, le gérant d'interopérabilité analyse les comportements qui font que les autres entités virtuelles bougent et modifie la correspondance comportementale effectuée par le mécanisme d'imitation. Par exemple, mettre en correspondance l'attribut power de l'entité virtuelle arrivant avec l'attribut puissance du monde étranger afin que le comportement mouvement utilise cette puissance.

Bilan du projet

Le résultat de la collaboration des thèmes APA et RP est sous forme d'un prototype de deux mondes RV exemples. Des différences sémantiques ont été introduites dans ces mondes VR afin d'illustrer comment des techniques d'apprentissage peuvent accroître leur possibilité d'interopérer. Les domaines d'application choisis sont, pour le monde étranger, la bataille navale et, pour le monde natif, l'initiation à la voile.

Depuis le mois d'avril 1998 deux stagiaires ont travaillé à la réalisation de ce prototype jusqu'au mois de septembre. Ce prototype est aujourd'hui capable d'adapter la description d'une entité virtuelle du monde natif (ici, bateaux à voile) pour accroître son interopérabilité avec un monde étranger (ici, bateaux de guerre). Ce bilan peut être décliné selon les 3 mécanismes d'apprentissage implémentés.

Intérêt inter thèmes

L'un des objectifs initiaux des projets inter thèmes était de faire en sorte que des thèmes qui a priori n'avaient pas l'habitude de travailler ensemble puissent mettre en commun leurs connaissances pour aborder des problèmes de manières originales et collaborent. Cet objectif a été doublement atteint car, d'une part, le résultat scientifique de la collaboration satisfait les deux parties en ce sens qu'aucune n'aurait pu l'atteindre sans l'aide de l'autre et que d'autre part la colla-

- Déguisement: le prototype donne d'excellents résultats aussi bien sur le choix des attributs avec lesquels une entité est déguisée que sur les valeurs calculées pour ces attributs.
- Imitation: les résultats sont assez bons mais perfectibles. Il faudrait pour cela imaginer et implanter des algorithmes prenant mieux en compte les relations existant entre les actions du comportement d'une entité.
- Apprentissage: ce mécanisme est implanté mais doit encore faire l'objet d'un travail important de mise au point à la fois sur le plan scientifique et sur le plan pratique. Sur ce dernier plan, ce mécanisme doit être intégré au moteur de loi pour être testé en situation.

laboration entre les chercheurs a fait naître une synergie qui ne s'arrêtera pas avec la fin de ce projet. Il faut noter que l'une des difficultés de ce type de projet réside dans les différences de cultures. C'est un des premiers obstacles qu'il faut franchir, et il n'est pas des moindres, que de "parler" le même langage. Ce projet nous a permis tout au long de nos discussions de faire le pont entre nos domaines de recherche.

Perspective de l'action

Nous pensons que cette action doit être poursuivie et surtout gagner en visibilité par la réalisation d'un prototype vitrine.

Il faut souligner que le contexte de la réalité virtuelle se prête parfaitement à ce type de démonstration. L'idée est de visualiser au moins 2 mondes virtuels en-

tre lesquels des objets passe de l'un à l'autre se mettant ainsi en situation d'interopérabilité. Les attributs graphiques (forme, couleurs) le comportement des objets migrant se modifient sous les yeux de l'utilisateur en fonction du résultat des étapes de déguisement, d'imitation et d'apprentissage décrites

précédemment. Il faut souligner que le contexte réalité virtuelle se prête parfaitement à ce type de démonstration. Les objets sont également dotés de facultés permettant d'expliquer à l'utilisateur les raisons des modifications qu'il peut observer.

GESTION DE SYSTÈMES DE PRODUCTION MULTI-PRODUITS À FLUX TIRÉS

Dallery Yves

Baynat Bruno
Chrétienne Philippe
Munier Alix

Directeur de Recherches, CNRS (RP)
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 (RP)

Doctorants présents 80% du temps au LIP6

de Véricourt Francis (Dallery, 97)

(R&P)

DESCRIPTION DU PROJET SYSTÈMES DE PRODUCTION

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 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 re-configuration 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

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

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.

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.

Bibliographie :

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.





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

Postdoc, (SRC)

DESCRIPTION DU PROJET VMAP

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.

Travaux réalisés depuis le 1.11.1997

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 Syn-

chrone 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).

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.

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 com-

munication (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).

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.



FORMEL OCAML ET COQ (FOC)

Hardin Thérèse

Boulmé Sylvain
Doligez Damien
Menissier-Morain Valérie
Rioboo Renaud

Professeur, UPMC (SPI)
Doctorant, UPMC (SPI)

Maître de conférences, UPMC (CALFOR)
Maître de conférences, UPMC (CALFOR)

DESCRIPTION DU PROJET FOQ

Le projet FOC, démarré à l'automne 1997, a été soutenu par le LIP6 pendant les années 1998-1999. Il porte sur le développement d'un environnement de programmation certifiée pour le calcul formel.

Les programmes de calcul formel implantent des théorèmes. Par exemple, le pgcd de deux polynômes peut s'obtenir par un calcul de résultants ou par celui d'une base de Gröbner. Ces deux procédés sont construits à partir de théorèmes, dont les preuves définissent assez finement les algorithmes. Cela devrait donc assurer la correction des implantations. Pourtant, les programmes de calcul formel contiennent des erreurs provenant, soit d'une véritable incorrection mathématique (division par zéro, simplifications abusives, etc.), soit d'une mauvaise interprétation de la sémanti-

que (mauvaise gestion de la liaison retardée, manipulation erronée de pointeurs, etc.). De plus, les programmes de calcul formel sont difficiles voire impossibles à tester. On est donc conduit, pour assurer la qualité des programmes de calcul formel, à se tourner vers des techniques de preuve.

Après un essai montrant la difficulté d'ajouter des assertions pour un langage existant (Axiom), le groupe Foc a entrepris de construire un atelier de programmation raisonnée pour le calcul formel, appelé aussi Foc et organisé autour de trois composantes : programmation, preuves, interface utilisateur. Son état d'avancement est décrit ci-après, ainsi que son évolution à court et moyen terme.

Conception de l'atelier

Foc doit offrir une librairie de structures algébriques, car tout programme de calcul formel repose de manière essentielle là-dessus. Pour permettre l'écriture de programmes certifiés, celle-ci doit fournir, pour chacun des outils classiques de manipulation des structures algébriques, non seulement son implantation mais aussi sa sémantique, sous forme d'assertions (prouvées) et de pré-conditions à établir pour les utiliser. L'utilisateur doit ainsi pouvoir spécifier son algorithme par assemblage d'éléments de cette librairie, en prouver certaines propriétés, enfin en définir une implantation et montrer la correction de celle-ci. Il faut donc une interaction très forte entre les composantes programmation, preuves et interface.

Pour aller jusqu'au bout de la certification, il faudrait utiliser un langage de programmation avec un compilateur certifié. Un tel langage n'existe pas pour le moment et il serait irréaliste de vouloir en créer un. Nous avons donc simplement choisi, pour la programmation, un langage sémantiquement fondé, qui est OCAML (langage développé à l'INRIA). De plus, OCAML se couple bien avec Coq, le langage d'aide à la preuve qui a été retenu pour ce projet. Enfin, OCAML offre des temps d'exécution raisonnables. Cela répond à un souci permanent du projet de ne pas négliger les questions d'efficacité.

Les réflexions sur ces différents points ont conduit à décomposer le projet chronologiquement en trois phases.

La première phase est une phase de choix de la méthodologie de développement de la librairie, à partir de la réalisation de prototypes. En effet, les différentes structures algébriques et les programmes les manipulant dépendent les uns des autres de plusieurs manières : un anneau dépend d'un groupe, la représentation « creuse » des polynômes dépend de l'intégrité de l'anneau des coefficients, les manipulations des entiers modulo 2 dépendent de leur représentation, par des entiers ou des booléens par exemple. De plus, les structures de données encodant une structure algébrique ont souvent un haut niveau de paramétrisation : les coefficients des polynômes peuvent appartenir à n'importe quel anneau, y compris à un anneau de polynômes. Enfin, il faut pouvoir, dans la description d'une structure algébrique donnée, aller du virtuel (spécification par propriétés) au concret (choix de structures de données). Ces différentes sortes de dépendance sous-tendent la construction du code et figurent dans les énoncés de propriétés et dans leurs preuves. Elles doivent être explicitées dans l'architecture de la librairie, de manière à concilier au mieux facilité de programmation, réalisation de preuves et efficacité. Ce graphe de dépendances est à implanter en OCAML, à l'aide d'une combinaison de modules et de classes, à déterminer. Cette hiérarchie doit en parallèle être décrite en Coq (définition des spécifications, énoncés et preuves de propriétés), de manière à faciliter la spécification des algorithmes de

l'utilisateur et les preuves de correction des programmes associés.

La seconde phase du projet correspond au développement effectif de l'environnement, de manière à pouvoir implanter des algorithmes assez conséquents comme ceux calculant des sous-résultats. C'est au cours de cette phase qu'il faut fixer définitivement l'interaction entre preuve et programme, à travers la réalisation de l'interface utilisateur.

Les questions d'ergonomie sont à poser dès le début du développement. En effet, la mise à disposition

Bilan

Au cours des deux premières années, ont été réalisées la première phase du projet et une partie de la

La composante programmation

L'expérience acquise en utilisant des systèmes de calcul formel, en particulier Axiom, montre que l'ingénieur de calcul formel attend un environnement de programmation proposant de nombreux traits (modularité, héritage, sous-typage, liaison retardée, etc.), tous offerts par Ocaml. Reste à déterminer comment marier tous ces traits pour construire une vision uniforme de la hiérarchie des unités, aussi proche que possible de sa spécification mathématique et conforme aux exigences de certification. Pour cela, cinq prototypes de taille raisonnable (40 à 60 classes chacun) ont été développés, ce qui a conduit à l'établissement d'un cahier des charges pour la programmation de la librairie.

Celui-ci distingue deux sortes d'unités: les espèces et les collections. Une espèce peut être étendue par un certain nombre de mécanismes (raffinement, instantiation de paramètres de type ou de valeurs, redéfinition, conversion, etc.). Une collection est une unité figée, élément ultime d'un processus d'extension et de redéfinition, et offrant seulement une vue abstraite des éléments qu'elle exporte. Une espèce est implantée par une classe de Ocaml, construite en suivant une méthodologie très précisément décrite dans le cahier des charges. Une collection encapsule dans une structure de module l'espèce qu'elle fige. Enfin, une espèce peut prendre en

d'outils tels des moteurs de recherche par propriétés dans les bibliothèques peuvent nécessiter des extensions des représentations internes de données. De plus, 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.

La phase ultime du projet consiste à étendre le développement vers d'autres problèmes de calcul formel (bases de Gröbner, etc.).

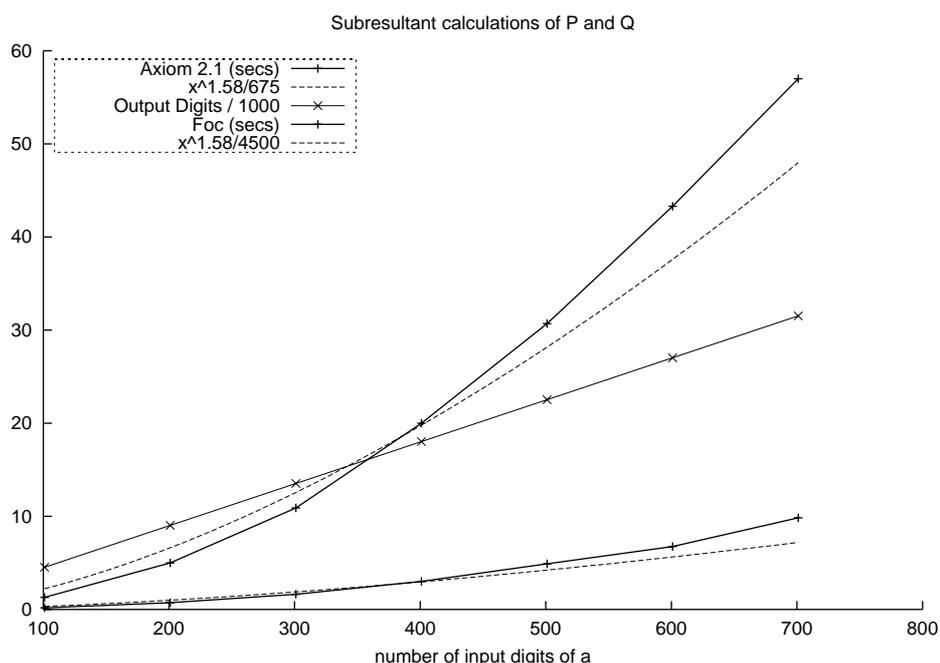
seconde phase. Nous décrivons les réalisations ci-après.

paramètres plusieurs collections.

Actuellement, la librairie comprend une centaine d'espèces, décrites par 3500 lignes de code Ocaml et fournit des représentations de toutes les structures algébriques classiques et de leurs implantations classiques.

La recherche d'efficacité, en terme de temps d'exécution, n'a pas été notre souci principal. Nous avons privilégié l'efficacité dans la conception, le développement et la certification (programmation purement fonctionnelle). Cependant, les temps de calcul sont excellents et même, les meilleurs pour certains algorithmes de calcul de racines de polynômes. Par exemple, le même algorithme de résultant a été codé par R. Rioboo en Axiom (2.1), et FOC. Il a été testé avec les données fournies dans la figure 1.

Ces résultats doivent être corroborés par des comparaisons avec d'autres algorithmes et d'autres systèmes, en examinant en particulier quelles sont les



représentations et les heuristiques utilisées et les algorithmes réellement implantés.

La composante certification

Parallèlement à la réalisation de la bibliothèque, nous avons mené un travail de conception de la certification. Les dépendances entre éléments de la librairie doivent être explicitées dans le code Coq. La représentation est fondée sur la notion de mixtel, introduite par S. Boulmé et expliquée ici très succinctement.

Une espèce est mathématiquement déterminée par une représentation, un ensemble d'opérations et un ensemble de propriétés, que nous nommons toutes méthodes primitives et qui sont représentées par un couple (nom, signature). D'autres opérations ou propriétés, dites méthodes dérivées, peuvent être construites à partir de ces primitives et sont données sous la forme (nom, signature, valeur). Un mixtel est une suite finie de telles méthodes, exprimée dans un langage de types dépendants, qui permet de décrire finement les dépendances entre ces méthodes. La construction d'une espèce à partir d'espèces connues est interprétée comme un morphisme entre les mixtel décrivant ces espèces. Par exemple, on peut construire

L'environnement utilisateur

La conception de cette composante a été entreprise dès le début du développement de Foc, essentiellement en étudiant des environnements déjà réalisés (Axiom, Centaur, CTcoq, etc.). Cependant, sa réalisation a été différée pour deux raisons. La première raison est simplement la mise en place des deux autres composantes, qui a absorbé tout le temps disponible. La seconde est plus profonde et liée à la formalisation de la hiérarchie. En effet, la syntaxe

une nouvelle espèce en donnant une définition (implantation ou preuve) à une méthode primitive, cette opération est nommée raffinement.

À chaque espèce, on peut associer une ou plusieurs interfaces, représentées par des types dépendants, qui décrivent chacune une certaine vue de l'espèce. Une collection C implante une espèce E, si toutes les méthodes primitives de E ont reçu une définition dans C. L'interface associée à l'espèce E peut alors être considérée comme une signature acceptable pour la collection C.

L'ensemble d'espèces et de collections est muni d'un ensemble d'opérateurs, correspondant aux différents mécanismes d'extension.

L'étude des propriétés des mixtel est bien avancée et leur codage en Coq est terminé. On dispose donc d'une représentation de la hiérarchie, dont la cohérence est garantie par le système Coq. La formalisation du contenu de chacune des unités de la bibliothèque peut donc commencer.

concrète et les outils mis à la disposition des utilisateurs doivent permettre --- et même obliger --- l'utilisateur à construire son programme en explicitant toutes les dépendances de son code vis-à-vis des espèces et des collections. Une avancée substantielle dans la formalisation était donc nécessaire.

La réalisation de l'environnement utilisateur venant de débiter, nous la décrivons plus loin, dans la partie prospective.

Collaborations, diffusion

Le projet Foc a participé à l'action coopérative Calcul Formel Certifié (CFC) de l'INRIA (projets Lemme - INRIA Sophia, Coq et Cristal - INRIA Rocquencourt de janvier 1998 à décembre 1999).

Les membres du projet Foc ont participé à différentes conférences ou groupes de travail: CALCULEMUS 98 (groupe de travail européen portant sur la formalisation des mathématiques), CALCULEMUS 99 (avec une présentation du projet), Groupe de Travail OpenMath - juin 1999 (interopérabilité entre systèmes de calcul formel), groupes de travail de CFC. Le groupe Foc a organisé une rencontre de deux jours sur Calcul formel et Certification en juin 1999, avec la participation de plusieurs chercheurs européens. Il a également présenté l'état actuel du projet au cours d'une journée consacrée à Foc, organisée par le grou-

pe Esquisses et Calcul Formel (Paris 7, Limoges) en mars 2000.

Plusieurs publications ont été acceptées, d'autres sont en cours de soumission. Plusieurs exposés, hors le cadre des collaborations, ont été donnés.

Pour clore ce bilan, on peut affirmer que le projet Foc a rempli son but. Les résultats sont là pour l'attester. Nous avons réussi à apporter quelques premières solutions aux problèmes posés par l'implantation sûre d'algorithmes de calcul formel. La facilité de développement de programmes dans l'environnement Foc alliée aux temps d'exécution excellents est avérée. Le choix de la méthodologie de développement se révèle pertinent puisqu'il peut être modélisé par une structure mathématique et permet une programmation très proche de la spécification.

Perspectives

Les principaux objectifs du projet Foc sont mainte-

nant les suivants.

- La librairie fournie contient la plupart des structures algébriques nécessaires aux différents domaines abordés par le calcul formel (intégration, systèmes triangulaires, etc.). Cette librairie doit être étendue pour offrir les algorithmes propres à chacun de ces domaines.
- Le contenu de chacune des unités de la librairie doit être développé en Coq, en l'insérant dans la représentation de la hiérarchie, de manière à être réutilisable pour prouver d'autres propriétés. Il faut donc élaborer aussi un cahier des charges orienté « future réutilisation » pour le développement des preuves.

