



Laboratoire d'Informatique de Paris 6  
Université Pierre et Marie Curie – CNRS  
8, rue du Capitaine Scott  
75015 PARIS

# LIP6 – CNRS (UMR 7606)

## Présentation



*Activité et perspectives*

*Juillet 2002*



# Table des matières

<b>Table des matières.....</b>	<b>1</b>
<b>Présentation générale .....</b>	<b>2</b>
<b>Thème ANP.....</b>	<b>6</b>
<b>Thème APA.....</b>	<b>9</b>
<b>Thème ASIM .....</b>	<b>11</b>
<b>Thème CALFOR .....</b>	<b>14</b>
<b>Thème OASIS.....</b>	<b>16</b>
<b>Thème RP .....</b>	<b>19</b>
<b>Thème SPI.....</b>	<b>21</b>
<b>Thème SRC.....</b>	<b>23</b>
<b>Thème SYSDEF .....</b>	<b>26</b>

# Présentation générale

## *Un laboratoire de 400 personnes*

### **Positionnement scientifique**

Le LIP6 regroupe l'essentiel de la recherche en informatique à l'UPMC. En raison de sa taille (plus de 400 personnes), il recouvre une grande partie des domaines de l'informatique, même si certaines thématiques importantes sont faiblement représentées (imagerie et géométrie informatique, par exemple) ou même absentes (cryptographie, ...).

Malgré cette diversité de sujets, une certaine homogénéité de conception de la science informatique se dégage : l'expérimentation logicielle et la validation des résultats par des applications réelles sont des constantes, aussi bien dans les domaines traditionnellement considérés comme appliqués que dans les domaines réputés fondamentaux ou théoriques.

La notion d'informatique répartie et coopérative est un point commun à toutes nos recherches qui identifie notre « personnalité », même s'il est décliné de manière très variée au sein des équipes.

### **La structure du laboratoire**

Le LIP6 est scientifiquement structuré en 9 thèmes, qui regroupent des chercheurs selon leur objet d'étude ou leur approche méthodologique. Ces thèmes sont issus des axes de recherche des laboratoires existants avant 1997. Le périmètre des équipes de recherche est quelquefois difficile à identifier, c'est pourquoi nous sommes aujourd'hui engagés dans une réorganisation scientifique profonde qui doit permettre de mieux articuler la recherche.

La structure verticale du laboratoire est complétée par des projets transversaux financés, sur appels d'offre de la direction, pour une durée maximum de deux ans. L'objectif de ces projets est, d'une part, de développer la collaboration entre chercheurs de thèmes différents et, d'autre part, de faire émerger et de rendre visibles des projets de recherche stratégiques pour le LIP6.

L'un des moyens d'exercice de la politique scientifique du laboratoire est liée à la gestion des recrutements d'enseignants chercheurs. Depuis deux ans, nous essayons, au sein du conseil scientifique, d'installer une continuité dans la définition des priorités de recrutement. Ces demandes sont réexaminées chaque année et confrontées aux possibilités de demandes de postes. Dans cette ligne, les priorités annoncées aujourd'hui sont « Systèmes intégrés », « Calcul formel », « Programmation », « Compilation », « Imagerie médicale », « Systèmes répartis », « Bases de données », « Multimédia », ou « Réalité virtuelle ». Ce dernier domaine est une nouvelle thématique que nous pensons pouvoir faire éclore au sein du laboratoire à partir de compétences déjà existantes, mais dispersées.

### **La structure évolue**

La taille du laboratoire nous amène à structurer différemment nos activités. Les thèmes actuels, hérités du LAFORIA, du LITP ou du MASI ne témoignent plus d'une lisibilité scientifique suffisante. La gestion du laboratoire est aujourd'hui distribuée entre les quatre

pôles qui n'ont eue aucun rôle au niveau de la recherche. Nous nous sommes donc engagés depuis avril dernier dans une réflexion globale visant à mieux organiser nos forces de recherche et nos moyens administratifs. Le premier pas de cette « réforme » est la centralisation des activités administratives dont le bénéfice attendu est une meilleure gestion opérationnelle du laboratoire.

Sur le plan scientifique, rien n'est encore définitivement arrêté. Une possibilité est une organisation à deux niveaux :

- un premier niveau (appelons-le « département ») qui a vocation à regrouper les grandes thématiques scientifiques du laboratoire ;
- un deuxième niveau (appelons-le « équipe ») homogène autour d'un sujet de recherche clairement identifié

Dans ce schéma, les départements ont un rôle d'animation scientifique et de coordination de leurs équipes. Le LIP6 pourrait ainsi compter de 3 à 5 départements et de 1 à 15 équipes.

Enfin, on peut imaginer quelques « groupes de recherche » hors des départements pour donner la place à de nouveaux axes (les jeunes équipes par exemple), ou pour permettre la reconversion thématique de chercheurs.

Un « groupe de recherche », hors département, correspondant à cette définition existe déjà au sein du laboratoire. La Jeune Equipe (JE) PolyTIC a été créée au sein du LIP6 en octobre 2001 par le CNRS, avec le soutien du conseil scientifique du laboratoire. Sa thématique de recherche est : Enjeux et impact des STIC sur les politiques publiques et l'espace public. Cette création montre combien il est nécessaire de disposer d'une réponse organisationnelle souple et simple pour permettre l'éclosion de thématiques innovantes.

## La valorisation

La politique de valorisation des recherches du laboratoire suit trois voies principales :

- 1- la protection des résultats par le dépôt de brevets ;
- 2- l'essaimage à travers l'aide à la création de start-ups ;
- 3- la mise en place de partenariats industriels à long terme via les laboratoires communs.

Les deux premiers points sont aujourd'hui très classiques. La création de laboratoires communs mixtes avec des industriels est un peu différente. Le modèle que nous avons adopté repose sur des partenariats à long terme (au moins 4 ans). Dans ces accords, le laboratoire et les industriels sont de réels partenaires qui financent et sont propriétaires en commun des résultats obtenus.

Deux laboratoires de ce type existent aujourd'hui : le CERME dans le domaine de la microélectronique (voir page 13) et EURONETLAB dans le domaine des télécommunications (voir page 20).

## Des axes en cours de développement

De nombreux axes de développement scientifique se font jour au sein du laboratoire. A titre d'exemple des directions suivies, voici quelques exemples :

- 1- Mise en place de relations partenariales avec l'INRIA à travers la définition de projets communs. Actuellement, le projet SPACES (voir page 14) est en phase de création autour d'une structure bi-localisée entre le LORIA et le LIP6. Le projet REGAL avec l'INRIA Rocquencourt est en cours d'évaluation : il s'articule autour de l'équipe SRC du LIP6.
- 2- Equipe-projet IAPuces rapprochant les techniques de l'IA du domaine de la génomique.
- 3- Structuration des activités multiples du LIP6 autour de la réalité virtuelle.
- 4- Support d'activités émergentes à travers le financement sur fonds propres de projets internes au laboratoire (145 000 € en 2001).

## Le personnel

Le LIP6 est l'une des plus grosses unités mixtes du CNRS avec 416 chercheurs.

Notre structure est relativement déséquilibrée en ce qui concerne les personnels de gestion et de support technique à la recherche. Nous disposons de 36 ingénieurs ou administratifs parmi lesquels 8 sont des contractuels, le plus souvent financés par des contrats de recherche. Au-delà de ces postes « permanents », de nombreux stagiaires et doctorants sont financés de cette manière. Le tableau suivant en est une illustration.

Nombre de mois de contrats de travail			
	1999	2000	2001
<b>ASIM</b>	348	420	396
<b>IA</b>	-	-	80
<b>MSI</b>	301	360	456
<b>MFI</b>	4	4	10
<b>TOTAL</b>	653	784	942

La première richesse d'un laboratoire est son vivier de doctorants. Les chercheurs du LIP6 encadrent 195 doctorants.

Statut	Nombre	Cumul
Enseignants et chercheurs (1)	145	145
Ingénieurs, Techniciens et administratifs (2)	36	181
Doctorants	108	289
Post doctorants	8	<b>297</b>
Doctorants extérieurs	87	384
Associés	32	416
	dont HDR:	66
	nb doct par HDR:	2,95

(1) Dont 14 CNRS

(2) Dont 13 CNRS

Pour remédier à cette difficulté structurelle, nous recherchons auprès de nos tutelles ou à travers des relations partenariales nouvelles, le moyen d'aider au développement de la recherche dans ces tâches de gestion et d'ingénierie.

## Quelques chiffres

Le LIP6 développe une activité contractuelle intense qui permet d'assurer une grande partie de son fonctionnement quotidien (financement de CDD, de missions, de thèses, de matériels, etc.). Le tableau suivant montre la ventilation des ressources contractuelles pour chaque pôle du laboratoire.

<b>Montant annuel des contrats</b>			
	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>
<b>ASIM</b>	895 000 €	863 031 €	761 245 €
<b>IA</b>	322 506 €	573 932 €	828 875 €
<b>MSI</b>	987 564 €	773 526 €	1 037 872 €
<b>MFI</b>	23 000 €	25 000 €	85 000 €
<b>TOTAL</b>	<b>2 228 070 €</b>	<b>2 235 489 €</b>	<b>2 712 992 €</b>

Le budget consolidé du laboratoire peut alors être établi comme suit :

<b>Budget consolidé</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>
<b>1 -CNRS</b>		
Equipement spécifique	45 735 €	38 112 €
Soutien base CNRS/dotation annuelle	126 533 €	132 859 €
Actions spécifiques	78 511 €	68 508 €
Actions incitatives	111 440 €	
Relations internationales	12 805 €	1 375 €
Personnels (estimation)	1 668 543 €	1 701 914 €
<b>SOUS TOTAL</b>	<b>2 043 567 €</b>	<b>1 942 768 €</b>
<b>2 -UPMC (fonct+équipt) 80 %en 2001</b>	220 164 €	307 290 €
Personnels (estimation)	4 428 077 €	4 516 638 €
<b>SOUS TOTAL</b>	<b>4 648 241 €</b>	<b>4 823 928 €</b>
<b>3 -Contrats</b>	<b>2 235 489 €</b>	
<b>TOTAL</b>	<b>8 927 297 €</b>	

# Thème ANP

## *Algorithmique Numérique et Parallélisme*

« Calcul numérique et ordinateur » décrit très simplement la thématique de cette équipe, tant du point de vue théorique que pour ses applications.

