Partie I
Activités de recherche

Chapitre 1
LCR (Logique, Calcul et Raisonnement)

1.1 Membres de l'équipe

(*membres ou, en italique, anciens membres, au 01/01/2007*)

Permanents

	Nom	*Prénom*	*Situation*	*Institution*
	Baillot	Patrick	CR	CNRS
	Boudes	Pierre	MCF	IG
	Boufares	Faouzi	MCF	IUTV
	*Castaing*	*Jacqueline*	MCF	IG
	Choppy	Christine	PU	IG

1.1 Membres de l'équipe

	Coupey	Pascal	PU	IUTV
	Duchamp	Gérard	PU	IG
	Fouqueré	Christophe	PU	IG
	Jacobé de Naurois	Paulin	CR	CNRS
	Klai	Kaïs	MCF	IG
	*Lellahi*	*Kazem*	MCF	IG
	Loddo	Jean-Vincent	MCF	IUTV
	Mayero	Micaela	MCF	IUTV
	Mogbil	Virgile	MCF	IG
	Moyen	Jean-Yves	MCF	IG
	Petrucci	Laure	PU	IUTV
	Schwer	Sylviane	PU	IUTV
	Tollu	Christophe	MCF	IG
	Toumazet	Frédéric	MCF	IUTV
	Vauzeilles	Jacqueline	PU	IG

Doctorants

	Nom	*Prénom*	*Situation*	*Institution*
	Atassi	Vincent	AM	Université Paris 13
	Bertrand	Olivier	CDI	ONERA
	Falempe	Lionel	AM	Université Paris 13
	*Hamdoun*	*Sana*		Université Paris 13
	*Jaff*	*Luai*	B	Université Paris 13
	Kenniche	Hichem	AM	Université Paris 13

personnel temporaire du 1/9/2002 au 1/9/2007

Nom	*Prénom*	*Situation*	*Début*	*Fin*	*Financement*
Jacobé de Naurois	Paulin	ATER	09/2005	09/2006	ATER
Moyen	Jean-Yves	Post-doc	09/2005	09/2006	CNRS (STIC)
Dal Lago	Ugo	Post-doc	05/2006	11/2006	Université Paris 13
Popov	Todor	poste rouge	10/2004	01/2005	CNRS (STIC)
Pulcini	Gabriele	Post-doc	04/2007	03/2008	Région IdF
Mazza	Damiano	Post-doc	09/2006	08/2007	ANR

personnels invités du 1/9/2002 au 1/9/2006 (au moins 1 semaine)[1]

Prénom	*Nom*	*Origine*	*Financement*
2007			
Stefano	Guerrini	Univ. di Roma 1 (Italie)	professseur invité
Gianna	Reggio	Univ. di Genova (Italie)	professseur invité
Max	Kanovich	Queen Mary, Univ. of London (UK)	professseur invité
Kurt	Jensen	Univ. of Aarhus (Danemark)	professseur invité
Michele	Pagani	Univ. di Roma 3 (Italie)	ANR NOCOST
Martin	Hofman	Ludwig-Maximilians-Universität München (Allemagne)	professseur invité
2006			
Kazushige	Terui	NII, Tokyo (Japan)	ANR NOCOST
Cosimo	Laneve	Univ. di Bologna (Italie)	professseur invité
Gianna	Reggio	Univ. di Genova (Italie)	professseur invité
Max	Kanovich	Queen Mary, Univ. of London (UK)	professseur invité
Paolo	Coppola	Univ. d'Udine (Italie)	MCF invité
Gleb	Koshevoy	Labo. Poncelet, Moscou (Russie)	professeur invité
Anne	Haxthausen	Technical Univ. of Denmark	professseur invité
Harry	Mairson	Brandeis University (USA)	Projet ANR No-Cost
Jonathan	Billington	Univ. of South Australia (Australie)	PAI FAST
Charles	Lakos	Univ. of Adelaide (Australie)	PAI FAST professeur invité
Ronald	King	Univ. of Southampton (UK)	professseur invité
2005			
Jonathan	Billington	Univ. of South Australia (Australie)	professseur invité
Charles	Lakos	Univ. of Adelaide (Australie)	PAI FAST
Kazushige	Terui	NII, Tokyo (Japan)	ACI CRISS
Harry	Mairson	Brandeis University (USA)	
Max	Kanovich	Queen Mary, Univ. of London (UK)	professseur invité
Ugo	Dal Lago	Univ. di Bologna (Italie)	ACI CRISS
Marco	Pedicini	CNR IAC Roma (Italie)	projet franco-italien (CNRS)
Gleb	Koshevoy	Labo. Poncelet, Moscou (Russie)	professeur invité
Gianna	Reggio	Univ. di Genova (Italie)	professseur invité
Anne	Haxthausen	Technical Univ. of Denmark	professseur invité
Maritta	Heisel	Univ. Duisburg-Essen (Allemagne)	
2004			
Simone	Martini	Univ. di Bologna (Italie)	professseur invité
Kazushige	Terui	NII, Tokyo (Japan)	ACI CRISS
Marco	Pedicini	CNR IAC, Rome (Italie)	IAC CNR-CNRS
Max	Kanovich	Univ. of Pennsylvania (USA)	professseur invité
Glynn	Winskel	Cambridge Univ. (UK)	professseur invité
Gianna	Reggio	Univ. di Genova (Italie)	professseur invité
Charles	Lakos	Univ. of Adelaide (Australie)	PAI FAST
Jonathan	Billington	Univ. of South Australia (Australie)	Projet ARC
Charles	Lakos	Univ. of Adelaide (Australie)	Projet ARC
Ronald	King	Univ. of Southampton (UK)	professseur invité
2003			
Marco	Pedicini	CNR IAC Roma (Italie)	Projet VINCI
Max	Kanovich	Univ. of Pennsylvania (USA)	professseur invité
Kazushige	Terui	NII, Tokyo (Japan)	AS Mobilité
Alexandre	Zamulin	Acad. des Sciences, Novosibirsk (Russie)	professseur invité
Maritta	Heisel	Univ. de Magdeburg (Allemagne)	professseur invité
Gianna	Reggio	Univ. di Genova (Italie)	professseur invité
Lorenzo	Tortora de Falco	Univ. Rome III (Italie)	Projet VINCI

[1] professeur invité : 1 mois d'invitation par l'université Paris 13

1.1.1 Evolution de l'équipe (permanents)

Départs

- D. Béchet, MCF (thème logique), mutation à Nantes (2004)
- M. Masseron, MCF (thème logique), départ en retraite (2004)
- K. Lellahi, MCF (thème bases de données), départ en retraite (2006)
- J. Castaing, MCF (thème logique), départ en retraite (2007)

Arrivées

- J.-V. Loddo, MCF IUTV (thème logique), 2003 (thèse Paris 7)
- L. Petrucci, PU IUTV (thème spécification), 2003 (auparavant MCF Evry, LSV Cachan)
- M. Mayero, MCF IUTV (thème spécification), 2004 (thèse Paris 6)
- G. Duchamp, PU IG (thème combinatoire), 2004 (auparavant PU Rouen, LIFAR)
- P. Boudes, MCF IG (thème logique), 2005 (thèse Aix-Marseille 2)
- V. Jacobé de Naurois, CR CNRS (thème logique), 2006 (thèse INPL-Hong Kong)
- K. Klai, MCF IG (thème spécification), 2006 (thèse Paris 6)
- J.-Y. Moyen, MCF IG (thème logique), 2006 (thèse INPL)
- *L. Poinsot, MCF IG (thème combinatoire), 2007 (thèse Toulon)*

Après des départs pour convenances personnelles, l'équipe a conservé son potentiel de recherche dans la thématique logique en élargissant ses compétences vers la programmation fonctionnelle (J.-V. Loddo) et l'analyse de la complexité en septembre 2006 (P. Jacobé de Naurois et J.-Y. Moyen). Dans le même temps, elle a véritablement constitué une thématique spécification autour de C. Choppy par les arrivées de L. Petrucci comme professeur et M. Mayero et K. Klai comme MCF. Elle a enfin donné à la thématique combinatoire un professeur (G. Duchamp) qui travaille avec les deux MCF déjà présents, auquel s'ajoutera à la rentrée 2007 un MCF.

1.2 Composante Combinatoire

Participants : G. Duchamp, C. Tollu, F. Toumazet

1.2.1 Thèmes de recherche

L'activité du groupe de combinatoire au cours de la période 2003-2006 peut être répartie en deux pôles qui semblent disjoints et dont les multiples liens n'ont pas encore été exploités : un pôle «Combinatoire et Physique» (G. Duchamp, C. Tollu, F. Toumazet) et un pôle d'«Informatique Théorique» (G. Duchamp).

Les interactions entre combinatoire, informatique et physique ont été, dès la création de notre groupe de travail en 2001, au cœur de nos recherches. Les membres du groupe sont convaincus qu'un important effort en combinatoire se révèlera extrêmement profitable pour une approche algorithmique en physique.

Il est en effet devenu courant de constater que la solution de nombreux problèmes en physique et chimie (classique et quantique) est étroitement liée à la théorie des représentations des groupes et des algèbres, par exemple des algèbres de Lie, c'est-à-dire à la façon dont ces derniers agissent sur des espaces de dimension finie ou infinie. Encore faut-il, dans des applications concrètes, être en mesure de calculer des grandeurs pertinentes caractérisant ces représentations : éléments matriciels, décompositions en irréductibles de produits tensoriels de représentations, traces de représentations irréductibles (*i.e.* caractères), cœfficients de Clebsch-Gordan et de Racah.

C'est à ce niveau que la combinatoire joue un rôle clé, en permettant de décrire explicitement («combinatoirement») des actions de groupes et d'algèbres (de dimension finie ou infinie) qui satisfont des contraintes précises, physiquement pertinentes, ou en fournissant le paramétrage des objets de l'algèbre par des familles de structures combinatoires (diagrammes ou tableaux de Young, graphes, etc.) sujettes aux manipulations élémentaires, donc au calcul effectif. La théorie des fonctions symétriques (*i.e.* invariantes par permutation des variables) en offre une brillante et classique illustration : on travaille dans des bases orthogonales explicites[2] (par exemple les fonctions de Schur) paramétrées par des diagrammes de Young, et la combinatoire des tableaux de Young permet de mener des calculs sans de coûteux développements en monômes. C'est d'ailleurs sur l'utilisation de telles familles de polynômes (symétriques) orthogonaux que reposent les algorithmes calculant les objets (facteurs irréductibles, caractères, etc.) mentionnés à la fin du paragraphe précédent, quand ces algorithmes existent (essentiellement, dans le cas des groupes finis et des groupes de Lie compacts).

- **Mécanique des matrices infinies**

Cette activité, initiée par la combinatoire de l'ordre normal bosonique, est fortement inspirée par la «mécanique des matrices» de Werner Heisenberg. En effet, il est connu qu'il n'existe aucune représentation (fidèle) de l'algèbre de Weyl (même à deux dimensions) par des opérateurs bornés (donc aucune représentation de dimension finie). La première telle représentation est dans un espace de Fock de dimension infinie. C'est ce même espace de Fock qui est utilisé pour trouver l'ordre normal de puissances d'opérateurs homogènes, i.e. du type

$$\Omega = \sum_{w\in W_2,\ |w|_{a^+}-|w|_a=e} \alpha_w w \tag{1.1}$$

[2] entre lesquelles des formules effectives de changement de base existent.

où w est un produit d'opérateurs $a^+, a \in W$ et W est l'algèbre de Weyl de dimension 2.

On voit facilement que, selon que l'excès (le degré diraient les mathématiciens) $e = r - s$ est positif ou négatif, on a pour forme normale de Ω^n,

$$(a^+)^{ne}\left(\sum_{k=0}^{\infty} S_\Omega(n,k)(a^+)^k a^k\right) \text{ ou } \left(\sum_{k=0}^{\infty} S_\Omega(n,k)(a^+)^k a^k\right)(a)^{n|e|}. \tag{1.2}$$

L'étude des matrices infinies $S_\Omega(n,k)$ et de leurs implications combinatoires a occupé G. Duchamp et ses collaborateurs physiciens dans les travaux [RI-2, RI-14, CI-13, CI-29].

L'article [CI-13] fait le lien entre les représentations de Bargmann-Fock d'opérateurs homogènes à une annihilation et les champs de vecteurs sur la droite. On a en fait l'action d'un groupe de Lie fréchetique sur les fonctions développables en série de Taylor. Les sous-groupes à un paramètre de ce groupe étant déterminés par leur vecteur tangent (qui est une «fonction»), on obtient le calcul des cœfficients des matrices associées par une intégration élémentaire. On voit alors que ces matrices sont stables par substitution et multiplication (propriété dite «de Sheffer» par les combinatoristes [RI-15, CI-29]), ce qui donne un éclairage analytique à la composition des graphes (de type «Grafting» [RI-15, CI-28]).

- **Algèbres de Hopf, déformations**

Dans une publication relativement récente, Bender, Brody et Meister introduisent une théorie des champs spéciale décrite par une formule du produit (un produit de Hadamard sur les fonctions génératrices exponentielles) pour montrer que certaines suites de nombres peuvent être décrites par des règles appliquées à des types de diagrammes de Feynman. Ces diagrammes étiquettent des monômes en deux alphabets, que l'on peut nommer potentiel et action, lorsque les fonctions génératrices couplées ont pour terme constant 1. Les structures discrètes mises au point par l'informatique théorique (combinatoire des mots) qui ont été employées pour développer la théorie des Fonctions Symétriques Non-Commutatives (NCSF III et VI) réinterviennent ici et la théorie des déformations d'algèbres de Hopf met en correspondance, comme l'ont montré G. Duchamp et ses collaborateurs physiciens, l'algèbre de Hopf déformée des diagrammes de type Feynman étiquetés ($LDIAG(q_c, q_s, t)$, dans laquelle on garde la trace des superpositions q_s et des croisements q_c) avec les travaux récents de Connes et Kreimer par l'intermédiaire de l'algèbre des arbres planaires de Foissy.

D'autre part, le fait que ces algèbres sont libres a deux conséquences. La première est que l'on peut constuire une véritable déformation de Hopf (le paramètre t de $\mathbf{LDIAG}(q_c, q_s, t)$) entre **LDIAG** et **MQSym** (fonctions symétriques non commutatives matricielles). La deuxième est que leurs duaux de Sweedler (souvent considérés comme trop gros par les spécialistes et malcommodes à manipuler) sont calculés à l'aide d'un théorème de Kleene-Schützenberger modifié. Ce théorème donne la structure des fonctions reconnues par des automates à multiplicités [RI-4, RI-8, CI-23, CI-24] lorsque l'alphabet de commande est infini. Ceci est le véritable lien entre ces structures de pure combinatoire algébrique et la théorie des automates. Un article sur ce sujet, "Sweedler's dual and Schützenberger's calculus", par G. Duchamp et C. Tollu, est prêt à être soumis à l'automne 2007.

L'algèbre **LDIAG** et sa déformation $\mathbf{LDIAG}(q_c, q_s)$ peuvent aussi, comme toute une famille d'algèbres de Hopf dont les bases sont indexées aux matrices tassées d'entiers ou d'ensembles d'entiers, être réalisées sur des bimots. Cette réalisation combinatoire permet de mettre en évidence une structure de bigèbre bidendriforme sur **MQSym**, de laquelle découlent nombre de propriétés de structure importantes : liberté, co-liberté, structure de Lie des éléments primitifs [CI-45].

- **Multiplicités et combinatoire des polytopes**

C. Tollu et F. Toumazet étudient, en collaboration étroite avec R.C. King (université de Southampton, Royaume-Uni), le comportement, sous l'action de transformations combinatoires, de nombres qui apparaissent à de multiples reprises en algèbre (dimension de l'espace des vecteurs invariants du produit de trois représentations) en géométrie (calcul de Schubert) et en physique (états d'énergie résultant de l'interaction de plusieurs oscillateurs harmoniques).

En physique, les représentations irréductibles (polynômiales) de dimension finie du groupe général linéaire $GL_n(\mathbb{C})$ ou du groupe unitaire $U(n)$ jouent un rôle de premier plan. Il est connu de longue date qu'elles sont paramétrées par les partitions contenant au plus n parts, *i.e.* les suites d'entiers $\lambda_1 \geq \cdots \geq \lambda_n \geq 0$. La combinatoire de ces représentations est intimement liée à des nombres entiers positifs ou nuls, appelés cœfficients de Littlewood-Richardson. Ces nombres correspondent à des multiplicités dans la décomposition en représentations irréductibles du produit tensoriel de deux représentations polynômiales ; partant, ils apparaissent aussi comme constantes structurelles de l'algèbre des fonctions symétriques si la base choisie est celle des fonctions de Schur, qui «sont" les caractères irréductibles de $GL_n(\mathbb{C})$. Les nombres de Littlewood-Richardson, notés $c^{\nu}_{\lambda,\mu}$, sont paramétrés par trois partitions λ, μ et ν ; dans de nombreux contextes, il est primordial, sinon de calculer exactement un (ou plusieurs) $c^{\nu}_{\lambda,\mu}$, du moins d'avoir des informations précises (nullité du cœfficient, encadrement précis de sa valeur). La règle de Littlewood-Richardson permet de calculer $c^{\nu}_{\lambda,\mu}$ pour tout triplet de partitions fixé, mais le coût de cet algorithme devient prohibitif dès que la taille et le poids des partitions deviennent grands.

Récemment, Knutson, Tao (et Woodward) ont fait des avancées spectaculaires[3] grâce à deux nouveaux modèles combinatoires pour les cœfficients de Littlewood-Richardson, celui des ruches (*hives*) et celui des nids d'abeilles (*honeycombs*), qui font clairement apparaître que les cœfficients de Littlewood-Richardson comptent les points à coordonnées entières dans des polytopes (ensembles convexes bornés de l'espace euclidien). Ils ont montré d'une part, que $c^{\nu}_{\lambda,\mu} = 0$ si et seulement si la dilatation $c^{N\nu}_{N\lambda,N\mu}$ (ici, chaque part de λ, μ et ν est multipliée par l'entier $N > 0$) est nulle (conjecture de saturation), d'autre part, que $c^{\nu}_{\lambda,\mu} = 1$ si et seulement si $c^{N\nu}_{N\lambda,N\mu} = 1$ (conjecture de Fulton-Kirillov). Dans le prolongement de ces travaux, King, Tollu et Toumazet ont étudié les relations entre $c^{\nu}_{\lambda,\mu}$ et $c^{N\nu}_{N\lambda,N\mu}$ quand le cœfficient de base $c^{\nu}_{\lambda,\mu} > 1$. Ils ont accumulé assez de données expérimentales[4] pour proposer et étayer une nouvelle conjecture, qui généralise tous les résultats des travaux décrits ci-dessus.

Conjecture 1 *[CI-10] Le nombre $c^{N\nu}_{N\lambda,N\mu}$ est un polynôme en N à cœfficients rationnels positifs dont le terme constant vaut 1 et dont le degré est donné par la dimension d'un polytope associé à $c^{\nu}_{\lambda,\mu}$.*

Dans [CI-10], cette conjecture est demontrée dans deux cas particuliers, (i) celui où la longueur des partitions spécifiant $c^{\nu}_{\lambda,\mu}$ est inférieure à 5, et (ii) celui où l'une des deux partitions λ, μ est une équerre.[5]

[3] Voir A. Knutson and T. Tao, «The honeycomb model of $GL_n(\mathbb{C})$ tensor products. I : Proof of the saturation conjecture", *J. Amer. Math. Soc.* **12** (1999) 1055-1090, et A. Knutson, T. Tao and C. Woodward, «The honeycomb model of $GL_n(\mathbb{C})$ tensor products. II : Puzzles determine facets of the Littlewood-Richardson cone", *J. Amer. Math. Soc.* **17** (2004) 19-48.

[4] Des calculs MAPLE et surtout SCHUR ont été effectués pour des valeurs de $N|\nu|$ de l'ordre de 500, ce qui représente plusieurs centaines d'heures de calcul. Auparavant, les calculs n'avaient été menés que pour des données à peu près dix fois plus petites.

[5] La polynômialité des $c^{N\nu}_{N\lambda,N\mu}$ a été depuis démontrée par E. Rassart.

Cette conjecture en entraîne une similaire portant sur d'autres nombres, les nombres de Kostka, $K_{\lambda\beta}$, qui donnent la multiplicité de l'espace de poids β dans la représentation irréductible paramétrée par la partition λ.