Parallèlement, on cherchera aussi à réutiliser des preuves déjà fournies par diverses contributions de Coq. En effet, différents développements concernant les structures algébriques ont été effectués dans Coq, avec des points de vue différents (point de vue déclaratif, point de vue calculatoire par exemple). Comprendre comment construire les isomorphismes permettant de passer d'un point de vue à un autre est un gros travail de recherche, très intéressant en soi car la notion de « réutilisation de déjà fait » est encore peu étudiée dans le domaine de la preuve.

- La mise en place de l'interface utilisateur doit être entamée. Elle conditionne la mise à disposition de Foc pour les utilisateurs. Comme toute interface utilisateur, elle doit répondre à des impératifs d'ergonomie : s'adapter au mieux à la pratique de l'ingénieur en calcul formel. Celui-ci ne devrait pas avoir à connaître les langages Ocaml et Coq. Au contraire, il devrait retrouver une interface de programmation « à la Axiom » avec une syntaxe concrète éventuellement proche de celle de Openmath (projet international de normalisation des échanges de données entre systèmes de calcul formel). Il faudrait aussi que le langage de preuve permette d'effectuer une preuve « comme en mathématiques », par exemple, en prouvant un théorème, sous l'hypothèse que les lemmes utilisés sont corrects.

La réalisation de cette interface repose donc sur la conception de cette syntaxe concrète, permettant de mélanger des informations de nature calculatoire ou

bien de nature logique. Les informations calculatoires doivent servir à construire le programme en Ocaml. Les informations logiques doivent permettre d'énoncer des propriétés des structures manipulées et d'en faire la preuve. Il faut de plus garantir la cohérence entre ces deux sortes d'informations.

Le développement de cette interface va être effectuée en collaboration avec D. Doligez, qui a déjà réalisé une interface de ce genre pour traiter des propriétés temporelles. Schématiquement, il faut extraire un squelette de preuve de la syntaxe concrète et replacer cette preuve incomplète dans la description logique de la hiérarchie. Il faut définir des outils pour tenter de compléter la preuve et pour éventuellement engendrer les obligations de preuve pour les lemmes manquants. La preuve complétée doit alors être soumise à un vérificateur de preuves.

L'interface doit de plus fournir un certain nombre d'outils (calcul et affichage de graphe de dépendances entre classes, recherche de méthodes ou d'énoncés par leurs types, gestionnaire de version, etc). La mise en place de l'interface soulève donc un nombre assez important de problèmes de recherche, tant appliquée que fondamentale, mêlant aspects syntaxiques et surtout sémantiques et que l'on peut estimer difficiles.

On peut remarquer que cette tentative de construction d'un environnement de programmation raisonnée pour le calcul algébrique est un sujet de recherche exemplaire au sens suivant. On peut la lire comme l'étude, en grandeur réelle, du passage de la spécification de l'environnement d'un métier au système logiciel l'implantant. Cette étude n'est toutefois pas trop démesurée car dans l'environnement du métier concerné (donc celui du mathématicien), tout a déjà été décrit rigoureusement, avec un vocabulaire partagé par tous, facilitant le dialogue entre ingénieurs du métier et informaticiens.

Nous espérons avoir montré, dans cette présentation du futur de Foc, qu'il s'agit d'un problème de recherche à la fois théorique et pratique, très ancré dans les questions de fiabilité du logiciel et qui mérite d'être soutenu, en particulier, au niveau des ressources humaines (ingénieurs expert, chercheurs).

Bibliographie

- (1) On the way to certify Computer Algebra Systems S. Boulmé, T. Hardin, D. Hirschhoff, V. Ménissier-Morain et R. Rioboo. Calculemus de FLOC'99 (Federated Logic Conference, Trento, Italie).
- (2) Modules Objets et Calcul Formel S. Boulmé et T. Hardin et R. Rioboo. JFLA'99 (Journées Francophones des Langages Applicatifs) Avoriaz (1999).
- (3) Vers un environnement de programmation certifiée pour le calcul formel S. Boulmé. Groupe BIP 1998.
- (4) Présentation du projet FOC R. Rioboo. Journées nationales de calcul formel 1998.
- (5) Présentation des mixtel S. Boulmé. Journée Formalisation des Mathématiques, INRIA, novembre 1999.
- (6) Opérateurs de raffinement sur les structures algébriques S. Boulmé. Journées Francophones des Langages Applicatifs, INRIA, février 2000
- (7) Journée de présentation du projet Foc, 24 mars 2000 groupe Esquisses et Calcul formel, Séminaire Catégories et Structures, F. Coppey, C. Lair, D. Duval, Universtiés Paris 7 et Limoges.



INDEXATION MULTIMEDIA

Faudemay Pascal

Bouchon-Meunier Bernadette
 Caraty Marie-José
 Doucet Anne
 Joly Philippe
 Montacié Claude

Ingénieur de Recherches CNRS (ASIM)
 Directeur de recherches, CNRS (APA)
 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 Gwenaël (Faudemay, 96)	(ASIM)
Seyrat Claude (Faudemay, 96)	(ASIM)
Ruiloba Rosa (Faudemay 98)	(ASIM)
Detiniesky Marcin (Bouchon 98)	(APA)
Petridis Sergio (Montacié 98)	(APA)
Lefevre Fabrice (Caraty 98)	(APA)

DESCRIPTION DU PROJET INDEXATION MULTIMEDIA

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 :

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.

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 mon-

tage 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.

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.

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

se 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.

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.

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 vi-

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

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

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

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.

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 coo-

perative 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.

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.

/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.

l'utilisateur, quelque soit sa représentation, de celle du sens commun.

Cette orientation de recherche commence seulement actuellement dans le projet.

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.

pération 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 (pro-

gramme "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 1er 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 Montacé, 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. Montacé, 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.





INDEXATION DE 60 HEURES DE VIDÉO

Faudemay Pascal

Bouchon-Meunier Bernadette
Caraty Marie-José
Joly Philippe
Montacié Claude

Ingénieur de Recherches CNRS (ASIM)
Directeur de recherches, CNRS (APA)
Maître de conférences, HDR, UPMC
Maître de conférences, UPMC
Maître de conférences, HDR, UPMC

ITA-IATOS

Penné Jean

Ingénieur de recherches, CNRS

DESCRIPTION DU PROJET INDEXATION DE 60 HEURES DE VIDÉO

Présentation générale

La compréhension automatique ou semi-automatique des documents multimédias à différents niveaux d'abstraction et de granularité ainsi que des utilisateurs amenés à les consulter est un des enjeux importants de l'industrie des médias. En effet, le développement des nombreuses chaînes de la télévision numérique, l'accès effectif aux contenus multimédia sur l'Internet, et certaines dimensions du commerce électronique, dépendent largement des méthodes d'accès qui découleront des travaux menés par la recherche en informatique dans le domaine de l'indexation multimédia. Ces enjeux représentent l'un des principaux domaines d'investissement de l'industrie informatique et audiovisuelle, et d'un certain nombre de laboratoires de pointe (Media Lab, Princeton, Cambridge, etc.).

Le groupe de recherche en indexation multimédia a obtenu des résultats importants dans ce domaine, notamment en segmentation spatiale d'images statiques, en segmentation temporelle de la vidéo, en méthodes de recherche dans des vidéos, et en outils de description des contenus multimédias à travers une contribution importante à MPEG-7.

Cependant ces travaux ne peuvent atteindre des résultats complètement probants qu'en s'appuyant sur

une expérimentation à une échelle suffisante, qui est l'une des clés de la visibilité internationale. Rappelons qu'un des objectifs principaux de l'indexation multimédia est de permettre la recherche d'informations dans de très grands ensembles de documents, comme c'est le cas pour les centres d'archives audiovisuelles par exemple. Or, de nombreuses expérimentations ne portent que sur des extraits de quelques dizaines de minutes, ce qui ne permet pas de juger de leur pertinence " in situ ".

Un système de stockage de masse est de ce fait l'élément indispensable de toute architecture visant à montrer (et à démontrer) l'utilité et l'efficacité des résultats de recherche menés sur l'indexation multimédia. Ceci peut représenter un centre d'intérêt potentiel pour la communauté scientifique travaillant dans le domaine, mais aussi pour les industriels souhaitant tester des solutions technologiques. Ainsi le projet Informedia de l'Université Carnegie-Mellon expérimente sur 1 000 heures de vidéo. Cette échelle d'expérimentation permet d'accorder un réel crédit aux solutions techniques proposées, ainsi qu'aux résultats obtenus.

Objectifs du projet

Ce projet a pour vocation de jouer le rôle de " vitrine " des activités de recherche menées en matière d'indexation multimédia dans le laboratoire. Il doit proposer une solution technologique vraisemblable et démontrer l'utilité des outils développés pour la re-

cherche d'informations audiovisuelles. Ce doit être également un support d'évaluation de la qualité des résultats fournis, au moins en ce qui concerne les informations extraites automatiquement.

Echelle d'expérimentation

Plusieurs types de résultats sont très dépendants de la taille du corpus susceptible d'être manipulé et accessible à tout instant:

- La durée d'un document audiovisuel est le paramètre qui dimensionne la taille de la base de donnée. Or, sa taille se doit d'être conséquente pour que celle-ci offre une richesse et une variété de conte-

nus suffisants pour valider les différents algorithmes d'indexation.

- L'approche " push " a pour principe de conduire un serveur à proposer automatiquement à un utilisateur un ensemble de documents susceptible de correspondre à ses centres d'intérêt. Le principe est le suivant: sur la base d'un ensemble d'indications

fournies par l'utilisateur, le système formule une proposition de document qui peut être acceptée ou rejetée. De cette manière, le système est supposé progresser dans la compréhension de l'utilisateur. Là encore, la diversité des contenus est un facteur clé pour assurer un fonctionnement conséquent de ce système d'accès et pour valider la pertinence des propositions formulées par le système.

- Enfin les problèmes techniques des systèmes et des bases de données liés à cette problématique (accès

par index spatio-temporel, application d'une base de règles de taille significative à des bases de faits importantes) n'apparaissent véritablement qu'à des échelles largement supérieures aux expérimentations à petite échelle. Il s'agit donc ici d'acquérir une expertise technologique adaptée aux dimensions réelles visées par ce type de travaux de recherche.

Mise en Oeuvre

Phase 1: Première expérimentation sur un corpus de 30 heures (T+6)

Un corpus de 30 heures de documents audiovisuels numériques a été constitué. Ce corpus comprend des journaux télévisés, une fiction, des documentaires, des spots publicitaires, des bandes annonces, des longs-métrages, des dessins animés et des émissions de divertissement. Sur ce corpus, la segmentation en plans a été appliquée et deux images pour chaque plan détecté ont été extraites. Ces images ont été à leur tour segmentées en objets visuels. Puis une batterie de tests a été effectuée par les membres du groupe afin de valider les résultats obtenus et de les évaluer. Huit personnes ont participé durant à peu près 2 semaines à la validation des résultats de l'indexation. Cette évaluation reposait sur la lecture des fichiers vidéos, et sur la confrontation des observations faites avec les résultats présentés dans l'interface ci-contre. Celle-ci présente la dernière image d'un plan et la première image du plan suivant.

Le type de l'effet de transition est également précisé. L'opérateur doit donc valider si l'effet est correctement détecté et, le cas échéant corriger l'indexation produite.

Sur les 30 heures indexées, à l'issue des deux semaines, seules 10 heures étaient effectivement validées. On a pu établir ainsi que la durée de la validation équivalait à la durée du document multiplié environ d'un facteur 10. Ce coût très important va de surcroît avec un ensemble de difficultés que cette tâche a permis de mettre en évidence.



Fiabilité d'une évaluation par un opérateur humain

La fiabilité de l'évaluation par un opérateur humain va en diminuant rapidement au delà d'une d'heure de validation. Pour limiter les erreurs, les documents ont du être validés par deux personnes différentes.

De plus, l'interprétation des résultats varie d'un évaluateur à l'autre. De nombreux cas ambigus d'effets de transition ont ainsi été mis en évidence. De même, la perception de la composition en objets visuels d'une image fixe peut varier fortement d'un évaluateur à l'autre. Une interface du même type a été réalisée pour traiter la segmentation spatiale des images fixes. Les résultats obtenus ont mis en évidence le

rôle important de la subjectivité dans les appréciations faites par les utilisateurs.

Evaluation et confrontation des résultats

Après la validation des résultats, l'évaluation de l'indexation a été produite sur la base du calcul de taux de fiabilité exprimé par les

formules proposées dans l'état de l'art relatif à ce domaine. Il n'en restait pas moins que les résultats obtenus n'étaient pas directement comparables avec ceux obtenus par d'autres équipes du fait des différences de corpus (en durée, en complexité...) et de la non-prise en compte des performances des algorithmes (capacité à discriminer plusieurs types d'effets de transition, vitesse de traitement...).

Limites technologiques

Des limitations technologiques ont également pu être mises en évidence: les outils d'indexation étaient répartis sur différentes machines reliées par un réseau à 10Mb/s. Il est apparu que le transfert des images

sur les résultats montre l'intérêt d'une covalidation des données fournies par ces algorithmes (cf. [2]).

Solution technique

Les limites mises en évidence lors de la première phase ont conduit à envisager le regroupement des traitements d'indexation sur une même machine. Celle-ci assurera tour à tour l'acquisition, l'indexation et la gestion de la base de donnée. L'exploitation des résultats des outils d'indexation dans une seule et même interface a été étudiée à travers la réalisation d'un prototype dont une présentation de l'interface est donnée ci-dessous.

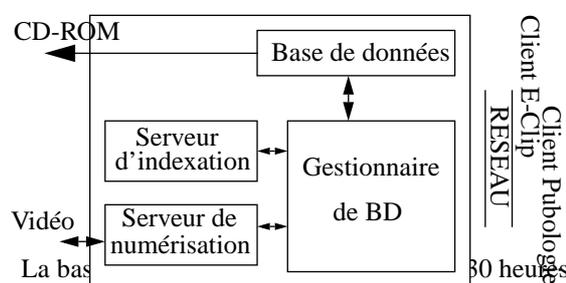
Phase 3: Implantation (T+15...)

Il a été établi que la réalisation d'interfaces spécifiques mettant en évidence l'intérêt de ces résultats pour des usages professionnels ou commerciaux clairement définis serait une valeur ajoutée pour ce projet. Deux applications sont en cours de spécification: "E-Clip" et "Pubologie". La première est une application visant à recommander à un utilisateur la consultation d'un ensemble de clips vidéo sur la base d'un minimum d'informations ponctuelles le concernant et de la gestion de son profil. La seconde a pour objectif d'évaluer s'il y a adéquation entre la forme d'un message publicitaire et la catégorie socio-économique du public auquel il s'adresse.

Ces deux applications reposent sur la même architecture système et ne sont spécialisées qu'à travers les outils et les représentations qui seront proposées sur l'interface utilisateur. Ces interfaces pourront être activées sur une autre machine que le serveur. L'échange des données s'effectuera à travers un réseau 100 Mb/s. L'architecture est résumée par le schéma suivant:

En plus des fonctionnalités de navigation plan par plan, cet outil offre un accès basé sur la recherche d'un terme présent dans le script, ou sur la présence d'un objet similaire à un objet présent dans une image donnée (fonction très efficace pour retrouver par exemple un personnage).

Enfin, l'interopérabilité peut être désormais assuré par un encodage systématique des informations extraites sous le format MPEG-7 actuel. Ce format n'est pas encore stabilisé. Néanmoins, la position du groupe Indexation Multimédia dans le consortium MPEG garantit la proximité du format choisi avec les avancées faites dans le standard (cf. [3]).



de vidéo clips et 30 heures de spots de publicité (correspondant environ à 70 Go de vidéo numérique). A ces documents s'ajouteront les images fixes extraites, les informations textuelles (style, cadence, paroles des chansons... pour les clips; scripts, production, cible... pour les messages publicitaires). La capacité de la base de donnée selon la solution technique que nous avons adoptée est de plus de 100 Go.

Dissémination et valorisation des résultats

Les briques intégrées dans le projet suivent chacune des processus de valorisation indépendants:

- la lecture et le rangement dans la mémoire des informations transmises au format MPEG-7 s'effectuent à l'aide d'un parser développé par notre équipe. Celui-ci est le premier (et pour l'heure l'unique) contrôleur syntaxique jamais développé pour ce langage. Il sera mis gratuitement à disposition des chercheurs d'ici le début du mois de décembre 1999. Il représente pour l'heure un enjeu important dans le développement de la norme.
- l'évaluation appliquée à la segmentation en plans est le format d'échange et de comparaison des résultats adopté par les membres du GT10 (Indexation Multimédia) du GDR ISIS. Des contacts ont

été pris récemment afin d'élargir la communauté des chercheurs susceptibles d'utiliser les résultats et de lui donner une dimension européenne. Les formats de données seront soumis au processus de standardisation relatif à MPEG-7.

- la segmentation spatiale de l'image fixe a fait l'objet d'un brevet international. Des travaux en cours visent à rassembler les objets visuels en fonction de la probabilité de leur appartenance à un objet plus grand, ou sémantiquement plus pertinent (cf. [4]).

L'intégration de l'ensemble de ces résultats dans le projet fera l'objet d'une démonstration à RIAO 2000 en mars 2000 à Paris ainsi qu'à l'occasion du meeting MPEG qui suivra.

Bibliographie

- (1) R. Ruiloba, P. Joly, S. Marchand-Maillet, G. Quénot : “Towards a Standard Protocol for the Evaluation of Video-to-Shots Segmentation Algorithms”, presented at International Workshop in Content-Based Multimedia Indexing (CBMI), Toulouse France, 1999.
- (2) P. Faudemay, P. Joly, C. Thiénot, C. Seyrat : “An Extensible DDL Framework based on RDF and Ontologies”, presented at MPEG proposal p625b, 1999.
- (3) G. Durand, P. Faudemay : “Extraction of Composite Visual Objects from Audiovisual Materials”, presented at Invited paper - SPIE - Multimedia Storage and Archiving Systems IV, Boston, 1999.