Trois domaines principaux illustrent cette orientation :

1. l'imagerie médicale, trait d'union entre la vision par ordinateur et les applications médicales,
2. la modélisation et l'optimisation des systèmes, à travers la résolution de problèmes numériques en nombres entiers, l'optimisation combinatoire ou l'étude de graphes,
3. la validation et le co-design numérique qui permet une maîtrise des calculs numériques sur ordinateur de la programmation jusqu'à la participation à la conception de circuits.

### **Imagerie médicale**

Initiée dans les années 70, l'imagerie médicale reste un thème majeur de recherche tant pour les chercheurs en vision par ordinateur que pour les médecins. En particulier, l'amélioration constante des techniques d'acquisition ouvre régulièrement de nouveaux champs d'investigation et de nouveaux défis.

Dans ce contexte, une équipe de recherche du thème ANP a été créée en septembre 2001 avec les objectifs scientifiques suivants :

- répondre aux besoins scientifiques et techniques de la part des médecins,
- assurer une recherche de haut niveau dans le traitement de l'image,
- collaborer avec d'autres composantes du LIP6 ou de Paris 6 sur des thèmes connexes tels que l'interprétation, l'aide au diagnostic et le suivi médical.

Actuellement, la principale collaboration s'effectue avec l'équipe du professeur Grenier, chef de service de Radiologie de l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière. L'imagerie médicale est devenue l'outil principal du radiologue. Les problèmes d'imagerie (analyse, traitement, aide au diagnostic) rencontrés par les praticiens sont multiples.

Pour l'année 2002, deux thèmes de recherche sont actuellement en cours :

- **Segmentation tridimensionnelle d'anévrisme en imagerie scanner.** Il s'agit de localiser et de mesurer avec précision des anévrismes de l'aorte dans une image tridimensionnelle. C'est un problème de segmentation classique mais la difficulté est que certaines zones des anévrismes sont très peu contrastées par rapport aux autres tissus.
- **Recalage dynamique de séquences radiographiques pour une reconstruction stéréoscopique.** Nous développons une méthode originale pour faire de la reconstruction tridimensionnelle par stéréoscopie de structures biologiques en mouvement à partir d'un couple de séquences radiographiques. La difficulté consiste à recalibrer temporellement ces deux acquisitions.

En sus de ces thèmes de recherche, un travail de fond va être entrepris sur :

- le développement d'outils génériques de visualisation, de compression et de manipulation d'images tridimensionnelles,
- la création d'une plate-forme de développement portable utilisant les spécifications d'image en usage en imagerie médicale.

Cette thématique regroupera, à partir de septembre 2002, 4 chercheurs titulaires et 3 doctorants.

## **Modélisation et Optimisation des Systèmes**

Les recherches menées depuis deux ans se sont développées dans les domaines suivants :

- les méthodes de résolution de grands programmes linéaires en nombres entiers de structure générale par des techniques de programmation linéaire généralisée et de techniques de combinatoire polyédrique (plans sécants, inégalités valides) et leurs applications à des problèmes d'optimisation industrielle divers : problèmes d'affectations d'équipages dans les compagnies aériennes (Thèse de F. Zeghal, soutenue le 14-02-02), problèmes de planification d'activités de maintenance à EDF (stage de DEA et thèse en cours de P. Bonami), problèmes d'optimisation de réseaux de Télécommunications (Collaboration avec V. Gabrel de l'Université Paris - 13, Thèse de A. Knippel soutenue le 26-6-01), étude de problèmes d'allocation de fréquences dans les réseaux de Télécommunications, optimisation du placement de tâches dans les grands systèmes informatiques distribués (Thèse en cours de D. Collard, en collaboration avec le Thème SRC du LIP6).
- l'étude polyédrale de problèmes combinatoires structurés tels que le problème de voyageur de commerce et les problèmes de recherche de cycles élémentaires dans les graphes, travaux en cours de V. Nguyen qui a intégré l'équipe depuis le 1-9-2001.
- l'étude des structures algébriques des dioïde et des semi-anneaux en liaison avec la théorie des graphes, avec des résultats nouveaux concernant l'extension de propriétés combinatoires et de séries formelles liées aux arborescences et aux bi-déterminants.

La prospective pour les deux années à venir, se situe dans le prolongement des travaux récents de l'équipe sur les différents axes mentionnés ci-dessus. De façon immédiate, il est prévu de poursuivre un certain nombre de travaux en cours sur la conception de nouveaux algorithmes approchés pour les problèmes d'optimisation de réseaux à coûts discrets, et de publier une analyse comparative complète de ces algorithmes. Il est également prévu d'entreprendre de nouvelles recherches à caractère fondamental sur les techniques polyédrales applicables à des programmes linéaires en nombres entiers de structure générale, avec comme objectif à moyen terme (2-3 ans) de définir des méthodes efficaces de génération d'inégalités valides et de renforcement de formulations.

Cette thématique concerne 3 chercheurs titulaires et 3 doctorants.

## **Validation et Co-design numériques**

L'activité *validation numérique* a principalement porté depuis 2 ans sur le développement d'une chaîne complète permettant l'étude et l'estimation de la qualité numérique de résultats de codes scientifiques utilisant l'arithmétique IEEE 754 (à virgule flottante) des ordinateurs. Cette chaîne doit se composer de pré-processeurs permettant d'instrumenter des codes FORTRAN, ADA ou C en vue de l'utilisation de la librairie CADNA développée au sein de l'équipe depuis 1992. En sortie, des outils graphiques permettant la visualisation des résultats

avec leur qualité numérique ont été développés. Cette chaîne est la première de ce type à voir le jour. Elle est encore en phase de développement et fait l'objet d'un contrat ANVAR d'un montant de 170000 euros.

Parallèlement, un travail théorique est fait sur le contrôle dynamique d'algorithmes numériques. L'objectif est de permettre l'estimation de l'erreur numérique globale (erreur de méthode + erreur de calcul) avec le seul contrôle de l'erreur d'arrondi. Depuis septembre 2000, l'accent a été mis sur le calcul numérique d'intégrales simples ou multiples. L'objectif des deux prochaines années est de poursuivre avec les méthodes d'extrapolation et le calcul de cubatures. Cette thématique concerne une habilitation et une thèse en préparation plus une thèse qui débutera en septembre 2002.

Par ailleurs une collaboration avec l'université de Caracas et le Laboratoire Jacques-Louis Lions de l'université de Paris 6 dans le cadre du comité ECOS-nord (action n° V00M04) a débuté le 1er janvier 2001 pour une durée de 4 ans sur la « modélisation numérique et résolution informatique de problèmes d'écoulements diphasiques dans des canalisations verticales ou obliques ». La contribution du thème est la parallélisation des codes de calcul et la validation numérique des résultats.

Depuis septembre 2001, une nouvelle thématique s'est créée en collaboration avec le thème Architecture (ASIM) du LIP6 concernant le co-design numérique. La notion de co-design numérique est une nouvelle approche de la conception de circuit qui intègre les compétences et les besoins des arithméticiens des ordinateurs. Elle prend en compte le choix des représentations des données et la validation numérique d'une architecture en même temps que sa synthèse. Ce partenariat s'effectue au sein du CERM et concerne une thèse en cours. Une deuxième thèse doit démarrer en septembre 2002 en prolongement de la première. Toujours dans le cadre de ce partenariat, le thème a démarré une étude théorique et expérimentale sur l'application des techniques de validation numérique aux codes utilisant l'arithmétique à virgule fixe. L'objectif est la validation numérique des codes de calcul embarqués. Les partenaires industriels visés sont principalement les équipementiers. Là encore, cette démarche est une première dans le domaine et est soutenue actuellement par le LIP6 en tant que projet interne.

L'ensemble de cette thématique regroupe 6 chercheurs titulaires et 4 doctorants.

# Thème APA

## *Apprentissage et Acquisition des connaissances*

Les activités du thème APA sont focalisées autour de *la recherche et de l'extraction intelligente d'information et de connaissances*, et de la fouille de données.

L'identification d'information pertinente pour les besoins d'utilisateurs est un problème clé de la recherche d'information dans des documents, qu'ils soient textuels ou relatifs à des images, des vidéos, du son, aussi bien que de l'extraction automatique de connaissances à partir de grandes masses de données, dans les bases de données et sur le web.

Les principales *difficultés* qui doivent être traitées sont, d'une part la grande quantité de données auxquelles on est confronté, due aussi bien au nombre et à la taille croissants des bases de données qu'à la prolifération de l'information électronique, les problèmes de structuration de l'information, qui entrait peu en considération dans les méthodes développées ces dernières années et qui est variable selon les types de documents ou de données auxquelles on s'intéresse, la nature extrêmement bruitées de nombreuses sources d'information (texte, image, traces utilisateurs).

Nos challenges sont donc de réaliser un passage à l'échelle pour les algorithmes d'apprentissage qui concerne aussi bien la quantité de données à traiter que la taille des espaces de représentation dans lesquels ils opèrent, de développer de nouveaux algorithmes permettant d'automatiser la structuration de l'information et de faire de l'inférence sur ces représentations structurées - ce domaine est quasiment vierge aujourd'hui -, de développer des méthodes robustes capables de filtrer l'information parasite.