Conjecture 2 *[CI-10] Le nombre $K_{N\lambda,N\beta}$ est un polynôme en N à cœfficients rationnels positifs dont le terme constant vaut 1 et dont le degré est donné par la dimension d'un polytope associé à $K_{\lambda,\beta}$.*

En adaptant le modèle des ruches aux nombres de Kostka, King, Tollu et Toumazet ont aussi montré comment décomposer les polynômes $P_{\lambda\beta}(t) = K_{t\lambda,t\beta}$ en facteurs «primitifs» et déterminer une suite de facteurs linéaires $(t+m)$. Quant au degré de ces polynômes, ils ont obtenu une formule close et aisément calculable, qui donne un nouveau majorant, nettement plus bas que le majorant évident donné par la dimension de l'espace ambiant dans lequel le polytope est plongé [CI-18, RI-20]. Dans le cas où $P_{\lambda\beta}(t)$ est un polynôme primitif, ce majorant est toujours atteint[6].

Certains de ces résultats ont été généralisés aux cœfficients de Littlewood-Richardson (critère combinatoire pour la factorisation des polynômes $P^{\nu}_{\lambda\mu}(t) = c^{t\nu}_{t\lambda,t\mu}$, détermination d'une suite de facteurs linéaires), même si d'autres généralisations semblent aujourd'hui hors de portée [CI-10, RI-19]. Une publication sur ce sujet, "The factorisation of Littlewood-Richardson coefficients" par R.C. King, C. Tollu et F. Toumazet, est soumise à *J. Comb. Th. A*.

Tous ces résultats sont actuellement exploités pour le développement d'algorithmes distribués permettant de calculer les nombres $K_{\lambda\beta}$ et $c^{\nu}_{\lambda,\mu}$. Les performances des protocoles mis au point au LIPN se comparent favorablement à celles d'un sytème comme `LaTTe` (UC Davis, États-Unis) [CI-30]. Les possibilités de parallélisation sont prometteuses et méritent d'être mieux prises en compte, car il est vain d'espérer des algorithmes séquentiels efficaces pour des nombres $K_{\lambda\beta}$ et $c^{\nu}_{\lambda,\mu}$ associés à des partitions de grands poids : le calcul de ces nombres est $\#P$-complet[7].

- **Invariants et information quantique**

F. Toumazet, en collaboration avec J.-G. Luque et J.-Y. Thibon (Laboratoire d'informatique de l'Institut Gaspard Monge, université de Marne-la-Vallée) est engagé dans un projet de classification des états intriqués *via* le calcul d'invariants pour les hyperdéterminants.

L'intrication, propriété des systèmes quantiques, a été étudiée depuis longtemps, et remonte aux travaux de Schrödinger. Elle s'est récemment distinguée avec l'avènement de travaux théoriques sur le calcul quantique et d'autres phénomènes purement quantiques. Aujourd'hui, des mesures et des critères théoriques ne sont connus que pour les systèmes les plus simples, bien que des progrès aient été récemment accomplis dans cette direction.

En fait, il n'existe même aucune définition universellement acceptée pour les systèmes de plus de deux particules, et la recherche d'une bonne définition constitue un préalable à la détermination de mesures utilisables. En effet, l'intrication est l'une des caractéristiques fondamentales qui distinguent les systèmes quantiques du monde classique, et par là même une propriété physique importante à comprendre.

C'est aussi une ressource importante dans la théorie de l'information quantique, jouant un rôle vital dans la cryptographie quantique et la communication quantique, par exemple.

[6] Cela a été confirmé par T. McAllister, «Degrees of stretched Kostka coefficients", ArXiv :`math.RT/0603173`.

[7] Ce résultat a été publié dans H. Narayanan, «The computation of Kostka numbers and Littlewood-Richardson coefficients is $\#P$-complete», ArXiv :`math.CO/0501176`.

Dans le calcul quantique par états purs, il a été montré qu'une accélération exponentielle pour certains problèmes n'est possible qu'avec une intrication suffisante.

Toutefois, il reste de nombreuses questions ouvertes, concernant en particulier les systèmes à états mixtes.

Des travaux récents sur l'intrication d'unités quantiques de dimensions supérieures (qudits), particulièrement les qutrits, ont de plus montré que de tels systèmes peuvent exhiber de nouvelles propriétés telles que la non-localité quantique sans intrication, et de plus fortes violations des inégalités de Bell. Les implications de ces travaux ne sont pas encore complètement comprises.

Des méthodes basées sur la théorie des groupes peuvent être avantageusement utilisées dans ce contexte, et c'est dans cet esprit que ce travail est mené.

Ainsi, depuis sa découverte théorique, en 1935 par Einstein, Podolsky et Rosen l'intrication a fait l'objet de nombreuses investigations. La connaissance d'une classification des états intriqués devrait permettre de tirer profit des propriétés des systèmes quantiques de particules afin de construire des applications nouvelles. L'idée de recourir à la théorie de Mumford dans ce contexte a été proposée en Juin 2002 par Alexander Klyachko. Le but de l'opération est d'identifier les invariants pertinents susceptibles d'une définition uniforme, et d'évaluer l'utilité des critères accessibles à la théorie géométrique des invariants de Hilbert et Mumford, dont le but est de remédier à l'impossibilité des calculs explicites.

Luque, Thibon et Toumazet ont déjà obtenu des résultats sur les invariants des 4-qubits, 3-qutrits et 5-qubits ainsi que sur les invariants unitaires des systèmes purs de k-qubits (les invariants unitaires interviennent dans la construction de mesures d'intrication) [RI-18*].

- **Calcul formel pour la physique**

L'étude systématique des propriétés des groupes et algèbres de Lie, leurs applications à la chimie, la physique, les mathématiques, a conduit à l'élaboration de nombreux outils de calculs symboliques dans différents types de langage de calcul formel (bibliothèques de John Stembridge sous MAPLE, bibliothèque `combinat` sous MUPAD etc). Une autre alternative fut le développement d'environnements spécifiques tels LIE ou encore GAP. Ces outils, très efficaces, sont aussi très lourds à mettre en œuvre et tout en se spécialisant dans leurs domaines mathématiques, ils n'offrent pas toujours les fonctions de base liées à l'utilisation des fonctions symétriques, très utiles dans l'étude systématique des représentations polynômiales des groupes et algèbres de Lie. Dans ce cadre, F. Butelle (LIPN, équipe OCAD) et F. Toumazet ont décidé (avec R.C. King, Université de Southampton) de poursuivre le développement du programme SCHUR, important outil de calcul permettant la manipulation des objets combinatoires les plus usuels. Ce programme, initialement développé à la fin des années 70 par B. G. Wybourne et ses étudiants du département de physique de l'université de Christchurch (Nouvelle-Zélande), a été commercialisé dans les années 80. Devenu confidentiel et à usage privé dans les années 90 (un très petit cercle autour de son auteur), il a subi d'importantes phases de changement comme sa traduction en C et l'addition de nombreuses fonctionnalités, ajoutées année par année suivant les derniers développements scientifiques dans le domaine de la combinatoire algébrique.

Après le décès de B.G. Wybourne, ses amis physiciens et combinatoristes ont souhaité continuer à faire vivre le programme SCHUR. Le logiciel SCHUR vient d'être diffusé en GPL sur le site Sourceforge (http ://schur.sourceforge.net). Avant cette publication, le code C a été naturellement complètement remanié, rendu plus lisible et amendable par la communauté du logiciel libre. En outre, il est livré avec une importante documentation (environ 230 pages) et un ensemble d'exemples permettant de valider et de comprendre le fonctionnement du logiciel. Actuellement compilé pour Linux et Windows, une version

pour MacOS X est en cours de préparation. Ce programme, de par sa taille modeste, peut s'exécuter sur de nombreuses machines et ne nécessite pas de configuration très importante pour fonctionner (du moins pour les fonctionnalités de base). Avec plus de 200 fonctions, il permet outre les manipulations standards sur les fonctions symétriques, de nombreux calculs sur les représentations des groupes et algèbres de Lie de tout type ainsi que sur les représentation du groupe symétrique et dans une moindre mesure des algèbres de Hecke.

Ainsi, SCHUR est un outil puissant, et malgré tout léger, spécialement efficace pour examiner de nouvelles conjectures en théorie des représentation des groupes (compacts comme non compacts). Il est aussi utile pour chercher de nouvelles identités sur les fonctions symétriques et valider ou invalider des conjectures. Pour citer quelques exemples, mentionnons que SCHUR a permis les premiers calculs pour chercher à établir de nouvelles récurrences permettant le calcul des puissance des q déterminants de Vandermonde [RI-3], d'obtenir les critères précis concernant les produits génériques pour les groupes symplectiques réels (produits de représentations de dimension finie par des représentations de dimension infinie) [CI-27] ou encore de trouver les premiers polynômes associés à la dilatation des cœfficients de Littlewood-Richardson ou des nombres de Kostka [CI-30, CI-10, CI-18].

A ce sujet et pour terminer, à chaque prise en compte de nouveaux résultats, les algorithme sont amendés et il est prévu d'implémenter très prochainement le modèle des ruches de Knutson-Tao dans SCHUR, jusqu'à présent uniquement utilisé dans des programmes MAPLE, et de l'utiliser pour faire du calcul distribué.

- **Automates (à multiplicités)**

La théorie des automates à multiplicités telle qu'elle est exposée dans le livre de S. Eilenberg «Automata, Languages and Machines» est due essentiellement à Schützenberger et à son école. Il s'agit d'une véritable généralisation de la théorie classique puisqu'en variant les scalaires on peut obtenir les automates booléens, stochastiques (chaînes de Markov), plus courts chemins et transducteurs. Les scalaires les plus généraux doivent être pris dans un semi-anneau (généralisation des anneaux où on ne demande pas qu'il y ait une opération de «passage à l'opposé»). La structure de donnée adaptée au calcul dans les algèbres à cœoefficients dans les semi-anneaux est celle de table (avec les réécritures adéquates) [CI-23]. D'autre part, la structure de données adaptée au calcul rationnel est celle de classe d'expressions rationnelles selon des congruences assez grossières pour permettre des résultats de décidabilité [RI-4]. Enfin, les phénomènes de chemins infinis (cycliques) sont concentrés dans les problèmes d'étoile qui se formulent naturellement dans les automates quand on a rajouté une transition dont le symbole (ϵ) doit être supprimé dans l'étiquetage des chemins [RI-8]. Enfin, lorsque le semi-anneau des scalaires est un corps (de caractéristique nulle ou positive), on peut minimiser les automates grâce à des arbres couvrant leur graphe. Ces arbres sont indexés par des codes suffixes. Ceci permet de casser les fonctions booléennes de la cryptographie de façon compatible avec la permutation de leurs variables [CI-24].

- **Systèmes Complexes**

Sans pouvoir donner une définition formelle des Systèmes Complexes, on peut essayer de donner une idée de cette théorie fascinante grâce à l'étymologie, comme le fait, par exemple, l'article «Systèmes Complexes» de Wikipédia.

`http ://fr.wikipedia.org/wiki/Système_complexe`

«Étymologiquement, compliqué (du latin cum pliare, empiler avec) signifie qu'il faut du temps et du talent pour comprendre l'objet d'étude, complexe (du latin cum plexus,

attaché avec) signifie qu'il y a beaucoup d'intrications, que "tout est lié" et que l'on ne peut étudier une petite partie du système de façon isolée.»

La théorie des systèmes complexes a de multiples aspects. Le cadre de certains pans de celle-ci, comme la théorie du chaos et celle des systèmes dissipatifs en physique (et encore quand la dissipation est une fonction linéaire) sont relativement stabilisés. D'autre fragments de théorie restent à construire ; il s'agit ici de *science descriptive* allant de la phénoménologie pure ([CO-30], en collaboration avec l'Inserm) à la description de dynamiques, d'espaces de phases et de métriques sur ceux-ci [RI-21*, CO-1*] ou à la proposition de changements de point de vue [CI-19, CL-2].

Ici, G. Duchamp s'est employé dans trois directions : les algorithmes génétiques sur des populations d'automates à multiplicités [CI-34], les structures de données dynamiques [RI-21*] et les bases de donnes géographiques [CI-19, CL-2].

1.2.2 Pespectives de recherche

G. Duchamp intensifie sa collaboration avec les physiciens et poursuit ses travaux sur les déformations des algèbres de Hopf de diagrammes de Feynman. On espère en particulier des résultats nouveaux sur les liens qui existent entre algèbres de Hopf combinatoires qui apparaissent comme des spécialisations de $\mathbf{LDIAG}(q_c, q_s, t)$, leur combinatoire et leur algorithmique. Il espère aussi approfondir ses travaux sur les systèmes complexes et les connecter à ses autres axes de recherche.

C. Tollu et F. Toumazet poursuivent leur collaboration avec R.C. King sur le thème «Multiplicités et combinatoire des polytopes". Les méthodes qui ont permis les récents progrès sur la factorisation des cœfficients de Littlewood-Richardson vont être étendues à des multiplicités apparaissant dans la combinatoire des tours d'algèbres dont le diagramme de Bratteli (ou graphe de branchement) est proche du graphe de Young (diagramme de Hasse des partitions d'entiers ordonnées par l'inclusion). La combinatoire et l'analyse spectrale de ces graphes de branchement sera aussi un des thèmes de recherche d'Hayat Cheballah, qui commence une thèses de doctorat au LIPN, sous la direction de G. Duchamp et C. Tollu, en septembre 2007.

F. Toumazet se propose de continuer les investigations avec J.-G. Luque et J.-Y. Thibon sur le thème «Calcul d'invariants pour l'information quantique". En particulier, ils s'intéresseront aux liens existant entre la théorie des invariants des petits systèmes et la notion d'algèbre de Lie graduée. En effet, des groupes de réflexions complexes apparaissent dans l'étude de certains petits systèmes quantiques. Ce phénomène peut s'expliquer via la notion de groupe de Weyl des algèbres de Lie graduées découverte par Vinberg en 1975. Il est opportun d'appliquer cette théorie aux systèmes de 4-qubits.

Enfin, le développement du logiciel SCHUR occupera F. Toumazet (en collaboration avec F. Butelle).

1.2.3 Diffusion de la recherche

- **Evaluation de la recherche**

comités de programmes

- *Jordan International Conference on Computer Sciences and Engineering*, octobre 2004, Al-Balqa Applied University, Al-Salt, Jordanie ; G. Duchamp (International Advisory Committee)
- *EPNADS'2005, Emergent Properties in Natural and Artificial Dynamical Systems, workshop of the European Conference on Complex Systems*, http://complexsystems.lri.fr/, novembre 2005, Paris, France ; G. Duchamp (comité scientifique)

- *12th IEEE ICECS'2005 : International Conference on Electronics Circuits and Systems*, Gammarth, Tunisie, décembre 2005 ; G. Duchamp (comité de programme)
- *CoSSoM'06 Workshop, Complex Systems and Self-organization Modelling within ESM'2006*, octobre 2006, Toulouse, France ; G. Duchamp (comité de programme)
- *EPNACS'2005, Emergent Properties for Natural and Artificial Complex Systems, workshop of the European Conference on Complex Systems*, octobre 2007, Dresden, Allemagne ; G. Duchamp (comité d'organisation)
- *CoSSoM'07 Workshop, Complex Systems and Self-organization Modelling within ESM'2007*, octobre 2007, St Julian's, Malte ; G. Duchamp (comité d'organisation)
- *SSPCM'2007, Symmetry and Structural Properties of Condensed Matter*, Myczkowce, Pologne ; G. Duchamp (International Advisory Committee)

- **Organisation de la recherche**

organisation d'événements scientifiques et conférences **Conférences et workshops internationaux**

- (G. Duchamp et F. Toumazet) : *Complex Systems and Self-organization Modelling (ESM)*, LAAS, Toulouse, France, October 23-25th, 2006.
- (G. Duchamp) : *Modeling, Computation and Systems (IEEE-ICECS)*, Gammarth, Tunisie, December 11-14th, 2005.
- (G. Duchamp) : *EPNADS'05 Workshop (ECCS'O5)*, Paris, France, November 17th, 2005
- (G. Duchamp) : *Simulation, Evaluation and Graphics (JICCSE)*, Al-Balqa'Applied University, Al-Salt, Jordan, October 4-10th, 2004.

Conférences et workshops nationaux

- (G. Duchamp, C. Tollu, F. Toumazet) : IXe Journées du LIPN, "Combinatoire, informatique et physique", 26-27 mai 2003, Villetaneuse, 50 participants

Groupes de travail À la rentrée 2001, a été lancé un groupe de travail «Combinatoire, Informatique et Physique» tant il semblait important de fédérer les collaborations que nous pouvions avoir sur ces trois thèmes (qui s'interpénètrent) au Havre (Informatique), Marne-la-Vallée (Combinatoire), Jussieu (Physique). Le groupe de travail est devenu en 2002 le séminaire CIP (Combinatoire, Informatique & Physique, avec D. Barsky, C. Tollu et F. Toumazet) complémentaire des rencontres du CSCA (à Rouen), du Havre et le groupe de travail de Combinatoire Algébrique (à Marne-la-Vallée). Ce séminaire nous permet de tisser également des liens avec le LPTL (Laboratoire de Physique théorique des Liquides, Paris VI).
Notre but est de proposer un suivi des sujets de recherche en combinatoire (programmes, dynamique et interfaces), mais aussi d'améliorer la synergie de recherche "en réseau" qui existe déjà entre les Universités mentionnées plus haut. Nous tenons, comme ci-dessus à attirer l'attention du lecteur sur le fait que la division en deux paragraphes "Informatique" et "Combinatoire et Physique" ne doit pas faire perdre de vue l'interpénétration profonde de ces trois disciplines.
En outre, il s'avère depuis peu que l'Analyse Fonctionnelle (et donc sa Combinatoire : fonctions spéciales et représentations) peut tisser des liens avec la Logique par le biais de la *Géométrie de l'Interaction* (programme de recherche lancé par J.-Y. Girard, dont un des axes est l'interprétation de la logique dans des algèbres d'opérateurs). Nous avons mis en place, à cet effet, un groupe de travail, le GTH (Groupe de Travail "Hilbert") dont les ambitions sont de mélanger les niveaux de collaboration (exercices informels, exposés et rédaction de pans de théorie).

- **Dissémination**

G. Duchamp a donné une mini-conférence sur le thème «Combinatoire, informatique et physique : des liens anciens et étroits» pour la fête de la science en Ile-de-France (Savante banlieue, 13-14 octobre 2005).

- **Collaborations et Invitations**

Invitations à l'étranger

- G. Duchamp a été invité à faire des séjours de recherche à New-York, à Moscou, en Jordanie, à Cracovie (Institut de Physique Nucléaire).
- G. Duchamp et C. Tollu ont été invités a faire un séjour de recherche à l'université indépendante de Moscou (laboratoire Poncelet, UMI CNRS) en novembre 2006.
- G. Duchamp et C. Tollu ont été conférenciers invités au colloque "Combinatorics and Physics", organisé à l'Institut Max-Planck de Bonn en mars 2007.

Autres séjours à l'étranger

- F. Toumazet a séjourné plusieurs au Cameroun pour le lancement de collaborations de recherche avec différentes universités - Dschang, Douala et l'Ecole polytechnique de Yaoundé -, et la préparation d'un colloque informatique à Douala en mars/avril 2007 ; il a aussi fait un séjour de recherche à l'université de Southampton (Royaume-Uni) et un à l'université Nicolas Copernic de Torun (Pologne) ;
- C. Tollu a fait plusieurs séjours de recherche à l'université de Southampton.

1.2.4 Activités doctorales

Cours de DEA / Master 2 recherche

- 2005-2007 (G. Duchamp, C. Tollu) : "Calcul symbolique et fonctions spéciales" (24h), Master 2 recherche Mathématiques-Informatique de l'Institut Galilée.
- 2005-2007 (G. Duchamp) : "Calcul Formel et Systèmes Complexes", Master 2 Recherche MIASC (Mathématiques et Informatique Appliquées aux Systèmes Complexes) de l'Université du Havre.

Thèses en cours

Nom	Prénom	1ère insc	Situation		
		Titre		*Directeur*	*Co-encadrant*
NZEUTCHAP	Janvier	2005	ATER Rouen		
		Dualité de graphes gradués et correspondance de Robinson-Schensted généralisée		*F. Hivert (Rouen)*	*F. Toumazet*
CHEBALLAH	Hayat	2007	Allocataire Ministère		
		Combinatoire des graphes de transition		*G. Duchamp*	*C. Tollu*
KENNICHE	Hichem	2007	Allocataire Ministère		
		Combinatoire des mots circulaires		*C. Lavault*	*G. H. E. Duchamp*
GHNEMAT	Rawan	2007			
		Complex Systems Modeling for Geographic Information Systems		*C. Bertelle*	*G. H. E. Duchamp*

Jurys de thèses et d'HdR

- G. Duchamp a été examinateur de 3 thèses et de 1 Habilitation à Diriger des Recherches.