MISE EN ŒUVRE DE LA MACHINE MPC

Greiner Alain

Alt René
Chesneaux Jean-Marie
Faugère Jean-Charles
Folliot Bertil
Lamotte Jean-Luc
Scherson Isaac Irvine
Sens Pierre

Professeur, UPMC (ASIM)
Professeur, UPMC (ANP)
Maître de Conférences, UPMC (ANP)
Chargé de recherche, CNRS (CALFOR)
Maître de Conférences, UPMC(SRC)
Maître de Conférences, UPMC (ANP)
Professeur, (ASIM)
Maître de Conférences, UPMC (SRC)

Personnel temporaire

Wajsburdt 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)
Leduc Thomas	(ANP)
Victor Marc (Faugère/Lazard, 94)	(CALFOR)

DESCRIPTION DU PROJET MPC

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".

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 so-

ciété 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, puis-

ciété 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, puis-

qu'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'origi-

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.

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 dé-

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

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,

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-

ne 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 application de simulation ou de calcul scientifique, serveur de documents multi-média, serveur vidéo, etc.

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.

finition 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.

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.

selon qu'on envisage de conserver un système d'exploitation indépendant sur chaque nœud, 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.

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

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

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 déve-

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.

de nœuds; 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.

loppés 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.



BILAN PROJET MPC LIP6 1999

Greiner Alain

Alt René
Chesneaux Jean-Marie
Faugère Jean-Charles
Lamotte Jean-Luc
Wajsburt Franck

Professeur, UPMC (ASIM)
Professeur, UPMC (ANP)
Professeur, UPMC, (ANP)
CR CNRS, (CALFOR)
MC, UPMC, (ANP)
MC, UPMC, (ASIM)

Personnel temporaire

Fenyo Alexandre
Lecalvez Caroline

ATER, UPMC, ASIM
ATER, UPMC, (ANP)

Doctorants présents 80 % du temps au LIP6

Silva Fabricio
Victor Marc (Faugère/Lazard, 94)

(ASIM)
(CALFOR)

RAPPEL DES OBJECTIFS DU PROJET MPC

Bilan au 15 novembre 1999,

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 au niveau applicatif. Cette plate-forme matérielle et logicielle doit être stable; elle doit être accessible à travers le réseau pour permettre la télé-exploitation, et elle doit fournir un environnement de programmation parallèle standard tel que PVM ou MPI. La plate-forme matérielle est constituée de PCs standard à chacun desquels on a ajouté

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

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 déve-

lopés 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'implémenter 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 J.M Chesneaux.

une carte réseau FastHSL, conçue au LIP6 et commercialisée par la société Tachys. Le système d'exploitation est une version légèrement modifiée de UNIX FreeBSD. Le développement de l'environnement logiciel PVM/MPC a été effectué durant la première année du projet. Le projet proposé ici vise donc exclusivement la réalisation d'une machine d'exploitation pour une expérimentation au niveau applicatif. Cette machine comportera huit nœuds de calcul bi-processeurs. Les applications visées sont de deux types:

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.

Rappel des besoins du projets

- Le demande de financement pour 99 consiste a étendre à huit nœuds la plate-forme matérielle, qui comportait fin 98 quatre nœuds de calcul mono-processeurs. Les cartes mères choisies pour la plate-forme MPC LIP6 supportent deux processeurs. Nous souhaitons donc disposer d'une machine à 16 processeurs (8 nœuds bi-processeurs), ce qui est en effet nécessaire pour pouvoir effectuer des mesures de performances significatives. Le coût d'une telle extension est de 80 kF.
- La principale demande concerne le recrutement d'un ingénieur de développement et de maintenance pour le projet MPC, comme cela a été demandé par la direction du LIP6 en 98. La réalisation, l'installation, puis l'exploitation d'une machine parallèle nécessite un gros travail de développement - tant matériel que logiciel - qui ne peut pas être assuré par des thésards. Ceci concerne en particulier tous les utilitaires permettant de faciliter la télé-exploitation de la machine MPC à travers le réseau.

Bilan de l'année 1999

Les objectifs visés par le projet n'ont pu être atteints en raison de l'indisponibilité de la plate-forme d'expérimentation. Cette indisponibilité est liée à des dif-

Difficultés matérielles

L'extension de la plate-forme matérielle a été fortement retardée par un vice de fabrication dans les cartes FastHSL fournies par la société Tachys. Ce défaut mécanique (profondeur insuffisante du connecteur PCI de la carte) introduisait une panne aléatoire, non reproductible, très difficile à diagnostiquer dans un projet d'intégration verticale d'un grand nombre de composants à la fois logiciels et matériels (composants VLSI / carte réseau / logiciel système bas-niveau / bibliothèques logicielles de communication). La difficulté du diagnostic a été aggravée par l'absence d'un ingénieur disposant du temps nécessaire pour analyser le problème. L'origine matérielle du problème n'a été identifiée que très tardivement, car la panne n'apparaissait pas sur d'autres machines installées dans d'autres universités. Pire, elle était non reproductible, car elle dépendait des contraintes mé-

Difficultés logicielles

Les bibliothèques de fonctions de communications PVM et MPI sont les standard utilisés par les concepteurs d'applications parallèles. F. Silva et K. Mana ont conçu et implanté en 1997 et 1998, une première version de la bibliothèque de programmation PVM pour la machine MPC, dans le cadre d'un stage de DEA. Ce logiciel avait été testé sur des exemples de petite taille, mais il n'avait pu être réellement validé sur des applications de taille significative, faute - ici encore - d'un ingénieur disposant du temps nécessaire. La première tentative d'exploitation de PVM/MPC sur une application de grande taille, effectuée sur la machine MPC de l'INT par P. Lallevee et O. Gluck a permis de mettre en évidence un bug majeur dans PVM/MPC se traduisant par des pertes de données lorsque la taille des messages excède 4 kilo-octets. Ce

bug rend la machine inexploitable au niveau applicatif. En l'absence d'un ingénieur disposant du temps nécessaire pour déverminer le code PVM, il a été décidé - après discussion avec les responsables des équipes CALFOR et ANP de basculer vers l'environnement de programmation parallèle MPI, travail qui a démarré en octobre 1999.

caniques exercées sur la carte etc. Ce n'est qu'en septembre 1999 que le diagnostic a pu être établi par un travail conjoint de A. Fenyo, J.L.Desbarbieux, A. Zerrouki, F. Wajsburt et J.J.Lecler, conduisant au lancement d'une nouvelle fabrication de cartes par la société Tachys.

Il faut cependant mentionner un point positif: la seconde version du circuit VLSI équipant la carte réseau (circuit PCI-DDC) est revenue de fabrication en juillet 1999. Cette seconde version corrigeait certains bugs du circuit PCI-DDC qui entraînaient un fonctionnement en mode dégradé, introduisant une limitation d'un facteur 5 sur le débit maximal. Cette seconde version du circuit PCI-DDC a pu être monté sur deux cartes prototypes, et les mesures de performances sont conformes aux valeurs attendues.

Malgré cette difficulté bloquante, un gestionnaire de tâches (Job management System) a été développé par O. Gluck dans le cadre de son stage ingénieur INT. Le JMS vise la télé-exploitation de la machine MPC à travers le réseau: Il permet de soumettre des jobs à travers n'importe quel browser WEB, et gère une file d'exécution des jobs en mode batch, suivant un système de priorités définies par l'administrateur de la machine.

Conclusion

L'absence d'un ingénieur travaillant à temps plein sur l'intégration de la machine MPC a considérablement retardé le diagnostic d'un vice de fabrication des cartes réseau FastHSL. Il est impossible, et de toutes façons anormal, de demander à des thésards de consacrer des semaines - ou des mois - à chasser un panne aléatoire. Cette panne matérielle a entraîné un retard d'environ six mois dans l'intégration de la machine MPC LIP6.

Par ailleurs, un bug majeur a été identifié dans l'environnement de programmation PVM. Ce bug s'est

révélé bloquant, en raison du départ du stagiaire qui avait développé ce logiciel, et il a été décidé de basculer vers MPI, en coopération avec l'équipe de B. Tourancheau à Lyon.

Pour les deux raisons ci-dessus, les expérimentations prévues au niveau applicatif n'ont pu être réalisées, c'est pourquoi nous demandons que le projet soit reconduit en 2000, avec les mêmes objectifs scientifiques, sans financement complémentaire, mais en insistant sur la nécessité du recrutement d'un ingénieur, comme cela a été demandé par le LIP6.



CAO DE CIRCUITS ET SYSTÈMES INTÉGRÉS

Louërat Marie-Minerve

Amara Amara
 Augé Ivan
 Bawa Rajesh
 Bazargan-Sabet Pirouz
 Derieux Anne
 Greiner Alain
 Marzouki Meryem
 Mehrez Habib
 Minoux Michel
 Pétrot Frédéric

Chargé de recherche, CNRS
 Maître de Conférences, Isep
 Maître de Conférences, IIE/CNAM
 Maître de Conférences, Isep
 Maître de Conférences, UPMC
 Maître de Conférences, UPMC
 Professeur, UPMC
 Chargé de recherche, CNRS
 Maître de Conférences, UPMC
 Professeur, UPMC
 Maître de Conférences, UPMC

ITA-IATOS

Descamps Gilles-Eric

Ingénieur d'études, UPMC

Personnel temporaire

Dioury Karim
 Houelle Alain
 Sirol Olivier
 Vaucher Nicolas

Post Doc ASIM
 Post Doc ASIM
 Ingénieur sous contrat
 Post Doc ASIM

Doctorants présents 80 % du temps au LIP6

Aberbour Mourad
 Aboushady Hassan
 Avot Grégoire
 Bajot Yann
 Benabdenbi Mounir
 BukovjanPeter
 Caron Arnaud
 Dessouky Mohamed
 Ducerf-Bourbon Laurent
 Dumonteix Yannick
 Dunoyer Julien

Guerrier Pierre
 Hommais Denis
 Iponse Fabrice
 Jacomme Ludovic
 Khouas Abdelhakim
 Lester Anthony
 Lintz Matthieu
 MaroufiWalid
 Franck Michaux
 Rahim Fahim
 Vuillemin Laurent

DESCRIPTION DU PROJET CAO DE CIRCUITS ET SYSTÈMES INTÉGRÉS

Rappel des objectifs du projet

Cette action est structurée autour de la chaîne de CAO Alliance. Les objectifs sur un an étaient :

- aide à la dissémination de la chaîne de CAO Alliance à travers 2 actions essentielles :
 - l'intégration d'une nouvelle version de la chaîne Alliance visant les technologies sub-microniques,
 - la promotion et la distribution d'Alliance à travers le Web, ce qui nécessitait la réorganisation des sites FTP et WWW d'ASIM,
- soutien aux recherches sur les outils et méthodes de conception liées aux technologies sub-microni-

ques. Alliance constitue en effet une plate-forme de développement irremplaçable pour les recherches en CAO. 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'inter-opérabilité entre les différents outils de la chaîne. Elle totalise actuellement un peu moins d'un million de lignes de C.

Travail effectué au cours du projet

Dissémination de l'existant

Au cours de l'année 1999, Olivier Sirol, un ingénieur sous contrat, rémunéré à temps plein par le pôle ASIM a :

- intégré et maintenu, en collaboration avec les concepteurs, une nouvelle version d'Alliance : version 4.0
- diffusé cette nouvelle version d'Alliance par le Web (novembre 1999). En 1999 environ 1500 personnes avaient téléchargé la dernière version disponible d'Alliance (3.2.b).
- répondu aux questions des utilisateurs. Entre 5 et 10 messages, portant sur l'installation ou l'utilisation d'Alliance, arrivent chaque semaine.
- effectué la promotion d'Alliance sur le Web en réorganisant complètement les sites FTP et WWW

d'ASIM, en particulier toute la documentation Alliance est maintenant disponible sur le site ASIM, les mailing-lists y sont archivées et un moteur de recherche a été implémenté. Environ 250 personnes qui regardent en moyenne 20 pages visitent le site Alliance chaque semaine.

- effectué les démarches nécessaires pour qu'Alliance soit disponible sur sunsite.unc.edu (University of North Carolina) et ses très nombreux miroirs. Alliance est maintenant disponible sur les CD d'installation de Linux.
- enregistré Alliance auprès des moteurs de recherche internet les plus connus : Altavista, exite, lycos.

Résultats de recherches liées aux nouvelles technologies sub-microniques

Contexte de la recherche

Les technologies actuelles permettent de réaliser des circuits contenant plusieurs millions de transistors et comportant sur la même puce des parties analogiques et des parties numériques. Les recherches portent sur les outils et méthodes de conception des systèmes intégrés. Un système intégré est un circuit contenant plusieurs processeurs ou co-processeurs communiquant à travers une mémoire partagée. Les enjeux sont importants car ce type de composants est utilisé dans les applications électroniques grand public, télévision numérique ou automobile pour lesquels 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 co-processeurs spécialisés. Les problèmes posés par ces circuits portent sur les techniques de partitionnement matériel/logiciel, la vérification des parties numériques dont la taille ne cesse de croître et la conception des parties analogiques qui sont les plus consommatrices en temps de conception et de test. C'est pourquoi nous avons mené les recherches dans 3 directions :

Synthèse, simulation et test des systèmes intégrés

Les recherches menées ont abouti à découper la *synthèse d'architecture* en deux grandes phases :

- un ordonnancement à gros grain qui consiste à trouver un compromis entre le nombre de ressources physiques utilisées (coût du circuit) et le parallélisme d'exécution de la description séquentielle,
- un ordonnancement à grain fin sous contrainte qui consiste à raffiner les résultats de l'ordonnancement à gros grain en prenant en compte de manière précise les caractéristiques électriques des opérateurs et le temps de cycle imposé par le concepteur.

Notre travail a porté sur les méthodes d'ordonnement à grain fin sous contrainte à travers le développement de l'outil UGH.

Par ailleurs, dans le cadre de la recherche en co-design, il est nécessaire de simuler les systèmes incluant du matériel et du logiciel. Des outils exploitant le fait que la plupart des composantes d'un système sont standards, c'est à dire disponibles dans des bibliothèques, sont nécessaires. Ces outils peuvent faire des hypothèses fortes sur le comportement interne de chacun des modèles simulés et ainsi obtenir des performances supérieures d'au moins deux ordres de grandeur sur les simulateurs de matériel classiques. Ces simulateurs s'appuient sur des modèles décrits en C, soit directement par un concepteur soit générés à partir d'un langage de description de matériel.

Ainsi nous avons développé la plate-forme de simulation de systèmes intégrés à différents niveaux de précision (outil CASS). Pour exploiter les caractéristiques des composants et ainsi accélérer les simulations, nous avons construit une bibliothèque de composants d'interfaces génériques se connectant sur le bus standard PI-Bus ainsi qu'une bibliothèque de circuits optimisés pour le traitement du signal et l'arithmétique en virgule flottante et fixe.

Enfin, une fois le système fabriqué, il est nécessaire de le tester, pour valider sa fabrication, mais aussi dans le cadre de tests périodiques au cours de sa vie utile. Pour effectuer ce test dans le cas de systèmes complexes, il est nécessaire de prévoir dès la phase de conception des facilités de test. C'est pourquoi nous avons défini et développé IDAT, un outil de synthèse de co-processeurs testables. IDAT permet d'effectuer une analyse de la testabilité de tels co-processeurs (synthétisés par exemple en utilisant l'outil UGH), et d'implémenter des structures de testabilité au niveau des co-processeurs. Le choix de telles structures est le

résultat du meilleur compromis coût/qualité du test, dans le respect de contraintes fournies par le concepteur. IDAT fournit une architecture testable du co-processeur décrite en langage VHDL. La disponibilité de tels co-processeurs testables, une fois inclus dans le système intégré, permet de faciliter le test global du système.

Lorsque le système intégré est le résultat de l'intégration de composants virtuels ('IP cores') pouvant provenir de sources différentes, et présentant des caractéristiques de testabilité différentes, il faut être à même d'acheminer les données de test jusqu'à ces composants virtuels à partir des entrées/sorties du système. De plus, ce mécanisme d'accès pour le test doit être le plus standard possible, et donc indépendant des composants. Pour ce faire, nous avons défini une architecture à base de bus de test pour le système intégré. Cette architecture est compatible avec le standard IEEE P1500 en cours de finalisation, reconfigurable selon la session de test, modulaire, et permet de minimiser le coût en surface additionnelle et en temps d'acheminement des données de test à travers le système. Le développement de générateurs de bus de test conformes à cette définition constitue un début d'implémentation de l'architecture proposée.

Vérification

Si l'augmentation du nombre de transistors dans les VLSI a ouvert de nouvelles perspectives aux concepteurs de systèmes, elle pose deux types de problèmes de nature distincte aux outils de vérification :

D'une part, la plupart des outils de vérification requièrent de travailler sur une représentation "à plat" des circuits. De ce fait, avec l'augmentation exponentielle du nombre de transistors, ces outils atteignent leurs limites du point de vue du volume de données à traiter.

D'autre part, les nouvelles technologies fortement sub-microniques changent les rapports entre les tailles des composants élémentaires et font ainsi surgir des problèmes qui étaient considérés comme négligeables jusqu'à ce jour tels que la résistance intrinsèque des fils d'interconnexion.

C'est pourquoi nous avons développé les outils de vérification dans deux axes :

Le premier consiste à utiliser une approche hiérarchique et incrémentale s'appuyant sur des méthodes formelles (par opposition aux techniques de simula-

tion) pour essayer de contenir le volume de données. Cet axe concerne :

- l'abstraction fonctionnelle: retrouver la fonctionnalité d'un circuit à partir du dessin des masques,
- la preuve formelle entre plusieurs descriptions: établir l'équivalence fonctionnelle entre le circuit réalisé et ses spécifications initiales,
- l'analyse des performances temporelles: stabilité du circuit en fonction de la vitesse d'horloge indépendamment des stimuli.

Le second comprend le développement et l'intégration dans Alliance de nouveaux outils qui tentent de répondre aux besoins de vérification des circuits actuels :

- l'évaluation de la consommation par une approche probabiliste indépendante des stimuli,
- la prise en compte de la résistance des fils d'interconnexion due à l'allongement des fils de routage dans l'analyse statique des performances temporelles,
- la prise en compte des problèmes dus aux bruits de diaphonie qui peuvent compromettre le fonctionnement des circuits.