*Pour répondre à ces problèmes*, nous étudions des méthodes de recherche et d'extraction d'information qui ne nécessitent pas l'indexation systématique de documents ou l'étiquetage de données, impraticables en grandes dimensions et sur des giga-octets de données, mais qui passent par un apprentissage non supervisé, c'est-à-dire où les éléments à reconnaître (classes ou étiquettes) ne sont pas donnés à l'avance mais sont découverts par le système lui-même, et par la prise en compte de la structure des connaissances (phrases, graphes, ontologies, bases structurées documentaires et multimédias codées en XML...).

Nous utilisons des techniques basées sur l'appariement de cas, sur l'identification de similarités, sur la constitution de résumés de textes ou de bases de données, aussi compréhensibles que possible par l'utilisateur. Nous effectuons des recherches d'information par le contenu du document et non pas par des mots-clés qui lui seraient associés, et nous exploitons des opérateurs d'agrégation qui permettent de synthétiser diverses informations portant sur un même objet et de réduire ainsi la complexité des données. Nos travaux prennent en compte les usages qui sont faits des données traitées et s'appuient sur des profils d'utilisateurs pour focaliser les recherches sur l'information la plus apte à répondre à leur attente, profils construits selon des critères décrivant l'utilisateur ou générés automatiquement d'après son comportement face à l'instrument étudié (des applications ou services liés à un site web par exemple).

Les *applications potentielles* sont variées et nous travaillons actuellement sur plusieurs projets académiques ou en collaboration avec des industriels. On peut citer par exemple l'aide à l'utilisateur pour l'accès à des ressources multimédias ou pour faire du profiling, le développement de produits de veille qui analysent des flots d'information circulant sur le réseau, le filtrage d'information, l'extraction d'information à partir de données non structurées pour la constitution automatique de bases de données, le cartable électronique actuellement terrain d'étude dans une collaboration avec Vivendi Universal, le livre électronique, la génomique fonctionnelle en ce qui concerne l'analyse de données d'expressions de gènes issues de biopuces en vue de la prévision du comportement des mécanismes de régulation génétique.

Le livre électronique constitue un *objet d'expérimentation* commun à tout le thème APA.(Projet interne LIP6 et AS STIC) Une plate-forme est actuellement en cours d'élaboration, sous la forme d'un site qui centralise les liens vers différents textes littéraires d'expression française, qui en stocke certains, en autorise le téléchargement et la conversion, enfin qui décrit les éditions disponibles et évalue leur qualité. Cette plate-forme doit permettre l'expérimentation des outils élaborés au sein du thème APA, aussi bien en ce qui concerne la fouille de données elle-même que la modélisation de l'utilisateur qui lui est liée. Elle passe par la mise au point de robots d'analyse de sites, agents intelligents effectuant des recherches sur un site, pour en extraire les textes ainsi que les méta-descriptions de ces textes.

# Thème ASIM

## *Architecture des Systèmes Intégrés et Microélectronique*

### **Bilan synthétique des recherches**

Le département ASIM du LIP6 concentre toute son activité sur les outils et méthodes de conception des circuits et systèmes intégrés sur puce. Les deux années 2001 et 2002 ont été marquées par le développement du laboratoire commun ST/LIP6, et par la création, en janvier 2002 dans les locaux du LIP6, du Centre Européen de Recherches en Micro -Electronique (CERME). Cette structure, financée à 50% par l'Université Pierre et Marie Curie et par le CNRS et à 50% par les industriels partenaires, regroupe actuellement trois laboratoires communs : ST/LIP6 (depuis janvier 2000), SILVACO/LIP6 (depuis juillet 2001), TACHYS/LIP6 (depuis janvier 2002). Tachys Technologies est une des trois startups créées par des chercheurs issus du département ASIM depuis 1996.

Le département ASIM a poursuivi la diffusion sous licence GPL de la chaîne de CAO ALLIANCE. La version 5.0 comporte de nouveaux outils de synthèse et de placement/routage, adaptés aux procédés de fabrication fortement sub-microniques. Enfin le LIP6 a annoncé en mai 2002 la diffusion sous licence GPL d'une nouvelle chaîne de conception : l'environnement DISYDENT regroupe un ensemble d'outils logiciels de conception de systèmes intégrés sur puce.

Les recherches se sont structurées autour de dix projets :

#### **1. Modélisation et synthèse des systèmes intégrés sur puce**

Les systèmes intégrés sont des puces de très haute complexité contenant du matériel et du logiciel embarqués. Les activités de ce groupe portent sur le développement de méthodes et d'outils de spécification, de modélisation, de simulation et de synthèse des systèmes intégrés sur puce. Ces outils sont distribués par le LIP6 en tant que logiciel libre, dans le cadre de l'environnement de conception DISYDENT.

#### **2. Méthodes formelles pour la vérification des systèmes intégrés**

Avec l'accroissement de la complexité, les techniques de simulation sont de moins en moins efficaces pour la vérification des systèmes intégrés. Ce groupe a développé des méthodes formelles pour la vérification de protocoles de communication ou la preuve de propriétés de systèmes complexes représentés par des automates communicants. Ce projet est financé en partie par ST dans le cadre du CERME.

#### **3. Micro-réseau d'interconnexion à commutation de paquets**

Les communications entre composants constituent le goulot d'étranglement des systèmes intégrés sur puce, particulièrement pour des applications telles que la télévision haute définition ou les équipements de télécommunication. Le projet SPIN porte sur la définition d'une architecture générique de micro-réseau à commutation de paquets pour systèmes sur puce. Ce projet est financé en partie par ST dans le cadre du CERME. Les modèles de simulation développés par ce groupe sont distribués sous licence GPL dans l'environnement DISYDENT.

#### **4. Testabilité des systèmes intégrés**

La difficulté principale du test des SoC (System on Chip) porte sur la définition d'une méthode de test globale, puisqu'il faut tester des composants hétérogènes, provenant de sources multiples. Le standard IEEE P1500 (fortement inspiré par la technique du "boundary scan") vise à définir les modes d'accès aux composants, et les propositions du LIP6 s'inscrivent dans ce contexte. Ce projet est financé en partie par ST dans le cadre du CERME.

#### **5. 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 0,13 micron et l'intégration de plusieurs dizaines de millions de transistors sur un même circuit. Avec ces technologies apparaissent de nouveaux problèmes liés principalement aux résistances et capacités des fils d'interconnexion. Ce projet est financé en partie par ST et SILVACO dans le cadre du CERME.

#### **6. Circuits analogiques et mixtes**

Beaucoup de systèmes intégrés sont 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. Le projet CAIRO vise le développement d'un langage permettant le développement de générateurs de composants analogiques re-utilisables. Ce projet est financé par ST dans le cadre du CERME.

#### **7. Architectures spécifiques pour le calcul numérique**

Les activités de ce groupe portent sur les architectures VLSI spécifiques aux algorithmes numériques à flots de données et concernent 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 virgule fixe que virgule flottante. Ce projet fait l'objet d'une coopération forte avec l'équipe ANP, et est financé en partie par ST dans le cadre du CERME.

#### **8. Environnement intégré de synthèse/placement/routage**

Ce projet a démarré fin 2001, avec l'arrivée au LIP6 de C.Douady, ex directeur technique de la société T-SQUARE. Ce projet ambitieux vise la définition d'un environnement de conception intégré de très gros circuits numériques. Cet environnement permettra la saisie de descriptions comportementales de niveau RTL et englobera les étapes de synthèse logique, placement/routage vérification. Ce projet est financé en partie par la société SILVACO dans le cadre du CERME.

#### **9. Machine parallèle MPC**

Le projet MPC 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 latence 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. La machine mise à la disposition des chercheurs du LIP6 comporte 8 nœuds bi-processeurs, et une version optimisée de l'interface de programmation parallèle MPI.

#### **10. Chaîne de CAO Alliance**

Le LIP6 a poursuivi le développement et la distribution de la chaîne de CAO ALLIANCE sous licence GPL. La version 5.0 est disponible depuis mai 2002. Celle-ci est utilisée pour l'enseignement, mais également comme plate-forme pour la recherche, puisqu'elle a servi de support pour les projets CAIRO, SPIN, Vérification DSM (Deep Sub Micron), opérateurs arithmétiques, etc... De plus La technique de dessin symbolique d'ALLIANCE est aujourd'hui utilisée par la société TACHYS, qui finance en partie le projet ALLIANCE DSM dans le cadre du CERME.

## Prospective

Les recherches dans le domaine des outils et méthodes de conception de systèmes intégrés sur puce (System On Chip) constituent un enjeu stratégique. Elles nécessitent des liens très étroits avec les grands industriels qui maîtrisent les technologies de fabrication. Avec la création du CERME, le département ASIM du LIP6 possède la masse critique et les partenariats nécessaires pour jouer un rôle leader au niveau européen.

### Thématiques de recherche

Le département ASIM souhaite organiser son activité suivant deux grandes axes :

#### Outils et méthodes de conception au niveau système

Cette direction regroupe toutes les activités de recherche portant sur la conception conjointe, matérielle et logicielle des systèmes sur puce : Il s'agit des recherches portant sur la spécification, la modélisation, la simulation, le test, la vérification, la synthèse, les architectures de communication, les systèmes d'exploitation temps réels, ainsi que le projet MPC.

#### CAO "bas-niveau" pour circuits intégrés submicroniques

Cette direction de recherche regroupe les activités de recherche qui se situent en dessous du niveau RTL. Ces recherches nécessitent une représentation fine du circuit au niveau portes logiques, ou même au niveau des transistors : outils pour la conception analogique, architectures spécialisées pour le traitement numérique, outils de modélisation et vérification des interconnexions, le projet ALLIANCE DSM, et le projet CIRRUS.