1.2.5 Publications principales

Chapitres de livres

2006 [BD3] H. Kadri-Dahmani, C. Bertelle, G.H.E. Duchamp et A. Osmani. *Consistent Updating of Geographical DataBase as Emergent Property over Influence System*, M. A. Aziz-Alaoui et C. Bertelle, éditeurs, *Emergent Properties in Natural and Artificial Dynamical Systems*. Understanding Complex Systems. Springer, 2006, ISBN 978-3-540-34822-1.

Articles dans des revues internationales avec comité de lecture sélectif

[RI-10*] L. Jaff, G.H.E. Duchamp et C. Bertelle. Shift operators and complex systems. *Int. Journal of Modeling, Identification and Control*, 2006.

[KTT-Kostka-SLC] R. C. King, C. Tollu et F. Toumazet. The hive model and the factorisation of kostka coefficients. *Séminaire Lotharingien de Combinatoire*, 54A :22 pages, 2006.

[KTW-LR-SLC] R. C. King, C. Tollu et F. Toumazet. The hive model and the polynomial nature of stretched Littlewood-Richardson coefficients. *Séminaire Lotharingien de Combinatoire*, 54A :19 pages, 2006.

[RI-7*] J.-G. Luque, J.-Y. Thibon et F. Toumazet. Unitary invariants of qubit systems. *Mathematical Structures in Computer Science*, page 19 pages, 2006. À paraître.

2005 [GOF8] P. Blasiak, A. Horzela, K. A. Penson, G. H. E. Duchamp et A.I. Solomon. Normal ordering via substitutions and Sheffer-type polynomials. *Phys. Lett. A*, 338 :108–, 2005.

[GOF7] P. Blasiak, K.A. Penson, A.I. Solomon, A. Horzela et G.H.E. Duchamp. Some useful combinatorial formulas for bosonic operators. *J. Math. Phys.*, 46 :052110–, 2005.

[DHKL] G. Duchamp, Hatem Hadj Kacem et Eric Laugerotte. Algebraic elimination of ϵ-transitions. *Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science*, 7(1) :51–70, 2005.

2004 [DC1] G. Duchamp et J.-M. Champarnaud. Derivatives of rational expressions and related theorems. *Theoretical Computer Science*, 313(1) :31–44, 2004.

[KTW-vdM] R. C. King, F. Toumazet et B. G. Wybourne. The square of the Vandermonde determinant and its q-generalisation. *J. Phys. A : Math. Gen.*, 37 :735–767, 2004.

[GOF1] K.A. Penson, P. Blasiak, G. Duchamp, A. Horzela et A.I. Solomon. Hierarchical Dobiński-type relations via substitution and the moment problem. *J. Phys. A : Math. Gen.*, 37 :3457–, 2004.

Communications dans des conférences internationales avec comité de lecture

2007 [DLNTT-fpsac] G.H.E.D. Duchamp, J.-G. Luque, J.-C. Novelli, C. Tollu et F. Toumazet. Hopf algebras of diagrams. *Proceedings of FPSAC'07*, Tianjin, China, 2007.

2006 [BD1] R. Ghnemat, K. Khatatneh, S. Oqeili, C. Bertelle et G.H.E. Duchamp. Automata-based adaptive behavior for economic modeling using game theory. M.A. Aziz-Alaoui et C. Bertelle, éditeurs, *Emergent Properties in Natural and Artificial Dynamical Systems*, Understanding Complex Systems series, pages 173–185, Gammarth, Tunisia, 2006. Springer.

[NTB-Torun] J. Nzeutchap, F. Toumazet et F. Butelle. Kostka numbers and Littlewood-Richardson coefficients : distributed computation. R.C. King, M. Bylicki et J. Karwowski, éditeurs, *Symmetry, Spectroscopy and SCHUR, Proc. Prof. Brian G. Wybourne Commemorative Meeting*, Torun, Poland, 2006. Nicolaus Copernicus University Press.

[GOF9] K. A. Penson, P. Blasiak, G. Dattoli, G. H. E. Duchamp, A. Horzela et A. I. Solomon. Monomiality principle, Sheffer-type polynomials and the normal ordering principle. *Journal of Physics : Conference Series, SSPCM'05*, volume 30, pages 86–97, Myczkowce, Poland, 2006. IoP.

[GOF2] A.I. Solomon, P. Blasiak, G. Duchamp, A. Horzela et K.A. Penson. Combinatorial physics, normal order and model Feynman graphs. B. Gruber, G. Marmo et N. Yoshinaga, éditeurs, *Proceedings of the Symposium Symmetries in Science XIII*, pages 150–166, Bregenz, Austria, 2006. Kluwer Academic Publishers.

[Tou-Torun] F. Toumazet. Characterization of generic products in $Sp(2n, R)$ and $SO^*(2n)$. R.C. King, M. Bylicki et J. Karwowski, éditeurs, *Symmetry, Spectroscopy and SCHUR, Proc. Prof. Brian G. Wybourne Commemorative Meeting*, Torun, Poland, 2006. Nicolaus Copernicus University Press.

2005 [BFCA05] G. H. E. Duchamp, H. Hadj-Kacem et E. Laugerotte. On the decomposition of boolean functions. J.-F. Michon, P. Valarcher et J.-B. Yunès, éditeurs, *Proceedings of BFCA'05 Conference, March 7–8, 2005 Rouen, France*, pages 115–128. Universités de Rouen et du Havre, 2005.

[DKB] G. H.E. Duchamp, K. Khatatneh et C. Bertelle. Rewriting tables and memorized semirings. Noureddine Boudriga et Mohammad S. Obaidat, éditeurs, *Proc. of the 12th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems*, Gammarth, Tunisia, 2005. IoP.

[KBDO] H. Kadri-Dahmani, C. Bertelle, G. H.E. Duchamp et A. Osmani. Evolutive complex scheduling in interaction networks for quality improvment in geographical data base updating. Noureddine Boudriga et Mohammad S. Obaidat, éditeurs, *Proc. of the 12th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems*, Gammarth, Tunisia, 2005. IoP.

[KTT-fpsac] R. C. King, C. Tollu et F. Toumazet. The hive model and the factorisation of Kostka coefficients. *Proceedings of FPSAC'05*, pages 721–732, Taormina, Italy, 2005.

2004 [GOF4] G. Duchamp, K.A. Penson, A.I. Solomon, A. Horzela et P. Blasiak. One-parameter groups and combinatorial physics. J. Govaerts, M. N. Hounkonnou et A. Z. Msezane, éditeurs, *Proceedings of the Third International Workshop on Contemporary Problems in Mathematical Physics (COPROMAPH3)*, pages 436–, Porto-Novo, Benin, 2004. World Scientific Publishing.

[KTT-crm] R.C. King, C. Tollu et F. Toumazet. Stretched Littlewood-Richardson and Kostka coefficients. P. Winternitz, J. Harnad, C.S. Lam et J. Patera, éditeurs, *Symmetry in physics : in Memory of Robert T. Sharp*, volume 34 de *CRM Proceedings and Lecture Notes*, pages 99–112. Amer. Math. Soc., 2004.

Workshops et autres conférences avec comité de lecture

2006 [BaD] S. Baudic et G. H. E. Duchamp. Modelling and reasoning on emotions : theories and clinical implications. *Complex Systems and Self-organization Modelling, CoSSOM'06 (Toulouse)*, 2006.

[CO-1*] L. Jaff, Hatem Hadj-Kacem, G. H.E. Duchamp et C. Bertelle. Moderate growth time series for dynamic combinatorics modelisation. submitted to the *International Journal of Electronic Commerce*.

1.3 Composante Logique et Programmation

Participants : P. Baillot, P. Boudes, J. Castaing, P. Coupey, C. Fouqueré, J.-V. Loddo, V. Mogbil, J. Vauzeilles, V. Atassi, L. Falempe, P. Jacobé de Naurois, J.-Y. Moyen, U. Dal Lago.

1.3.1 Thèmes de recherche

La logique linéaire (LL), introduite par Jean-Yves Girard en 1985, est un raffinement à la fois des logiques classique et intuitionniste, qui a permis en particulier de donner un statut logique aux opérations de duplication et d'effacement d'hypothèses. Depuis son introduction, la logique linéaire a eu un rôle sans cesse croissant dans l'étude et la compréhension de divers problèmes d'informatique : aspects opérationnels des langages de programmation et de leurs stratégies, sémantique des langages séquentiels et concurrents, complexité calculatoire.

Nos travaux portent sur l'utilisation de la LL dans les deux principaux paradigmes de calcul logique : la *correspondance preuves-programmes* d'une part, avec ses applications à la programmation fonctionnelle ; le calcul par *recherche de preuve*, ou *programmation logique*, d'autre part. Dans le premier cas une preuve formelle peut être vue comme une dérivation de type d'un programme ; dans le second elle correspond à l'exécution de celui-ci.

La LL a permis la définition d'outils puissants pour ces deux approches, comme les *réseaux de preuves*, une représentation des démonstrations sous forme de graphes. Elle permet aussi de distinguer plusieurs familles de connecteurs logiques : *additifs*, *multiplicatifs* et *exponentiels*, avec des comportements spécifiques en termes d'usage des ressources.

Dans le contexte des deux paradigmes de programmation mentionnés, trois domaines applicatifs ont été particulièrement étudiés dans le cadre de l'ACI GEOCAL (2003-06) : la LL comme système de types permettant de garantir des bornes de complexité sur les programmes ;les structures de preuves comme solution de problèmes de planification d'Intelligence Artificielle ; la LL comme base de la programmation logique où les clauses sont définies comme réseaux de preuve partiels.

Nous avons aussi débuté un projet de spécification et développement d'un langage de programmation adaptée pour le web. Un site web est vu comme composé de parties à contenu évolutif à typage statique, permettant ainsi au programmeur de concevoir des sites Web hautement interactifs proposant une plus grande souplesse et simplicité, ainsi qu'une plus grande fiabilité.

- **Logique linéaire et complexité implicite**

Contexte. L'analyse logique de la réutilisation de ressources dans la LL a permis de définir des variantes de ce système correspondant à différentes classes de complexité calculatoire : les LL Light (LLL, Girard 1995) et Soft (SLL, Lafont 2002) pour le temps polynomial (Ptime) et ELL pour le temps élémentaire. Ces travaux s'inscrivent dans le domaine de la Complexité Implicite, qui vise à definir des calculs ou des langages où tous les programmes ont par construction une borne de complexité donnée (par exemple Ptime).

Objectifs. Nous cherchons par le biais de la Logique linéaire et de la Complexité implicite à mieux comprendre le calcul à ressources bornées, et en particulier en temps polynomial. D'une part nous souhaitons en dériver des méthodes pour vérifier statiquement des bornes de complexité sur les programmes fonctionnels. Il est en particulier nécessaire de déterminer l'efficacité de ces méthodes et leur couverture en termes d'expressivité intensionnelle (algorithmique). D'autre part, plus fondamentalement nous étudions par ce

biais les classes de complexité de problèmes (notamment grâce aux circuits booléens) et la sémantique des programmes à complexité bornée.

- **Typage et garantie de complexité en lambda-calcul :**
  Nous avons poursuivi l'étude de l'utilisation des logiques LLL et ELL comme systèmes de types pour le lambda-calcul, garantissant respectivement des bornes polynomiales et élémentaires sur l'exécution des programmes (via les réseaux de preuves). Nous avons ainsi montré que l'inférence de type en LLL pour le lambda-calcul était décidable [RI-6]. En collaboration avec Terui (NII, Tokyo) nous avons ensuite défini un sous-sytème de cette logique, appelé DLAL, offrant de meilleures propriétés vis-à-vis du lambda-calcul : les programmes typés sont en effet Ptime pour la réduction du lambda-calcul, et non seulement pour la réduction des réseaux [CI-17]. Par ailleurs nous avons donné des algorithmes d'inférence de type efficaces (Ptime) dans ELL et DLAL pour le lambda-calcul [CI-26, CI-41, RI-32]. Enfin, nous avons analysé la *réduction optimale* (au sens des travaux de Lévy, Lamping) des programmes du lambda calcul typé dans LLL (et ELL, DLAL ...). Celle-ci définit des stratégies d'exécution des programmes minimisant en un certain sens le travail d'évaluation et décrites par des règles de réécriture de graphes. Nous avons démontré que pour le lambda-calcul typé dans LLL, la réduction optimale est de complexité en temps polynomiale [CI-47]. Ce résultat a été obtenu en utilisant des outils de *géométrie de l'interaction* venant des réseaux de preuves.
- **Complexité implicite et expressivité :** Comme les systèmes LLL et SLL permettent de représenter toutes les *fonctions* Ptime mais pas tous les *algorithmes*, il est intéressant, d'un point de vue pratique en particulier, de considérer des extensions de ces logiques. Nous avons ainsi étudié l'extension de SLL avec des types récursifs et défini un lambda-calcul étendu spécifique pour ce langage ([CI-16]). D'autre part avec Dal Lago (Bologne) nous avons montré que LLL sans second-ordre mais avec types récursifs était complet pour la classe Ptime [RI-23].
  Par ailleurs nous nous sommes intéressés au modèle de Blum-Shub-Smale (BSS) qui permet de représenter le calcul sur les réels ous sur d'autres anneaux. Nous avons donné une nouvelle mesure d'espace dans ce modèle, permettant de définir des classes LOGSPACE et PSPACE ([CI-37]). Avec Pedicini (Rome) nous avons montré qu'une extension du lambda-calcul typé dans LLL permettait de caractériser la classe BSS Ptime sur un anneau arbitraire [CO-32].
  Nous avons aussi considéré une autre approche de la complexité implicite, basée sur les systèmes de réécriture, les *quasi-interprétations* de Bonfante-Marion-Moyen, et étudié son expressivité algorithmique en donnant des conditions nécessaires sur les algorithmes admettant des quasi-interprétations [CO-33]. Enfin, nous avons introduit la notion de *graphe de contrôle de re ssources* comme un cadre général permettant de regrouper différentes analyses d e terminaison de programme et de complexité.
- **Complexité et réseaux de preuves :** Initiée par Terui et Mairson (2003-04), une autre approche logique de la complexité consiste à représenter une fonction non pas par une seule preuve (comme dans LLL) mais par une famille uniforme de preuves, où chacune correspond à une taille de données fixée, à la manière des circuits booléens. Ces derniers sont un modèle de calcul parallèle usuel en théorie de la complexité. Dans cette perspective, il est suffisant de considérer un petit fragment de la LL, sans duplication : la logique linéaire multiplicative (MLL). En passant à la syntaxe des réseaux de preuves qui est intrinsèquement parallèle, Terui a donné une traduction des circuits booléens dans les réseaux de preuves et vice-versa.
  En y ajoutant une notion d'uniformité pour les réseaux de preuves préservée par cette approche nouvelle, nous caractérisons dans les réseaux de preuves, la classe de complexité NC : ce sont les fonctions effectivement parallélisables [CI-42]. Nous

avons aussi étendu l'approche initiale à d'autres familles de circuits et à d'autres fragments usuels de la LL préservant l'accélération due au parallélisme du modèle de calcul. Notamment la classe de circuits NNC, ajoutant du non déterminisme à NC, est montrée équivalente à la classe de réseaux de preuves booléens de la logique linéaire multiplicative et additive (MALL). Nous caractérisons ainsi la classe NP usuelle dans les réseaux de preuves MALL [CI-42].

– **Sémantique en complexité implicite :**
Enfin, nous étudions les invariants dénotationnels des logiques linéaires à complexité implicite afin d'éclairer leur structure mathématique. À cette fin, nous avons introduit les espaces cohérents stratifiés [RI-7] et nous considérons actuellement les contraintes capturant la complexité implicite au sein de sémantiques de la logique linéaire.

Ces travaux ont été menés dans le cadre de l'ACI CRISS (2003-06) et depuis décembre 2005 du projet No-Cost (projet ANR Jeunes chercheuses et jeunes chercheurs).

• Logique linéaire et planification

Dans plusieurs articles précédents nous avons montré que la logique linéaire permettait de modéliser de façon adéquate le problème typique d'Intelligence Artificielle de réaliser un plan d'actions à accomplir par un robot pour atteindre un état final, en partant d'un état initial donné. A cette fin, nous avons introduit la logique linaire de Horn et montré que contrairement à l'indécidabilité de la logique linéaire propositionnelle de Horn, le problème de planification est décidable pour une large classe de systèmes de robots.

Nous avons en particulier prouvé que le problème de planification était EXPTIME-complet pour les systèmes de robots permettant des actions non déterministes et que cette complexité pouvait être réduite à PSPACE pour les systèmes de robots dont les actions sont uniquement déterministes.

Au cours de la période 2003-2006, nous avons poursuivi cette étude de la planification dans deux directions :

– *La planification concernant des domaines contenant un grand nombre d'objets identiques.*
Nous avons montré que dans ce cas, la logique linéaire permettait une réduction drastique de l'espace de recherche (polynomial au lieu d'exponentiel). Pour cela, nous remplaçons le nombre non borné de noms spécifiques d'objets par un nom générique et nous contractons ainsi l'espace de recherche exponentiel sur les objets 'réels' en un espace de recherche polynomial sur un objet 'générique' en exhibant une formulation plus abstraite et en prouvant que la solution peut être traduite directement en des solutions polynomiales (et optimales) du problème initial [CI-1, RI-27].
– *La planification temporelle.*
L'hypothèse faite dans les précédents travaux était que les effets des actions étaient instantanés. Dans ce cadre, les plans et les stratégies associées sont finies, si on suppose qu'il n'y a qu'un nombre fini d'états. Nous avons ensuite étudié la planification pour des actions avec effets différés : même dans le cas d'un nombre fini d'états, la difficulté rencontrée est qu'alors les stratégies sont de branchement infini car le nombre de délais possibles est infini, puisque le temps est supposé être le temps réel. Nous avons montré que, même dans ce cadre plus complexe, la correspondance entre les preuves en Logique Linéaire et les plans était maintenue [Ra-10].

- **Programmation par modules**

La programmation logique a connu de nouveaux développements depuis quinze ans, tant dans la compréhension profonde du mécanisme de calcul par le biais de l'étude de la normalisation des preuves, que dans l'intégration de la concurrence dans le calcul par une formalisation en théorie des graphes. Ainsi, Andreoli a pu montré que les propriétés d'associativité et de commutativité des connecteurs alliées à la propriété de *focalisation* induisent une polarisation des formules, une stratification des formules, des réseaux de preuves (cette notion fondamentale est également considérée dans les travaux de Girard sur la ludique ou de Laurent sur la logique linéaire polarisée). Le fait de pouvoir normaliser les preuves par *polarisation* en LL permet de considérer celle-ci comme un langage de programmation (la décomposition d'une formule polarisée correspond à l'application d'une clause en programmation en logique classique). En notant que la présentation par réseaux de preuves de la LL est une déséquentialisation de celles-ci, il est possible de rendre concurrente la programmation sous réserve de vérification d'un critère de correction garantissant la validité. En d'autres termes, la programmation logique usuelle est basée sur une réduction étape-par-étape de buts à prouver au moyen d'une résolution ou d'une règle de progression, la correction d'un calcul est alors réduite à un appariement entre une certaine partie du but courant et la tête d'une clause choisie (appariement structurel dans le cas où la LL complète est considérée). A contrario, l'approche par réseaux de preuves initiée par Andreoli est un cadre naturel de modélisation de la programmation concurrente.

Nous avons étudié cette approche d'abord dans le cadre simple multiplicatif puis dans un cadre avec exponentiels en adoptant un point de vue de théorie des graphes. Clauses de notre système, les *modules*, sont des réseaux de preuve partiels. Tenant compte du fait que la LL est polarisée, nos objets de base sont alors des structures de preuve avec deux strates, appelés *structures bipolaires* ou *modules élémentaires*. Un programme logique est alors donné par un ensemble de telles structures bipolaires et son exécution résulte de la composition de ces structures, moyennant la satisfaction d'un critère de correction.

Dans le cadre multiplicatif, nous avons étudié les modules fermés. Un module fermé correspond à un calcul terminé. Cette étude jouet nou s a permis de préciser les mécanismes de correction que nous avons généralisés ensuite. Le mécanisme de correction que nous utilisons est une forme polarisée du critère de Danos-Regnier. Le critère de Danos-Regnier est basé sur les propriétés graphiques des réseaux de preuve : les structures de preuve correctes sont dans un certain sens connexes et acycliques. Nous en avons déduit un critère de correction par réécriture pour les modules fermés. Nous avons montré que ce critère peut être prolongé aux modules bipolaires ouverts (correspondant à des exécutions partielles de programmes logiques) en remplaçant le critère de connexité par un critère de *connectabilité*. Nous avons enfin étudié comment il était possible de vérifier incrémentalement ces critères[Ra-7].