Outils et méthodes pour la conception de circuits mixte numériques-analogiques

Le développement de bibliothèques de cellules ou de macro-cellules indépendantes du fabricant de circuit et des procédés de fabrication est l'un des problèmes clés de la conception de systèmes intégrés qui est mal résolu par les chaînes de CAO commerciales. Les technologies actuelles permettent d'intégrer sur le même circuit des composants analogiques et numériques.

Alliance a proposé une méthode de dessin symbolique sur grille fixe pour les circuits digitaux qui assure la portabilité technologique, avec des performances voisines de celles obtenues par une approche optimisée.

Nous avons étendu cette approche aux circuits analogiques. Nous avons commencé à définir un langage original CAIRO qui, en manipulant des composants élémentaires déformables permet de générer les masques de fabrication.

Nous avons également proposé des méthodes d'optimisation pour la génération des vecteurs de test des parties analogiques.

Visibilité du Projet

Importance pour le LIP6

Aujourd'hui Alliance est utilisée dans plus de 250 universités. C'est l'image du LIP6, dans sa totalité, qui est promue à travers la diffusion d'Alliance.

Il est à noter qu'Alliance est distribuée sous licence GPL, c'est à dire que les sources sont diffusées. Alliance fait donc partie des logiciels libres. Il est impor-

tant que le LIP6 affiche une telle politique, largement soutenue actuellement en France, comme en témoigne l'accord-cadre signé le 29 octobre 1998 entre le Ministère de l'Education Nationale et l'AFUL (Association Francophone des Utilisateurs de Linux et des logiciels libres). Par ailleurs, nous avons été contactés

par le CNET dans le cadre du projet CAD-net dont l'objectif est de construire une plate-forme de diffusion de logiciels et outils de CAO de circuits et systèmes basée sur des réseaux à haut débit. Il faut noter que la distribution gratuite d'Alliance n'est pas con-

Livraisons Alliance

Une nouvelle version d'Alliance (4.0) est prévue pour le mois de novembre 1999. Elle sera disponible sur les systèmes d'exploitation: Linux sous RedHat 6, Sun OS (4.1.4), Solaris (2.5), FreeBSD, HP, Windows NT4/95/98. Elle intègre plusieurs nouvelles fonctionnalités:

- la possibilité d'effectuer une simulation logico-temporelle (nouvelle version de l'outil ASIMUT) et de visualiser les chronogrammes (XPAT)
- une nouvelle bibliothèque de cellules numériques standard: SXLIB adaptées au routage au-dessus des cellules. Les technologies sub-microniques

Résultats:



Figure 1: connexions mensuelles (250 personnes par semaine)

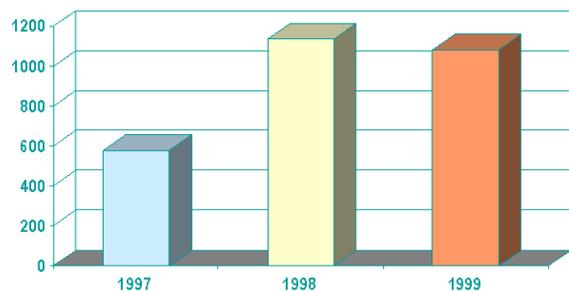


Figure 2: 100 téléchargements par mois

Participations à des Colloques et Publications

Mohamed Dessouky et Mourad Aberbour ont fait des démonstrations de divers aspects du logiciel Alliance au cours de la conférence internationale DATE'99 (Design, Automation and Test in Europe) dans le cadre de l'University Booth (CAIRO: un langage pour le dessin des masques de circuits mixtes analogiques-numériques, et CADAL: l'utilisation des bibliothèques de cellules portables d'Alliance dans l'environnement de CAO commercial Cadence).

tradictoire avec une politique volontariste de valorisation commerciale, comme en témoigne la création des entreprises AVERTEC et AED qui commercialisent des outils CAO issus du LIP6.

fournissant en effet 6 niveaux de métal (au lieu de 2 pour les technologies microniques), les stratégies de routage et les interfaces des cellules doivent évoluer pour pouvoir profiter de cette amélioration.

- une interface graphique pour le lancement des différents outils d'Alliance (ALGUE)
- la prise en compte des résistances d'interconnexion dans l'extracteur LYNX
- la prise en compte des résistances d'interconnexion du niveau transistor au niveau hiérarchique le plus élevé dans l'analyse temporelle statique (HiTas)
- un visualisateur de netlist (XSCH)

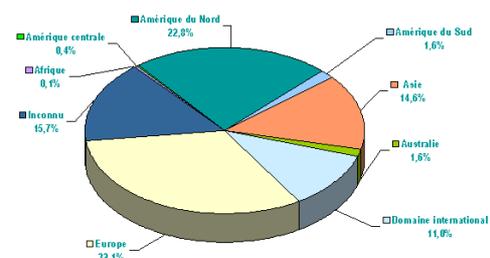


Figure 3: Répartition par continent

ASIM a été fortement impliqué dans l'organisation du colloque "CAO de circuits intégrés et systèmes", qui est l'occasion d'animer la communauté française travaillant sur ce thème dans le cadre du GDR 732. Tous les doctorants du LIP6/ASIM travaillant en CAO de circuits et systèmes ont présenté leurs travaux lors de ce colloque (Fuveau, mai 1999).

Présentation aux Industriels

Les recherches en CAO de circuit et systèmes sont soutenues par plusieurs projets européens qui ont offert plusieurs occasions de démonstrations aux industriels:

- projet Esprit COSY (Codesign Simulation and Synthesis)
- projet MEDEA 403 (System Level Methods and Tools)

Valorisation

Outils "System Level Design"

Les recherches en synthèse et simulation de systèmes intégrés: outils CASS (simulation) et UGH (synthèse) qui sont des résultats des contrats européens MEDEA 403 et COSY vont être distribués sous licence GPL. Les modalités de diffusion sont en cours de discussion avec la DRI.

Prix Seymour Cray

La chaîne Alliance avait obtenu en 1994 le prix Seymour Cray et avait été finaliste en 1996 pour le "European Academic Software Award".

En 1999 le prix Seymour Cray "jeunes chercheurs" 98 a été attribué à Karim Dioury et Anthony Lester pour leurs travaux sur les outils et méthodes de vérification des circuits intégrés CMOS submicroniques. K. Dioury et A. Lester sont également les fondateurs de la société AVERTEC, créée en 1998 avec l'aide de la Direction des Relations Industrielles de l'université pour commercialiser ces résultats.

A. Lester a principalement travaillé sur une méthode d'abstraction fonctionnelle permettant d'obtenir une description comportementale à partir du schéma en transistors (YAGLE). Karim Dioury a développé une méthode de vérification temporelle statique hiérarchique (HITAS).

Conclusion et Perspectives

L'intégration des recherches en CAO de circuits et systèmes intégrés dans le cadre cohérent de la chaîne Alliance bénéficie à tous les chercheurs permanents et thésards d'ASIM. Alliance est utilisée en interne par les chercheurs du laboratoire comme outil pour concevoir des circuits complexes ou comme plate-forme pour développer rapidement de nouveaux outils CAO expérimentaux. C'est un outil de valorisation de la recherche qui contribue à la visibilité internationale du LIP6 et de l'Université Pierre et Marie Curie. C'est cependant la première fois que la diffusion d'Alliance bénéficie d'un soutien institutionnel explicite.

Publications

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

- projet MEDEA 406 (Advanced Tools for Deep-Submicron Designs) ainsi que par des partenariats directs:
- contrat avec le CEA (circuits pour le traitement du signal et de l'image)
- contrat avec le CNET (évaluation de la consommation)
- contrat avec ST (évaluation de la diaphonie)

K. Dioury et A. Lester ont bénéficié de la plate-forme de développement constituée par la chaîne de CAO-VLSI Alliance, qui leur a fourni un environnement d'expérimentation "en grandeur réelle". La coopération étroite avec BULL, dans le cadre de plusieurs projets européens a été un autre facteur de succès: les équipes de développement de BULL utilisent depuis plusieurs années les outils prototype d'abstraction fonctionnelle et de vérification temporelle développés au LIP6, et ont contribué à orienter la recherche vers les "vrais problèmes". BULL est aujourd'hui le premier client de la société AVERTEC, et les deux outils logiciels qui mettent en œuvre les méthodes proposées par A. Lester et K. Dioury ont été utilisés avec succès par BULL pour vérifier un circuit de 26 millions de transistors.

Cette distinction montre que, dans un domaine de recherche très appliquée, il est important de pousser la recherche jusqu'au prototype et à l'expérimentation en grandeur réelle. Le fait que les deux lauréats soient les fondateurs de la société AVERTEC prouve également que qualité scientifique et valorisation industrielle ne sont pas contradictoires.

Le travail en CAO d'ASIM va se poursuivre dans toutes les directions citées ici. Il va être fortement soutenu par la création de l'équipe de recherche conjointe (ERC) avec ST (contrat en cours de signature). ASIM est l'une des 2 équipes françaises travaillant dans le domaine à avoir été contactées par ST pour former une ERC.

Un projet de groupe IEEE autour de la diffusion de logiciel libre en CAO-VLSI est lancé sur l'initiative de Meryem Marzouki.

- (1) P. Bukovjan, M. Marzouki, W. Maroufi: "Design for Testability Reuse in Synthesis for Testability", presented at XII Symposium on Integrated Circuits and Systems Design (SBCCI'99), Natal (RN) Brazil, 1999.
- (2) P. Bukovjan, M. Marzouki, W. Maroufi: "Testability Analysis and Cost/Quality Trade-off in Synthesis for Testability", presented at 4th IEEE European Test Workshop (ETW'99), Constance Germany, 1999.
- (3) M. Dessouky, A. Greiner, M.-M. Rosset-Louërat: "CAIRO: A hierarchical layout language for analog circuits", presented at Mixed Design of Integrated Circuits and Systems (MIXDES'99), Krakow Poland, 1999.
- (4) M. Dessouky, J. Porte, M.-M. Rosset-Louërat: "Synthèse de circuits faible tension CMOS analogiques", presented at 2ème Journées Francophones d'études Faible Tension Faible Consommation (FTFC'99), Paris France, 1999.
- (5) K. Dioury, A. Greiner, M.-M. Rosset-Louërat: "Hierarchical Static Timing Analysis for CMOS ULSI Circuits", presented at International Workshop on Timing Issues in the Specification and Synthesis of Digital Systems (TAU'99), Monterey CA USA, 1999.
- (6) F. Dromard, Y. Body, M.-M. Paget, A. Greiner, P. Bazargan Sabet, F. Pétrot: "Interactive Learning of Processor Architecture", presented at 5th International Conference on Computer Aided Engineering Education (CAEE'99), Sofia Bulgaria, 1999.
- (7) L. Jacomme, F. Pétrot, R. K. Bawa: "Formal Analysis of Single Wait VHDL processes for Semantic Based Synthesis", presented at 12th IEEE International Conference on VLSI Design, Goa India, 1999.
- (8) A. Khouas, M. Dessouky, A. Derieux: "Optimized Statistical Analog Fault Simulation", presented at IEEE Asian Test Symposium (ATS'99), Shanghai China, 1999.
- (9) A. Khouas, A. Derieux: "Speed-up of High Accurate Analog Test Stimulus Optimization", presented at International Test Conference (ITC), Atlantic City NJ USA, 1999.
- (10) A. Khouas, A. Derieux: "Optimization of Production Tests for Analog Circuits under Parameter Variations", presented at Mixed Design of Integrated Circuits and Systems (MIXDES'99), Krakow Poland, 1999.
- (11) A. Khouas, A. Derieux: "Methodology for Fast and Accurate Analog Production Test Optimization", presented at 5th IEEE International Mixed Signal Testing Workshop (IMSTW), Whistler British Columbia Canada, 1999.

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

- (1) G. Avot, M.-M. Rosset-Louërat: "Influence et prise en compte des capacités de diaphonies dans la conception d'outils d'analyse temporelle pour les technologies profondément submicroniques.", presented at Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes GDR 732, Aix-en-Provence, 1999.
- (2) M. Dessouky, J. Porte, M.-M. Rosset-Louërat: "TANIS: Un outil pour la synthèse de circuits CMOS analogiques", presented at Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes GDR 732, Aix-en-Provence, 1999.
- (3) J. Dunoyer, L. Vuillemin, P. Bazargan Sabet: "Méthodes Probabilistes pour l'Évaluation de la Consommation des Circuits Intégrés VLSI", presented at 1er Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes, Grenoble France, 1997.
- (4) D. Hommais, F. Pétrot: "Une gestion efficace des boucles combinatoires pour la simulation au cycle près de systèmes matériel--logiciel", presented at Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes GDR 732, France, 1999.
- (5) F. Iponse, P. Bazargan Sabet: "CRISE: Un Outil d'Évaluation des Risques dus à la Diaphonie dans les Circuits Intégrés fortement Sub-Microniques", presented at Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes GDR 732, France, 1999.
- (6) A. Khouas, A. Derieux: "Optimisation des Tests de Production pour les Circuits Analogiques avec prise en compte des tolérances", presented at Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes GDR 732, France, 1999.
- (7) L. Vuillemin, P. Bazargan Sabet: "Simulation logico temporelle de circuits VLSI à l'aide d'un réseau de FPGA", presented at Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes GDR 732, France, 1999.

Thèses

- (1) M. Aberbour: "Architecture d'un système hétérogène pour la reconnaissance de formes", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 29 septembre 1999, encadrée par H. Mehrez.
- (2) J. Dunoyer: "Modèles et méthodes probabilistes pour l'évaluation de la consommation des circuits intégrés VLSI", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 09/07/1999, encadrée par P. Bazargan Sabet.
- (3) L. Jacomme: "Analyse sémantique de descriptions VHDL synchrones en vue de la synthèse", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 29/10/1999, encadrée par A. Greiner.
- (4) W. Maroufi: "Aide à la conception de systèmes testables", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 02/07/1999, encadrée par M. Marzouki.





MICROBES

Drogoul Alexis

Meyer Jean-Arcady
Zucker Jean-Daniel

Maître de Conférences, UPMC (OASIS)

Directeur de recherche, CNRS

Maître de Conférences, UPMC (APA)

DESCRIPTION DU PROJET MICROBES 3

Résumé

Ce projet prend la suite des projets MICROB (LAFORIA/LRP, 93-96) et MICROB-2 (Projet LIP6, 97-98) en proposant un ensemble de travaux de recherche et de démonstration centrés autour de la notion de robotique collective. A la différence de ses deux ancêtres, cependant, il ne sera pas spécifiquement dédié à la réalisation d'une tâche, par exemple le jeu de football, mais se propose d'explorer un ensemble de techniques permettant d'immerger une population de robots dans un environnement qui ne lui est pas spécifiquement adapté, en l'occurrence les locaux du pôle IA du LIP6. Il s'agit d'un projet à long terme, dont l'année 1999 constituera la première année d'installation (et non d'exploitation), et qui devrait se prolonger au moins jusqu'en 2004. Le principe de base est de se démarquer des recherches actuelles sur les colonies de robots, qui ont tendance, soit à privilégier l'aspect fonctionnel au détriment de la généralité de l'architecture, soit à adapter l'environnement aux

robots. Nous faisons l'hypothèse que le principal obstacle au déploiement de colonies de robots "utilitaires" dans les collectivités humaines ne réside pas tant dans la difficulté des tâches envisagées (nettoyage, surveillance, etc.) que dans leur incapacité à adapter leur fonctionnement collectif aux rythmes et contraintes de ces collectivités : horaires, privauté, déplacements, dynamique, etc. MICROBES a pour ambition d'explorer ce sujet de façon concrète, en installant entre cinq et dix robots en permanence dans les locaux du laboratoire, et en expérimentant les modèles de comportements, de représentation et d'exploitation des connaissances, d'apprentissage, et d'organisation qui leur permettront de fonctionner de manière autonome tout en cohabitant avec son personnel. Cette étape franchie, le système sera mis à la disposition de l'ensemble des chercheurs du LIP6 pour programmer d'éventuelles applications pratiques.

Microb, Microb-2

Ces deux acronymes désignent les projets menés depuis 1993 par l'équipe MIRIAD (Thème OASIS) en partenariat avec le Laboratoire Robotique de Paris (Dominique Duhaut), avec pour ambition de montrer physiquement (par une série d'expérimentations) qu'un système programmable, en l'occurrence un ensemble de robots, pouvait démontrer un comportement "intelligent" sans posséder la solution générale de la tâche qu'il doit résoudre. Plus précisément, nous nous sommes intéressés à l'apparition de phénomènes collectifs d'auto-organisation dans des micro-sociétés de robots, dont chaque membre était doté de capacités minimales, que ce soit en termes de communication, d'interaction ou de coopération.

Microb et Microb-2 ont été organisés autour d'un but applicatif précis : construire des équipes de robots capables de jouer au football contre une autre équipe robotisée. Après avoir procédé à des expérimentations purement internes, nous avons participé aux compétitions RoboCup et MiroSot, en 1996, 1997 et 1998, travail qui a mobilisé jusqu'à 40 étudiants de six formations différentes (DEA IARFA, DESS GLA, DESS IA, DEA Vision, DEA Robotique, Maîtrise Informatique) en simultané.

Les deux projets ont permis de développer au total 5 équipes différentes : une de simulation, deux dans la catégorie des robots de 15 cm, une dans celle de 45 cm et enfin une équipe de robots à pattes (construits par SONY). Ils nous ont permis d'acquérir une compétence réelle dans la maîtrise de ce type de systèmes et dans la programmation distribuée de comportements collectifs complexes. Enfin, ils ont offert aux deux laboratoires une vitrine excellente, dont l'intérêt a culminé lors de la compétition RoboCup'98 (que nous avons également mise sur pied), organisée en parallèle de la "vraie" Coupe du Monde de football à la Cité des Sciences, et qui a attiré, en plus des 400 compétiteurs (et des 600 participants à ICMAS), environ 2000 journalistes et un public estimé à 20000 personnes. Ce travail de conception d'équipe de robots va bien entendu se poursuivre l'année prochaine afin de participer à RoboCup'99 (à Stockholm), en présentant une équipe de simulation, une équipe de 15 cm (en partenariat avec l'IFITEP) et une équipe de robots à pattes. L'expérience que nous avons maintenant accumulé devrait nous permettre de concevoir ces équipes sans devoir tout redéfinir.