### Centre Européen de Recherche en Micro-Electronique

Le CERME possède actuellement 3 partenaires industriels : ST Micro -electronics, Silvaco et Tachys technologies. Le budget annuel de fonctionnement du département ASIM est de 1 million d'Euros, dont 450 Keuros correspondent au financement apportés par les partenaires industriels. Les premiers résultats sont très positifs, comme en témoignent les différents circuits conçus conjointement avec ST et les licences d'exploitation concédées à Silvaco ou Avertec. Le LIP6 souhaite développer ce type de recherche co-financée par les institutions et les industriels concernés, en intégrant de nouveaux partenaires industriels.

## Structuration des efforts de recherche au niveau national

Le département ASIM du LIP6 a été à l'origine du lancement d'une Action Spécifique du CNRS, dans le cadre du réseau thématique SOC (System On Chip). Ce groupe de travail inter-laboratoires vise à étudier les conditions de réalisation d'une plate-forme nationale de modélisation et de simulation d'applications intégrées sur puce. Le cœur de cette plate-forme sera constitué d'une bibliothèque "libre" de modèles de simulation de composants virtuels réutilisables: cœurs de micro-processeurs, processeurs de traitement du signal, etc. Cette plate-forme comportera également des composants logiciels : noyaux de systèmes d'exploitation, bibliothèques d'algorithmes de traitement du signal, compilateurs, etc. Tous ces composants seront fournis par les laboratoires partenaires, mais également par les partenaires industriels qui le souhaitent. Le LIP6 souhaite s'impliquer fortement, avec l'aide du CNRS et de l'Université, dans la mise en place et dans le développement de cette plate-forme.

# Thème CALFOR

## *CALcul FORMel*

L'activité du thème est centrée sur le calcul formel, et plus spécialement sur le problème fondamental de la résolution des systèmes d'équations polynomiales. 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.

Le groupe de complexité est constitué de M. Soria et M. Pelletier-Koskas. Il se consacre principalement, en collaboration avec le projet ALGO de l'INRIA 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'équations polynomiales est également en projet.

L'activité en théorie de Galois, centrée autour d'A. Valibouze et de ses doctorants, consiste principalement à réaliser des calculs algébriques avec les racines d'un polynôme sans les calculer explicitement, calculs dont un sous-produit est le groupe de Galois. Ces recherches sont connexes à 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, même si certains articles des membres de SPACES (cf. infra), publiés indépendamment ou en collaboration avec A. Valibouze, relèvent de cette thématique.

Le projet FOC, qui est décrit plus en détail dans la partie du rapport concernant le thème SPI, est issu d'un projet inter-thèmes du LIP6 (Collaboration CalFor, SPI). Du point de vue du thème CalFor, son intérêt est de montrer la faisabilité d'un environnement de calcul formel associant puissance d'expression (calcul dans et avec les structures algébriques, éventuellement définies par l'utilisateur), modularité (on peut changer l'implantation d'une structure algébrique, telle les entiers, en conservant ce qui est construit au dessus), efficacité (elle doit être comparable avec celle des langages compilés moins expressifs) et sûreté sémantique (possibilité de preuve). Il s'agit d'un projet à moyen ou long terme, mais les résultats déjà obtenus laissent augurer que FOC est le prototype d'une nouvelle génération de langages de calcul formel.

Le groupe s'occupant des systèmes polynomiaux s'est constitué en un projet INRIA bi-localisé Loria (Nancy) - LIP6. Ce projet s'intitule SPACES pour Systèmes Polynomiaux, Arithmétiques, Calculs Efficaces et Sûrs, ou, en anglais, Solving Problems through Algebraic Computations and Efficient Software. La partie scientifique du processus de création est terminée. Il reste à résoudre des problèmes administratifs liés à ce qu'il s'agit d'un projet bi-localisé dont une moitié est située hors sites INRIA.

Notre équipe, qui avait déjà acquis une avance significative dans la résolution pratique des systèmes polynomiaux devient ainsi, probablement, la plus importante équipe mondiale sur ce sujet. 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.
- Applications industrielles et académiques, notamment à la cryptographie et à la commande de haute précision des robots parallèles.

Bien entendu, cette liste n'est pas limitative; elle est constituée des aspects où l'équipe a des progrès significatifs en cours.

### Résultats récents significatifs et projets en cours

- Distribution de la première version expérimentale de FOC prévue pendant l'été.
- Nouvel algorithme très rapide pour le calcul du corps de décomposition et du groupe de Galois d'un polynôme.
- Mise au point d'un algorithme extrêmement efficace pour trouver, avec une précision arbitraire et garantie, les racines réelles d'un polynôme de degré élevé (jusqu'à plusieurs milliers) ayant de grands coefficients (plusieurs milliers de chiffres). Utilisation de cet algorithme pour le tracé précis de courbes définies par une équation implicite de degré élevé (supérieur à 200). Ces programmes sont également très efficaces sur les petits problèmes, mais il sont les seuls existants à pouvoir aborder les tailles de problèmes mentionnés.
- Mise au point et publication de l'algorithme F5 de calcul de bases de Gröbner, très largement plus efficace que les algorithmes antérieurs.
- Élaboration d'un algorithme pour déterminer le nombre de solutions réelles d'un système d'équations et d'inégalités dépendant de paramètres. Utilisation de cet algorithme (qui implique une utilisation intensive des programmes précédents) pour résoudre un problème de mécanique céleste (configurations centrales de quatre corps ayant un axe de symétrie).
- Utilisation (et adaptation) de F5 pour casser le système cryptographique HFE (Hidden Field Equation) qui faisait l'objet d'un défi à 600 euros (<http://www.minrank.org/hfe/#firstbroken>). Ce calcul a nécessité 96h sur une machine ne disposant "que" de 4 Go de mémoire vive, alors que le processus occupait près de 8 Go (mémoire virtuelle).
- ACI Jeunes Chercheurs « Théorie et pratique de la résolution des systèmes d'équations et d'inéquations algébriques avec paramètres ».
- ACI cryptologie « PolyCrypt ». Applications de l'algèbre des polynômes et des bases de Gröbner à la cryptographie. Géré par le Loria (SPACES). Collaboration avec le projet INRIA CODES et Limoges.
- Réseau européen RAAG "Real algebraic and analytic geometry". Nœud français du réseau : Université de Rennes.
- Action spécifique "Calcul Formel" du CNRS. Il ne s'agit pas d'un financement spécifique à notre équipe, mais cette action mérite d'être mentionnée ici en raison du rôle joué par l'équipe dans sa mise en place et du fait que deux membres du thème sont membres du comité de direction.

# Thème OASIS

## *Objets et Agents pour Systèmes d'Information et de Simulation*

La frontière initiale entre logiciels, systèmes, bases de données et représentation des connaissances (et intelligence artificielle) devient très mince dès que l'on aborde les besoins des logiciels et applications informatiques du futur. Notre thème de recherche est de ce fait transversal et se situe à la croisée de trois axes : modélisation et programmation, représentation de données et de connaissances, et coopération et répartition. Il se décompose naturellement autour de deux axes forts : « Agents adaptatifs et coopératifs » et « Bases de données réparties ».

### **Agents adaptatifs et coopératifs**

Cette thématique s'intéresse à la conception et à la construction d'agents logiciels ou physiques (ex : robots) doués de capacités d'adaptation et de coopération. Un des problèmes clés abordés est celui de l'adaptation (individuelle et collective) d'agents à leur environnement - logiciel : autres logiciels, fiabilité, qualité de service, etc., - physique : survie, entraide, utilisateurs, etc. Cinq projets focalisent les recherches

#### **Agents et robots adaptatifs**

Cet axe (équipe AnimatLab) s'inspire de la biologie pour mettre au point des systèmes artificiels (agents logiciels et robots) autonomes et adaptatifs. Ces deux caractéristiques sont indispensables à toutes les applications où le fonctionnement d'un système artificiel est menacé ou compromis par des événements imprévisibles tels que des modifications de l'environnement, des pannes ou des usures diverses, ou la simple interaction avec des êtres vivants. Les principaux mécanismes adaptatifs bio-mimétiques mis en œuvre à l'AnimatLab sont l'apprentissage, le développement et l'évolution. Ces mécanismes sont généralement implémentés sous forme de réseaux de neurones, de systèmes de classeurs et d'algorithmes évolutionnistes. Les résultats correspondants sont testés en simulation ou sur robots réels. L'AnimatLab est un des initiateurs de cette problématique (création de la première conférence internationale " Simulation of Adaptive Behavior : From Animals to Animats " en 1990, et de la revue internationale Adaptive Behavior). Trois axes de recherches sont actuellement privilégiés au sein de l'AnimatLab : le projet Psikharpax, subventionné par le CNRS, vise à synthétiser un rat artificiel ; le projet IRON vise à mettre au point un robot marcheur résistant aux pannes et reconfigurable ; et le projet Alpha vise à mettre au point le contrôleur d'un dirigeable.