Nous avons récemment entrepris l'extension de cette étude au cas exponentiel, le cas le plus simple étant de considérer que les modules bipolaires sont simplement réutilisables. Enfin nous avons généralisé le langage de module au cas général (exponentiels autorisés dans les modules) en donnant le critère de correction correspondant[So-2].

- **Programmation et web**

Les sites Web étaient il y a quelques années composés essentiellement de pages statiques, mais de plus en plus, ces pages sont générées automatiquement par le serveur en fonction des requêtes du client et du contenu de bases de données. Récemment est apparue une troisième génération de sites, proposant une interactivité encore plus grande en utilisant des modifications dynamiques calculées côté client (Javascript , AJAX). Les langages traditionnellement utilisés pour programmer un site Web, par exemple PHP,

Zope ou JSP, ne sont pas vraiment adaptés à ces nouvelles exigences des développeurs Web. Même lorsque le comportement dynamique est limité au côté serveur, des sites complexes deviennent vite très difficiles à développer et maintenir dans ces langages. Nous pensons que les concepts issus de la recherche théorique sur les langages de programmation peuvent permettre de résoudre ces problèmes.

Nous nous sommes fixés comme objectif de définir une façon radicalement nouvelle de programmer des sites Web hautement interactifs proposant une plus grande souplesse et simplicité pour le programmeur, ainsi qu'une plus grande fiabilité. Notre première idée consiste à se départir du modèle de programmation traditionnel des sites page après page pour considérer au contraire un site dans sa globalité et rapprocher sa conception de celle d'une application traditionnelle. Il faut cependant prendre en compte des spécificités telles que la possibilité de revenir en arrière dans l'exécution du programme (bouton « back » des navigateurs) ou d'avoir plusieurs fils d'exécution simultanés (duplication d'une fenêtre). Ce sont des problèmes difficiles, souvent mal résolus dans les sites actuels. Le concept de « continuation » utilisé en programmation fonctionnelle permet de résoudre ce problème de manière très élégante et puissante. Le typage nous permettra en outre d'avoir un contrôle précis des liens et formulaires garantissant l'absence de liens morts et l'adéquation entre un formulaire et la page cible. Enfin ce style de programmation nous permettra d'avoir une gestion totalement transparente des sessions, sans que le programmeur n'ait à se préoccuper du passage et de la récupération des paramètres de session à chaque page. Le typage nous permettra également de résoudre un point important qui fait défaut dans les outils actuels : la génération de pages conformes aux standards. Le Web repose sur des standards édictés par le W3C, qui garantissent l'interopérabilité et l'accès universel aux informations. Aujourd'hui il est impossible de garantir la validité d'une page générée dynamiquement puisque les outils de validation ne peuvent prendre en compte que des pages statiques. Nous proposons de nous appuyer sur des travaux théoriques sur le typage de documents XML, qui nous permettrons de garantir la validité des pages grâce à une analyse statique du programme.

Cette étude se fait en coordination avec une entreprise italienne (Net7, Pise) spécialisée dans la conception de sites web avec laquelle un projet Marie Curie - Transfer of Knowledge a débuté en 2006, en collaboration avec une équipe de PPS (projet ANR jeune chercheur débutant fin 2006). Ce projet fait suite au projet HyperLearning (http://www.hypernietsche.org) intégrant des équipes en sciences humaines et en informatique pour lequel nous collaborons dans le cadre d'un GDRE.

- **De la représentation et du Raisonnement Temporel**

S. Schwer a montré que les relations temporelles qualitatives sont en correspondance naturelle avec une variante d'un problème d'analyse combinatoire standard : celui des combinaisons. Une façon élégante de décrire ces objets est celle des mots écrits sur un alphabet de second ordre, *i.e.* ensemble de parties d'un alphabet de base. L'alphabet de base décrit les identités des objets temporels manipulés, ses parties représentant des *types d'instants* au sens de points de synchronisation. C'est ainsi qu'à partir d'une représentation mathématique non temporelle, nous avons restitué une certaine temporalité à ce problème : la temporalité événementielle. Cette représentation permet de se dégager du cadre binaire dans lequel les relations temporelles sont traitées par les différentes logiques utilisées, de dénombrer et d'énumérer les relations qualitatives temporelles n-aires, et de fournir une représentation spatiale de chacune de ces relations dans un espace de dimension n, c'est-à-dire le nombre d'éléments en relation et non en fonction de la taille des éléments à l'intérieur d'une relation binaire (comme le fait le modèle de Ligozat). De plus, cette spatialisation conserve un sens temporel, puisqu'elle associe à une chronologie, une promenade sans perdre aucune des propriétés mises en lumière par les modèles précé-

dents. J.-M. Autebert et S. Schwer ont prouvé que l'ensemble de ces relations forme une classe d'équivalence d'un système de réécriture et que cette classe, pour l'ordre induit par la dérivation, possède une structure de treillis distributif dans le cas binaire, non modulaire (donc non distributif) dès que $n \geq 3$. Dans le cadre d'un nouveau groupe de travail, en collaboration avec une spécialiste du permutoidre (treillis des permutations) et des groupes de Coxeter de l'EHESS (Claude Barbut), S. Schwer a continué, dans le cadre de sa délégation au Lallic, à étudier les propriétés des treillis associés aux S-langages. Ce travail dépasse largement le cadre temporel. Il a permis en particulier de fournir une application non triviale des chemins de Delannoy, bien connus des spécialistes de parcours dans les treillis discrets et d'enrichir l'encyclopédie des séquences entières de Sloane d'une nouvelle suite et de plusieurs références directes aux articles de Delannoy. Les applications abondent, en particulier dans le domaine des séquences audiovisuelles, en bases de données temporelles, dans les systèmes décisionnels, en planification, en diagnostic, dans l'étude des séquences génétiques ...

Le raisonnement temporel est une classe particulière de problèmes de sa tisfaction de contraintes. Il se traduit en termes d'opérations algébriques classiques sur les S-langages (intersection, shuffle). Un problème de satisfaction de contraintes temporelles qualitatives admet une solution si et seulement si le langage temporel associé est non vide. Chacune de ces solutions est donnée par un mot qui est intrinsèquement une chronologie. Les calculs sont de type fortement paresseux afin de juguler, autant que faire se peut, l'explosion combinatoire inhérente à ce genre de problème. Nous avons montré, en particulier, que dans le cas de contraintes "convexes", nous avons la même complexité de calcul que par celui des réseaux.

Si le formalisme des S-mots permet de représenter les modèles temporels discrets comme ceux de Allen, Ladkin, Ligozat ou des modèles linguistiques ponctuels (de Bauzée-/Reichenbach, de Marc Wilmet et Co Vet), intervallaires (de Moeschler et Laurent Gosselin), ... nous nous proposons de l'appliquer dans le cadre des interactions géniques. Une S-lettre est un état du cycle de vie dans le développement d'un organisme. Cette représentation permettra de reconstituer le réseau d'interaction.

- **Histoire des Sciences : Henri-Auguste Delannoy**

S. Schwer s'est attachée depuis quelques années à l'étude de l'oeuvre de Delannoy[RI-1]. Alors que nous connaissons les personnes associées aux suites portant leur nom, comme Eugène Catalan (1814–1894), Axel Thue (1863–1922), Ernst Schröder (1841–1902), Walther von Dyck (1856–1934), Jan Łukasiewicz (1878–1956), Eric Temple Bell (1883–1960) ou bien Theodore Motzkin (1908–1970), aucun article de ces trente dernières années ne cite un article de cet auteur. Les seules références renvoient soit au livre de combinatoire de Louis Comtet soit à un article de Errera, qui eux mêmes renvoient au livre de théorie des nombres de Lucas. C'est à partir de ces observations que s'est créé un groupe de recherche sur Delannoy, qui s'est d'abord intéressé à la vie propre de Delannoy, puis à la communauté des combinatoriciens et théoriciens des nombres entre 1870 et 1914.

1.3.2 Perspectives de recherche

Nous comptons poursuivre nos efforts de recherche dans les directions actuelles : logique linéaire et applications (complexité implicite, planification, programmation logique), programmation et web, S-mots. En particulier, le programme de recherche portant sur la complexité implicite reste encore largement ouvert. Les problèmes d'expressivité ne sont pas totalement résolus et il conviendra de mieux savoir faire collaborer des approches différentes (approche par les quasi-interprétations par exemple) ou des cadres différents (circuits, complexité sur les réels). Le domaine de la programmation adaptée au web

ouvre à des problématiques importantes (calcul concurrent avec données réparties, programmation avec données semi-structurées, programmation par partie).

1.3.3 Diffusion de la recherche

- **Evaluation de la recherche**

comités de programmes

- Workshop *Lambda Calculus, Type Theory and Natural Language*, septembre 2005, King's College London ; J. Vauzeilles
- Workshop *Logic and Linguistics* de la session *Geometry of Computation*, Marseille, France ; J. Vauzeilles
- *Journées internationales organisées pour le 60ème anniversaire de Jean-Yves Girard*, septembre 2007, Institut Henri Poincaré, Paris ; J. Vauzeilles
- GEOCAL, *Geometry of Computation*, janvier - février 2006, Marseille, France ; P. Baillot, C. Fouqueré, J. Vauzeilles
- SETIT2005, *Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications*, mars 2005, Sousse, Tunisie ; C. Fouqueré
- ACFAS, *colloque "Description linguistique pour le traitement automatique du français"*, mai 2006, Montréal, Canada ; C. Fouqueré
- FG-MOL2005, *10th conference on Formal Grammar and 9th Meeting on Mathematics of Language*, août 2005, Edimbourg, Ecosse ; C. Fouqueré
- MOL8, *8th Meeting on Mathematics of Language*, juin 2003, Bloomington, Indiana, USA ; C. Fouqueré

comités d'évaluation

- (membre nommé) ANR Programme *Masses de données - connaissances ambiantes*, 2005 et 2006 ; C. Fouqueré
- (expert) *Evaluation nationale de la recherche (VTR)* organisée par le comité italien pour l'évaluation de la recherche (CIVR), Ministère des Universités et de la Recherche Italien, depuis décembre 2004 ; J. Vauzeilles
- (membre élue) *Conseil National des Universités* (CNU), 2003 à 2007 ; J. Vauzeilles
- (expert) *Evaluation de dossiers de master, PAI, ACI*, Mission Scientifique Technique et Pédagogique du ministère de l'éducation nationale ; J. Vauzeilles
- (expert) ANR, 2005 et 2006 ; J. Vauzeilles
- (membre extérieur) *Jury d'admissibilité du recrutement CR2 de l'Inria Lorraine*, 2003 et 2005 ; J. Vauzeilles

autres

- Jurys de thèse : P. Baillot (1), C. Fouqueré (4 dont 1 Italie), J. Vauzeilles (4 dont 1 Italie).
- Jury d'Habilitation à diriger des Recherches : J. Vauzeilles (2)

- **Organisation de la recherche**

organisation d'événements scientifiques et conférences

- *Implicit Computational Complexity and Logic*, organisé par P. Baillot et V. Mogbil, septembre 2004, université Paris 13 (ACI GEOCAL), 30 participants, dont 8 étrangers.
- *Workshop on Implicit Computational Complexity*, organisé par P. Baillot et J.-Y. Marion, 13-17/2/2006, (GEOCAL, *Geometry of Computation*, 2006), Marseille. 20 exposés et 50 participants (de 7 pays).

gestion de groupes de travail

– *Complexité implicite*, depuis sept. 2005 (environ 18 séances par an), P. Baillot.

- **Contrats**

Type	Coordinateur	Resp. scient.	Nom	Financeur	Période	Durée (mois)	Budget global (Keuros)	Part LIPN (Keuros)
MC-TOK	•	C. Fouqueré	WEBSICOLA	UE	05/2006-04/2010	48	809	404
ANR		J.-V. Loddo	Prog. fonc. et web	MENESR	09/2006-09/2010	48	153	53
COST		J.-V. Loddo	Hyperl	UE	03/2006-03/2010	48	200	_
GDRE		C. Fouqueré	HyperLearning	CNRS et UE	06/2005-06/2010	48	340	_
ACI		P. Baillot	GEOCAL	MENESR	09/2003-09/2006	36	100	12
ACI		P. Baillot	CRISS	MENESR	07/2003-07/2006	36	110	27
ANR	•	P. Baillot	No-Cost	MENESR	09/2005-09/2008	36	150	140
AS		P. Baillot	Mobilité	CNRS	09/2002-09/2003	12	35	7

WEBSICOLA *Autre partenaire : Net7 (Pise, Italie)*

WEBSICOLA - *WEB SIte COnception LAnguage* - est un projet européen du 6ème PCRDT obtenu dans le cadre des actions Marie Curie - Transfer of Knowledge. L'objectif majeur consiste à développer un langage de programmation fonctionnel permettant d'assurer par le typage statique une fiabilité des sites web. La recherche effectuée au LIPN porte sur la spécification de ce langage, la mise en oeuvre du développement étant effectuée par l'entreprise italienne Net7, spécialisée dans la programmation et la programmation web. En parallèle, ce projet permet un transfert de compétences entre les deux partenaires.

HyperLearning *Autres partenaires : 30 laboratoires européens*

HyperLearning est un projet ayant pour cadre un GDRE avec un financement du CNRS et de l'union européenne (projet COST) dont l'objectif principal est de créer un système de e-learning avancé en Sciences Humaines. Le projet a quatre composants principaux : 1) recherche en programmation fonctionnelle pour le développement de sites web interactifs, 2) développement d'une plate-forme web distribuée, 3) mise en place de communautés d'apprentissage collaboratif virtuel, 4) création d'un cadre pédagogique approprié. Notre recherche s'effectue dans le premier de ces objectifs : développement d'un langage de programmation adapté aux services web nécessaires pour le cadre particulier des Sciences Humaines (tâche Functional Programming for Complex Interactive Web Systems).

GEOCAL *Autres partenaires : PPS (Univ. Paris 7), IML (Univ. Aix-Marseille II, coord.), LIFM (Univ. Aix-Marseille I), LIP (ENS Lyon), projet* MIMOSA *(Inria-Sophia), projet* CALLIGRAMME *(Inria-Loria), Inria-Futurs, I3M (Univ. Montpellier II), LSV (ENS Cachan), IRMA (Univ. Louis Pasteur Strasbourg)*

GEOCAL - *Géométrie du calcul* (ACI Nouvelles Interfaces des Mathématiques)

Le but du projet GEOCAL est de favoriser la communication entre des équipes de mathématiciens (logiciens et topologues algébristes) et d'informaticiens, partageant des intérêts

convergents dans le domaine de l'étude théorique du calcul. Il vise à promouvoir de nouvelles interfaces entre logique et topologie d'une part, et théorie de la concurrence, de la complexité algorithmique et de la programmation logique de l'autre. Il comprend cinq volets : Sémantique ; Calcul de processus et logique ; Parallélisme et topologie algébrique ; Complexité algorithmique et élimination des coupures ; Programmation logique.

CRISS *Autres partenaires : LIFM (Univ. Aix-Marseille I), projet* MIMOSA *(Inria-Sophia), projet* CALLIGRAMME *(Inria-Loria)*

CRISS - *Contrôle de ressources et d'interférence pour systèmes synchrones* (ACI Nouvelles Interfaces des Mathématiques)

Le projet CRISS se focalise sur les questions de sécurité soulevées par le concept de code mobile que l'on envisage aujourd'hui d'utiliser dans des domaines aussi variés que les réseaux programmables, les jeux en réseau et les cartes à puces. Les premières propositions – les "applets" de Java – ont visé à assurer l'intégrité de l'environnement d'exécution. Nous nous intéressons à deux autres classes de propriétés qui apparaîssent naturellement dans le contexte du code mobile :

- La dérivation de bornes sur les ressources nécessaires à l'exécution du code afin d'éviter des attaques de type déni de service.
- Le contrôle du flux d'information afin d'éviter la fuite de données confidentielles (non-interférence).

L'objectif du projet est de développer des méthodes automatiques pour assurer et certifier ces propriétés et ceci dans le cadre d'un langage de coordination de modules séquentiels qui permet une exécution synchrone et déterministe. Les recherches menées au LIPN portent plus particulièrement sur l'inférence automatique de bornes de complexité pour les programmes fonctionnels et l'utilisation de la logique linéaire.

No-Cost *Autre partenaire : PPS (Univ. Paris 7)*

No-Cost : Nouveaux Outils pour la Complexité : Sémantique et Types (ANR programme Jeunes chercheuses et jeunes chercheurs 2005)

La complexité implicite étudie des calculs et des langages dont les programmes ont une complexité bornée, en terme de temps de calcul ou de mémoire requise. Plusieurs approches ont été utilisées pour garantir de telles bornes, notamment la Logique linéaire et ses variantes, les systèmes de réécriture avec quasi-interprétations, les types linéaires avec ressources pour les langages fonctionnels. Cette théorie nécessite désormais que l'on trouve des éléments unificateurs, soit par des systèmes plus généraux soit par des approches plus sémantiques. Le projet NO-CoST cherche dans cette perspective à (i) développer une approche sémantique unificatrice pour les divers systèmes de complexité implicite à travers la sémantique des jeux ; (ii) étendre les résultats concernant les systèmes connus, notamment la logique linéaire ; (iii) enfin établir de nouveaux systèmes plus généraux.

Mobilité *Autre partenaire : LIENS (ENS Paris), LIF (Marseille), LIP (ENS Lyon), PPS (Paris 7)*

Il s'agit d'une AS Action Spécifique CNRS "Méthodes formelles pour la mobilité") (dans le cadre du Réseau Thématique Prioritaire RTP23 ; action spécifique 92 de responsable R. Amadio). Cette action spécifique a porté sur le développement et l'expérimentation de méthodes formelles pour la programmation et la validation d'applications basées sur la notion de code mobile et sur des standards d'échange de données semi-structurées. L'AS s'est articulée en trois volets : Fondements logiques (sémantiques de jeux ; typage, logique linéaire et complexité) ; Code mobile ; Données semi-structurées.

Programmation fonctionnelle pour le web *Autre partenaire : PPS (Univ. Paris 7)*

Le projet *Programmation fonctionnelle pour le web* a été accepté par l'appel d'offres 2006 de l'ANR pour le programme Jeunes chercheuses et jeunes chercheurs. Ce projet complète le projet Marie Curie (Websicola) en cherchant à développer des techniques de compilation vers Javascript qui permettront de programmer un site entier sans sortir d'un langage fonctionnel typé. Des techniques inspirées des langages à plusieurs niveaux pourront être utilisées pour spécifier les parties de code devant être exécutées sur le client. Un intérêt majeur de cette approche est de permettre un contrôle statique du code client qui permettra de s'assurer qu'il interagit correctement avec le serveur. Afin de gérer au mieux les aspects concurrents, tout particulièrement au niveau du client (interactions avec l'utilisateur et communication asynchrone avec le serveur), nous pensons fournir des primitives avancées de concurrence et des mécanismes de communications de haut-niveau et dont la sûreté est garantie par typage. Ce projet s'appuie sur des travaux antérieurs ou en cours : XDuce, un langage de manipulation de données arborescentes XML, Ocsigen, un serveur Web qui permet de déléguer la génération des pages à des fonctions Objective Caml, et Websicola, le langage expérimental destiné à la programmation de sites et de services Web, non implémenté mais doté d'une sémantique proche du pi-calcul, où les interactions browser-serveur sont modélisées par un échange de noms privés entre processus concurrents.

- **Dissémination**

actions de vulgarisation

- P. Baillot, V. Mogbil : Fête de la Science/ Savante Banlieue, université Paris 13, octobre 2003 et 2004 : Poster ("Raisonner en informatique").

invitations, tutoriels, école d'été

- P. Baillot : exposé invité au '6th International Workshop on Logic and Computational Complexity (LCC'04) (satellite de LICS'04), "Type Inference for Light Affine Logic Via Constraints on Words", 12/7/04, Turku, Finlande.
- P. Baillot : tutoriel (*Linear logic, lambda-calculus and polynomial time complexity*) dans le cadre d'un cours "Complexity and Logic" de l'Ecole d'hivers de la session GEOCAL06 (Geometry of Computation), CIRM Marseille, février 2006.
- P. Baillot : tutoriel (1 séance) dans le cadre du cours *Implicit Computational Complexity* (responsable : Simone Martini), Bertinoro International Spring School for Graduate Studies in Computer Science, Italie, mars 2006.
- P. Baillot : tutoriel "On the Linear Logic Approach to Implicit Computational Complexity" (avec U. Dal Lago), Workshop on Linear Logic deidcated to J.-Y. Girard on his 60th Birthday, Siena, Italie, 17-20 mai 2007.
- P. Baillot : exposé invité à *8th international Conference on Typed Lambda Calculi and Applications* (TLCA'07), "From Proof-Nets to Linear Logic Type Systems for Polynomial Time Computing", 26-28 juin 2007, Paris.
- C. Fouqueré a été invité à donner un tutoriel sur les calculs de processus et la mobilité à la 2ème école franco-mexicaine sur les systèmes répartis coopératifs, Oct 2003
- C. Fouqueré : "Logic programming revisited", GEOCAL06 session, Marseille, 1 mars 2006 ; et Workshop Geometria, Roma 3, 28-30 avril 2006.
- J. Vauzeilles : Final Meeting of the Project PROTOCOLLO, 14-17 Septembre 2004, Turin
- J. Vauzeilles : Workshop La geometria del calcolo, 28-29 avril 2006, Rome
- J. Vauzeilles : First International Symmetry Conference, 14-17 janvier 2007, Edimburgh.