Mais, d'une certaine façon, la spécialisation extrême de l'environnement dans lequel sont plongés les robots, ainsi que celle des comportements qui leur sont nécessaires pour jouer, ne permettent pas réellement, dans ce type d'applications, d'aborder la problématique de la robotique collective de façon générique. Quand bien même le jeu de football est une excellente métaphore pour aborder ce type de sys-

Contexte Scientifique

La réalisation collective d'une tâche (nettoyage, surveillance, etc.) dans un environnement inconnu par un ensemble de robots fait partie des applications parmi les plus populaires en Vie Artificielle et en Intelligence Artificielle Distribuée, et il ne se passe pas une conférence sans qu'un nouveau modèle ne soit présenté. Historiquement, le premier article d'importance a été écrit par L. Steels en 1989, comme illustration des systèmes à fonctionnalité émergente. En même temps, l'équipe de J.-L. Deneubourg avait mis en avant l'aspect "résolution distribuée de problèmes" que présentait le fourrage collectif effectué par les fourmis. Ces deux contributions, coïncidant avec la publication des premiers articles de R. Brooks ou de R. Arkin, ont façonné une problématique de recherche originale, dont le trait principal est l'utilisation de "robots-fourmis" dans le cadre de l'exploitation collective d'un environnement. Ce domaine de recherche a engendré un grand nombre de travaux, tous fondés sur deux hypothèses: (1) une référence explicite aux modèles qui utilisent l'environnement comme mémoire ou guide; (2) une utilisation des robots les plus simples et du mode de coopération le plus décentralisé possible. Les systèmes conçus de cette façon, parmi lesquels il convient de citer les travaux de M. Mataric, parmi les plus intéressants pour la "vraie" robotique, présentent un ensemble de propriétés précieuses, analogues à celles des colonies d'insectes sociaux:

- **Robustesse:** la redondance des robots, ainsi que leur interchangeabilité assurent une grande tolérance aux pannes et un bon garde-fou contre les éventuels dysfonctionnements individuels.
- **Adaptabilité:** dans la mesure où aucun contrôle central n'est nécessaire, l'adaptabilité du système global est le fait d'interactions probabilistes entre individus. Ce mode de fonctionnement permet à la population de s'adapter globalement à des configurations différentes grâce à la combinaison des adaptations locales effectuées en parallèle.
- **Réactivité:** la perception étant distribuée, c'est la réaction de chacun des individus concernés qui va

Finalité de MICRobES

Dans ce contexte, le projet MICRObES propose les étapes suivantes:

tèmes, il n'en reste pas moins très réducteur sur le plan comportemental. Si, demain, nous voulons être capables de déployer ces systèmes dans des environnements complexes et différents, il nous faut dès aujourd'hui leur permettre de s'adapter, aussi bien au niveau matériel que comportemental, aux contraintes de ces environnements. C'est le sens du projet ambitieux que nous proposons dans ce document.

conditionner la réactivité globale de la population. Il lui sera d'autant plus facile de réagir rapidement qu'aucune représentation de l'environnement et de son état n'est maintenue de façon centrale.

- **Simplicité:** on peut concevoir un système collectif au fonctionnement complexe à partir d'individus très simples, donc relativement bon marché dans le cas des robots. Cet argument économique explique en partie le succès, au moins médiatique, de ce type d'approche.

Evidemment, il n'est pas toujours évident de construire des colonies de robots, et la plupart des problèmes d'implémentation proviennent des besoins en communication ou interactions qui s'avèrent nécessaires au fonctionnement de la colonie. Beaucoup sont d'emblée résolus (comme dans le système ANT du MIT) si l'on dispose d'un environnement contrôlé où le substrat, la luminosité et l'environnement électromagnétique sont susceptibles soit d'être facilement réglés, soit d'être fixés une fois pour toutes, c'est-à-dire si l'on fournit un écosystème adapté aux robots. Or, ces systèmes ont vocation à être disséminés en environnement réel, et notamment au sein de collectivités humaines, et c'est d'ailleurs là tout leur intérêt pratique. On se retrouve donc dans la situation paradoxale de concevoir des systèmes dont la robustesse intrinsèque constitue un point fort, mais que leur sensibilité aux conditions environnementales rend difficilement exploitables en environnement standard.

Si l'on compare cette situation à celle qui prévaut dans la nature, on se rend compte que, toutes choses étant égales par ailleurs, les insectes sociaux font preuve d'une beaucoup plus grande plasticité comportementale que leurs contreparties artificielles, et se montrent capables de s'adapter à des environnements extrêmement différents tout en conservant les mêmes caractéristiques physiologiques. La clé de cette capacité doit donc résider dans des mécanismes d'apprentissage ou d'adaptation qu'il est crucial de pouvoir mettre à jour si nous voulons que, demain, ces robots soient réellement utilisables dans des environnements humains.

- Partir de robots existants dans le commerce, équivalents à ceux que pourraient un jour acheter des

collectivités, afin de disposer d'une base matérielle relativement standard.

- Installer ces robots dans des locaux existants, fréquentés par des humains, sans modifications autres que l'ajout éventuel de sources d'énergie et la construction d'un atelier de réparation.
- Doter ces robots d'un comportement de curiosité ou d'un but précis (ex: établir une carte) qui les obligent à arpenter les lieux. Les doter éventuellement d'un comportement " joueur " leur faisant rechercher le contact des êtres humains afin d'aboutir à des interactions variées.
- Etudier les problèmes de navigation, d'interaction, de conflit pouvant survenir dans leurs pérégrinations, afin de déterminer, d'une part, les comportements et connaissances de base, et, d'autre part, les mécanismes d'adaptation à leur fournir afin qu'ils puissent par eux-mêmes en résoudre et en anticiper la plus grande partie.
- Doter les robots d'une autonomie énergétique, basée sur des recharges individuelles dans les zones prévues à cet effet, qui s'appuie sur tous les points précédents.
- Comme on le voit, la colonie de robots que nous souhaitons installer ne possède pas de but fonctionnel précis, à la différence de la plupart des autres systèmes robotiques installés en laboratoire. L'idée centrale est en effet de parvenir, au travers de ces 5 points, à ce que le laboratoire (personnel et locaux) constitue un écosystème satisfaisant pour nos robots, qui formeront alors une base collective suffisamment versatile et autonome pour pouvoir être employée à différentes tâches. Il sera ensuite possible d'utiliser cette colonie comme une plate-forme

de programmation ouverte à tous les thèmes du laboratoire, ainsi qu'aux enseignements doctoraux, exactement comme nous utilisons, aujourd'hui, les stations de travail en réseau. Le but est bien entendu, à plus long terme, de pouvoir utiliser cette colonie pour étudier les prérequis nécessaires à l'immersion de robots autonomes mobiles dans un public plus large et plus hétérogène.

Ce but nécessite de pouvoir résoudre un certain nombre de problèmes, que nous pouvons informellement classer de la façon suivante:

- Problèmes techniques de mise en œuvre: stations de recharge, sécurité (du personnel et des robots), moyens de communication, navigation, maintenance.
- Problèmes méthodologiques de conception: détermination des modèles de sélection d'actions, des architectures d'agents, des protocoles de communication ou de collaboration à utiliser.
- Problèmes de comportement individuel: détermination du substrat minimal en termes de connaissance et de comportement à fournir au robot pour un bon fonctionnement individuel.
- Problèmes de comportement social: détermination des modes d'organisation des robots, des relations entre comportement individuel et comportement social, des modes de coopération et d'interactions avec les humains.
- Problèmes d'adaptation: détermination des méthodes d'apprentissage et d'évolution à envisager.
- Problèmes d'implémentation: gestion du temps-réel, du parallélisme des comportements collectifs, de la distribution des connaissances.

Importance du projet pour le LIP6

Aspect inter thèmes et collaborations

La phase initiale du projet sera assumée par les deux thèmes OASIS et APA, en collaboration avec des entités extérieures, mais le but est de pouvoir intégrer les recherches menées dans d'autres thèmes, aussi bien en IA (logique floue, connexionisme, décision, etc.) qu'ailleurs (réseau et protocole de communication, outils de simulation, validation des comportements, etc.), en mettant la plate-forme à la disposition de qui la voudra. Dans l'immédiat, les personnes suivantes travailleront sur le projet :

- OASIS-Miriad: Alexis Drogoul (MdC), Zahia Guessoum (MdC), Angelica Munoz, Sébastien Picault

" Plus value " et positionnement scientifique

Il est clair qu'un tel projet représentera une vitrine exceptionnelle du savoir-faire du laboratoire, dans la mesure où les résultats seront visibles par tous les visiteurs. Plus encore qu'une démonstration sur machine, la possibilité d'interagir avec le système

- OASIS-AnimatLab: Jean-Arcady Meyer (DR), Nick Jacobi (Post-Doc)
- APA- ACASA: Jean-Daniel Zucker (MdC), Christophe Bouramoué
- Laboratoire de Robotique de Paris: Dominique Duhaut (MdC) aspects robotiques.
- Ecole Normale Supérieure: Dominique Lestel (MdC) interfaces homme/robot.
- Laboratoire d'Ethologie de Paris 13: Dominique Fresneau (MdC) exploration collective.
- SONY CSL Paris: Luc Steels (Dir.) relations avec le laboratoire D21, robots chiens.

représentera une donnée essentielle de l'attrait qu'exercera à coup sûr cette application sur ces visiteurs. Contrairement aux robots footballeurs, les robots du projet seront en effet en contact direct avec toute personne qui pénétrera dans le laboratoire et, de

ce fait, bien plus " familiers " et susceptibles d'attirer l'attention. Ce projet a tout pour devenir le " fer de lance " d'une politique de communication centrée sur l'intérêt de l'IA et de son impact dans la vie de tous les jours.

MICRobES a de plus le mérite de s'appuyer sur notre expérience, maintenant relativement fournie, dans le domaine de la robotique collective et de l'intelligence artificielle distribuée. Si nous ne sommes pas les seuls à avoir développé un projet de robotique collective à l'échelle d'un laboratoire, il n'existe en revanche, à notre connaissance, aucun autre projet qui l'envisage de façon aussi radicale: dans tous les cas de figure connus, soit le système développé est appliqué (ce qui restreint d'emblée sa généricité comportementale), soit il est développé dans un environnement spécifiquement adapté (ce qui restreint sa versatilité).

D'un point de vue scientifique, ce projet est pour nous un projet charnière, dans le sens où il est à l'intersection exacte de trois domaines qui ont un potentiel de développement considérable:

- La robotique collective: plus de 250 laboratoires travaillent sur la mise en place d'équipes de robots,

et les besoins applicatifs sont gigantesques (notamment dans le secteur militaire, qui finance la moitié des recherches aux USA, mais aussi dans les opérations d'intervention dans les milieux hostiles à l'homme).

- L'apprentissage multi-agent: nouveau domaine d'exploration pour les techniques d'Apprentissage, et évolution naturelle de l'IAD, notamment sur les réseaux, mais aussi, par exemple, dans les jeux vidéo. Le nombre de publications dédiées au sujet ne cesse d'augmenter dans les conférences d'IA car les questions que pose cette problématique sont redoutables et la demande exponentielle.
- La robotique ludique ("pet robots"): si le terme fait sourire, les perspectives économiques de ce type de système, destiné à un brillant avenir, font plutôt rêver. SONY Corp. s'est lancée la première dans la bataille et devrait être rejointe à terme par tous les fabricants de jouets dans ce domaine où presque tout, dont de nouvelles formes d'interactions homme-robot (point clé de notre projet), est à découvrir.

PROJET MICROBES (BILAN ET PROLONGATION)

Drogoul Alexis

Meyer Jean-Arcady
Zucker Jean-Daniel
Guillot Agnès

Maître de Conférences, UPMC (OASIS)

Directeur de recherche, CNRS

Maître de Conférences, UPMC (APA)

Maître de conférences, HDR, Université de Paris 10

Doctorants présents 80 % du temps au LIP6

Hugues Louis
Landau Samuel
Munoz-Melendez Angelica
Picault Sébastien
Filliat David
Gourichon Stéphane
Bredèche Nicolas

Extérieurs

B. Latour, L. Thévenot, F. Rousseau
J-M. Raibaud, F. Sempé

École des Mines & EHESS
CNET/ CréaNet

DESCRIPTION DU PROJET MICROBES

Rappel des objectifs

MICRobES est une expérience dont le but consiste à étudier l'adaptation à long terme d'une microsociété de robots autonomes dans un environnement occupé par une collectivité humaine: les locaux du pôle IA du LIP6. Les robots doivent mettre les comportements leur permettant de survivre dans cet environnement et de cohabiter harmonieusement avec ses occupants. D'un point de vue individuel, il leur faut se recharger de façon autonome, cartographier l'environnement, éviter les obstacles mobiles et les emplacements dangereux (escaliers, ascenseurs). D'un point de vue collectif, il leur faut résoudre les conflits (accès aux bornes de recharges), coopérer par partage d'informa-

tions sur l'environnement et respecter des contraintes dans leurs rapports avec les humains. La colonie de robots ne possède donc pas de but fonctionnel, à part être capable de survivre dans un écosystème dans lequel elle doit mettre en place une structure sociale robuste et adaptative. En étudiant ainsi, sur le long terme, des robots physiquement et socialement situés, MICRobES poursuit deux buts: créer une base autonome suffisamment versatile pour pouvoir être utilisée dans différentes applications, et étudier, en liaison avec des sociologues et anthropologues, les pré-requis nécessaires à l'immersion de robots autonomes dans un public plus large.

Réalisations effectuées & travail en cours

Le projet a été défini en novembre 1998 et implique trois équipes du LIP6 ainsi que des partenaires extérieurs. Environ quinze personnes (dont 6 permanents) composent le groupe de travail. Ceci a nécessité de mettre en place des procédures de travail relativement lourdes (définitions des objectifs, élaboration de calendriers, réunions régulières, gestion du projet, définition du site Web, politique de communication, etc.) avant même l'arrivée des premiers robots. Les deux premiers sont arrivés en avril 1999, suivi de quatre autres en juillet 1999. Le laboratoire dispose donc maintenant de 6 robots, auxquels il convient d'ajouter

2 robots acquis parallèlement par le laboratoire CréaNet du CNET. Les premières vraies expérimentations "grandeur nature" n'ont donc pu démarrer qu'en août 1999, il y a environ quatre mois. Cette mise en place, plus longue que prévue, a retardé d'autant les objectifs initiaux qui prévoyaient de terminer la première phase en décembre 1999, mais a permis de définir assez précisément les sujets de thèse qui concerneront, pour les trois ans à venir, le projet (entre parenthèses, nom du doctorant, et année de démarrage de la thèse):

Comportement individuel des robots

- Cartographie, localisation, navigation (L. Hugues, 1999, S. Gourichon, 1999)
- Reconnaissance visuelle d'amers et navigation (D. Landau, 1999)
- Apprentissage de capacités proprioceptives (S. Filliat, 1999)

- Comportement de recharge autonome (F. Sempé, 2000)

Comportement collectif des robots

- Exploration collective et coopération par partage d'informations sur l'environnement (L. Hugues, 1999)
- émergence de comportements collectifs organisés et de schémas de coordination spatiale (application au "sauvetage" de robots) (A. Munoz, 1999)

Interaction avec les humains

- Interfaces de communication orale, utilisation des humains comme source d'information sur l'environnement, apprentissage collaboratif (N. Bredèche, 1999)

La quasi-totalité de ces thèses a démarré en 1999, et a été précédé d'un stage de DEA pendant lequel un certain nombre de "fonctions" nécessaires à l'obtention des objectifs ont été implémentées. Ces fonctions vont constituer les briques de base des futurs comportements :

- Framework orienté objet de développement pour Saphira (environnement de programmation des robots)
- Construction de cartes métriques (grilles d'occupation) à partir des données sonars et de l'odométrie (corrigée),
- Gestion, récupération et traitement de l'image vidéo en provenance de la caméra,
- Utilisation et amélioration des environnements de simulation disponibles.

Objectifs pour l'année 2000

Après l'année 1999, qui en a été l'année de démarrage, l'année 2000 sera l'année de montée en puissance du projet. L'objectif principal est bien évidemment de procéder à la mise en place des robots dans le laboratoire, ce qui suppose :

- de maîtriser leurs comportements de recharge autonome,
- de procéder à un ensemble de tests "grandeur nature" à durée limitée,
- de procéder à une campagne d'information et de sensibilisation du public concerné, c'est-à-dire les chercheurs du Pôle IA,

- résolution des conflits par des mécanismes sociaux (inspirés des comportements des primates) (S. Picault, 1997)

Au terme de ces six premiers mois de travail, il apparaît que :

- Nous savons maintenant nous servir des robots (avec leurs particularités),
- Nous avons acquis une bonne expérience dans le domaine de la cartographie individuelle,
- Les robots sont dotés des fonctionnalités leur permettant un fonctionnement (et notamment une navigation) autonome, y compris en présence de public, ce qui a été montré, même sur une échelle modeste, lors des Journées Portes Ouvertes du LIP6.

Ce travail a été doublé d'une phase de réflexion et de mise en place des concepts et outils propres au projet, phase à laquelle les doctorants ont très activement collaboré. La prise de contact avec des sociologues internationalement reconnus, Bruno Latour et Laurent Thévenot a également permis de mieux définir les attentes versant "sciences humaines" du projet. Enfin, un site Web d'information (<http://www.lip6.fr/microbes>) a été ouvert en septembre.

- de mettre en place les procédures de suivi de l'expérimentation.

Chacun de ces points est en cours de réalisation et ils devraient tous être "opérationnels" d'ici avril 2000 (soit un an après le démarrage du projet, ce qui est relativement court). Les autres objectifs découlent bien entendu des sujets de thèses en cours (voir liste), mais également de collaborations extérieures, parmi lesquelles celle envisagée avec l'équipe Indexation Multimédia pour la discrimination et reconnaissance des visages par vidéo.