#### **Agents et robots coopératifs socialement situés**

Cet axe s'inscrit dans le contexte du développement d'une nouvelle forme de robotique, qui voit des systèmes robotisés (à vocation domestique, de loisir, de surveillance, etc.) coloniser un nombre croissant de nos espaces sociaux, publics ou privés. Notre objectif général est d'étudier les conditions nécessaires à la viabilité de véritables collectivités mixtes hommes-robots (situées physiquement et socialement), par exemple dans le domaine de la défense. Le défi est de concevoir des architectures et des comportements génériques et réutilisables qui

permettent l'adaptation et la coopération continues des robots à leur environnement physique et social. Nous expérimentons des méthodes de co-conception et de validation multidisciplinaires, en convoquant roboticiens, informaticiens, sociologues et anthropologues à travailler de façon coordonnée autour de plates-formes d'expérimentation ouvertes. Notre exemple le plus abouti est le projet MICROBES (impliquant également en particulier l'axe 1.1. " Agents et robots adaptatifs " pour la partie adaptation et évolution individuelle). Nos résultats principaux sont : l'implémentation de mécanismes de coopération située, pour résoudre des problèmes comme les conflits d'accès aux ressources énergétiques ou l'exploration distribuée de locaux ; et la mise en œuvre de principes d'apprentissage interactif permettant l'acquisition par un robot de séquences de comportements montrées par un utilisateur. Notre perspective naturelle est d'appliquer nos résultats et nos méthodes au domaine de l'informatique diffuse (" pervasive computing "), les robots mobiles devenant alors un exemple parmi d'autres d'artefacts communicants et autonomes. Un axe applicatif sur lequel nous envisageons d'intervenir en particulier est celui du domaine hospitalier (chambres intelligentes, robotique médicale, etc.) sur lequel nous avons déjà noué de nombreux contacts.

### **Agents et mondes virtuels**

Cet axe étudie l'utilisation des techniques multi-agents pour la description de mondes virtuels 3D et la définition de comportements d'agents autonomes. Il s'agit d'une part de définir un langage déclaratif de haut niveau pour la manipulation de comportements d'agents autonomes (créatures virtuelles), inspiré des langages concurrents et des techniques de recherche orientée agent (" agent-based search ") ; et d'autre part de mettre au point et d'implanter d'un environnement 3D interactif basé sur le modèle multi-agents InViWo (Intuitive Virtual Worlds), outil de création et de simulation de mondes virtuels. Un point essentiel pour ce type d'application est la conception d'une architecture de contrôle générique et d'un langage de description de comportement pour l'animation des agents et la réaction aux événements en temps réel en fonction des perceptions des agents. Nos perspectives sont d'aller au delà des agents purement réactifs, jusqu'à la mise au point d'un module de planification à moyen terme basé sur des techniques de résolution de contraintes. Les efforts portent sur la mise en œuvre d'algorithmes " anytime " permettant la modification et le re-calcul dynamique, en utilisant en particulier des techniques de recherche locale. Nos derniers développements concernent la conception d'un modèle de mondes virtuels multi-utilisateurs distribués, incorporant la migration d'objets ou d'agents (code mobile) entre sites. Ces travaux s'inscrivent dans le cadre de collaborations industrielles tels par ex. le projet RNTL EDICA avec la société Cryo-Networks (jeux vidéos on-line) pour la création et mise en œuvre de mondes virtuels 3D multi-utilisateurs.

### **Construction d'agents**

Cet axe s'intéresse à la construction logicielle de différents types d'agents (agents logiciels, systèmes multi-agents, simulation multi-agent, etc.) à l'aide de principes de programmation avancés (architectures d'agents, méta-programmation, méta-modélisation, composants, patrons de conception, protocoles). Un des problèmes clés que nous abordons est celui de l'adaptation logicielle dynamique. Le projet LIP6 ARP sur les agents résistants aux pannes (en collaboration avec le thème SRC) en est un exemple et étudie la problématique de la fiabilisation d'applications coopératives fortement dynamiques, par réplication dynamique adaptative des agents auto-identifiés comme les plus critiques. Nos résultats principaux sont : un modèle de composants asynchrones et adaptatifs pour construire des applications réparties évolutives ; et un modèle d'architecture multi-agent pour la recherche coopérative d'information (projet SAFIR). De plus, les architectures et mécanismes logiciels que nous proposons ont un impact sur les prototypes d'agents développés dans les axes « Agents et robots coopératifs socialement situés », « Agents et mondes virtuels » et « Simulation multi-

agent de systèmes complexes ». Nos perspectives principales sont de continuer nos expérimentations sur le thème de l'adaptation logicielle dynamique, et de développer une activité débutée récemment sur les protocoles de négociation entre agents pour le commerce électronique.

### **Simulation multi-agent de systèmes complexes**

Cet axe porte sur la modélisation et la simulation de phénomènes complexes (physiques, sociaux, écologiques, etc.) à l'aide d'une approche multi-agent. Cette approche consiste à représenter directement, sous forme d'agents artificiels, les individus qui contribuent dans la réalité à ces phénomènes, ainsi que leurs comportements et leurs interactions, dans un environnement simulé qui tient lieu de "laboratoire virtuel". Elle est particulièrement bien adaptée aux situations dans lesquelles la complexité des phénomènes envisagés interdit toute approche déductive ou analytique. Un des problèmes clés est la maîtrise de l'aspect multi-échelle et des couplages entre différents processus, sur lequel nous avons noué une convention de recherche pluri-annuelle avec l'IRD, qui regroupe trois projets : la simulation à grande échelle des interactions entre micro-organismes et matières organiques dans le sol, soutenue par un projet LIP6 ; la dynamique des migrations urbaines ; et la simulation de réseaux hydrologiques. Nos perspectives principales portent à la fois sur le développement d'une plate-forme française de simulation multi-agent, dans le cadre d'un projet multi-organismes (CIRAD, IRD, INRA, CEMAGREF et Universités), et sur l'intensification du rôle que jouent dès à présent ce type de simulation dans la panoplie des outils d'aide à la décision. Au niveau de la formation à ces nouvelles techniques de simulation, nous commençons en outre à mettre sur pied une collaboration au niveau doctoral avec plusieurs pays du Sud (Maroc, Afrique de l'ouest, du sud, Vietnam, Thaïlande). Enfin, une importante partie des outils développés seront mis à contribution dans l'axe « Agents et robots coopératifs socialement situés » afin de simuler l'impact de systèmes de robotique ou d'informatique diffuse sur les collectivités humaines où ils seront implantés.

### **Bases de données réparties**

La thématique "bases de données réparties" s'intéresse à la conception et à la construction de bases de données réparties. Les problèmes étudiés sont la question de la répartition et du partage de données hétérogènes, les transactions réparties pour le commerce électronique, la gestion de la cohérence dans un contexte réparti, les nouveaux modèles de transactions adaptés aux applications émergentes et à leur gestion via le Web. Nous nous intéressons également au problème de la mobilité, et de ses conséquences sur la gestion de transactions. Nos résultats principaux sont : un système de gestion de la cohérence dans les systèmes multibases et son application pour le commerce électronique ; et une méthode originale pour l'exécution parallèle de bases de données autonomes dans un système de cluster. Nos perspectives principales sont : la définition et la réalisation d'un service de méta-données prenant en compte notamment le profil de l'utilisateur et permettant une recherche intelligente et efficace de données hétérogènes dans des sources réparties ; et la définition d'un nouveau modèle de transactions adapté à la répartition. Ce modèle relâche certaines contraintes classiques, trop fortes dans le cas des systèmes répartis ou de la mobilité. Un domaine nouveau est celui du stockage pour la recherche d'information textuelle (coopération envisagée avec le thème APA).

# Thème RP

## *Réseaux et Performances*

L'activité du thème RP est centrée sur l'Internet du futur. Notre vision est celle d'un Internet ambiant, autonome, fiable et sécurisé.

### **La direction de recherche**

Ce concept en émergence traduit un accès permanent, ubiquitaire et autoconfigurable à un Internet plus large, ambiant, qui connectera des milliards de composants divers. Ces réseaux diffus auront la capacité de se configurer automatiquement, pour créer un réseau spécifique ou servir les besoins d'une communauté dynamique dans le temps et l'espace. Ils devront donc s'adapter aux conditions physiques et aux performances de l'environnement ; de même, les équipements pourront choisir leur réseau d'accès en fonction de paramètres tels que le débit, la qualité ou la consommation électrique. Les protocoles et les principes d'architectures pour de tels systèmes communicants restent à définir. Plusieurs projets sur ce thème émergent au niveau international (par exemple : Terminodes (EPFL), Oxygen (MIT), Industriels - Nokia, Motorola, Ericsson -, etc...). La disponibilité et la sécurité de ces systèmes de télécommunication de vra être intégrée dans l'architecture. Enfin, des mécanismes et des techniques distribuées spécifiques au traitement de très grandes dimensions de systèmes seront abordés, tant pour les problèmes de routage que d'accès au contenu à grande échelle (approches Peer-to-Peer par exemple).

Le thème "Réseaux et Performance" a pour objectif de développer cette vision de l'Internet du futur et de proposer des solutions pour le construire et le maîtriser. Au cœur de ses activités nous retrouvons les mécanismes pour le contrôle des réseaux, la communication à grande échelle, la gestion de la mobilité, les réseaux spontanés. Par ailleurs, des travaux significatifs sont poursuivis dans le domaine de la métrologie et de la modélisation. Enfin, nos contributions intègrent des développements sur des plates -formes originales.

Le thème développe une approche moderne de la recherche au travers de travaux à caractère fondamental et appliqué, en coopération avec des partenaires académiques internationaux de premier plan, ainsi que des industriels moteurs dans leurs domaines. Le thème Réseaux et Performance est également à l'origine du laboratoire commun Euronetlab.

L'activité du groupe est supportée par des chercheurs permanents, des Post-Doc, des visiteurs internationaux, des ingénieurs et environ 25 doctorants. A coté des budgets récurrents de nos tutelles, une grande partie de nos finances proviennent de contrats nationaux et européens. De plus, le groupe entretient de nombreuses coopérations académiques. Le thème RP du LIP6 représente un pôle d'excellence en réseau de rayonnement international.