- **Collaborations et Invitations**

Collaborations universitaires

- 2002 : programme Vinci France-Italie (Université Franco-Italienne) d'échange de chercheurs. Partenaire : Université Rome 3, Italie.
- 2004-2007 : Accord bilatéral Socrates/Erasmus avec l'université Rome 3, Italie.
- 2004-2007 : coopération CNRS-CNR France-Italie (Direction des relations internationales du CNRS), échange de chercheurs. Titre : *Interaction et complexité*. Partenaire : IAC CNR Rome, Italie.
- 2006- : GDR "Informatique Mathématique" : groupe de travail "Géométrie du calcul"
- 2006-2008 : Projet franco-italien : "Réseau italo-français, logique et géométrie de la computation", Ministères de la recherche français et Italien

Collaborations industrielles

- projet Marie Curie - Transfer of Knowledge avec Net7 (Pise, Italie), 2006-2010.

Invitations à l'étranger

- P. Baillot a été invité à l'Université de Keio, Tokyo, Japon, 14-21 mars 2006 (1 semaine), par M. Okada, et au NII, Tokyo, Japon, 14-21 avril 2005 (1 semaine), par K. Terui.

Autres séjours à l'étranger

- 2006 P. Baillot : Université de Padoue, Italie (5 semaines)
- 2005 P. Baillot : National Institute of Informatics, Tokyo, Japon (2 semaines).
- 2005 P. Baillot : Université de Padoue, Italie (8 semaines).
- 2005 V. Mogbil : IAC CNR Rome, Italie (1 semaine)
- 2004 V. Mogbil : Université de Rome 3, Italie (1 semaine)
- 2004 P. Baillot : Université de Padoue, Italie (6 semaines).
- 2004 P. Baillot : IAC CNR Rome, Italie (1 semaine).
- 2003 P. Baillot : Université de Cambridge (UK), Computer Lab (3 semaines).

1.3.4 Activités doctorales

- **cours de DEA et stages / Master 2 recherche**

Cours de DEA / Master 2 recherche

- 2002-2005 (C. Fouqueré) : introduction aux logiques de description, DEA IA-OC Paris 8 - Paris 13
- 2001-2003 (P. Baillot, C. Fouqueré, J. Vauzeilles) : cours de théorie de la démonstration (option), DEA logique et fondements de l'informatique, Paris 7
- 2005-2006 (C. Fouqueré, V. Mogbil, J. Vauzeilles) : cours de Programmes et Preuves (option), master 2 recherche Informatique, Paris 13
- 2003-04 (P. Baillot, avec O. Laurent) : cours de théorie de la démonstration (option), DEA logique et fondements de l'informatique, Paris 7
- 2004-2007 (P. Baillot) : participation au cours *Logique linéaire et paradigmes logiques du calcul* de R. Di Cosmo et D. Miller (3h/an en 2004-05, 9h/an depuis 2005), Master Parisien de Recherche en Informatique (P7-ENS Paris-ENS Cachan-X).
- 2005-2007 (C. Fouqueré) : cours de théorie de la démonstration, DEA Mathématique - Informatique, Antananarivo (Madagascar)

Stages de DEA / Master 2 recherche

- 2003 (P. Baillot) : D. de Carvalho (DEA de logique université P7), *Logique linéaire, complexité polynomiale et théorie des ensembles naive.*
- 2004 (C. Fouqueré) : L. Falempe (DEA de logique université P7), *Langage de Programmation Quantique : un prototype simple*
- 2005 (P. Baillot, J. Vauzeilles) : V. Atassi (MPRI, Master STL université P6), *Inférence de type en logique linéaire élémentaire.*
- 2006 (V. Mogbil) : V. Rahli (MPRI), *Réseaux de preuves et circuits booléens*

1.3.5 Publications principales

Articles dans des revues internationales avec comité de lecture sélectif

2007 [ABT07] V. Atassi, P. Baillot et K. Terui. Verification of ptime reducibility for system f terms : Type inference in dual light affine logic. *Logical Methods in Computer Science*, 2007. à paraître. 32 pages.

[KanVau-TCS] Max Kanovich et Jacqueline Vauzeilles. Strong planning under uncertainty in domains with numerous but identical elements (a generic approach). *Theoretical Computer Science*, 379(1–2) :84–119, 2007.

2006 [DLB06] U. Dal Lago et P. Baillot. On Light Logics, Uniform Encodings and Polynomial Time. *Mathematical Structures in Computer Science*, 16(4) :713–733, 2006. (une version préliminaire avait été présentée au *Workshop on Logics for Resources, Processes, and Programs* LRPP'04).

2004 [B04a] P. Baillot. Stratified coherence spaces : a denotational semantics for Light Linear Logic. *Theoretical Computer Science*, 318(1-2) :29–55, 2004.

[B04b] P. Baillot. Type inference for Light Affine Logic via constraints on words. *Theoretical Computer Science*, 328(3) :289–323, 2004.

[AutebertSchwer03a] **2003** Jean-Michel Autebert et Sylviane R. Schwer. On generalized Delannoy paths. *SIAM Journal on Discrete Mathematics*, 16(2) :208–223, 2003.

Communications dans des conférences internationales avec comité de lecture

[BaillotCoppolaDalLago07] **2007** P. Baillot, P. Coppola et U. Dal Lago. Light Logics and Optimal Reduction : Completeness and Complexity. *Proceedings of Symposium on Logic in Computer Science (LICS'07)*, pages 421–430. IEEE Computer Society, 2007.

[MR07] V. Mogbil et V. Rahli. Uniform circuits, & boolean proof nets. Sergei Artemov et Anil Nerode, éditeurs, *Logical Foundations of Computer Science*, volume 4514 de *Lecture Notes in Computer Science*, pages 401–421. Springer-Verlag Heidelberg, 2007. International Symposium, LFCS 2007, New York, NY, USA, June 4-7.

2006 [ABT05] V. Atassi, P. Baillot et K. Terui. Verification of Ptime reducibility for system F terms via Dual Light Affine Logic. *Proceedings of Computer Science Logic (CSL'06)*, volume 4207 de *Lecture Notes in Computer Science*, pages 150–166. Springer, 2006.

[deNaurois06] Paulin Jacobé de Naurois. A measure of space for computing over the reals. Arnold Beckmann, Ulrich Berger, Benedikt Löwe et John V. Tucker, éditeurs, *Logical Approaches to Computational Barriers, Second Conference on Computability in Europe, CiE 2006, Swansea, UK, June 30-July 5, 2006, Proceedings*, volume 3988 de *Lecture Notes in Computer Science*, pages 231–240. Springer, 2006.

2005 [BT05] P. Baillot et K. Terui. A Feasible Algorithm for Typing in Elementary Affine Logic. *Proceedings of 7th International Conference on Typed Lambda Calculi and Applications (TLCA 2005)*, volume 3461 de *Lecture Notes in Computer Science*, pages 55–70. Springer, 2005.

2004 [BT04] P. Baillot et K. Terui. Light types for polynomial time computation in lambda-calculus. *Proceedings of 19th IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS 2004)*, pages 266–275. IEEE Computer Society, 2004.

[BM04] Patrick Baillot et Virgile Mogbil. Soft lambda-calculus : a language for polynomial time computation. *Proceedings of the 7th International Conference on Foundations of Software Science and Computation Structures (FOSSACS'04)*, volume 2987 de *Lecture Notes in Computer Science*, pages 27–41. Springer, 2004.

[DBLP :conf/2003/KanovichV03] Max I. Kanovich et Jacqueline Vauzeilles. Coping polynomially with numerous but identical elements within planning problems. *Computer Science Logic, 17th International Workshop, CSL 2003, 12th Annual Conference of the EACSL, and 8th Kurt Güdel Colloquium, KGC 2003, Vienna, Austria, August 25-30, 2003, Proceedings*, volume 2803 de *Lecture Notes in Computer Science*, pages 285–298. Springer, 2003.

Workshops et autres conférences avec comité de lecture

2006 [BDLM06] P. Baillot, U. Dal Lago et J.-Y. Moyen. On Quasi-interpretations, Blind Abstractions and Implicit Complexity. 8th International Workshop on Logic and Computational Complexity (LCC'06) (Satellite de LICS'06), Seattle, Prepublication HAL ccsd-00023668, août 2006.

[BP04] P. Baillot et M. Pedicini. An Embedding of the BSS Model of Computation in Light Affine Lambda-Calculus. 8th International Workshop on Logic and Computational Complexity (LCC'06) (Satellite de LICS'06), Seattle, Prepublication HAL ccsd-00085547, août 2006.

Rapports

[KanVau-FSTTCS] Max Kanovich et Jacqueline Vauzeilles. Linear logic in temporal planning for actions with delayed effects. Rapport Technique, LIPN, 2006.

2005 [cfvm05SD] Christophe Fouqueré et Virgile Mogbil. Rewritings in polarized (partial) proof structures. Francois Lamarche Paola Bruscoli et James Stewart, éditeurs, *1st Workshop on Structures and Deductions*, volume ISSN 1430-211X de *Technical Report*, pages 95–109. Technische Universität Dresden, juillet 2005.

Travaux en cours de soumission

[cfvm06-TCS] Christophe Fouqueré et Virgile Mogbil. Rewritings in polarized proof structures. *Mathematical Structures in Computer Science*.

1.4 Composante Spécification et Vérification

Participants : C. Choppy, K. Klai, M. Mayero, L. Petrucci

1.4.1 Thèmes de recherche

Les systèmes développés de nos jours sont de plus en plus complexes et leur fonctionnement peut avoir des conséquences importantes sur leur environnement, voire irréversibles : systèmes avioniques, médicaux ...

Il est par conséquent indispensable d'obtenir des systèmes sûrs, dont le fonctionnement a pu être vérifié avant leur mise en œuvre.

La spécification d'un système présente tout d'abord des avantages quant à la description et la compréhension du système considéré :

- L'écriture de la spécification permet au concepteur de mieux comprendre le fonctionnement attendu de son système ainsi que les interactions entre les différents composants. L'écriture du modèle conduit à remettre en cause des choix conceptuels d'une part et à une meilleure compréhension du système développé d'autre part.
- Le modèle constitue une documentation précise lors de la maintenance.

De plus, les modèles formels permettent de prouver formellement (i.e. mathématiquement) le bon fonctionnement du système développé. On est alors complètement sûr que quelle que soit l'évolution du système, son comportement sera celui attendu.

Outre les avantages précédents, propres à la spécification, les méthodes formelles offrent des outils d'analyse du système modélisé :

- La simulation permet de se convaincre du bon fonctionnement du système, ou éventuellement de découvrir quelques erreurs. Leur correction à ce stade est peu coûteuse, comparée à celle d'un système déjà mis en œuvre (que ce soit avec des moyens logiciels ou matériels).
- La vérification exhaustive du comportement du système. On applique dans un premier temps des techniques de simulation pour effectuer un débogage grossier, puis le modèle est affiné lors de la vérification des propriétés souhaitées.

Les activités de la thématique *spécification et vérification* s'articulent autour de plusieurs axes de recherche :

- La méthodologie de développement d'une spécification : quel modèle/langage choisir, à quel niveau d'abstraction se placer, comment considérer le problème, comment commencer à écrire et développer la spécification.
- Les systèmes à modéliser étant en général de taille assez conséquente, ils sont spécifiés de manière structurée, par exemple avec une architecture modulaire. L'analyse modulaire vise à tirer parti de cette structuration pour repousser les limites des techniques d'analyse de propriétés.
- Lorsqu'une spécification a été validée à un niveau abstrait, des détails peuvent être introduits par un processus de raffinement. La vérification du modèle raffiné doit alors s'appuyer sur celle du modèle abstrait.
- Enfin, l'utilisation de prouveurs de théorèmes permet de valider les étapes de raffinement de modèles. L'utilisation de ces prouveurs pour des problèmes numériques devra à terme permettre d'aborder des propriétés de systèmes en temps continu.

- **Méthodologie de spécification**

Si l'utilité et la nécessité des spécifications formelles est bien démontrée dès qu'il s'agit de développer ou de manipuler des logiciels complexes, écrire les spécifications d'un système demeure une tâche ardue et délicate. Nous explorons ici comment rendre ce travail plus aisé en fournissant des lignes guide, soit pour écrire directement la spécification, soit en utilisant un langage ou un formalisme intermédiaire plus accessible, ou encore en s'appuyant sur des schémas identifiés (pour cette dernière approche, le lien avec les étapes ultérieures de développement est également étudié).

Ce travail de méthodologie a tout d'abord eu pour but de fournir des spécifications écrites dans le langage de spécification algébrique CASL, ou dans une extension CASL-LTL [Ra-2] pour les systèmes dynamiques. Mais les idées alors développées sont assez générales pour trouver leur application dans l'écriture de spécifications dans d'autres langages (Z, LOTOS, réseaux de Petri, RAISE).

Dans [RI-24] des lignes guide sont proposées pour l'écriture de spécifications de systèmes dynamiques (simples ou structurés) ainsi que de types de données. Différentes caractéristiques constitutives d'un système sont mises en évidence et les propriétés à rechercher sont détaillées.

Le lien de cette méthode avec les cas d'utilisation (qui sont munis d'une description structurée) est décrit dans [CI-15], ce qui permet de fournir une graphique familière aux utilisateurs de la notation UML.

Il existe des « patterns » pour décrire les problèmes, ce sont les « Problem Frames » de Michael Jackson. Afin de bénéficier des concepts structurants des problem frames (et aussi de leur graphique) nous avons travaillé pour les intégrer dans une démarche de spécification, ce qui nous a conduit à les équiper d'une description plus détaillée proposée en UML à laquelle nous savons associer une spécification formelle [CO-14, CI-14, RI-10]. Ces travaux nous ont aussi conduit à proposer des schémas de problème plus complexes adaptées toutefois à des larges classes d'application [RI-10, CI-38].

Les « patterns » ont d'abord été proposés pour des étapes ultérieures du développement, aussi avons nous exploré comment faire le lien entre une démarche de spécification utilisant les problem frames et un développement à l'aide de styles d'architecture [CI-4], et nous avons proposé dans [CO-16] une approche pour les systèmes d'information, puis dans [RI-11, CI-39] une approche plus générale, dans les deux cas produisant une architecture par composants.

Nous souhaitions mettre en œuvre pour d'autres formalismes les idées proposées dans [RI-24] pour l'écriture de spécification, et nous avons donc exploré dans [CO-15] l'écriture de réseaux de Petri. Ces travaux ont été poursuivis dans le cadre d'un stage de Master Recherche en 2006.

Dans [CL-3, CL-1, TU-1], nous présentons des idées générales sur les critères qui interviennent dans l'écriture des spécifications, et sur certains des travaux présentés ci-dessus. Il est important de noter que chaque méthode de spécification est plus ou moins adaptée à un problème spécifique. C'est pourquoi, il faut tirer parti au mieux des différentes techniques existantes [RE-6].

L'utilisation conjointe de différents outils est nécessaire. Pour atteindre un tel objectif, nous sommes impliqués dans le processus de normalisation des réseaux de Petri [Ra-4, RE-3, CI-33]. Les réseaux de Petri sont normalisés ISO/IEC 15909-1 (première partie d'une norme en 3 volets). Les aspects pratiques concernant un format d'échange (ISO/IEC 15909-2) sont en cours. Ils impliquent la définition d'un métamodèle. Ceci a permis d'automatiser la lecture/écriture d'un fichier écrit en PNML (Petri Net Markup Language) en utilisant une approche MDA (*Model-Driven Architecture*). Le langage PNML a également évolué au cours de ces travaux. De plus, nous avons soumis un addendum à la partie 1 de la norme pour définir les réseaux symétriques, qui sont des réseaux de haut niveau

simples, et servent de base aux travaux sur la partie 2. Enfin, les travaux de la partie 3, portant sur les extensions de réseaux de Petri, viennent de démarrer. Nous sommes éditeurs de ce volet de la norme.

- **Vérification Modulaire**

Nous nous intéressons ici tout particulièrement à des systèmes complexes, parallèles, asynchrones, modélisés à l'aide de réseaux de Petri.

La principale méthode de vérification de propriétés à partir d'un modèle spécifié par un réseau de Petri consiste en l'exploration du *graphe d'états accessibles*. Toutefois, pour des systèmes de taille importante, on se heurte très rapidement au « problème de l'explosion combinatoire de l'espace d'états ». Le graphe d'états est alors trop gros pour être stocké en mémoire.

De nombreuses techniques ont été proposées pour pallier ce problème (ordres partiels, bit-state, ...). Nos travaux se concentrent sur l'analyse modulaire qui tire parti de la structure modulaire du modèle à analyser. L'activité des modules est explorée de manière indépendante plutôt qu'entrelacée. La technique de graphes d'états modulaires que nous développons consiste alors à construire un graphe d'états « local » par module plus une structure appelée « graphe de synchronisation » décrivant les interactions entre les différents modules [IN-2].

Nous avons proposé, dans [CI-8], des algorithmes effectuant la construction du graphe d'états modulaire d'un réseau de Petri, ainsi que la vérification de propriétés (bornes, blocage, vivacité, ...). L'implémentation d'un prototype a permis de réaliser des expérimentations sur un problème classique d'automates industriels (les véhicules autoguidés). Les résultats ainsi obtenus ont montré des gains considérables — passage de 31.000.000 à 900 états. Toutefois, des études de cas ont été menées dans [RE-2], qui montrent que la technique est particulièrement adaptée à des systèmes composés de sous-systèmes autonomes faiblement couplés tels que ceux considérés en automatique. Dans le pire des cas, lorsque les sous-systèmes sont totalement synchronisés, on aboutit à un léger surcoût.

Nous avons adapté cette approche à la synthèse de réseaux de Petri, en collaboration avec Philiipe Darondeau de l'IRISA [Ra-13].

Suite aux résultats encourageants de la technique de graphes d'états modulaires, nous l'avons étendue à des modèles de réseaux de Petri comportant une modélisation du temps. Nous nous sommes intéressés à la fois aux réseaux temporisés, dans lesquels on considère une horloge globale et les jetons sont estampillés par la date à laquelle ils sont prêts, et aux réseaux temporels, où le temps est compté localement, un intervalle est associé à chaque transition et indique la période dans laquelle la transition doit être franchie, à partir du moment où toutes ses préconditions sont satisfaites.

Nous avons donné, dans [CO-20, RI-26], des algorithmes de construction de graphe d'états modulaires pour les réseaux temporisés. L'inconvénient majeur réside dans l'utilisation de l'horloge globale. En effet les états du graphe sont des couples (marquage, date). Lorsque le système peut évoluer indéfiniment, le graphe obtenu est alors infini.

Dans [CO-24], une technique similaire est présentée pour les réseaux temporels. Les états du graphe sont composés d'un marquage et d'une vecteur de valuations temporelles associées aux transitions. Le graphe obtenu est alors fini (si le réseau de Petri est borné).

Ces différents algorithmes ont été implémentés, et des expérimentations [RI-26] ont montré les apports de l'approche.

une autre approche est l'analyse compositionnelle, qui consiste à vérifer des propriétés d'un sous-système pour valider celles du système complet. Nous avons développé un tel

algorithme pour le vérification de formules LTL\X [CI-43].

- **Raffinement de spécifications de haut niveau**

De nos jours, les systèmes à modéliser et à analyser sont de taille de plus en plus grande. Pour s'affranchir des problèmes inhérents à l'explosion du nombre d'états, une spécification est souvent développée pas à pas (ce qui correspond à une démarche classique de développement de génie logiciel).

Tout d'abord, un modèle abstrait est défini. Une fois que ses propriétés sont vérifiées, une étape de raffinement, qui introduit un niveau de détail supplémentaire, peut être effectuée. Un tel ajout peut préciser la description de l'actuel fonctionnement d'une partie du système, ou introduire une partie supplémentaire. Le modèle ainsi raffiné est ensuite vérifié. Une nouvelle étape de raffinement peut alors être appliquée, et ce jusqu'à atteindre un niveau suffisant de description.