AGENTS INTELLIGENTS POUR LA RECHERCHE D'INFORMATION ET L'AIDE À LA DÉCISION

D'alché-Buc Florence

Perny Patrice
Zucker Jean-Daniel
Gallinari Patrick
Jaffray Jean-Yves

Maître de conférences, UPMC
Maître de conférences, HDR, UPMC
Maître de conférences, UPMC
Professeur, UPMC
Professeur, UPMC

DESCRIPTION DU PROJET RECHERCHE D'INFORMATION

Motivations

De nos jours, une quantité d'informations de plus en plus importante est disponible sur support informatique, en particulier sur des sites Web visités par un nombre croissant d'utilisateurs. Face à la masse et à la diversité des documents disponibles, l'utilisateur a besoin d'une assistance lui permettant de focaliser rapidement sur des éléments d'information pertinents. La recherche d'informations constitue d'ailleurs le problème numéro un sur Internet et ce thème fait partie d'une des actions clef proposées dans le cadre du 5^{ème} appel d'offre PCRD.

Actuellement les systèmes de recherche d'information en sont à leurs débuts, leur souplesse et leurs per-

formances restent très insuffisantes. En particulier, la plupart des outils de filtrage et de conseil sur Internet fonctionnent sur la base d'un simple filtrage mono ou multicritère, sans exploiter véritablement d'informations fines concernant les préférences et les objectifs de l'utilisateur ni de mécanisme d'apprentissage permettant une auto-adaptation de l'agent (moteur de recherche ou système de conseil) à l'utilisateur. C'est pourquoi il s'avère nécessaire de concevoir et de développer de nouveaux agents de recherche et de conseil intégrant les techniques relevant de la modélisation des préférences, de l'aide multicritère à la décision et de l'apprentissage.

Contenu scientifique

Cette proposition vise d'une part à promouvoir l'intégration des techniques développées au LIP6 indépendamment en aide à la décision et en apprentissage,

et d'autre part, à démontrer l'originalité et la pertinence de cette intégration dans le cadre d'applications concrètes. Ce projet s'articule autour de deux axes :

Axe 1: apprentissage et agrégation de préférences pour le filtrage et le conseil

Il s'agit de développer une nouvelle conception du filtrage et du conseil sur Internet et de la concrétiser par la réalisation de systèmes de recherche ou de conseil auto-adaptatifs. Plus précisément, nous souhaitons aborder les points suivants :

- la modélisation et l'apprentissage des objectifs et/ou préférences de l'utilisateur,
- l'apprentissage de différents systèmes de recherche d'information traitant les données sous leurs différentes représentations,

- le filtrage multicritère d'informations basé sur les préférences de l'utilisateur,
- le partage implicite d'expérience entre utilisateurs ("collaborative filtering"),
- l'agrégation de recommandations émanant de différents systèmes complémentaires,

En complément de ces aspects méthodologiques, nous souhaitons développer des agents "intelligents" dans le cadre d'une application concrète (cf. applications potentielles ci-dessous) et tester leur efficacité et leur capacité d'adaptation à l'utilisateur.

Axe 2: Apprentissage pour l'extraction d'informations

La grande majorité de l'information accessible par le biais d'Internet est sous forme textuelle. La recherche et l'extraction d'informations nécessitent des outils capables de traiter rapidement de gigantesques quantités de documents. Seules les techniques d'apprentissage permettent ce traitement massif, elles commencent à ce titre à être employées dans ce domaine d'application. Nous nous focaliserons sur deux aspects qui sont :

- l'indexation des documents sur laquelle travailleront les agents de conseil décrits dans l'axe 1. Il s'agit donc d'un traitement préalable à l'action des agents de conseil décrits dans l'axe 1.
- l'extraction d'informations pertinentes pour une requête sur les documents sélectionnés par les agents de conseil. Ce traitement intervient après la sélection de documents pertinents, réalisée par exemple par les agents de conseil. L'information

extraite consistera en des termes, phrases ou parties de paragraphes qui constitueront la réponse à la requête. Pour extraire ces informations de surface, nous étudierons en particulier la modélisation de séquences de termes à partir du texte. Cette approche présente l'avantage de combiner un trai-

Applications potentielles des deux axes:

- Conseil pour la navigation (sites spécialisé cinéma/musique)
- Systèmes de conseil personnalisé auto-adaptatifs

Caractéristiques du projet

Aspect inter-thème:

Notre projet tire parti de la coexistence, au sein du LIP6, de deux savoir faire complémentaires: celui du thème SYSDEF en aide à la décision et celui du thème APA en apprentissage. Plus précisément, nous souhaitons exploiter nos compétences sur les thèmes suivants:

- Modèles et méthodes pour la décision multicritère et la décision dans l'incertain
- Techniques de filtrage par collaboration
- Méthodes d'apprentissage numérique et symbolique
- Combinaison et validation statistique de systèmes d'apprentissage
- Modélisation de séquences

et les intégrer au sein de mécanisme de filtrage auto-adaptatif. À titre d'exemple, précisons que pour concevoir un outil de recherche et de conseil, nous envisageons d'étudier dans l'axe 1 non seulement des méthodes de filtrage par le contenu mais aussi des méthodes de filtrage par collaboration. Alors que les pre-

Positionnement par rapport aux grands défis de l'informatique et plus-value pour le laboratoire

Ce projet devrait contribuer au développement, au sein du LIP6, d'une compétence dans un domaine clé de l'informatique moderne: la recherche d'information et l'aide à la décision sur Internet. Les problèmes de recherche d'information offrent un gigantesque banc d'essai pour tester les méthodes de traitement de l'information, d'apprentissage et de décision développées au sein des différents thèmes du pôle IA. Il

Préliminaire à la réponse aux grands appels d'offre

Notre proposition s'inscrit naturellement dans le cadre du programme PCRD - IST (Information Society Technologies), en particulier dans l'action 3 intitulée "Multimedia contents and tools". Pour être

Valorisation de travaux réalisés au Laboratoire

Les méthodes que nous envisageons s'appuient sur un filtrage "intelligent" d'objets supposés décrits par un vecteur d'attributs. Elles sont donc susceptibles d'être utilisées dans des domaines d'application très

tement syntaxique à des méthodes d'apprentissage et d'estimation statistiques

Concernant le deuxième axe, nous souhaitons proposer un stage pour un étudiant de DEA, avec pour objectif de concevoir et de développer un système d'extraction d'informations textuelles.

- Exploration assistée d'articles scientifiques par le contenu
- Filtres Intelligents pour le courrier électronique par le contenu

mières cherchent à expliquer et prédire les préférences d'un utilisateur concernant un objet en examinant les attributs qui le caractérisent, les seconds cherchent à rapprocher l'utilisateur d'autres utilisateurs dont les préférences sont voisines pour inférer des informations préférentielles utiles pour le filtrage. La spécificité de notre approche sur ce type de problèmes sera de concevoir des méthodes hybrides utilisant ces deux types de recommandation de manière intégrée.

Les deux axes proposés sont complémentaires. En effet les agents développés dans le premier axe peuvent être utilisés pour ordonner des documents, par exemple des textes, selon leur degré de pertinence pour l'utilisateur, et permettre à l'agent d'extraction d'informations développé dans l'axe 2 de se focaliser sur les documents les plus pertinents. Inversement, l'extraction d'informations pertinentes peut permettre d'indexer les documents qui pourront ensuite être filtrés par les agents de conseil.

est donc capital pour le laboratoire de proposer dès aujourd'hui des solutions fondées sur les développements récents de nos techniques. Les résultats attendus de nos travaux devraient avoir des implications très concrètes dans ce domaine et sont susceptibles de pouvoir être illustrés, à court ou moyen terme, par des démonstrations logicielles.

plus précis, les outils que nous envisageons de développer correspondent très exactement à l'item 3.5, à savoir: "Information access, filtering, analysis and handling".

divers pourvu que l'on sache représenter les objets par ces attributs. Ainsi on devrait pouvoir appliquer nos méthodes à des textes, des séquences d'images issues de films ou des séquences vocales dès lors que l'on est

capable de les indexer. Il se trouve qu'au LIP6, plusieurs travaux sont menés actuellement concernant l'indexation de documents. On peut donc envisager, à terme, de coupler les méthodes que nous allons développer avec celles développées en indexation, ce qui permettrait d'une part de fournir des méthodes fines

de filtrage aux équipes travaillant sur l'indexation et d'autre part d'augmenter le potentiel d'application des méthodes générales développées dans le cadre de notre projet (des contacts ont d'ores et déjà été pris avec P. Faudemay qui étudie l'indexation de séquences d'images)

Résultats attendus pour l'année 1999

Communications, rapports internes ou publications concernant :

- la modélisation et l'apprentissage des préférences, les méthodes de filtrages ou encore l'agrégation de systèmes de recommandation (axe 1),
- l'extraction d'informations à partir de textes (axe 2).

Réalisations :

un site Web expérimental permettant d'illustrer la capacité de nos méthodes à réaliser des filtrages et produire des conseils adaptés aux préférences de l'uti-

lisateur, dans le cadre d'une application particulière (axe 1)

- un système d'extraction d'information dans les textes (axe 2)



MODÉLISATION DES PRÉFÉRENCES ET RECHERCHE D'INFORMATION POUR LE CONSEIL AUX UTILISATEURS DANS UN CONTEXTE DISTRIBUÉ

D'alché-Buc Florence

Gallinari Patrick
Perny Patrice
Zucker Jean-Daniel

Maître de conférences, UPMC

Professeur, UPMC

Maître de conférences, HDR, UPMC

Maître de conférences, UPMC

DESCRIPTION DU PROJET WEBCONSEIL

Mots clés: aide à l'utilisateur, recherche d'information, modélisation préférences, agrégation et décision

multicritère, combinaison d'experts, apprentissage, accès à l'information textuelle, filtrage collaboratif.

État d'avancement du projet

Le projet porte sur la construction de systèmes de recommandation adaptatifs dans un contexte distribué comme le Web. Par adaptatif, nous entendons adaptable à un utilisateur, à un groupe, au contexte de l'application et/ou à l'évolution du contexte et des utilisateurs. Les applications de ces systèmes sont nombreuses, on citera comme exemples le filtrage d'information (recherche passive d'articles, de sites Web), la recherche active, le choix de musiques ou de films, la navigation sur le Web, etc. Les deux grandes familles de méthodes utilisées pour ces systèmes reposent d'une part sur l'analyse du contenu et d'autre part sur des systèmes collaboratifs. L'analyse du contenu est traditionnellement le domaine de la recherche documentaire, actuellement, les nouvelles formes de document et les nouveaux besoins qui émergent sur le Web (automatisation, adaptativité) suscitent un intérêt croissant de la communauté apprentissage pour automatiser le développement des systèmes et les rendre adaptatifs. Dans les systèmes collaboratifs, des informations sont recommandées en fonction des avis d'autres utilisateurs et de la proximité entre des profils utilisateurs déclarés ou appris. Une originalité de notre démarche est d'utiliser simultanément les deux approches. Dans ces deux familles de méthodes, de nouveaux besoins apparaissent avec le développement du Web pour lesquels les méthodes traditionnelles sont souvent insuffisantes.

Pour cette première année, nous nous sommes intéressés à trois problématiques principales que nous

avons étudiées conjointement en vue d'aboutir à un ensemble d'outils permettant de réaliser des systèmes conseils sur le Web.

- le développement d'algorithmes de filtrage par le contenu et par collaboration, en s'appuyant sur des techniques de modélisation des préférences issues de la théorie de la décision
- l'élaboration de nouveaux systèmes d'agrégation de classifieurs (experts), fondés sur des fonctions d'agrégation étudiées en décision et sur la théorie de l'apprentissage statistique.
- l'accès au contenu d'information textuelle par des techniques d'apprentissage pour des tâches que l'on ne sait pas traiter aujourd'hui de façon automatique.

Pour chacun de ces aspects, nous avons élaboré un agent collaboratif pour le conseil personnalisé, un premier ensemble d'agents de catégorisation de textes, un système d'agrégation de ces agents et plusieurs systèmes d'accès au contenu des information textuelles. Plusieurs démonstrateurs ont été réalisés:

- Un site Web FilmConseil (<http://www-poleia.lip6.fr/~fconseil>)
- Une plate-forme logicielle pour l'apprentissage et la collaboration d'experts
- Une interface pour la recherche et l'extraction d'information textuelle
- Un logiciel de recherche dans les documents structurés.

Suite du projet Web

La poursuite du projet WebConseil vise à enrichir le développement de méthodes hybrides issues de la théorie de la décision et de l'apprentissage automatique pour un système de conseil robuste et générique. La tâche appliquée centrée autour du conseil constitue un moteur pour l'exploration et la conception de nou-

veaux algorithmes qui s'appliquent à de nombreuses problématiques plus générales. L'intérêt des outils proposés dépasse évidemment le thème particulier de la recommandation de films. On peut en effet montrer que ces outils s'adaptent à tout problème de partage de conseil (recommandation d'articles scientifiques,

d'immobilier etc.) et de collaboration de systèmes pour la résolution de problèmes complexes (indexation de bases de documents multimédia, XML...).

Nous avons effectué de multiples tests avec une dizaine d'utilisateurs ayant noté une dizaine de films chacun. Le site produit déjà des conseils pertinents aussi bien en utilisant le filtrage par le contenu que le filtrage par collaboration ou même une combinaison des deux. Les algorithmes développés mériteraient tout de même d'être sophistiqués pour s'adapter plus finement aux préférences de l'utilisateur. Pour aller plus loin, nous envisageons les évolutions suivantes :

- Intégration de méthodes d'apprentissage pour apprendre des profils utilisateurs et améliorer les conseils ainsi que leurs explications

Intérêts pour le laboratoire

Le développement d'outils de conseil et de recherche d'information sur le WEB correspond à la demande croissante de services « intelligents » et adaptés à l'utilisateur des réseaux (intranet, Internet). Fournir à l'utilisateur des outils d'aide personnalisés pour accéder à l'information pertinente est devenu une préoccupation majeure à la fois d'un point de vue scientifique et commercial. Plusieurs communautés issues de la recherche d'information ou de l'apprentissage (CMU, Stanford...) travaillent activement sur le sujet.

- Raisonnement à partir d'information conflictuelles (prise en compte simultanée d'avis positifs et négatifs)
- Traitement des attributs textuels accompagnant la description de films par des agents de catégorisation et d'extraction d'informations
- Prise en compte du caractère structuré dans le traitement des données textuelles
- Mise en œuvre de la collaboration d'experts pour agréger les décisions ou les scores issus des différents types d'information (profils, textes, similarités).
- Sécurisation, validation et tests des outils existants en vue de leur accès à grande échelle sur le Web.

Centré sur ces problèmes d'actualités, le projet WebConseil repose sur une collaboration inter-thèmes SYSDEF-APA qui permet le développement d'une approche originale aussi bien dans la génération automatique de conseils qu'en recherche d'information.

Concernant le site FilmConseil, nous sommes à la recherche de partenaires industriels pour aborder des bases de données de taille encore plus importante.

EXTRACTION DE CONNAISSANCES À PARTIR DE BASES DE DONNÉES MULTIDIMENSIONNELLES

Bernadette Bouchon-Meunier

Anne Doucet
Stéphane Gançarski
Christophe Marsala

Directeur de recherche, CNRS, (APA)
Professeur, UPMC, (OASIS)
Maître de conférences, UPMC, (OASIS)
Maître de conférences, UPMC, (APA)

Doctorant présent 80% du temps au LIP6

Anne Laurent

(APA)

DESCRIPTION DU PROJET EXTRACTIONS DE CONNAISSANCES

Motivations

Le domaine de l'extraction de connaissances à partir de données (Knowledge Discovery from Database (KDD)) est un domaine très actif dans la communauté informatique. Le besoin d'utiliser la masse considérable d'informations contenues dans les bases de données, ou dans les fichiers informatiques a amené de nombreuses équipes de recherche à concentrer leurs efforts pour étudier des moyens de les exploiter efficacement. D'une part, il s'agit d'utiliser et de réutiliser les données emmagasinées dans des bases hétérogènes et dont la taille ne cesse de croître au fil des jours, telles les bases de données offertes par les espaces ouverts de communication comme Internet ou les entrepôts de données (ou data warehouses) dans le monde industriel. D'autre part, il est vital de pouvoir structurer, analyser et synthétiser de telles bases de données qui représentent un potentiel considérable de connaissances qu'il est important d'exploiter. On veut ainsi offrir, par exemple, un système d'aide à la décision permettant d'étudier le comportement et son évolution (géographique, sociale, temporelle, financière...) des clients des différentes succursales d'une grande banque. Ceci n'est possible que dans la mesure où l'on est capable d'extraire des connaissances de l'entrepôt de données formé par toutes les bases

de données (géographiquement réparties) des succursales de cette banque.

Au niveau international, de nombreuses conférences et revues sont consacrées exclusivement à ce sujet (Data Mining and Knowledge Discovery, KDD, PADD, PKDD, PAKDD, ICDM,...), et des sessions sont aussi organisées dans des grandes conférences internationales (IPMU, JCIS, VLDB, IJCAI (tutoriel), SIGMOD, EDBT,...). Dans le milieu industriel, tous les grands constructeurs (IBM (avec le projet Quest), ORACLE, COMPAQ,...) s'y intéressent fortement. Au niveau français, des laboratoires de recherche sont actuellement en train de s'organiser (collaborations inter-thèmes, formations à des entreprises).

Depuis maintenant 2 ans, au sein du LIP6, des membres du thème APA et des membres du thème OASIS collaborent sur ce thème et mettent en commun leurs apports spécifiques pour l'extraction de connaissances. Nos compétences en bases de données (dans le thème OASIS) d'une part, et dans l'extraction de connaissances floues (dans le thème APA) d'autre part, nous permettent de proposer une approche inédite parmi les approches existantes.

Descriptif du projet

Actuellement, les entrepôts de données sont autant de sources pour les algorithmes d'extraction de connaissances. Mais, ils ne sont pas actuellement directement adaptés à un tel type de traitement.

Lors de la première année de ce projet, nous avons mené une étude des avantages de l'approche multidimensionnelle de gestion de grandes bases de données, ainsi qu'une étude de la conception d'un système d'extraction de connaissances sur de telles bases, fondée sur l'utilisation d'un système de gestion de bases multidimensionnelles (SGBDM) et d'un système d'apprentissage de connaissances floues (arbres de

décision flous, prototypes flous,...). En effet, les SGBDMs offrent une vue synthétisée et pré-agrégée des entrepôts, ils peuvent ainsi préparer et pré-calculer les informations nécessaires à l'extraction de connaissances. D'autre part, la théorie des sous-ensembles flous permet une meilleure prise en compte de données souvent imprécises et incertaines parce qu'issues de mesures réelles.