### **Mise en œuvre**

Notre action s'est toujours développée suivant une activité amont complétée par des applications et des transferts technologiques. La vision présentée ci-dessus a pour objet d'explorer les verrous scientifiques à long terme et donc de se positionner au premier plan des

défis de demain. Par ailleurs, la valorisation qui se place à court et moyen terme, est développée au travers de plusieurs contrats (RNRT, IST, ITEA) et du laboratoire commun EuronetLab. Cet ensemble nous permet de construire nos idées, d'expérimenter et de transférer vers des acteurs industriels qui peuvent nous apporter des moyens complémentaires. De ce fait, nous avons un impact significatif au niveau des plates-formes européennes et de la normalisation IETF.

Le thème RP du LIP6 est présent au niveau national, aussi bien dans les réseaux d'animation (GDR, CNRS), que les transferts industriels (RNRT, Start-up Qosmos), ou les activités d'évaluation et d'administration de la recherche (CNU, CNRS, INRIA). De la même manière, nous disposons d'un rayonnement international de premier plan qui se mesure au travers de notre participation aux comités de programme des principales conférences du domaine, des revues scientifiques, des communautés d'animation (COST, IFIP), ou encore des partenariats industriels (IST, Sprint, Ericsson, ...). Cette visibilité draine au sein du thème, un nombre important de visiteurs étrangers ou de post-doctorants. L'ensemble se mesure par in niveau de publication conséquent, l'hébergement de plates-formes matérielles originales tant au niveau national qu'international.

## **Bilan 2001**

Nos principaux résultats obtenus en 2001 portent à la fois sur le plan théorique et sur les applications. Nos travaux sur des sujets innovants ont donné lieu à plusieurs publications (travaux sur le multicast, sur la QoS et la métrologie, sur la mobilité et la signalisation). Par ailleurs, les réalisations ont servi de support à d'ambitieux projets européens (ITEA RTIPA, IST GCAP, RNRT @irs) qui ont permis de démontrer notre maîtrise du domaine et l'acuité de nos idées. Plusieurs travaux ont également donné lieu à des propositions de normalisation au sein de l'IETF, tels que la signalisation de groupe pour le multicast ou la signalisation pour la gestion politique des réseaux. Le niveau de publication présenté est significatif.

Du point de vue des activités d'administration de la recherche, nous avons poursuivi notre action au niveau national (RNRT, CNRS, INRIA) et international (animation action COST264, IFIP WG6.3, Projets européens).

Enfin, nous avons créé en 2001 le laboratoire commun EURONETLAB (Thales, 6wind et l'ENST), et soutenu le démarrage de la start-up Qosmos issu du LIP6-RP.

# Thème SPI

## *Sémantique, Preuve et Implantation*

Le cadre général des activités du thème SPI est celui de la conception, la sémantique et la certification des langages de programmation. Nos travaux portent sur le développement des langages Lucid Sychrone et FOC (conception des langages, étude sémantique et réalisation des compilateurs et outils d'aide à la programmation), sur l'étude de propriétés logiques et de questions sur des systèmes répartis.

### **Lucid Sychrone**

Lucid Sychrone est un langage synchrone flot de données, dédié d'abord à la programmation de systèmes réactifs, étendant LUSTRE par un typage polymorphe des données, la synthèse des horloges cadencant les différents flots et des fonctions d'ordre supérieur autorisant une programmation générique. Ces traits sont essentiels à la programmation de systèmes temps réel classiques (transports, téléphonie). Ils permettent également l'ouverture vers de nouveaux champs d'application requérant la création dynamique de processus, tout en restant dans un cadre synchrone (jeux, processus biologiques). Cette ouverture vers les systèmes dynamiques constitue l'objectif des travaux à venir.

Les travaux de nature théorique ont porté sur:

- Etude de la réinitialisation modulaire dans le cadre flot de données et prototypage des Automates de Mode.
- Amélioration du calcul d'horloge initial, qui perd un peu de son expressivité mais devient extrêmement efficace et conduit à des expressions d'horloge plus simples.
- Développement et mise en œuvre d'analyses statiques (analyse de causalité, analyse d'initialisation) exprimées sous forme de systèmes de types.
- Axiomatisation complète de Lucid Sychrone dans le système d'aide à la preuve Coq, premier pas vers la certification des programmes écrits dans ce langage.

Fondée sur ces résultats théoriques, une implantation entièrement nouvelle du compilateur de Lucid Sychrone a été réalisée. Elle est disponible gratuitement sur le site du LIP6.

Lucid Sychrone est utilisé par l'équipe de développement de SCADE pour le prototypage d'extensions (projet GENIE II) et le développement d'analyses statiques pour SCADE. La collaboration se concrétise par des articles co-signés, la participation conjointe au projet européen IMCAD et un contrat avec la société Esterel Technologies en cours de mise en place. Ces travaux font également l'objet d'un contrat CTI avec le CNET (France Telecom).

### **FOC**

Le groupe FOC est constitué de chercheurs du LIP6, du CEDRIC et de l'INRIA, réalisant l'étude théorique et l'implantation du langage FOC. Celui-ci propose une approche originale de la programmation certifiée, dédiée actuellement au calcul formel, mais qui peut être

étendue à d'autres métiers. Les structures algébriques et leurs implantations sont décrites par des unités appelées espèces. Une espèce regroupe des déclarations/définitions de fonctions et des énoncés/preuves de propriétés de ces fonctions. Pour les construire, on dispose de mécanismes de généricité, de raffinement, d'héritage multiple avec liaison retardée. Les résultats obtenus et les travaux en cours sont les suivants:

- Spécification formelle de la hiérarchie des espèces et des outils d'extension montrant qu'une utilisation incontrôlée de ces outils peut aboutir à des incohérences logiques.
- Etablissement d'une discipline de programmation offrant un bon compromis entre l'efficacité requise pour un système de calcul formel et la preuve de propriétés.
- Construction des espèces nécessaires aux calculs de sous résultats, à la clôture réelle, aux calculs sur les corps finis et liens avec différentes arithmétiques.
- Définition de la syntaxe concrète du langage obligeant à respecter la discipline de programmation et éliminant certaines sources d'incohérence. Ecriture du compilateur produisant conjointement un source Ocaml implantant une espèce et une famille de preuves soumises à Coq.
- Définition d'une sémantique objet pour FOC. Ces travaux visent à la réutilisation des études théoriques et de l'implantation de FOC pour des métiers dont la structuration des connaissances s'apparente à celles du calcul formel.
- Etude de la réutilisation dans les espèces de FOC de preuves faites dans d'autres contextes. La réutilisation de preuves est essentielle à l'utilisation des méthodes formelles dans un contexte industriel.
- Développement d'un outil de construction de preuves, adapté aux usages du calcul formel, fondé sur la Dédution modulo.
- Construction d'interfaces sémantiques avec les outils OPENMath/OMDoc fondés sur XML dans le cadre du Réseau d'Excellence Européen MKMnet.

Les travaux de SPI comprennent également la poursuite de l'étude de logiques mieux adaptées à l'intégration d'outils de démonstration automatique et d'outils de construction interactive de preuves, la définition d'un cadre formel pour la spécification de politiques de sécurité et l'étude théorique d'un outil d'analyse de défaillances, fondé sur l'interprétation abstraite et les langages de contraintes. Cet outil est en cours d'intégration dans l'environnement d'analyses de défaillance de la société SURLOG.

Enfin, des contributions ont été apportées au problème de couplage de composants et à l'extension des résultats de programmation énergétique au domaine réparti et à la gestion de ressources multiples.

# Thème SRC

## *Systemes Répartis Coopératifs*

Concevoir, réaliser et maintenir industriellement des systèmes répartis exige des méthodes prenant en compte tous les problèmes comme le comportement indéterministe, la tolérance aux fautes ou l'adaptation aux infrastructures d'exécution. Ces systèmes sont un assemblage de composants s'exécutant sur des infrastructures hétérogènes supportant différents services (communications, tolérance aux pannes, migration, etc.). Les problèmes de conception, de vérification et de réalisation sont indissociables de l'étude des infrastructures d'exécution réparties. Les objectifs du thème SRC sont de proposer de nouvelles méthodes et de nouveaux outils pour la conception et la réalisation de systèmes répartis. Notre démarche tient compte des contraintes imposées au niveau des infrastructures d'exécution (déploiement, qualité de service, etc.) et intègre les besoins particuliers des applications dans ces infrastructures. Nos recherches reposent sur une expérience pratique. Ainsi, outre nos coopérations universitaires, nous suivons une politique de collaboration avec de grands groupes industriels et participons à une dizaine de projets institutionnels ou européens.

### **Conception, vérification et réalisation de systèmes répartis**

Maîtriser le cycle de vie des systèmes répartis impose d'intervenir, à tous les niveaux du processus de développement, dans l'évolution des normes actuellement utilisées dans l'industrie. Il faut introduire la modélisation et les méthodes formelles le plus tôt possible dans le processus de réalisation. Cette démarche, combinée à la génération automatique de programmes, renforce la traçabilité des informations entre spécifications et programmes, ce qui accroît la maintenabilité. Une caractéristique majeure de nos activités dans ce domaine est de traiter à la fois des propriétés fonctionnelles (services rendus) et non fonctionnelles (absence d'interblocage, disponibilité, équité, équilibrage d'application, ...).