Trois types de raffinement ont été introduits par Lakos et Lewis, pour les réseaux de Petri de haut niveau : le raffinement de sous-réseau, le raffinement de nœud et le raffinement de type. Ces raffinements ont été utilisés dans le cadre d'une approche incrémentale à la spécification de systèmes complexes. Outre les avantages du raffinement pour la spécification de systèmes, ils permettent de faciliter la vérification de propriétés. En effet, d'une part certaines propriétés sont préservées par le raffinement, et d'autre part, l'analyse du modèle abstrait permet de guider celle du modèle concret, économisant ainsi en temps de calcul et espace mémoire lors de la construction de graphes d'états.

Jusqu'à présent, le processus de raffinement de réseaux est complètement manuel. La vérification des contraintes peut être assez complexe. Par conséquent, nous souhaitons prouver automatiquement qu'un réseau est effectivement un raffinement d'un autre réseau (abstrait). Pour cela, nous utilisons des techniques de preuve de théorèmes, en particulier, l'assistant d'aide à la preuve Coq, développé à l'Inria. Nous proposons donc une formalisation en Coq des définitions de raffinements ainsi que des réseaux auxquels ils s'appliquent. Ceci a tout d'abord été développé pour les raffinements de sous-réseaux et de nœuds des réseaux places/transitions, et appliqué à quelques exemples. Ce travail est étendu, dans le cadre d'un stage de master, aux réseaux colorés.

Le raffinement de types pour les réseaux de Petri de haut niveau a été peu étudié. Pour développer cet aspect, nous nous sommes intéressés dans un premier temps à la vérification de systèmes paramétrés. Le bon fonctionnement de la famille de protocoles « stop-and-wait » a ainsi pu être vérifié [CO-21, RI-16], et ce, de manière paramétrée.

- **Spécifications et preuves formelles**

Dans le cadre du nouveau projet CerPAN [8] (Certification de Programmes d'Analyse Numérique, ANR décembre 2005), nous nous intéressons au développement et à la mise en application des méthodes permettant de démontrer formellement la correction de programmes issus du domaine de l'analyse numérique. Le projet concerne plus particulièrement des programmes apparaissant de manière récurrente dans la résolution de problèmes critiques. Beaucoup de programmes critiques sont issus de ce domaine, mais les travaux traitant directement des applications des méthodes formelles aux programmes d'analyse numérique sont rares. La principale raison est l'utilisation intensive des nombres réels (à virgule flottante) dans les programmes numériques, alors que les méthodes formelles manipulent plutôt des nombres entiers, ou plus généralement des structures discrètes. Deux méthodes sont explorées dans ce projet, toutes deux étant vouées à être mises en pratique sur une étude de cas (gradient analytique).

[8] http://www-lipn.univ-paris13.fr/CerPAN/

1. L'une consiste à utiliser des outils de vérification de programmes tels que Why et Caduceus (dédié aux programmes C) développés au LRI. Il s'agit de travailler sur un programme déjà existant, qui va être annoté suivant les propriétés à préserver. Ces annotations engendrent alors des obligations de preuve pour divers systèmes de preuve formelle (Coq, PVS, Isabelle/HOL, HOL 4, HOL Light, Mizar,...). Ces outils de vérification de programmes ne traitaient pas les nombres flottants. Nous avons donc participé aux phases de décision concernant l'extension de ces outils aux nombres flottants sous forme d'un langage de spécification pour les propriétés relatives aux nombres à virgule flottante. Ces ajouts sont distribués avec le système.
2. L'autre méthode consiste à effectuer la formalisation et la preuve du problème correspondant au programme ou à l'algorithme étudié, puis à utiliser le mécanisme d'extraction du système Coq afin d'obtenir automatiquement un programme prouvé correct. Ce principe d'extraction ne traite pas non plus la famille des nombres réels. Nous avons commencé par décider d'extraire vers des réels exacts et non vers des nombres flottants et nous sommes actuellement en train de rechercher un modèle adéquat de réels exacts (réaliste d'un point de vue implantatoire, efficace, ...) pour étendre l'extraction de Coq.

Nous essayons de tenir compte des aspects d'efficacité qui peuvent jouer un rôle déterminant dans le domaine de l'analyse numérique en particulier. Les méthodes développées dans ce projet auront un large champ d'application dans les environnements destinés à produire du code numérique garanti correct par rapport à des spécifications formelles et devra à terme permettre d'aborder des propriétés de systèmes en temps continu lors d'étapes de raffinement.

Nous avons développé une procédure de décision dans Coq pour les corps algébriquement clos [CI-36]. Cette procédure de décision est basée sur la méthode d'élimination des quantificateurs et utilise l'interface [RI-9] que nous avons développée entre le prouveur Coq et l'outil de calcul formel Maple.

Nous avons effectué en Coq la preuve du $20^{\text{ème}}$ problème de Diophante (l'aire d'un triangle rectangle dont les côtés sont mesurés par des entiers peut-elle être un carré parfait ?). Ce problème fut résolu négativement par Fermat au moyen de la méthode de descente infinie. La méthode de descente infinie permit à Fermat de prouver le théorème pour $n = 4$. Nous avons formalisé cette preuve en Coq.

Nous proposons une méthodologie pour détecter efficacement les erreurs sur des composants matériel génériques (SoC), utilisant à la fois des techniques de model-checking, de test et des prouveurs de théorèmes.

1.4.2 Perspectives de recherche

- **Méthodologie de spécification**

Les idées développées dans [RI-24] peuvent être reprises et adaptées en fonction des langages de spécification formelle cibles. Des travaux ont été entamés notamment en direction :

- du langage Raise/RSL, en collaboration avec Anne Haxthausen qui est experte de ce langage et qui, à l'occasion du développement d'études de cas, a mené une réflexion sur les aspects méthodologie (sans l'avoir formalisée en tant que telle).
- des réseaux de Petri, pour lesquels, à la suite de [CO-15], des travaux ont été poursuivis en collaboration avec Gianna Reggio, pour les réseaux places/transitions [Ra-11], pour les réseaux colorés [Ra-14], et seront étendus aux réseaux hiérarchiques, puis temporisés.

Ces travaux vont nous permettre d'identifier une partie "générique" indépendante du formalisme cible, et une partie spécifique induite par le choix du type de modèle.

- **Vérification modulaire et distribuée**
  - Vérification modulaire temporisée : les travaux menés jusqu'à présent permettent la construction d'un graphe d'états modulaire pour des modèles de réseaux de Petri avec contraintes de temps. Toutefois, l'intérêt de l'approche est de pouvoir vérifier les propriétés du réseau de Petri sans avoir à déplier le graphe modulaire.
  - Etudes de cas : les techniques développées seront appliquées à des exemples complexes. Nous avons entamé cette démarche en utilisant le « fieldbus protocol ».
  - Vérification distribuée : dans [CI-9], nous avons présenté une implémentation distribuée du calcul de graphe d'états. Nous avons également montré comment les propriétés simples d'un réseau de Petri peuvent être vérifiées. L'analyse de propriétés plus élaborées telles que la vivacité est plus complexe. De plus, nous souhaitons utiliser un cluster de machines mis en place récemment au LIPN pour pouvoir implémenter une plateforme distribuée et effectuer des tests. Cela nous permettra en particulier d'évaluer la répartition des nœuds du graphe sur les différents processeurs. À terme, l'architecture logicielle devra également permettre la construction distribuée du graphe modulaire.
  - Heuristiques pour la construction de graphes d'états : nous avons soumis un projet de « discovery grant » à l'ARC (Australian Research Council), HAVOCS (Heuristic Approaches to the Verification Of Complex concurrent Systems »). L'objectif est d'utiliser des approches heuristiques (telles que les algorithmes fourmis) pour guider la génération du graphe d'états. Cette politique de construction devra rechercher en priorité des chemins pouvant conduire à des états invalidant une propriété souhaitée. Ce travail sera effectué en collaboration avec Hanene Azzag de l'équipe A³.

- **Raffinement**
  - Les premières expériences effectuées avec le prouveur de théorèmes Coq pour montrer qu'un réseau de Petri places/transitions est un raffinement d'un autre ayant été probantes, nous souhaitons étendre ces travaux aux différents types de raffinements de réseaux de Petri colorés (stage de master recherche en cours). De plus, pour rendre ces travaux utilisables, il est nécessaire d'implémenter un outil faisant la traduction automatique d'un réseau de Petri en une spécification Coq.
  - Parmi les raffinements proposés par Lakos et Lewis, on en distingue deux (raffinements de nœud et de sous-réseau) qui portent sur la structure du réseau de Petri, et un (raffinement de type) qui s'intéresse aux données manipulées dans un réseau de haut niveau. La définition du raffinement de type est pour l'instant très limitée. Nous envisageons donc de l'étendre en nous inspirant des techniques d'abstraction de données et des travaux existant sur l'indépendance de données.
  - Ces travaux seront appliqués à des études de cas, mettant ainsi en évidence les problèmes spécifiques que l'on peut rencontrer lors de tests à grande échelle.

- **Autres activités**
  - Collaboration avec l'ONERA (coencadrement de thèse depuis février 2006) : modélisation de la reconnaissance de chroniques dans le cadre de simulations de systèmes distribués [CO-45, CO-44]
  - Collaboration avec l'équipe A³ : modélisation et vérification du protocole de communication du systèmes multi-agents développé par Hager Karoui, à l'aide de réseaux de Petri de haut niveau.

– Standardisation : les travaux sur la norme ISO/IEC 15909 partie 2 concernant le format d'échange de réseaux de Petri seront poursuivis. Un des points cruciaux est la prise en compte d'extensions qui seront normalisées par la suite dans la partie 3 du standard, dont nous sommes porteurs.

1.4.3 Diffusion de la recherche

- **Evaluation de la recherche**
- **présidence de comités de programme**
  - ACSD, *International Conference on Application of Concurrency to System Design*, juin 2006, Turku, Finlande ; L. Petrucci
  - PNS, *International Workshop on Petri Nets Standards*, juin 2007, Siedlce, Pologne ; L. Petrucci
  - PNTAP, *International Workshop on Petri Nets Tools and APPlications*, mars 2008, Marseille, France ; L. Petrucci
- **comités de programme**
  - AASAC, *The 23 rd Annual ACM Symposium on Applied Computing (Requirements Engineering)*, mars 2008, Fortaleza, Brazil ; C. Choppy
  - ACSD, *International Conference on Application of Concurrency to System Design*, juin 2004, Hamilton, Canada ; juin 2005, St Malo, France ; juin 2006, Turku, Finlande ; juillet 2007, Bratislava, Slovaquie ; L. Petrucci
  - AICCSA, *ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications*, mars 2006, Dubai, UAE ; C. Choppy ; avril 2008, Doha, Qatar ; C. Choppy, L. Petrucci
  - AMAST, *International Conference on Algebraic Methodology and Software Technology*, juillet 2004, Stirling, UK ; juillet 2006, Kuressaare, Estonie ; C. Choppy
  - ATPN, *International Conference on Application and Theory of Petri Nets and Other Models of Concurrency*, juin 2006, Turku, Finlande ; juin 2007, Siedlce, Pologne ; L. Petrucci
  - COOPN, *Workshop on Coordination and Petri Nets (ATPN)*, juin 2005, Miami, USA ; L. Petrucci
  - CPN, *Workshop on Practical use of Coloured Petri Nets*, octobre 2004, 2005, 2006 et 2007, Århus, Danemark ; L. Petrucci
  - DCACSD, *Doctoral Consortium (ACSD)*, juin 2006, Turku, Finlande ; L. Petrucci
  - IEE, *Informatics Education Europe*, novembre 2007, Thessalonike, Grèce ; novembre 2006, Montpellier, France ; special issue in : ITALICS, Innovation in Teaching And Learning in Information and Computer Sciences (2007) ; C. Choppy
  - ISPS, *International Symposium on Programming and Systems*, mai 2005 et 2007, Alger, Algérie ; L. Petrucci
  - IWAAPF, *International Workshop on Applications and Advances in Problem Frames*, mai 2006, Shangai, Chine ; C. Choppy
  - MW, *14th Monterey Workshop, Workshop on Innovations for Requirements Analysis : from stakeholders needs to formal designs* septembre 2007, Monterey, CA, USA ; C. Choppy
  - RST, *International Conference on Reliable Software Technologies (ADA-Europe)*, juin 2007, Genève, Suisse ; juin 2008, Venise, Italie ; L. Petrucci
  - PNML, *Petri Net Markup Language and standardisation*, juin 2004, Bologne, Italie ; mai 2005, Helsinki, Finlande ; juin 2006, Turku, Finlande ; L. Petrucci
  - PNS, *Workshop on Petri Nets Standards*, juin 2007, Siedlce, Pologne ; L. Petrucci

- PNTAp, *Workshop on Petri Nets Tools and APPlications*, mars 2008, Marseille, France ; L. Petrucci
- TeaConc, *Workshop on Teaching Concurrency (ATPN)*, juin 2006, Turku, Finlande ; juin 2007, Siedlce, Pologne ; L. Petrucci

- **comités éditoriaux**

  - dso, ieee Distributed Systems Online, section « Software Engineering », 2006, 2007 ; L. Petrucci
  - ToPNoC, Transactions on Petri Nets and other models of Concurrency, journal publié dans la série lncs, 2007 ; L. Petrucci
  - édition d'un numéro spécial de la revue Fundamenta Informaticae, 2007 ; L. Petrucci
  - édition d'un numéro spécial de la revue TSI, 2008 ; L. Petrucci

- **organismes de normalisation**

  - iso, groupe de travail SC7/WG19 ; L. Petrucci

- **comités d'évaluation**

  - dfg, *Deutsche Forschungsgemeinschaft*, 2006 ; C. Choppy
  - anr 2006 ; expertises : M. Mayero, L. Petrucci
  - crsngc, *Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada*, 2004, 2005 et 2007 ; C. Choppy — 2006 ; L. Petrucci
  - fqrnt, *Fonds Québécois de la Recherche sur la nature et les technologies*, 2004 ; L. Petrucci
  - nosr, *Netherlands Organisation for Scientific Research*, 2005 ; L. Petrucci

- **autres**

  - Jurys de thèse : L. Petrucci (13)
  - Rapporteurs de thèse étrangère : C. Choppy (1 Québec), L. Petrucci (1 co-tutelle Allemagne, 3 Australie, 1 Cameroun)

- **Organisation de la recherche**

organisation d'événements scientifiques et conférences

  - EuroTICS, *European Computer Science Summit*, octobre 2006, Zurich, Suisse ; C. Choppy
  - forte, *International Conference on Formal Methods for Networked and Distributed Systems*, septembre 2006, Paris, France ; C. Choppy
  - mompes, *MOdel-based Methodologies for Pervasive and Embedded Software (ACSD)*, juin 2005, Rennes, France ; L. Petrucci

- **Contrats**

Type	Coordinateur	Resp. scient.	Nom	Financeur	Période	Durée (mois)	Budget global (Keuros)	Part LIPN (Keuros)
ANR	•	M. Mayero	CerPAN	MENESR	12/2005-12/2008	36	150	40
Linkage Int.		L. Petrucci		ARC	01/2004-12/2004	12	6	3
PAI	•	L. Petrucci	FAST	MAE	07/2004-06/2006	24	23	12
Small grant		L. Petrucci		UniSA	09/2005-12/2005	4	6	0

CerPAN *Autres partenaires : Inria-Rocquencourt, CEDRIC (CNAM), LRI (Univ. Paris 11)*

CerPAN : Certification de programmes d'analyse numérique (ANR programme blanc 2005)

Dans ce projet nous nous intéressons au développement et à la mise en application des méthodes permettant de démontrer formellement la correction de programmes issus du domaine de l'analyse numérique. Beaucoup de programmes critiques sont issus de ce domaine, mais les travaux traitant directement des applications des méthodes formelles aux programmes d'analyse numérique sont rares. La principale raison est l'utilisation intensive des nombres réels (à virgule flottante) dans les programmes numériques, alors que les méthodes formelles manipulent plutôt des nombres entiers, ou plus généralement des structures discrètes. Deux méthodes sont explorées dans ce projet, toutes deux étant vouées à être mises en pratique sur une étude de cas (gradient analytique). La première consiste à utiliser des outils de vérification de programmes (déjà existants) tels que Caduceus. La seconde consiste à effectuer la formalisation et la preuve du problème correspondant au programme ou à l'algorithme étudié, puis à en extraire (principe d'extraction de Coq) un programme qui sera, de fait, prouvé correct.

PAI FAST & ARC Linkage international & UniSA small divisional grant *Autres partenaires : UniSA (University of South Australia), University of Adelaide*

Ce projet, démarré avec un programme Linkage International de l'ARC en 2004, poursuivi jusqu'en juin 2006 par un PAI FAST (French-Australian Science and Technology programme) et complété par une bourse de l'University of South Australia finançant quelques mois de travail d'un étudiant en thèse, s'est intéressé aux techniques modulaires d'analyse de réseaux de Petri. Il comportait quatre volets : l'analyse de réseaux communiquant par partage de données (places), l'étude de systèmes temporisés, la prise en compte des données et la mise en œuvre de ces techniques dans des outils ainsi que des études de cas. Il a conduit à plusieurs publications : [RI-26, RI-16, CO-20, CO-21, CI-8].

- **Dissémination**

invitations, tutoriels, école d'été, tables rondes

EUROTICS, *European Computer Science Summit*, octobre 2005, Zurich, Suisse ; C. Choppy (table ronde)

IASSE, *ISCA International Conference on Intelligent and Adaptative Systems and Software Engineering*, juillet 2004, Nice, France ; C. Choppy (exposé invité)

ICTAC, *International Colloquium on Theoretical Aspects of Computing*, novembre 2006, Tunis, Tunisie ; C. Choppy et L. Petrucci (tutoriel)

ISPS, *International Symposium on Programming and Systems*, mai 2005, Alger, Algérie ; L. Petrucci (exposé invité)
PNS, *Workshop on Petri Nets Standards (ATPN)*, juin 2007, Siedlce, Pologne ; L. Petrucci (exposé invité, synthèse et groupe de travail)
TeaConc, *Workshop on Teaching Concurrency (ATPN)*, juin 2006, Turku, Finlande ; L. Petrucci (table ronde)
VECOS, *Workshop on Verification and Evaluation of Computer and Communication Systems (ISPS)*, mai 2007, Alger, Algérie ; L. Petrucci (exposé invité)

- **Collaborations et Invitations**
- **Collaborations universitaires**
  - ONERA, co-encadrement par C. Choppy et P. Carle de la thèse de O. Bertrand (depuis février 2006)
  - University of South Australia et University of Adelaide (Australie), PAI FAST 2004–2006
  - University of South Australia et University of Adelaide (Australie), ARC Linkage International grant, 2004
  - University of South Australia small grant (Australie), 2005
  - Århus Universitet (Danemark), BRI Paris 13, 2004
  - USTHB (Algérie), encadrement de 2 thésards (C. Boukala et S. Mazouz) par L. Petrucci
  - LSV, ENS Cachan. Co-encadrement par L. Petrucci et A. Finkel de la thèse de S. Bardin, soutenue le 20 octobre 2005
  - Paris 7, encadrement par C. Choppy de la thèse de E. Sendroiu, soutenue le 16 décembre 2004
  - groupe de travail MeFoSyLoMa (Méthodes Formelles pour les Systèmes Logiciels et Matériels) : LIP6, Lamsade, LIPN, CEDRIC et LTCI
- **Séjours scientifiques**

Christine Choppy :
  - Université de Gênes, Italie, 1 semaine en août 2003.
  - Université de Duisburg-Essen, Allemagne, 1 semaine en Décembre 2003 et 1 semaine en Août 2005.
  - University of South Australia et University of Adelaide, Australie, 1 mois en Avril/Mai 2005 et 1 mois en Avril 2006.

Micaela Mayero :
  - Universidad de la Coruña, Espagne, 1 semaine en septembre 2006.

Laure Petrucci :
  - Université d'Århus, Danemark, 2 semaines en octobre 2004, et 1 semaine en octobre 2006.
  - University of South Australia et University of Adelaide, Australie, 1 mois en Août 2004 et 1 mois en novembre/décembre 2005.
  - Université de Yaoundé, Cameroun, 1 semaine en juillet 2004.
  - USTHB, Alger, Algérie, 1 semaine en mai 2005, 10 jours en mai 2007.