A la suite de cette première étude, nous avons réalisé une interface entre un SGBDM OExpress (Oracle Express de la société Oracle), intéressant pour sa puissance de calcul, et un système de construction

d'arbres de décision flous (Salammbô) qui représente l'intérêt de fournir un moyen de représenter les données imparfaites provenant du monde réel. Cette interface est construite pour fonctionner de manière distribuée sur plusieurs machines et plusieurs systèmes d'exploitation.

Des tests de validation de cette architecture ont été effectués sur deux bases de données, dont une base de taille réelle (plus d'un million d'enregistrements) obtenue par une convention avec le Ministère de l'Éducation Nationale MENRT, et représentant les résultats individuels au baccalauréat sur les deux dernières années. Ces expérimentations nous ont permis de confirmer l'hypothèse selon laquelle le modèle

Travaux en cours

Ce projet a pour but d'étudier de façon plus approfondie les apports réciproques de la structure multidimensionnelle des bases de données et des algorithmes de fouille de données.

Aucun système existant ne réalise un processus d'extraction de connaissances qui marie les avantages des SGBD multidimensionnels et les qualités d'un système d'apprentissage flou qui sont deux compétences de nos équipes de recherche. La finalité de notre projet est de proposer une nouvelle approche pour

multidimensionnel se prête bien à ce type de problème et de solution.

Par exemple, des règles obtenues avec cette base concernent la proportion de candidats reçus au bac avec la mention AB, B ou TB:

ï R1: Si l'établissement est public, et que la série du bac est ES, alors la proportion de candidats reçus avec mention (AB, B ou TB) est inférieure à 25%.

ï R2: Si l'établissement est privé sous contrat, que l'année de rentrée est 1996, que la spécialité est LV2, et que la série du bac est STI, alors la proportion de candidats reçus avec mention (AB, B ou TB) est supérieure à 25%.

l'extraction de connaissances floues à partir de grandes bases de données, à travers la réalisation et la validation d'une architecture d'extraction de connaissances floues, ainsi que d'une interface pour permettre son utilisation par des experts non-informaticiens (experts du MENRT avec lequel nous avons passé une convention) qui pourront ainsi mettre en oeuvre l'extraction de connaissances sans aide extérieure.

RÉPARTITION ET FIABILITÉ DE SYSTÈMES MULTI-AGENTS

Briot Jean-Pierre

Cardon Alain
Folliot Bertil
Guessoum Zahia
Peschanski Frédéric
Sens Pierre

Directeur de recherche, CNRS (OASIS)
Professeur, IUT du Havre (OASIS)
Professeur, UPMC (SRC)
Maître de conférences, IUT de Reims (OASIS)
Doctorant, UPMC (OASIS)
Maître de conférences, UPMC (SRC)

DESCRIPTION DU PROJET MULTI-AGENTS

Les systèmes multi-agents offrent une vision décentralisée et coopérative de la résolution de problèmes. Il sont donc particulièrement indiqués quand

le problème est dynamique et réparti physiquement, par exemple: l'aide à la gestion de crises, le contrôle de processus, les ateliers de production flexibles, et la robotique collective.

Cependant une notion fondamentale des systèmes répartis à grande échelle tient en la possibilité de pannes (de processeurs ou de réseaux).

L'algorithmique répartie a produit un certain nombre de protocoles de programmation résistante aux pannes à base de réplication passive ou active de composants logiciels sur différents processeurs, de manière à augmenter la fiabilité d'applications réparties (par exemple des transactions bancaires).

Le premier constat est que de tels protocoles ont encore été peu appliqués aux systèmes multi-agents (ces derniers commençant seulement à être répartis à grande échelle).

Le deuxième constat est que de tels protocoles sont presque toujours appliqués de manière statique aux applications réparties. C'est-à-dire que c'est à la charge du concepteur de l'application de décider quels serveurs sont particulièrement critiques et donc à répliquer.

Une telle assignation statique est raisonnable en cas d'applications stables (par exemple les applications bancaires actuelles) où les rôles des serveurs sont clairement identifiés. Mais dans des applications très dynamiques (par exemple, la gestion de crises), la criticité et la disponibilité de serveurs et d'assistants logiciels peut varier énormément au cours du processus de résolution. Comme les protocoles de réplication sont assez coûteux (duplication de messages et synchronisation pour garantir un ordre total), il n'est pas raisonnable de les appliquer de manière systématique et statique à tous les composants logiciels.

Notre projet consiste donc à étudier et expérimenter l'assignation dynamique de tels protocoles de réplication à des systèmes d'agents logiciels. Ceci pose des problèmes techniques et de fond nouveaux et intéressants (application dynamique de tels protocoles de

manière transparente à l'application, contrôle de compatibilité, changement dynamique de politiques de réplication et leur contrôle de cohérence, problème de la partition du réseau...).

Les décisions dynamiques de réplication variable (combien de répliques) et d'évolution de politiques (par exemple, passive à active) seront prises en charge par une couche de contrôle de l'application (méta-agents) à partir d'informations statistiques (messages échangés, charge des processeurs...), sémantiques (nature et importance des messages échangés), heuristiques, etc.

Il s'agit donc véritablement d'utiliser une partie des connaissances exprimées au niveau des agents de l'application pour gérer en grande partie automatiquement l'évolution de la fiabilité et de la disponibilité de l'application (de manière analogue et complémentaire à une gestion dynamique des ressources: mémoire et processus).

Un stage de DEA effectué (par Jakob Zimmerman) au Printemps 1999 sous la direction de Bertil Folliot, Pierre Sens et Jean-Pierre Briot a permis d'élaborer un premier prototype de plate-forme de programmation répartie et résistante aux pannes (appelée DarX), d'implémenter plusieurs stratégies de réplication (passive, semi-active, active) et de l'interfacer avec la plate-forme multi-agent DIMA de Zahia Guessoum (voir notes ci-dessous sur DarX et DIMA).

Cette plate-forme et le couplage DarX-DIMA ont été testés sur des exemples simples.

Nous avons donc d'ores et déjà une base logicielle pour de premières expérimentations et pour mettre en œuvre diverses politiques de gestion de la fiabilité.

Le domaine d'application test consistera en la gestion de crises (dans un premier temps, civile) où nous bénéficions d'une grande expertise (projets régionaux de gestion de crises sur la basse-Normandie, montés par Alain Cardon).

Nous bénéficierons également du travail actuel (thèse démarrante) de Frédéric Peschanski sur l'assignation dynamique de protocoles d'interaction et leur contrôle de cohérence (par un contrôle de types).



ORDONNANCEMENT AVEC PÉNALITÉS D'AVANCE ET DE RETARD

Chrétienne Philippe

Baynat Bruno
Dutheillet Claude
Kedad-Sidhoum Safia

Professeur, UPMC
Maître de conférences, UPMC
Maître de conférences, UPMC
Maître de conférences, UPMC

Doctorants présents 80 % du temps au LIP6

Sourd Francis (SYSDEF)

DESCRIPTION DU PROJET OPAR

Présentation du sujet.

Les logiciels d'ordonnancement actuels (ILOG-SCHEDULER, OPL, CHIP, ECLAIR, ORDO...) ne traitent efficacement que les problèmes à critères réguliers, c'est-à-dire pour lesquels le coût d'un ordonnancement décroît avec la date de début des jobs.

Or de nombreuses applications, en particulier le flux tendu, nécessitent la prise en compte de pénalités d'avance et de retard pour modéliser les coûts de stockage et de retard. Illustrons notre propos par une citation de Taiichi Ohno, patron de TOYOTA: « Il n'y a pas de pire gaspillage que de produire quelque chose dont on n'a pas besoin immédiatement et de le stocker dans un entrepôt. ».

Ces critères ont été relativement peu étudiés et les premières études montrent que ces problèmes sont

très difficiles. Le problème de base sur une machine est le suivant:

Soient n jobs non interruptibles devant être exécutés par une machine; on connaît pour chaque job sa durée $p(i)$, la date préférée $o(i)$ de son début, le coût unitaire $a(i)$ (respectivement $r(i)$) d'avance (respectivement de retard) par rapport à la date $o(i)$. Le problème consiste à déterminer un ordonnancement des n jobs de coût minimum, c'est-à-dire à attribuer à chaque job une date de début d'exécution de telle sorte que la contrainte de ressource soit satisfaite (pas de chevauchement des intervalles d'exécution des jobs) et que la somme des coûts (d'avance ou de retard) de chaque job soit minimale.

Finalités et objectifs du projet.

L'objectif visé final est de pouvoir intégrer dans les bibliothèques d'ordonnancement des outils logiciels permettant la résolution de ce type de problèmes. En pratique, ceci n'est rentable que si l'on est capable de résoudre des problèmes de plusieurs dizaines de jobs.

Pour atteindre cet objectif, il est indispensable d'obtenir des résultats théoriques nouveaux sur: les bornes inférieures, les règles de dominance, les règles de branchement... De tels résultats seraient l'objet de

publications dans des revues internationales de Recherche Opérationnelle de haut niveau.

Pour valider l'approche théorique, nous développerons un prototype logiciel fondé sur une méthode Branch and Bound écrit sous ILOG-SCHEDULER¹.

1. ILOG est à l'heure actuelle le leader sur le marché des composants logiciels d'optimisation.

Importance du projet pour le LIP6.

A l'image des travaux de J. Carlier et E. Pinson pour le problème à une machine et critère régulier, aujourd'hui intégrés dans tous les logiciels de résolution du problème du job-shop, l'atteinte de notre objectif conduirait à une large diffusion des résultats obtenus et constituerait une plus-value indéniable pour le LIP6.

Le problème que nous nous proposons de résoudre se situe dans un cadre plus général que ce qui a été fait jusqu'ici par les équipes concurrentes, en particulier

parce que nous ne nous restreignons pas à la prise en compte de coûts d'avance et de retard indépendants des jobs.

De plus notre objectif dépasse très largement le maximum atteint (une vingtaine de jobs) par les plus récentes publications sur le problème.

Du fait de leur généralité, les outils logiciels que nous réaliserons seront utilisables pour un large spectre d'applications, en particulier celles qui apparaissent souvent dans les appels d'offre (E.U.-CNRS).

Certains résultats théoriques antérieurs¹, obtenus dans le cadre de l'approche déterministe des travaux

réalisés sur le précédent projet LIP6 « Systèmes de Production Multiproduits » seront utiles pour atteindre les objectifs proposés.

1. Minimizing the earliness and tardiness cost of a sequence of tasks on a single machine, Ph. Chrétienne, Rapport de Recherche LIP6 1999/007.

SYSTÈME D'EXPLOITATION DES GRANDS LOGICIELS COMPLEXES

Blain Gilles

Greiner Alain
Kordon Fabrice

Maître de conférences, UPMC, (OASIS)

Professeur, UPMC, (ASIM)

Maître de conférences, HDR, UPMC, (SRC)

DESCRIPTION DU PROJET AFM

L'exploitation des grands logiciels dans le domaine de la CAO, de la simulation et plus généralement des calculs numériques complexes est un problème récurrent depuis longtemps (Banque d'algorithmes G. Blain & al IFIP 1975, Normes Modulef (thèse P. Laug dirigée par G. Blain 1982)).

Deux Thèmes du LIP6 sont confrontés à ce type de problème: ASIM avec la chaîne d'aide à la conception des circuits intégrés Alliance et SRC avec l'environnement de Génie Logiciel basé réseaux de Petri dédié à la conception/vérification de systèmes répartis.: CPN-AMI.

Cette dernière équipe a développé un environnement d'exploitation, sous la forme d'une plate-forme d'intégration de modules constitutifs d'une Chaîne: FrameKit. Une telle plate-forme a permis la construction à faible coût d'un logiciel comme CPN-AMI.

Le projet:

Le but de ce projet est de rapprocher les savoir faire relativement exceptionnel de ces trois équipes du laboratoire sur un sujet qui est une préoccupation importante des milieux industriels: L'EDF, Framatome et le CEA lancent cette année un grand projet d'intégration de leurs logiciels de simulation et de pilotage des centrales nucléaires. Rhône-Poulenc se pose le même problème pour ses grands codes de synthèse chimique dans le cadre de la fusion avec Hoesch. Ce projet doit déboucher sur la réalisation d'un environnement de gestion et d'exploitation de composants logiciels hétérogènes au sein de processus plus ou moins complexes et plus ou moins paramétrés. Nous partons de l'expérience de l'équipe de FrameKit et de l'environnement d'exploitation qu'elle a développé, pour définir et implémenter à travers les outils développés par l'équipe Metafor un référentiel de représentation et de mise en œuvre du processus de télé-exploitation de la chaîne Alliance, spécifié par ASIM. Cet environnement doit être exploitable aussi bien en local que sur des clients téléchargeables sur les navigateurs Internet grâce à des protocoles basés sur XML.

Le problème aujourd'hui est d'adapter ces techniques à leurs mises en œuvre dans le WEB à travers Internet pour réaliser un environnement d'exploitation distribuée.

L'équipe ASIM a spécifié les fonctionnalités d'un mécanisme de Télé-exploitation de la chaîne de CAO Alliance (composé de plus de 20 programmes et qui est utilisé par près de 60 sites), qui a fait l'objet d'une proposition de projet à la promotion 2000 du DESS GLA.

L'équipe Metafor démarre dans le cadre de la bourse CIFRE de Jérôme Poirié avec la société StellarX, un travail de fond sur la constitution d'un système de gestion de référentiel. La diffusion et l'utilisation de ses contenus doit s'effectuer grâce aux technologies liées au langage XML. La persistance des éléments du référentiel est réglé par le moteur de base de données objet Versant, un des leaders du marché américain.

Son architecture s'articule autour de quatre éléments représentés dans la figure au-dessus:

- Un poste de travail hébergeable sur les principaux navigateurs du marché, réalisé à l'aide de "parser XML" et d'une bibliothèque d'opérateurs liés au type de poste de travail et correspondant aux balises spécifiques à la représentation tant des composants que des processus d'exploitation.
- Un référentiel supporté par une base de données objet, gérant les descriptifs tant des composants (localisation, interface, contraintes d'exploitation, version, etc.), que des processus d'enchaînement séquentiel ou parallèle d'un ensemble de composants (liste des composants concernés, règles d'enchaînement, variantes, etc.).
- Une plate-forme d'intégration qui gère l'exploitation proprement dite des enchaînements. Conçu à partir de FrameKit elle devra intégrer les mécanismes liés aux standard Corba, mais à terme aussi COM/DCOM et les activX.
- Le gestionnaire de bibliothèque de composants, basé sur les outils standard de Linux, il peut s'appuyer sur les descriptifs du référentiel pour assouplir et faciliter sa maintenance.

Résultats attendus

Le projet a pour but de fournir pour Novembre/décembre 2000 une spécification précise et une maquette probatoire de la faisabilité du système proposé.

Ces résultats permettront de lancer en tant que projet de réingénierie, une activité pédagogique du DESS GLA en collaboration avec l'université de Montréal (Cours de Génie Logiciel de Houari Sarhaoui, ancien thésard de Blain qui vient d'être recruté comme professeur) dans le cadre d'une expérience de Télé-Travail répartie entre les deux populations

d'étudiants, l'installation du référentiel d'Alliance dans le but de permettre sa TéléExploitation sur une plate-forme dérivée de FrameKit.

Cette expérience intéresse au premier chef l'EDF qui est prête à y participer (contacts: Lelievre, responsable qualité de la Direction Recherche et Développement, et Jean luc Dormoy, responsable du service Informatique et Mathématiques de la même direction)

AIDE À LA GESTION DES SERVICES HOSPITALIERS : ANALYSE DE L'ORIGINE DES JOURNÉES NON- PERTINENTES

Blain Gilles

Gonzales Christophe
Huet Bernard
Jaffray Jean-Yves

Maître de conférences, UPMC

Maître de conférences, UPMC

Professeur, Paris XIII/Faculté de Médecine

Professeur, UPMC

DESCRIPTION DU PROJET GESTION DES SERVICES HOSPITALIERS

Ce projet s'inscrit dans le cadre général du développement d'une aide informatisée à la gestion médicale et hospitalière. Le domaine médical est l'un des domaines d'application du groupe MétaFor de G. Blain, auquel appartient B. Huet (prof. U. Paris XIII, CHU Avicenne). Le dossier médical est l'une des cibles du projet MétaGen.

En 1998-1999, B. Huet et le Dr Axelle Menu (alors interne stagiaire) ont abordé le problème des journées d'hospitalisation non-pertinentes, qui est un important facteur d'inefficacité dans le fonctionnement des hôpitaux ; à cet effet, ils ont choisi de commencer par procéder à une observation quotidienne fine, pendant deux mois, de tous les patients d'un service particulier, le service d'Hépatogastro-entérologie et Médecine Interne (HGEMI) de l'hôpital Avicenne. L'outil utilisé pour cette enquête a été le protocole d'évaluation de la pertinence de l'hospitalisation (AEP) ; B. Huet a participé à l'élaboration de l'AEP au sein du projet européen BioMed, puis à celle de sa version française (AEPf).

Il ressortit très vite des données recueillies que les liaisons entre

- les caractéristiques personnelles du patient, sa pathologie et les modalités de sa gestion médicale et administrative, d'une part, et
- un déroulement au moins partiellement non-pertinent de son séjour, d'autre part,

ne relevaient pas d'une modélisation totalement déterministe. Le recours à un modèle probabiliste pour représenter ces liaisons incertaines paraissait particulièrement approprié l'échantillon se prêtant, par son importance (240 patients), à un traitement statistique approfondi.

Il fut donc entrepris, en collaboration avec J.-Y. Jaffray et E. Elizabeth (stagiaire du DEA IRO) la construction d'un modèle prenant la forme d'un réseau probabiliste (dit aussi Bayésien : RB).

Un RB exprime l'existence d'une décomposition de la loi de probabilité jointe d'un ensemble de variables

aléatoires à l'aide d'un graphe dont chaque sommet est une variable et où les arcs indiquent la présence de dépendances stochastiques (conditionnelles). Un RB apporte donc à la fois de l'information qualitative (sur les dépendances/indépendances) par la structure du graphe et de l'information quantitative sur les valeurs des probabilités.