- Méthodes de conception. La communauté a développé des normes telles que RM-ODP (Open Distributed Processing) pour l'approche de conception et UML (Unified Modeling Language) pour la notation. Nous développons une méthodologie qui combine ces approches dans le cadre du concept de Model Driven Architecture (prôné par l'Object Management Group) en vue de produire des spécifications UML contenant les informations pertinentes non seulement pour la génération de programmes répartis mais aussi pour leur vérification formelle. Nous avons contribué à la rédaction de la norme RM-ODP à l'ISO. La modélisation par aspects capture bien les éléments de configuration de l'infrastructure d'exécution d'une application répartie et intègre incrémentalement de nouveaux services. Nous promovons la réutilisation et la composition des éléments logiciels, appelés aspects, et des schémas de jonction entre aspects. Nous collaborons avec des acteurs majeurs de la recherche (CNAM, LIFL).
- Vérification et génération de programmes. Les industriels qui utilisent UML pour la conception des applications s'intéressent de plus en plus à la vérification formelle. Notre premier objectif est donc de palier les faiblesses d'UML pour décrire le comportement d'un système réparti de manière non ambiguë et vérifiable formellement (ce qui n'était pas l'objectif initial d'UML). Nous nous démarquons d'acteurs importants comme le centre de recherche de NEC (qui s'appuient sur SPIN) en spécialisant notre démarche de modélisation formelle sur les interactions dans les systèmes répartis afin de réduire la complexité de la vérification. Le passage à

l'échelle et l'outillage logiciel des méthodes formelles sont indispensables pour leur utilisation dans l'industrie. Nous développons des techniques originales comme les représentations symboliques d'espaces d'états ou l'optimisation d'espaces d'états en fonction des propriétés à vérifier. Nous diffusons via Internet l'AGL CPN-AMI basé sur les réseaux de Petri et développé en collaboration avec d'autres universités européennes (Turin, Helsinki, Humbolt, Munich). Cet AGL est l'un des outils les plus riches de la communauté réseaux de Petri sur les aspects vérification formelle. La génération automatique de programmes intègre les différents aspects décrits dans un modèle. Elle permet d'implémenter à faibles coûts et délais la partie contrôle de systèmes répartis (vérifiée formellement) sur laquelle on peut insérer (à condition de préserver la preuve) des modules de code séquentiel. Nous collaborons notamment avec des entreprises comme SAGEM et Aonix, pour résoudre des problèmes cruciaux tels que : l'optimisation des choix de réalisation, les critères de déploiement, l'adaptation aux supports d'exécution.

## Infrastructures d'exécution pour les systèmes répartis

L'infrastructure d'exécution d'applications réparties ne se résume plus au seul système d'exploitation. Des intergiciels offrent des services complémentaires nécessaires à leur exécution.

- Adaptation dynamique en fonction de nouvelles contraintes. Paradoxalement, la complexité des systèmes répartis et les besoins de réutilisation de leurs infrastructures conduisent à une prolifération de solutions ad hoc faiblement réutilisables. Notre approche pour l'adaptation d'infrastructures logicielles est basée sur le concept de Machine Virtuelle Virtuelle (MVV). Ce double niveau de virtualisation permet d'adapter, spécialiser et étendre les supports d'exécution pour des applications émergentes (systèmes embarqués, réseaux actifs, etc.). Ce travail est mené en collaboration avec l'INRIA, France-Telecom R&D et Gemplus.
- Infrastructures d'exécution fiables. La dispersion physique de composants logiciels répartis pose des problèmes de fiabilité : la défaillance d'un site d'exécution entraîne la perte de l'application ou des résultats incohérents. Nos solutions reposent sur la réplication et se distinguent par l'élaboration de stratégies de maintien de cohérence adaptables dynamiquement en fonction de critères comme la charge du réseau ou le taux de défaillance. Les architectures multi-agents sont un champ d'expérimentation porteur. Leur répartition à une échelle importante les rend sensibles aux défaillances. Pour répondre à ce besoin émergent, nous avons développé en collaboration avec le thème OASIS du LIP6 DarX, une plate-forme générique pour fiabiliser les systèmes multi-agents. Cette technologie a été choisie dans le projet RNTL Impact.
- Systèmes à large échelle. La gestion des données à large échelle reste un problème ouvert, les solutions basées sur des systèmes "peer-to-peer" se limitant à des données peu (ou pas) mises à jour. Nous avons initié deux nouvelles thématiques : la détection de fautes quand les délais de transmission sont incontrôlés et les protocoles de cohérence pour des mémoires partagées réparties. Ces travaux sont au centre de l'ACI Grid DataGRAAL que nous coordonnons et fait l'objet de collaborations avec l'EPFL et l'Université libre d'Amsterdam.

## Perspectives

La répartition devient courante dans les systèmes embarqués et les systèmes enfouis. Ce type d'application exige à la fois un niveau de fiabilité élevé et des temps de production courts

(time to market). Nous avons déjà été confronté à ce type de systèmes dans le cadre de projets dans le domaine satellitaire (COROS avec l'observatoire de Meudon) ou avionique (action FORMA avec l'ONERA et Sextan-Avionique). Ces expériences, ainsi que les contacts pris lors de la préparation d'une proposition centrée sur es logiciels embarqués certifiés (RNTL MORSE, labellisée en 2002) ont démontré le fort potentiel de nos solutions. Ainsi, nos compétences constituent un atout pour l'étude de nouveaux problème ouverts : forte interaction entre les applications et les infrastructures d'exécutions, réutilisation intensive de composants éprouvés, grande variation des services en fonction des acteurs qui utilisent un produit, configuration et déploiement sur des architectures variables, temps réel "mou", prise en compte de la maintenance dans un cycle de vie du produit. Ces axes seront développés dans le contexte de partenariats (réseaux d'excellence européens, contrats internationaux, etc.).

# Thème SYSDEF

## *SYStèmes d'aide à la DEcision et à la Formation*

Au sein du thème SYSDEF nous développons les aspects théoriques et formels de l'aide à la décision et de l'aide à la formation, mais aussi des aspects plus appliqués liés à la mise en oeuvre de logiciels ou de systèmes d'aide et leur insertion dans un contexte industriel. Les travaux développés relèvent à la fois de l'intelligence artificielle (IA) et de la recherche opérationnelle (RO) et s'organisent autour de trois axes complémentaires : l'aide à la décision, l'optimisation combinatoire et les systèmes d'aide à la formation.

### **Aide à la Décision**

L'équipe aide à la décision travaille sur le développement de modèles formels sophistiqués et d'algorithmes pour la décision dans l'incertain, la décision multicritère, la décision collective et la décision basée sur le contexte, domaines dans lesquels elle occupe un rôle moteur tant sur le plan national qu'international. En complément des travaux théoriques, nous avons développé ces deux dernières années des systèmes d'aide à la décision dans un contexte industriel. Les résultats obtenus concernent les axes suivants :

#### **Modélisation et agrégation des préférences, analyses axiomatiques**

Nous développons et étudions des modèles ordinaux de décision (i.e. n'utilisant pas de représentation quantitative des préférences et des croyances) pour la prise de décision dans un contexte d'information pauvre. Les principaux résultats obtenus, en décision multicritère comme en décision dans l'incertain, concernent l'introduction de nouvelles procédures d'agrégation ordinales et leur caractérisation axiomatique (règles de concordance, intégrales de Sugeno). L'effort sur la construction d'une théorie ordinale de la décision se poursuit actuellement et de nouveaux modèles de comparaison purement ordinaux sont en cours d'étude. Un second axe concerne les modèles quantitatifs et leur étude axiomatique. Dans cette direction, les principaux travaux concernent l'utilisation de l'intégrale de Choquet en décision multicritère, l'obtention de résultats théoriques sur la décomposition additive des utilités multi-attributs, enfin la modélisation des choix en univers partiellement analysable (en collaboration avec EUREQua, Paris I). Enfin, diverses applications des modèles décisionnels et des procédures d'agrégation multicritères ont été explorées et implantées dans un contexte industriel, notamment dans le domaine de la décision collaborative, de la fusion d'information, de la reconnaissance des formes, de la classification et du diagnostic.

#### **Recherche heuristique et algorithmes basés sur les préférences**

En décision dans l'incertain, nous cherchons les moyens de contourner les problèmes de cohérence que pose l'utilisation d'un modèle non-EU dans les problèmes de décision dynamique. Pour cela, nous avons proposé une approche heuristique pour l'obtention de stratégies non dominées dans les arbres de décision. Indépendamment, nous avons étudié les problèmes liés à la prise en compte de structures de préférences partielles pour la résolution de problème en IA et en RO. Pour traiter de tels problèmes, nous avons généralisé au cas de préférences partielles l'algorithme A\* et les algorithmes de Kruskal, Prim et Bellman dans les graphes. Les travaux entrepris dans cette direction devraient se poursuivre afin d'étudier la résolution d'autres problèmes combinatoires en présence de préférences non classiques.

## **Modèles graphiques pour le raisonnement et la décision**

Les travaux que nous menons en réseaux bayésiens (RB) ont pour but d'unifier l'ensemble des techniques de propagation d'information dans les RB, de manière à tirer parti des avantages de chacune des méthodes. Des résultats significatifs ont été obtenus récemment et sont en cours de rédaction. En parallèle, nous entamons des recherches sur l'apprentissage de la structure des réseaux ainsi que sur des extensions des dites structures. Enfin, pour lier choix et RB, nous commençons à travailler sur les diagrammes d'influence. Sur le plan des applications, nous étudions l'apport des réseaux bayésiens concernant l'analyse des causes des journées d'hospitalisation non-pertinentes (en collaboration avec Bernard Huet, OASIS, LIP6) et la prédiction des prix fonciers et immobiliers de la communauté urbaine de Nancy (contrat avec le ministère de l'équipement).