1.4.4 Activités doctorales

- **cours de DEA et stages / Master 2 recherche**

Cours de DEA / Master 2 recherche

– 2005-2007 (C. Choppy et L. Petrucci) : cours de systèmes parallèles asynchrones (option), master 2 recherche informatique, Paris 13.
– 2005-2007 (C. Choppy et L. Petrucci) : cours de spécification et vérification de systèmes (tronc commun), master 2 recherche informatique, Paris 13.

Stages de DEA / Master 2 recherche

– 2004 (C. Choppy, L. Petrucci) : M. Bounif (DEA Paris 13), stage abandonné.
– 2005 (F. Kordon (LIP6), L. Petrucci, N. Trèves (CEDRIC)) : L. Hillah (M2 SAR Paris 6), *Construction d'un standard d'échange de réseaux de Petri dans le cadre de la norme ISO/IEC-15909.*
– 2006 (C. Choppy, L. Petrucci) : W. Luo (M2R MICR Paris 13), *Une méthode d'analyse et spécification pour les système complexes avec des réseaux de Petri de haut niveau et des spécifications algébriques.*
– 2007 (L. Petrucci) : Steven Gay (MPRI, ENS Cachan), *Raffinement de réseaux de Petri.*
– 2007 (C. Choppy, M. Mayero, L. Petrucci) : N. Ghozlane (M2R MICR Paris 13), *Raffinement de réseaux de Petri de haut niveau.*
– 2007 (K. Klai, L. Petrucci) : Rabih Chahine (M2R SLCHP, INP Toulouse), *Analyse compositionnelle de réseaux de Petri.*

1.4.5 Publications principales

Livres

[2006-HoSyLoMa-06] S. Haddad, F. Kordon et L. Petrucci, éditeurs. *Méthodes formelles pour les systèmes répartis et coopératifs*. Hermès, octobre 2006, ISBN 2-7462-1447-4.

Chapitres de livres

[CC-LP-MeFo-06] C. Choppy et L. Petrucci. *Démarches de spécification*, Chapitre 2. Haddad et al. [LI-1], octobre 2006, ISBN 2-7462-1447-4.

[LP-MeFo-06] L. Petrucci. *Panorama des modèles et langages de spécification*, Chapitre 1. Haddad et al. [LI-1], octobre 2006, ISBN 2-7462-1447-4.

Articles dans des revues internationales avec comité de lecture sélectif

[2007-LP-STTT-06] C. Lakos et L. Petrucci. Modular state space exploration for timed Petri nets. *Journal of Software Tools for Technology Transfer*, 9(3–4) :393–411, juin 2007.

[ChoppyReggioJLAP06] C. Choppy et G. Reggio. A formally grounded software specification method. *Journal of Logic and Algebraic Programming*, 67(1-2) :52–86, 2006.

[JLAP-2005-LP-NJC-05] J. Billington, G. E. Gallasch et L. Petrucci. FAST verification of the class of stop-and-wait protocols modelled by coloured Petri nets. *Nordic Journal of Computing*, 12(3) :275–307, automne 2005.

[ChoppyHatHeisIE05] C. Choppy, D. Hatebur et M. Heisel. Architectural patterns for problem frames. *IEE Proceedings - Software, Special Issue on Relating Software Requirements and Architectures*, 152(4) :198–208, 2005.

[ChoppyReggioIST05] C. Choppy et G. Reggio. A UML-Based Approach for Problem Frame Oriented Software Development. *Journal of Information and Software Technology*, 47 :929–954, 2005.

[DD-MM-JSC] David Delahaye et Micaela Mayero. Dealing with Algebraic Expressions over a Field in Coq using Maple. 39(5) :569–592, 2005.

Articles dans des revues nationales ou internationales

[FK-LP-DSO-06] F. Kordon et L. Petrucci. Toward formal methods oecumenism ? *IEEE Distributed Systems Online*, 7(7), juillet 2006.

[LH-FK-LP-NT-PNML-05] L. Hillah, F. Kordon, L. Petrucci et N. Trèves. Building an API for ISO/IEC 15909, based on model engineering techniques. *Petri Net Newsletter*, 69, octobre 2005.

[LP-PNNL-05] L. Petrucci. Cover picture story : Experiments with modular state spaces. *Petri Net Newsletter*, 68 :Cover page and 5–10, avril 2005.

Communications invitées dans une conférence internationale

[invLP-ISPS-05] L. Petrucci. Modularity and Petri nets. *Proc. 7th International Symposium on Programming and Systems (ISPS'2005), Algiers, Algeria*, pages 7–8, mai 2005.

Tutoriaux dans des conférences internationales

[CC-SH-HK-FK-LP-YTM-ICTAC-06] C. Choppy, S. Haddad, H. Klaudel, F. Kordon, L. Petrucci et Y. Thierry-Mieg. Tutorial on formal methods for distributed and cooperative systems. *Proc. 3rd Int. Coll. on Theoretical Aspects of Computing (1-day tutorial at ICTAC'06), Tunis, Tunisia*, volume 4281 de *Lecture Notes in Computer Science*. Springer, novembre 2006.

Communications dans des conférences internationales avec comité de lecture

[KK-LP-MR-FORTE-07] K. Klai, L. Petrucci et M. Reniers. An incremental and modular technique for checking LTL\X properties of Petri nets. *Proc. 27th International Conference on Formal Methods for Networked and Distributed Systems (FORTE'07), Tallinn, Estonia*, volume 4574 de *Lecture Notes in Computer Science*. Springer, juin 2007.

[ChoppyHatebur2006HeiselAPSEC06] C. Choppy, D. Hatebur et M. Heisel. Component composition through architectural patterns for problem frames. Pankaj Jalote, éditeur, *Proc. of the Asia Pacific Software Engineering Conference (APSEC-2006)*, pages 27–34. IEEE, 2006.

[ChoppyReggioASWEC06] C. Choppy et G. Reggio. Requirements Capture and Specification for Enterprise Applications : a UML Based Attempt. Jun Han et Mark Staples, éditeurs, *Proc of the Australian Software Engineering Conference (ASWEC-2006)*, pages 19–28. IEEE, 2006.

[DD-MM-Calculemus2005] David Delahaye et Micaela Mayero. Quantifier Elimination over Algebraically Closed Fields in a Proof Assistant using a Computer Algebra System. 151(1) :57–73, 2006.

[LH-FK-LP-NT-FORTE-06] L. Hillah, F. Kordon, L. Petrucci et N. Trèves. PN standardisation : a survey. *Proc. 26th International Conference on Formal Methods for Networked and Distributed Systems (FORTE'06), Paris, France*, volume 4229 de *Lecture Notes in Computer Science*, pages 307–322. Springer, septembre 2006.

[ChoppyReggioFASE04] C. Choppy et G. Reggio. Improving Use Case Based Requirements Using Formally Grounded Specifications. *Fundamental Approaches to Software Engineering (FASE)*, volume 2984 de *Lecture Notes in Computer Science*, pages 244–260. Springer, 2004.

[ChoppyReggioIASSE04] C. Choppy et G. Reggio. Using UML for Problem Frame Oriented Software Development. Walter Dosch et Narayan Debnath, éditeurs, *Proc of the ISCA 13th Int. Conf. on Intelligent and Adaptative Systems and Software Engineering (IASSE-2004)*, pages 239–244. The International Society for Computers and Their Applications (ISCA), 2004.

[LK-LP-ICATPN04] L. Kristensen et L. Petrucci. An approach to distributed state space exploration for coloured Petri nets. *Proc. 25th Int. Conf. Application and Theory of Petri Nets (ICATPN'2004), Bologna, Italy, June 2004*, volume 3099 de *Lecture Notes in Computer Science*, pages 474–483. Springer, juin 2004.

[CL-LP-ACSD04] C. Lakos et L. Petrucci. Modular analysis of systems composed of semiautonomous subsystems. *Proc. 4th Int. Conf. on Application of Concurrency to System Design (ACSD'04), Hamilton, Canada, June 2004*, pages 185–194. IEEE Comp. Soc. Press, juin 2004.

[ChoppyHeiselWADT] C. Choppy, D. Hatebur et M. Heisel. Use of Patterns in Formal Development : Systematic Transition From Problems to Architectural Designs. *Recent Trends in Algebraic Development Techniques*, volume 2755 de *Lecture Notes in Computer Science*, pages 205–220. Springer, 2003.

Workshops et autres conférences avec comité de lecture

[BCC-DX07] O. Bertrand, P. Carle et C. Choppy. Chronicle modelling using automata and colored Petri nets. *The 18th International Workshop on Principles of Diagnosis (DX-07)*, pages 229–234, 2007.

[BCC-RJCIA07] O. Bertrand, P. Carle et C. Choppy. Vers une exploitation des simulations distribuées par les chroniques. *8e Rencontres nationales des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle (RJCIA 07)*, pages 15–30, 2007.

[SL-LP-MOCA-06] S. Mazouz et L. Petrucci. Modular discrete pseudo-state graphs for time Petri nets. *Workshop on Modelling of Objects, Components and Agents (MOCA'06, associated with PETRI NETS'06), Turku, Finland*, numéro 272 Universität Hamburg Bericht, pages 223–244, juin 2006.

[JB-GG-LP-MOMPES-05] J. Billington, G. E. Gallasch et L. Petrucci. Transforming couloured Petri nets to counter systems for parametric verification : A stop-and-wait protocol case study. *Proc. 2nd workshop on MOdel-based Methodologies for Pervasive and Embedded Software (MOMPES'05, satellite of ACSD'05), Rennes, France*, volume 39, pages 37–55. TUCS general publication, juin 2005. ISBN 952-12-1556-9.

[CL-LP-CPN-05] C. Lakos et L. Petrucci. Distributed and modular state space exploration for timed Petri nets. *Proc. Workshop on Practical Use of Coloured Petri Nets, Aarhus, Denmark*, pages 191–210, octobre 2005. Proceedings published as Report DAIMI-PB 576, Aarhus, DK.

[ChoppyHeisel04a] C. Choppy et M. Heisel. Une approche à base de "patrons" pour la spécification et le développement de systèmes d'information. *Proceedings Approches Formelles dans l'Assistance au Développement de Logiciels - AFADL'2004*, pages 61–76, 2004.

[CC-LP-CPN-04] C. Choppy et L. Petrucci. Towards a methodology for modelling with Petri nets. *Proc. Workshop on Practical Use of Coloured Petri Nets, Aarhus, Denmark*, pages 39–56, octobre 2004. Proceedings published as Report DAIMI-PB 570, Aarhus, DK.

[ChoppyReggioIWAAPF04] C. Choppy et G. Reggio. A UML-Based Method for the Commanded Behaviour Frame. K. Cox, J.G. Hall et L. Rapanotti, éditeurs, *Proc. of the 1st International Workshop on Advances and Applications of Problem Frames (IWAAPF 2004)*, pages 27–34. An ICSE 2004 workshop, IEEE, 2004.

Rapports

[CC-LP-GR07r] C. Choppy, L. Petrucci et G. Reggio. A method for modelling with coloured nets. Rapport Technique, Universite Paris 13, 2007.

[Darondeau-Petrucci] Philippe Darondeau et Laure Petrucci. Modular automata 2 distributed Petri nets 4 synthesis. Rapport Technique 6192, INRIA, mai 2007.

[CC-LP-GR06r] C. Choppy, L. Petrucci et G. Reggio. A method for modelling with place/transitions nets. Rapport Technique, Universite Paris 13, 2006.

[KP-LP-NWI-04] F. Kordon et L. Petrucci. Proposal for an addendum to ISO/IEC 15909-1, novembre 2004. NWI submitted by AFNOR to ISO/IEC JTC1-SC7-WG19, ref. MAL-012.

[ReggioAstesianoChoppy2003 :CLC] G. Reggio, E. Astesiano et C. Choppy. CASL-LTL : A CASL extension for dynamic reactive systems version 1.0 – summary. Rapport Technique DISI-TR-03-36, Univ. of Genova, 2003.

1.5 Composante Bases de Données / Entrepôts de Données

Participants : F. Boufares, K. Lellahi, S. Hamdoun, D. Berrabah (P5), M. Badri (P5)

Outre l'université de Paris 5, les recherches sont menées en collaboration forte avec l'université de Tunis, de Sfax, et d'autres membres du LIPN (H. Bennaceur, Y. Bennani, A. Osmani).

1.5.1 Thèmes de recherche

L'environnement informationnel actuel se caractérise par des données surabondantes (volumineuses) et éparpillées. Celles-ci sont également hétérogènes. En effet, avec l'apparition du web et le développement des différentes représentations et formats des documents, les données peuvent être de plusieurs catégories : structurées (relationnelles, objet), semi-structurées (HTML, XML, graphes) ou même non structurées (texte, images, son). Dans un tel contexte, le besoin d'intégration se fait de plus en plus sentir. Cependant, pour répondre à ce besoin, le développement des applications d'intégration (telles que pour un traitement élaboré de données, pour la construction des entrepôts de données ou des systèmes d'aide à la décision) doit composer avec la répartition des sources et l'hétérogénéité des données et de leurs structures. Le but de notre travail est donc l'intégration de données hétérogènes pour la construction, par exemple, de nouveaux ensembles de données (des entrepôts de données), de systèmes d'information intégrés.

- **Bases de Données** L'intégration de données hétérogènes nécessite l'analyse et la validation des schémas conceptuels de données (leurs structures) modélisés avec des formalismes différents tels que «EER, Extended Entity-Relationship» et/ou «UML, Unified Modeling Language». Nous faisons une étude détaillée de la cohérence globale de plusieurs catégories de contraintes définies sur les données et des conflits éventuels entre elles. En effet, un grand nombre de contraintes a été très largement étudié dans la littérature. Cependant, peu de travaux sont réalisés pour la détection et la localisation de ces conflits. Nous utilisons des techniques de programmation linéaire et de la logique des prédicats afin de détecter et localiser ces derniers. Par exemple, les contraintes de multiplicités sont modélisées sous forme de systèmes linéaires dont la résolution utilise les techniques de la programmation linéaire. Notre objectif est de développer un «Intégrateur-Compilateur de schémas de Base de Données» en utilisant plusieurs formalismes, d'envisager des passerelles entre ces derniers et d'enrichir les langages d'expression des contraintes.
- **Entrepôts de Données Hétérogènes** Notre but est la construction, la modélisation et la maintenance d'Entrepôts de Données Hétérogènes. Nous considérons ainsi des données sources totalement hétérogènes (des données structurées telles que le relationnel ou l'objet relationnel SQL2&3, des données semi-structurées telles que HTML, XML, et des données non structurées telles que les données du type multimédia MXD). Nous cherchons à proposer un modèle et un processus de construction d'entrepôt de données ayant des sources hétérogènes, et des algorithmes de maintenance de ce type d'entrepôts.

1.5.2 Perspectives de recherche

- **Bases de Données et Systèmes d'information**
  - Dans le cadre de l'intégration de systèmes d'information et d'applications complexes (dont les données sont modélisées et représentées avec plusieurs formalismes différents tels que EER, UML, XML,...), établir des règles de fusion (d'intégration) et vérifier la cohérence globale du nouveau système obtenu. Proposer un formalisme pour enrichir l'expression des contraintes (exprimées dans des environnements cibles tels OCL, Z, B ou SQL) afin de détecter et localiser des conflits éventuels.
  - Dans le cadre d'UML, proposer des règles de passage d'un diagramme à l'autre et en vérifier la cohérence globale.

- **Intégration de données et Entrepôts de Données**
  - Réaliser un outil de construction d'entrepôts de données dont les sources sont totalement hétérogènes structurés, semi-structurées et non structurées.
  - Evaluer la quantité de données non utilisées dans un entrepôt de données afin de réduire sa taille et d'améliorer les performances pour le maintenir.
  - Définir les procédures à suivre afin d'assurer la sécurité des données et la confidentialité de certains types d'informations extraites des dépôts de données. Définir un langage de contrôle de données dans les bases de données multidimensionnelles.

1.5.3 Séjours Scientifiques, Invitations, Tutoriels

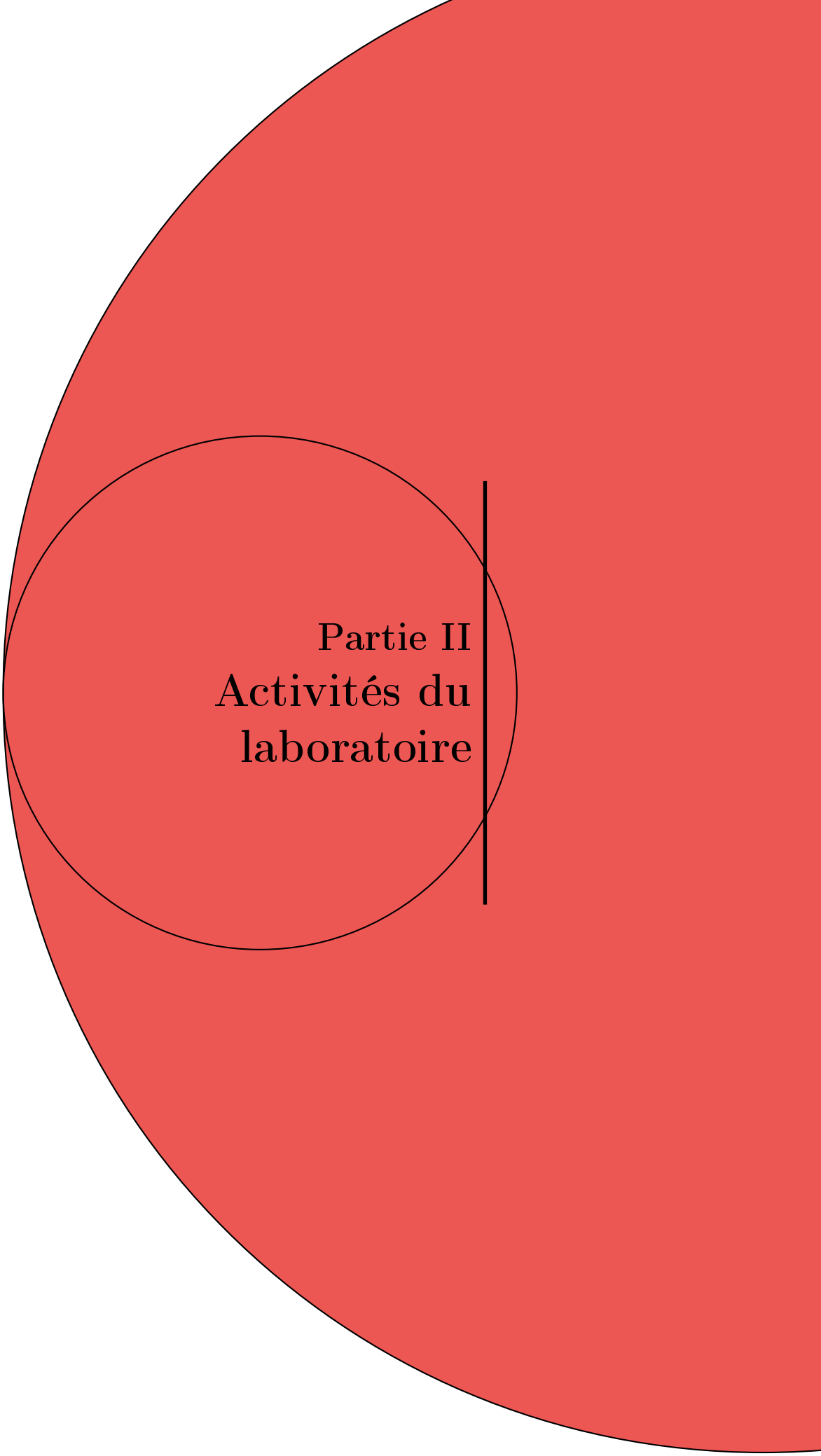
- (F. Boufarès) Université de Tunis 2, séjours d'une semaine à Tunis en Décembre 2003 et Décembre 2004 sur les thèmes : Bases de Données Avancées ; Cohérence globale des contraintes et Exploitation Intelligente des Données et Entrepôts de Données Hétérogènes.
- (F. Boufarès) Tutorial MCSEAI'04, May 2004 : 8th Maghrebian Conference on Software Engineering and Artificial Intelligence (MCSEAI'04), 9th-12th May 2004, Sousse, Tunisia.

1.5.4 Autres

- (F. Boufarès) Lecteur scientifique de plusieurs articles pour le journal IJCS (International Journal of Computing and information Sciences, 2004), pour les conférences MCSEAI'2004, INFORSID'2006, SITIS'2006.
- (F. Boufarès) Co-encadrement de plusieurs thèses avec C. F. Ducateau de Paris 5, K. Lellahi de Paris 13 et S. BenAhmed de Tunis 2.