L'analyse des données effectuée a permis de proposer un premier modèle dont la structure n'est toutefois pas encore complètement confirmée ; en effet, toutes les hypothèses paraissant intéressantes n'ont pas encore pu être testées statistiquement ; de plus, l'estimation des probabilités reste à faire. Enfin, le modèle doit encore être validé sur un autre échantillon du même service.

Ce travail complémentaire effectué, nous arriverons au cœur du présent projet : un test de l'universalité du modèle. Il est clair que deux services hospitaliers différents non seulement par les pathologies et leurs processus de gestion médicale et administrative mais encore par les populations de malades, les durées des séjours, etc.. ; il est néanmoins possible que la probabilité qu'un même type de patient (par exemple âgé et sans ressource), soit gardé de façon non-pertinente (dans l'attente d'un foyer d'accueil) soit indépendante du service. Ou encore, que les probabilités diffèrent, mais que du moins les facteurs causaux restent les mêmes. Autrement dit, il est possible qu'un même modèle (une même structure de graphe), avec éventuellement des probabilités conditionnelles différentes, soit acceptable pour tous les services.

L'hôpital Avicenne comprend 18 services cliniques. Il n'est pas concevable que nous recueillions les données nécessaires sur chacun d'eux. Nous proposons, dans un premier temps de tester la validité du modèle construit pour le service HGEMI sur deux autres services. Si ces tests se révèlent positifs, nous demanderons la collaboration d'autres services (d'Avicenne ou d'autres hôpitaux de l'Assistance Publique) pour compléter l'étude.

Finalité du projet (à un an)

Analyse des sources des journées d'hospitalisation non-pertinentes dans un service HGEMI à l'aide d'un RB: détermination de la structure de ce réseau et estimation des probabilités dans le réseau.

Importance du projet pour le LIP6

Ce projet est un projet inter-thèmes mettant en œuvre une technique faisant l'objet d'une recherche active au sein de SYSDEF (les réseaux probabilistes) au service d'une application développée par le groupe MétaFor d'OASIS.

L'outil RB est encore très mal connu des utilisateurs potentiels, surtout en France; cette étude doit contribuer à sa diffusion dans le monde médical en montrant, de surcroît, que le champ des applications n'est pas limité au diagnostic médical. Pour l'équipe de J.-Y. Jaffray et Ch. Gonzales, c'est l'occasion de montrer qu'elle ne s'intéresse pas seulement aux aspects algorithmiques et logiciels des RB mais aussi à la réalisation d'applications.

Quant au groupe MetaFor du thème OASIS, l'équipe développe depuis plusieurs années sa collaboration avec B. Huet sur la mise en œuvre des résultats obtenus lors du projet Européen Fibof dans le milieu mé-

Examen des possibilités d'adaptation du RB précédent aux cas de deux autres services cliniques.

Étude de l'intégration du protocole AEPf et du modèle RB au dossier médical. Diffusion des résultats de ce projet auprès de l'AP-HP et du Min. de la Santé.

dical. Cette collaboration parvient aujourd'hui à un degré de maturation suffisant pour que B. Huet propose à ses institutions de tutelle: Assistance Publique-Hôpitaux de Paris et Ministère de la Santé d'appliquer effectivement les résultats de ces recherches.

Le projet proposé complète les résultats obtenus pour obtenir un environnement opérationnel de gestion et d'évaluation des processus médicaux hospitaliers. L'intégration des résultats obtenus par le projet Européen BioMed (protocole AEPf) auquel B. Huet a participé fournit un atout déterminant pour les propositions que l'équipe MétaFor s'est engagée à faire, en collaboration avec la société StellarX avec laquelle une demande de Bourse Cifre a été demandée, en réponse aux appels d'offre (Programme Hospitalier de Recherche Clinique) que doit lancer le Ministère en février 2000.

PLATE-FORME LOGICIELLE EMBARQUÉE RECONFIGURABLE POUR SATELLITE (PLERS)

Folliot Bertil
Mesaac Makpangou

Professeur UPMC (SRC)
Chargé de recherche INRIA, Rocquencourt (SOR)

ITA-IATOS

Remy Bellenger

Ingénieur de recherche, CNRS, Observatoire de Meudon (DESPA)

Personnel temporaire

Ian Piumarta

Ingénieur contractuel, LIP6 (SRC)

Doctorants présents moins de 80 % du temps au LIP6

Carine Baillarguet
Damien Cailliau

INRIA Rocquencourt & LIP6 (Folliot 98)
Observatoire de Meudon (Baglin 98)

DESCRIPTION DU PROJET PLERS

La reconfiguration depuis le segment sol de logiciel embarqué à bord d'un satellite est un mécanisme difficile, réalisé le plus souvent "brutalement" par le remplacement de code binaire en cas d'urgence. Elle est rest esévèrement limitée, par exemples, pas de "retour en arrière" possible ou pas de changement de fonctionnalités.

La grande rigidité de ces logiciels embarqués peut provoquer la perte des satellites, ce qui a un coût énorme financier et temporel. De plus, pendant la durée du transfert d'une sonde planétaire vers sa destination, la recherche scientifique peut obtenir de nouveaux résultats (algorithmes, modèles théoriques) qui sont quasiment impossible à intégrer à la volée. Le satellite ne peut donc plus prendre en compte les avancées scientifiques une fois lancé. Enfin, la durée de vie des satellites dépasse souvent celle de la mission scientifi-

que. La encore, la rigidité du logiciel embarqué ne permet pas de charger, à un coût dérisoire, de nouvelles missionsscientifiques.

Ce projet vise à développer une plate-forme reconfigurable pour satellite, et plus particulièrement pour le satellite français COROT. En effet, du fait de sa mission scientifique, le satellite COROT se trouve dès sa conception dans un des cas cités précédemment. Les modèles théoriques actuels pour la mission scientifique ne sont pas assez précis pour développer le logiciel embarqué. Le satellite COROT sera donc lancé avec un logiciel qui ne sera pas le logiciel final. Une fois sur place, les données récoltées par COROT permettront d'affiner le modèle théorique (voire d'en changer) et de programmer au sol le logiciel de la mission scientifique. Il est donc péremptoire de pouvoir reconfigurer le logiciel embarqué.

FINALITÉ DU PROJET

Contexte du projet

Projet COROT

Groupe de développement logiciel vol - COROT-Log

COROT - COvection ROTation et Transits planétaires - est un satellite d'astrophysique français dont le lancement est prévu en 2004, pour une durée d'opérations de deux ans et demi. COROT est l'une des expériences sélectionnées pour le programme de petites missions du CNES, utilisant la plate-forme PROTEUS, développée par Alcatel.

La mission regroupe deux objectifs scientifiques, tous deux premières mondiales:

- Un programme astérosismologique: mesure de la convection de l'enveloppe et de la rotation du cœur

d'étoiles par détection d'oscillations dans le flux de photons. Pour obtenir l'information désirée, le programme alignera 5 séquences de mesures de 150 jours, chacun mesurant le flux de 10 étoiles. Ce programme requiert une très haute stabilité de pointage ainsi qu'un cycle efficace de 80 % sur 150 jours.

- Un programme de détection de planètes extrasolaires: la méthode du transit est utilisée. Elle consiste à mesurer la variation du flux de photons d'une étoile provoquée par le passage d'une planète dans l'axe étoile-satellite. Cinq séquences de

150 jours de mesures permettront chacune de mesurer le flux de 12000 étoiles.*

Reconfiguration de logiciels spatiaux - Besoins et contraintes

Besoins

Fautes matérielles et humaines :

Les satellites et sondes spatiales souffrent souvent de malfonctions et de pannes dues à l'environnement sévère dans lequel ils évoluent : vibrations au lancement, impacts de protons. Certaines de ces pannes peuvent être contournées en adaptant le logiciel de pilotage à la nouvelle situation. Par ailleurs, la difficulté d'interaction et l'éloignement du système en poste rendent très délicate toute opération de maintenance du logiciel. Mettre à jour, modifier le logiciel ou corriger des erreurs humaines de contrôle reste néanmoins nécessaire - 100 % de fiabilité et de tolérance aux fautes est un but évident mais rarement atteint dans le développement de logiciels embarqués. De plus, la perte irrémédiable de matériels (d'espace mémoire due à un bombardement de protons ou de divers capteurs) pourrait être prise en compte au sol, pour reconfigurer le logiciel et ainsi pouvoir poursuivre la mission en mode dégradé. De telles modifications de logiciel permettraient d'éviter de perdre entièrement des systèmes très onéreux.

Evolution et réutilisation :

Une autre classe de justification pour l'évolutivité des logiciels spatiaux réside plus au niveau fonctionnel. Les durées de transfert des sondes planétaires (un

Contraintes

La situation particulière des logiciels embarqués en milieu spatial impose un certain nombre de contraintes. Tout d'abord l'absence de réelles interactions entre le segment sol et l'instrument : COROT offre 2 à 4 brefs contacts par jours, permettant uniquement l'envoi vers le satellite d'un volume de 140 kbits. La capacité du lien descendant est de 500 Mbits par jour,

Ebauche de solution

Cette technique devra être simple à mettre en œuvre, avoir peu d'impact sur l'architecture et la conception du logiciel (la reconfiguration ne doit pas être la contrainte de conception dominante), être peu intrusive et ne pas remettre en cause les modes de développement et de programmation usuels de manière à être facilement utilisable.

Il est également primordial que les reconfigurations aient peu d'impact sur le déroulement du logiciel, donc de permettre un certain dynamisme. Le logiciel COROT est un logiciel essentiellement concurrent et temps réel. Il s'articule donc autour d'un noyau mul-

survol de Pluton nécessiterait un voyage de 10 ans), ainsi que la durée de vie des satellites (le matériel reste souvent utilisable au-delà de la durée d'opération prévue, lorsque l'ensemble des objectifs scientifiques ont été remplis) permettrait de faire évoluer les logiciels embarqués de manière à les faire bénéficier des évolutions scientifiques ou de leur apporter de nouvelles fonctionnalités (résultant de réorientations des objectifs, de prise en compte de nouveaux résultats ou d'ajout de capacités). La réutilisation de satellite permettrait de continuer des missions à un coût dérisoire. Tout ceci n'est valable que si ces logiciels sont évolutifs, reconfigurables et sûrs.

Justification pour COROT :

Dans le cadre de COROT, les traitements embarqués ont pour rôle d'assurer une réduction du volume de données transmises au sol avec un minimum de perte d'information. Ces traitements sont basés sur des hypothèses sur la magnitude des perturbateurs, hypothèses elles-mêmes basées sur des modèles théoriques. Cependant, ces modèles n'ont pas été confrontés aux conditions réelles de la mission. Il est donc nécessaire de pouvoir modifier ou supprimer ces algorithmes, voire d'en ajouter au cas où la réalité en orbite s'écarterait de ces modèles.

essentiellement monopolisée par les données scientifiques. Ce manque d'interactivité impose que le flot d'information "non utile" (autre que les données) soit le plus faible possible. En outre, il est nécessaire que toute opération puisse être exactement réversible de manière à éviter les modifications définitives.

titâche temps réel du commerce - l'usage d'un produit COTS est une contrainte système.

La technique développée doit permettre la reconfiguration au niveau fonction (ajout suppression, modification de fonctions utilisées par les diverses tâches) et au niveau tâche (ajout ou suppression de tâches du système, réorganisation de l'agencement des tâches les unes par rapport aux autres). La solution envisagée consiste en l'élaboration de deux éléments :

- une plate-forme logicielle reconfigurable à bord du satellite, comportant une technique de programmation rendant le logiciel reconfigurable et des services permettant de piloter les reconfigurations,

- un segment sol dédié à la reconfiguration permettant de prévoir les reconfigurations, de les valider, de vérifier leurs impacts sur les caractéristiques temps réel du logiciel et de générer la succession

Plate-forme reconfigurable.

Chaque élément du logiciel qui doit être reconfigurable (fonctions, tâches, canaux de communication) n'est connu du reste du système que par l'intermédiaire de proxies (des tableaux de pointeurs). Un ensemble de services permet de gérer les mises à jour de ces proxies, mais aussi de charger le code nécessaire de la mémoire de stockage (EEPROM) vers la mémoire

Segment sol

La chaîne de planification/activation des reconfigurations s'articule autour de l'ensemble des moyens de développement et de test du logiciel de vol tels que définis lors de la conception de la version initiale d'une part, et, d'autre part de trois applicatifs :

Extracteur de code: son rôle est d'extraire et de mettre en forme l'ensemble du code des nouvelles fonctionnalités que doit intégrer le logiciel. 3. Simulateur d'ordonnement: son rôle est de vérifier que les modifications escomptées sur le logiciel respectent les contraintes temporelles du système. C'est une simulation purement temporelle qui s'appuie sur une description de l'architecture du système (après modifications), des performances du noyau et sur un jeu de stimuli représentatifs de l'environnement du logiciel. 4. 5. Planificateur de reconfiguration: son rôle est de regrouper les buts de reconfiguration souhaités et de générer l'ensemble des commandes (les scripts) permettant d'atteindre ces buts de manière optimisée (optimisation sur le nombre d'opérations, sur l'allocation mémoire des nouveaux éléments, etc.). 6.

Ce dernier applicatif représente l'un des points critiques d'une telle application: quelle est la manière dont vont être codés, acheminés, interprétés et exécutés les besoins de reconfiguration exprimés par l'équipe de suivi de la mission.

Nous proposons de définir le lien sol-bord de manière à ce qu'il s'articule autour d'un langage de configuration CCL (pour COROT Configuration

de commandes nécessaires pour atteindre de manière fiable et optimisée, en un minimum d'opération, les modifications prévues.

d'exécution (SRAM), de vérifier les opérations, de stabiliser l'ensemble du logiciel lors de la reconfiguration. L'ensemble de ces opérations est séquencé par un interpréteur de scripts exécutant la succession de commandes émises par le sol, représentatives des opérations de reconfiguration désirées.

Language) et d'une machine virtuelle. L'interface de ligne de commande accepte des scripts écrits en CCL. Ceux-ci sont compilés et exécutés par une machine virtuelle s'interfaçant avec l'"extracteur de code". La machine virtuelle permet de retourner à l'opérateur, par l'intermédiaire d'une interface fonctionnelle, l'effet de ces commandes sur la configuration; $f(x)$ désigne ces opérations de configuration. Le script est alors traduit en octets, eux-même empaquetés dans le format de télécommande spécifique à COROT, en vue de transmission.

A bord du satellite, les scripts sont reconstruits à partir des paquets de télécommande reçus. Une machine virtuelle similaire à celle du segment sol exécute le script de manière à reproduire exactement la même séquence d'opérations de reconfiguration $f(x)$. Ces opérations sont fournies au gestionnaire de configuration de la plate-forme reconfigurable afin d'être mises en œuvre.

La caractéristique majeure d'une telle conception est que l'interface fonctionnelle vue par l'extracteur de code est la même que celle vue par le gestionnaire de configuration. Ceci facilite grandement la validation et permet des développements indépendants des étapes intermédiaires. La machine virtuelle CCL implémente ainsi une fonction identité entre les commandes entrées (extracteur de code et langage de script) et les opérations de configuration implémentées par le gestionnaire de configuration à bord du satellite.

Positionnement par rapport au contexte national et international

La reprogrammation des logiciels embarqués est pratiquée depuis plusieurs années: deux exemples de reprogrammations effectuées avec succès sont le satellite Soho (ESA/NASA) en 1998 ou plus récemment la sonde Gallileo (NASA) orbitant autour de Jupiter. La technique utilisée est celle du "patch", qui consiste à télécharger de nouvelles instructions machine et d'aller les placer dans la séquence formant le programme en effaçant les instructions à modifier ou en redirigeant le flot d'exécution par des instructions de

saut. Plusieurs insuffisances peuvent être relevées avec une telle technique:

- Même si quelques éléments de flexibilité ont été implémentés, cela reste essentiellement une opération d'urgence basée sur l'intrusion du segment sol, et non une technique de conception et de programmation prévue et étudiée.
- Les modifications ainsi effectuées sont permanentes, toute réversibilité étant difficile à atteindre. L'envoi d'un "patch" affectant par mégarde les

fonctions de survie du satellite peut rendre ce dernier inopérant

- Le logiciel n'a pas été conçu pour intégrer de telles modifications. Ainsi très peu de procédures de vérification, de diagnostic et d'aide à la reconfiguration sont implémentées à bord. Les procédures sol à mettre en œuvre en deviennent très lourdes et contraignantes.
- Seules des modifications au niveau instruction sont possibles. Toute modification au niveau fonctionnel ou même structurel du logiciel est impossible sans télécharger l'ensemble du code compilé, ce

qui est prohibitif vu les contraintes de transmission.

Ainsi, il existe un besoin fort d'une technique de programmation permettant: de réaliser des logiciels spatiaux intrinsèquement reconfigurables, d'alléger les procédures sol, de réduire le flot de données échangées, de fiabiliser l'ensemble des opérations et de modifier le logiciel à un haut niveau fonctionnel. Ce projet est, à notre connaissance, la première tentative de conception d'un logiciel spatial intégrant ce principe.

Bibliographie

- (1) Auvergne M., Baglin A., et l'équipe COROT. Du cœur des étoiles aux planètes habitables, les enjeux de Corot. *Journal des Astronomes Français*, N. 60, p. 27--34, 1999.* * Cailliau D., Bellenger R. The Corotinstrument's software: towards intrinsically reconfigurable real-time embedded processing software in space-borne instruments. *Proceedings of the 4th IEEE International Symposium on High Assurance System Engineering*, Washington, DC., p. 75--80, Nov. 1999.
- (2) Folliot B., Piumarta I., Riccardi F. A dynamically configurable, multi-language execution platform. *Proceedings of 8th ACM-SIGOPS European Workshop*, Sintra, Portugal, pp. 175-181, Sept. 1998.*

Ce document a été réalisé avec le logiciel Adobe FrameMaker sur Power Macintosh.
Conception et mise en page: Nicole Bohelay et Jean-Luc Mounier.
Edition: Imprimerie de l'UFR d'informatique de Paris 6.

Directeur de publication: Daniel Lazard
Le 1^{er} mars 2001.