## **Décision basée sur le contexte**

Les études menées dans cette direction portent sur l'étude des systèmes d'assistance intelligents en contexte (SAIC) à partir de plusieurs applications (e.g. projet SART). Les résultats obtenus ont reçu une reconnaissance nationale et contribué à l'émergence d'une communauté internationale rassemblée sur le thème du contexte. Dans l'étude des SAIC, la modélisation du contexte a conduit à une représentation du raisonnement dans le formalisme des graphes contextuels. Les recherches sur les SAIC et le contexte vont être poursuivies dans de nouvelles applications pour la RATP (régulation temps réel d'une ligne de RER en situation incidentielle), pour Hewlett-Packard (réalisation d'une context-aware application) et pour Cegelec (projet e-maintenance) avec le reste du thème SYSDEF. Concrètement, les recherches porteront sur les graphes contextuels (tant sur le plan théorique que logiciel), la modélisation du contexte et la décision à partir de cas.

## **Explication dans les arbres de décision**

Les travaux portent sur la qualification des résultats et l'étude de sensibilité dans les arbres de décision. Les objectifs pour les prochaines années sont d'exploiter le paradigme géométrique pour l'aide à la décision et l'aide à la négociation. On s'intéressera à la qualification des résultats d'un système discriminant (sensibilité, définition de solutions prototypiques par les propriétés de la surface de décision), aux interactions avec l'utilisateur (par l'intermédiaire de la métrique) et à l'analyse des résultats de simulations (sensibilité, stabilité morphologique).

## **Optimisation combinatoire**

L'équipe d'optimisation combinatoire est spécialisée principalement sur la résolution de certaines classes de problèmes d'ordonnement (problèmes avec temps de communication, problèmes à une machine, problèmes d'atelier, ordonnancement juste à temps) et sur la résolution de problèmes de satisfiabilité (SAT).

## **Ordonnement et complexité**

Les recherches de l'équipe portent essentiellement sur la résolution de problèmes fondamentaux ouverts, de problèmes nouveaux ou émergents ainsi que la résolution de problèmes "challenges" qui intéressent des dizaines d'équipes dans le monde. Les principales applications sont liées à l'ordonnement juste à temps. En effet, la prochaine génération de logiciels d'ordonnement (horizon de 5 à 10 ans) intégrera des critères d'optimisation irréguliers. L'équipe produit de nouveaux résultats théoriques (preuves d'algorithmes et de complexité) et développe et teste ces algorithmes sur jeux de données. Les principaux résultats obtenus concernent les problèmes avec temps de communication (élaboration d'un algorithme polynomial exact pour le cas particulier d'arborescences UET-UCT et développement de méthodes tabou originales pour la résolution du problème à processeurs

hétérogènes), les problèmes avec délais de communication généralisés (NP-complétude d'un problème ouvert pour un graphe de précedence biparti, polynomialité de problèmes avec chaînes de précedence), les problèmes d'atelier (étude de deux sous-problèmes polynomiaux sur une machine et nouvel algorithme de branch and bound qui a permis de résoudre des instances jusqu'alors ouvertes) et l'ordonnement juste à temps (preuves de cas polynomiaux : séquence de tâches sur une machine, ordonnancement de projet sans contraintes de ressources, ordonnancement cyclique, résolution exacte du problème général à une machine (NP-complet) par un algorithme de branch and bound, le plus efficace existant à ce jour). L'équipe développe actuellement ses travaux sur les algorithmes exacts ou d'approximation avec garantie de performance, notamment en collaboration avec des chercheurs étrangers. Des travaux sont également en cours sur les problèmes de dimensionnement de buffers pour la conception de composants embarqués.

### **Satisfaisabilité et transition de phases**

Nous avons développé l'application des concepts de physique statistique à la complexité calculatoire de problèmes NP-complets et plus spécifiquement au problème de Satisfaisabilité (SAT). Cette démarche nous a notamment permis de montrer la validité de l'introduction par des physiciens statisticiens d'un paramètre d'ordre appelé "backbone" associé aux transitions de phase des formules SAT. Nous avons mis au point une heuristique basée sur ce paramètre d'ordre qui a permis d'améliorer les performances de résolution de formules difficiles par un facteur croissant en fonction de la taille des formules, repoussant ainsi les limites présumées des algorithmes actuels. Cette heuristique nous a également permis de résoudre des problèmes proposés en challenge depuis des années. Sur le plan théorique nous avons établi la meilleure borne supérieure actuelle du seuil des formules 3-SAT. Par ailleurs dans le domaine de l'algèbre finie nous avons résolu par de nouvelles méthodes algorithmiques liées à celles développées pour le problème SAT le dernier problème ouvert pour les quasi-groupes appartenant aux trois catégories fondamentales. Enfin nous avons aussi appliqué ces nouvelles techniques à la reconstruction d'images binaires en accomplissant un saut dans la taille des images qui peuvent être reconstruites. Nous continuons actuellement de développer très fortement les interactions avec les physiciens statisticiens qui paraissent apporter un nouvel essor avec des retombées importantes dans l'étude des problèmes NP-complets.

### **Systèmes d'Aide à la Formation**

L'équipe systèmes d'aide à la formation traite, d'une part, des problèmes de modélisation (connaissances, activités, apprenants, interactions didactiques) relatifs à la conception d'EIAH (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain), et, d'autre part, des problèmes plus récents de standardisation et d'indexation des ressources pédagogiques électroniques (métadonnées, vocabulaire, ontologies, technologies XML), dans le but de faciliter leur gestion et leur réutilisation, notamment dans le cadre de dispositifs de formation sur Internet.

Ces travaux s'inscrivent dans le domaine désigné au niveau international par "Intelligent Tutoring Systems", "AI and Education" et, plus récemment, "e-learning", domaine qui fait actuellement l'objet de processus internationaux de standardisation (W3C, IEEE, ARIADNE), auxquels des membres de l'équipe participent via des groupes de travail de l'AFNOR (CN36). Au niveau national, ce domaine concerne plusieurs groupes de travail dans lesquels l'équipe est impliquée (groupe IHM et Connaissance du GDR I3, réseau thématique pluridisciplinaire "Apprentissage, Education et Formation" du département STIC du CNRS, séminaire "Hypermédia, Education et Formation" que nous co-organisons au LIP6, programme "Ecole et Sciences Cognitives" de l'ACI Cognitive du Ministère de la Recherche).

Les travaux de l'équipe sont menés en liaison avec des applications réelles, dans le cadre de plusieurs projets concernant des environnements complets de formation (initiale, universitaire ou professionnelle), qui permettent la mise en œuvre et l'expérimentation des modèles.

Pour le premier point, relatif aux problèmes de modélisation pour les EIAH, les principaux résultats obtenus depuis 2000 concernent la modélisation et le suivi d'apprenants, avec la conception de modèles et leur réalisation sous forme de nouveaux modules dans des projets en cours : diagnostic cognitif de l'apprenant pour le projet Combien?, qui vise la conception d'un système tutoriel intelligent dans le domaine des dénombrements ; aide à l'évaluation des stagiaires pour le projet Simulateur Pédagogique d'Entraînement de Peloton (SPEP), qui vise la conception de modules d'aide aux instructeurs dans le cadre d'une formation professionnelle militaire à base d'exercices sur simulateur d'entraînement collectif, avec quatre simulateurs pleine échelle reliés en réseau.

Pour le second point, relatif à la standardisation et à l'indexation des ressources pédagogiques, avec l'utilisation de technologies XML, les principaux résultats obtenus depuis 2000 comportent, outre l'élaboration de recommandations dans le cadre des groupes de travail de l'AFNOR (vocabulaire et métadonnées, modèles pédagogiques), des synthèses sur l'état de l'art ainsi qu'un module de génération d'interface pour gérer des métadonnées.

## **Perspectives pour les deux prochaines années**

La double compétence IA/RO présente au sein du thème SYSDEF prend maintenant une importance particulière, pour traiter les problèmes complexes qui émergent avec les nouvelles technologies de l'information et de la communication, d'autant plus que cette évolution s'accompagne d'une forte demande industrielle (télécommunications, e-commerce, transports, santé). De plus, sur le plan académique, l'importance qu'occupe désormais la problématique décisionnelle en IA (modélisation des préférences des utilisateurs, recherche heuristique basées sur les préférences, planification dans l'incertain, satisfaction de contraintes et préférences, aide au diagnostic), la prépondérance et la difficulté des problèmes d'optimisation combinatoires dans les activités de recherche d'information ou de commerce électronique ("web access problem", enchères combinatoires) et l'ouverture de la RO vers la prise en compte de structures de préférences complexes (structures incomplètes, critères multiples, modèles non-additifs) motivent une focalisation sur un axe AD/IA/RO, une concentration des forces en présence sur les interactions entre IA et RO pour la résolution de problèmes décisionnels. Autour de cet axe AD/IA/RO, des points d'interactions précis sont déjà identifiés : il s'agit d'une part de systématiser la prise en compte de préférences complexes dans les méthodes de recherche de l'IA et de la RO et d'autre part, de mettre à profit certains outils de l'Optimisation Combinatoire (complexité, approximation) pour la résolution de problèmes de décision. Les échanges entre les équipes décision et combinatoire, déjà reconnues indépendamment l'une de l'autre sur le plan international, devraient donc s'intensifier pour aborder ces nouveaux problèmes vers lesquels la communauté internationale se tourne désormais.

L'équipe systèmes d'aide à la formation, quant à elle, poursuivra ses travaux dans le cadre des projets de conception d'EIAH, en particulier les projets Combien? et SPEP. En outre, elle développera ses activités concernant les problèmes de standardisation et d'indexation de ressources pédagogiques. Dans cette direction, l'équipe formation a engagé une étude de mise en œuvre de métadonnées pour les ressources de l'Université en Ligne (projet national CampuSciences). Elle prévoit de plus d'élaborer et d'utiliser des métadonnées et des ontologies dans le cadre du projet RNTL ACEDU (projet "cartable électronique", commun

avec le thème APA, piloté par Vivendi Universal Education France, démarrage en sept. 2002).