1.6 Séminaires d'équipe

L'équipe organise régulièrement un séminaire (au moins 15 fois par an) en invitant plus particulièrement de jeunes chercheurs dans cette discipline, mais aussi des chercheurs confirmés français ou étrangers présentant de nouvelles approches (P. Coppola, C. Laneve, B. Valiron, J.-Y. Girard, C. Faggian, K. Terui, H. Mairson, J. Billington ... pour n'en citer que quelques-uns). La liste complète est accessible sur le site web du laboratoire.



Partie II
Activités du laboratoire

Chapitre 1
Formation par la recherche

1.1 Master Informatique

Le Master (Sciences, Technologie, Santé) **mention Informatique** offre deux spécialités de formation qui s'appuient notamment sur des axes forts et des compétences bien développées au LIPN :

une spécialité à finalité professionnelle : Exploration Informatique des Données (EID)

une spécialité à finalité recherche : Modélisation Informatique des Connaissances et du Raisonnement (MICR)

La spécialité EID a pour objet l'acquisition de connaissances approfondies dans des domaines particuliers complémentaires : l'informatique et l'extraction de connaissances à partir de données. Cette spécialité est fondée sur l'acquisition de techniques destinées à favoriser l'exercice d'un métier déterminé dans le domaine de l'exploration des données.

La spécialité MICR a pour objectif de fournir aux étudiants les éléments fondamentaux leur permettant d'entamer une recherche tant en intelligence artificielle qu'en traite-

ment automatique du langage, en spécifications de systèmes complexes ou en théorie de la programmation. Dans cette spécialité, plusieurs parcours-types sont possibles, on peut cependant en préfigurer quelques uns :

- Parcours « Traitement Automatique des Langues Naturelles » : Traitement automatique des langues, Ingénierie des connaissances textuelles, Recherche et extraction d 'information, Ressources lexicales ;
- Parcours « Spécifications et Programmation » : Systèmes parallèles asynchrones, Systèmes infinis, temporisés et hybrides, Programmes et preuves, Unité d'approfondissement au choix ;
- Parcours « Logique et Programmation » : Calculs de processus, Programmes et preuves, Concurrence, Unité d'approfondissement au choix ;
- Parcours « Apprentissage Artificiel et Fouille de Données » : Apprentissage numérique, Apprentissage symbolique et RaPC, Apprentissage statistique, Fouille de données relationnelles.

Formation par la recherche

Ce master est ouvert à la pluridisciplinarité qui est un des atouts de l'université Paris 13, avec par exemple une UE de linguistique sur les ressources lexicales et une UE sur la bio-informatique.

1.2 Master Mathématique Informatique

Le Master (Sciences, Technologie, Santé) **mention Mathématique et Informatique** a pour objectif de fournir aux étudiants les éléments fondamentaux leur permettant d'acquérir une véritable double compétence en Informatique et en Mathématiques et leurs applications. Elle offre l'accès à des cours très complémentaires dans les domaines de l'informatique, des mathématiques discrètes et continues, des phénomènes aléatoires et de la combinatoire. Elle permet, outre les aspects théoriques, de toucher aux problèmes applicatifs sources de modèles complexes. La formation s'appuie à la fois sur les laboratoire LIPN et LAGA de l'université Paris 13.

Outre les thèses possibles dans les laboratoires, en particulier au LAGA ou au LIPN, les étudiants peuvent se tourner vers les activités de recherche et développement en entreprise. Cette seconde voie n'est pas à négliger, les entreprises devenant un endroit où les compétences solides en mathématiques et informatique appliquées, attestées par une formation par la recherche, sont de plus en plus recherchées. Le master mathématiques et informatique vise à donner au travers de la formation le bagage indispensable d'un bon Ingénieur en Recherche et Développement ou d'un Consultant auprès d'entreprises de divers secteurs de pointe.

La première année est consacrée aux apprentissages des outils de base en mathématiques appliquées et en informatique. En fin d'année, un travail personnel d'étude et de recherche mené en coordination avec l'équipe pédagogique doit permettre à l'étudiant de mettre par lui-même en application les connaissances acquises pendant l'année. La seconde année est l'occasion d'approfondissement des connaissances en choisissant parmi de nombreux sujets : résolution numérique d'équations aux dérivées partielles, recherche opérationnelle, combinatoire, mathématiques financières.

1.3 Thèses et Habilitations

Thèses en cours

Nom Prénom		1ère insc.	Situation
Titre		*Directeur*	*Co-encadrant*

CHEBALLAH Hayat	10/01/07	Alloc (07-10)
SAIU Luca	10/01/07	Alloc (07-10)
Définition et compilation d'un langage de programmation logique et fonctionnel inspiré de la logique linéaire et de la théorie des jeux combinatoires	*C. Fouqueré*	*J.V. Loddo*
BERTRAND Olivier	02/01/06	CDI ONERA
Simulations distribuées de type HLA et reconnaissance d'activités à base de chroniques	*C. Choppy*	*P. Carle*
ATASSI Vincent	10/01/05	Alloc moniteur (05-08)
Programmation fonctionnelle, typage en logique linéaire et réduction optimale	*J. Vauzeilles*	*P. Baillot*

Formation par la recherche

Thèses soutenues (depuis 2004)

Nom Prénom	Situation ultérieure	Soutenance	Mention
Titre		*Directeur*	*Co-directeur*
Jury : Jury			
HAMDOUN Sana		12/20/06	
Modélisation, maintenance et integration des données hétérogènes		*K. Lellahi*	*F. Boufarès*
Jury : Y. Bennani, C.F. Ducateau, D. Laurent			

Habilitations à Diriger des Recherches soutenues (depuis 2004)

Nom Prénom	Soutenance
Titre	
Jury :	
Toumazet Frédéric	12/13/07
Combinatorics of group characters	
Jury : Gérard Duchamp, Christophe Fouqueré, Florent Hivert (rapp), Gleb Koshevoy (rapp), Alain Lascoux (rapp), Jean-Christophe Novelli, Peter Paule (rapp), Jean-Yves Thibon (pdt)	

Chapitre 2
Organisation de conférences

Le LIPN a soutenu ou organisé les conférences et manifestations suivantes :

- *Implicit Computational Complexity and Logic*, septembre 2004, université Paris 13 (ACI GEOCAL), 30 participants, dont 8 étrangers.
- *Workshop on Implicit Computational Complexity*, 13-17/2/2006, (GEOCAL, *Geometry of Computation*, 2006), Marseille. 20 exposés et 50 participants (de 7 pays).
- *2es Journées thématiques "Apprentissage Artificiel & Fouille de Données"*, 27-28/4/2006, http://www-lipn.univ-paris13.fr/A3/AAFD06/
- *Journées ALEA*, 2005, (CIRM, SMF-CNRS, Luminy)
- *Marches aléatoires discrètes : théorie et applications en combinatoire, biologie algorithmique, informatique théorique, probabilités, physique statistique* (DRW-2003), Institut Henri Poincaré, 2003

Partie III
Publications

Les références comportant « * » sont acceptées et à paraître.

Articles dans des revues avec comité de lecture (ACL)

Articles dans des revues internationales avec comité de lecture sélectif

2008 [RI-34*] Pierre Boudes. Non uniform (hyper/multi)coherence spaces. *Mathematical Structures in Computer Science*, 2008. 39 pages Accepté pour publication à MSCS F.3.2.

[RI-33*] L. Hillah, F. Kordon et L. Petrucci. Application des méthodes formelles à la robotique modulaire — méthodes formelles pour l'analyse des robots autonomes et modulaires. 2008.

2007 [RI-32] V. Atassi, P. Baillot et K. Terui. Verification of ptime reducibility for system f terms : Type inference in dual light affine logic. *Logical Methods in Computer Science*, 2007. à paraître. 32 pages.

[RI-31] P. Blasiak, K. A. Penson, A. Horzela, A. I Solomon et G. H. E. Duchamp. Combinatorics and boson normal ordering : A gentle introduction. *Am. J. Phys.*, 75 :639–646, 2007.

[RI-30] G. Duchamp et J.-G. Luque. Lazard's elimination (in traces) is finite-state recognizable. *International Journal of Algebra and Computation*, 17(1) :53–60, février 2007.

[RI-29*] Christophe Fouqueré et Virgile Mogbil. Rewritings for polarized multiplicative and exponential proof structures. pages 54–65, 2007.

[RI-28*] S. Hamdoun, F. Boufarès et M. Badri. Construction et maintenance des entrepôts de données hétérogènes. *eTI journal : Electronic Journal of Information Technologies*, 2007. À paraître.

[RI-27] Max Kanovich et Jacqueline Vauzeilles. Strong planning under uncertainty in domains with numerous but identical elements (a generic approach). *Theoretical Computer Science*, 379(1–2) :84–119, 2007.

[RI-26] C. Lakos et L. Petrucci. Modular state space exploration for timed Petri nets. 9(3–4) :393–411, juin 2007.

2006 [RI-25] D. Berrabah, F. Boufarès et C.F. Ducateau. A new tool to check the coherence of constraints defined on UML class diagrams. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 6 :162–171, 2006.

[RI-24] C. Choppy et G. Reggio. A formally grounded software specification method. *Journal of Logic and Algebraic Programming*, 67(1-2) :52–86, 2006.

[RI-23] U. Dal Lago et P. Baillot. On Light Logics, Uniform Encodings and Polynomial Time. *Mathematical Structures in Computer Science*, 16(4) :713–733, 2006. (une version préliminaire avait été présentée au *Workshop on Logics for Resources, Processes, and Programs* LRPP'04).

[RI-22] G.H.E. Duchamp, J-G. Luque, K-A. Penson et C. Tollu. Free quasi-symmetric functions, product actions and quantum field theory of partitions. *Séminaire Lotharingien de Combinatoire*, 54A :12 pages, 2006.

[RI-21*] L. Jaff, G.H.E. Duchamp et C. Bertelle. Shift operators and complex systems. *Int. Journal of Modeling, Identification and Control*, 2006.

[RI-20] R. C. King, C. Tollu et F. Toumazet. The hive model and the factorisation of kostka coefficients. *Séminaire Lotharingien de Combinatoire*, 54A :22 pages, 2006.

[RI-19] R. C. King, C. Tollu et F. Toumazet. The hive model and the polynomial nature of stretched Littlewood-Richardson coefficients. *Séminaire Lotharingien de Combinatoire*, 54A :19 pages, 2006.

[RI-18*] J.-G. Luque, J.-Y. Thibon et F. Toumazet. Unitary invariants of qubit systems. *Mathematical Structures in Computer Science*, page 19 pages, 2006. À paraître.

2005 [RI-17] Cyril Banderier et Sylviane R. Schwer. Why Delannoy numbers? *Journal of Statistical Planning and Inference*, 135(1) :40–54, 2005.

[RI-16] J. Billington, G. E. Gallasch et L. Petrucci. FAST verification of the class of stop-and-wait protocols modelled by coloured Petri nets. *Nordic Journal of Computing*, 12(3) :275–307, automne 2005.

[RI-15] P. Blasiak, A. Horzela, K. A. Penson, G. H. E. Duchamp et A.I. Solomon. Normal ordering via substitutions and Sheffer-type polynomials. *Phys. Lett. A*, 338 :108–, 2005.

[RI-14] P. Błasiak, K.A. Penson, A.I. Solomon, A. Horzela et G.H.E. Duchamp. Some useful combinatorial formulas for bosonic operators. *J. Math. Phys.*, 46 :052110–, 2005.

[RI-13] F. Boufarès, D. Berrabah, C.F. Ducateau et F. Gargouri. Les conflits entre les contraintes dans les schémas conceptuels de bases de données UML-EER. *Information Sciences for Decision Making Journal (ISDM Journal)*, 19 :234–244, 2005.

[RI-12] F. Boufarès et S. Hamdoun. Integration techniques to build a data warehouse using heterogeneous data sources. *Journal of Computer Sciences*, pages 48–55, 2005.

[RI-11] C. Choppy, D. Hatebur et M. Heisel. Architectural patterns for problem frames. *IEE Proceedings - Software, Special Issue on Relating Software Requirements and Architectures*, 152(4) :198–208, 2005.

[RI-10] C. Choppy et G. Reggio. A UML-Based Approach for Problem Frame Oriented Software Development. *Journal of Information and Software Technology*, 47 :929–954, 2005.

[RI-9] David Delahaye et Micaela Mayero. Dealing with Algebraic Expressions over a Field in Coq using Maple. 39(5) :569–592, 2005.

[RI-8] G. Duchamp, Hatem Hadj Kacem et Eric Laugerotte. Algebraic elimination of ϵ-transitions. *Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science*, 7(1) :51–70, 2005.

2004 [RI-7] P. Baillot. Stratified coherence spaces : a denotational semantics for Light Linear Logic. *Theoretical Computer Science*, 318(1-2) :29–55, 2004.

[RI-6] P. Baillot. Type inference for Light Affine Logic via constraints on words. *Theoretical Computer Science*, 328(3) :289–323, 2004.

[RI-5] F. Boufarès et H. Bennaceur. Consistency problems in ER-schemas for database systems. *Information Sciences Journal*, 163(4) :263–274, 2004.

[RI-4] G. Duchamp et J.-M. Champarnaud. Derivatives of rational expressions and related theorems. *Theoretical Computer Science*, 313(1) :31–44, 2004.

[RI-3] R. C. King, F. Toumazet et B. G. Wybourne. The square of the Vandermonde determinant and its q-generalisation. *J. Phys. A : Math. Gen.*, 37 :735–767, 2004.

[RI-2] K.A. Penson, P. Błasiak, G. Duchamp, A. Horzela et A.I. Solomon. Hierarchical Dobiński-type relations via substitution and the moment problem. *J. Phys. A : Math. Gen.*, 37 :3457–, 2004.

2003 [RI-1] Jean-Michel Autebert et Sylviane R. Schwer. On generalized Delannoy paths. *SIAM Journal on Discrete Mathematics*, 16(2) :208–223, 2003.

Articles dans des revues nationales ou internationales

2007 [RE-11*] Delphine Battistelli, Jean-Luc Minel et Sylviane R. Schwer. Représentation des expressions calendaires dans les textes : vers une application à la lecture assistée de biographies. *revue TAL (traitement automatique des langues)*, 47-3, 2007. À paraître.

[RE-10] Sylviane R. Schwer. Traitement de la temporalité des discours : une analysis situs. *Cahiers Chronos*, 18 :7–21, 2007.

[RE-9*] Nicolas Turenne et Sylviane R. Schwer. Temporal representation of gene interaction networks from text databases - drosophila megalogaster and bacillus subtilis cases. *International Journal of data Mining and Bioinformatics (IJDMB)*, 2007. À paraître.

2006 [RE-8] Jean-Michel Autebert et Sylviane R. Schwer. Henri Auguste Delannoy, une biographie. *Revue de Mathématiques & Sciences Humaines*, 174 :25–67, 2006.

[RE-7] H. Karoui, R. Kanawati et L. Petrucci. An intelligent peer-to-peer multi-agent system for collaborative management of bibliographic databases. *SGAI's expert update magazine*, 8(3) :22–31, printemps 2006.

[RE-6] F. Kordon et L. Petrucci. Toward formal methods oecumenism ? *IEEE Distributed Systems Online*, 7(7), juillet 2006.

[RE-5] Sylviane R. Schwer. Représentation mathématique du temps : après Reichenbach. *Tranel (Travaux neuchâtelois de linguistique)*, 45 :167–186, 2006.

[RE-4*] Sylviane R. Schwer. Traitement de la temporalité des discours : une analysis situs. *Revue Chronos*, 2006. À paraître.

2005 [RE-3] L. Hillah, F. Kordon, L. Petrucci et N. Trèves. Building an API for ISO/IEC 15909, based on model engineering techniques. *Petri Net Newsletter*, 69, octobre 2005.

[RE-2] L. Petrucci. Cover picture story : Experiments with modular state spaces. *Petri Net Newsletter*, 68 :Cover page and 5–10, avril 2005.

2003 [RE-1] Christophe Fouqueré et Fabrice Issac. Corpus issus du web : constitution et analyse informationnelle. *Revue Québecoise de Linguistique*, 13(1) :111–134, 2003.

Conférences invitées (INV)

Communications invitées dans une conférence internationale

2008 [IN-4*] C. Choppy, L. Petrucci et G. Reggio. A modelling approach with coloured Petri nets. *Proc. 13th Int. Conf. on Reliable Software Technologies — Ada-Europe, Venice, Italy*, juin 2008.

2007 [IN-3] K. Klai et L. Petrucci. Modular construction of the symbolic observation graph. *Proc. 1st International Workshop on Verification and Evaluation of Computer and Communication Systems (VECOS'07), Algiers, Algeria*, eWiC, page 6. British Computer Society, mai 2007.

2005 [IN-2] L. Petrucci. Modularity and Petri nets. *Proc. 7th International Symposium on Programming and Systems (ISPS'2005), Algiers, Algeria*, pages 7–8, mai 2005.

2004 [IN-1] Christophe Fouqueré. Le web comme source d'informations : quelles méthodes ? *Proc. 72ème congrès de l'ACFAS Montréal, Canada*, mai 2004.

Autres communications sur invitation

2007 [AI-2] F. Kordon et L. Petrucci. A formal approach to designing autonomous systems : from Intelligent Transport Systems to robots. *Proc. 2nd National Workshop on Control Architectures of Robots : from models to execution on distributed control architectures, Paris, France*, mai 2007.

[AI-1] L. Petrucci. ISO/IEC 15909-2, concepts of high-level nets and CPN. *Presentation at the Workshop on Petri Nets Standards (PNS'07, associated with PETRI NETS'07), Siedlce, Poland*, juin 2007.

Tutoriaux dans des conférences internationales

[TU-2] P. Baillot. From Proof-Nets to Linear Logic Type Systems for Polynomial Time Computing. *Proceedings of Typed Lambda Calculi and Applications (TLCA'07)*, volume 4583 de *LNCS*, pages 2–7. Springer, 2007. Exposé Invité.

2006 [TU-1] C. Choppy, S. Haddad, H. Klaudel, F. Kordon, L. Petrucci et Y. Thierry-Mieg. Tutorial on formal methods for distributed and cooperative systems. *Proc. 3rd Int. Coll. on Theoretical Aspects of Computing (1-day tutorial at ICTAC'06), Tunis, Tunisia*, volume 4281, novembre 2006.

Communications avec actes (ACT)

Communications dans des conférences internationales avec comité de lecture

2007

[CI-47] P. Baillot, P. Coppola et U. Dal Lago. Light Logics and Optimal Reduction : Completeness and Complexity. *Proceedings of Symposium on Logic in Computer Science (LICS'07)*, pages 421–430. IEEE Computer Society, 2007.

[CI-46] Pascal Coupey, Christophe Fouqueré et Jean-Vincent Loddo. Tree components programming : An application to xml. *4th International Colloquium on Theoretical Aspects of Computing (ICTAC07)*, volume 4711, pages 139–153, septembre 2007.

[CI-45] G.H.E.D. Duchamp, J.-G. Luque, J.-C. Novelli, C. Tollu et F. Toumazet. Hopf algebras of diagrams. *Proceedings of FPSAC'07*, Tianjin, China, 2007.

[CI-44] Christophe Fouqueré. A logical calculus for modelling interferences. *4th International Colloquium on Theoretical Aspects of Computing (ICTAC07)*, volume 4711, pages 216–230, septembre 2007.

[CI-43] K. Klai, L. Petrucci et M. Reniers. An incremental and modular technique for checking LTL\X properties of Petri nets. *Proc. 27th International Conference on Formal Methods for Networked and Distributed Systems (FORTE'07), Tallinn, Estonia*, volume 4574, juin 2007.

[CI-42] V. Mogbil et V. Rahli. Uniform circuits, & boolean proof nets. Sergei Artemov et Anil Nerode, éditeurs, *Logical Foundations of Computer Science*, volume 4514 de *Lecture Notes in Computer Science*, pages 401–421. Springer-Verlag Heidelberg, 2007. International Symposium, LFCS 2007, New York, NY, USA, June 4-7.

2006

[CI-41] V. Atassi, P. Baillot et K. Terui. Verification of Ptime reducibility for system F terms via Dual Light Affine Logic. *Proceedings of Computer Science Logic (CSL'06)*, volume 4207, pages 150–166, 2006.

[CI-40] D. Berrabah, C.F. Ducateau et F. Boufarès. Active mechanisms for checking participation constraints in UML. *Proceedings of the 8th International Conference on Enterprise Information Systems*, pages 310–313, 2006.

[CI-39] C. Choppy, D. Hatebur et M. Heisel. Component composition through architectural patterns for problem frames. Pankaj Jalote, éditeur, *Proc. of the Asia Pacific Software Engineering Conference (APSEC-2006)*, pages 27–34. IEEE, 2006.

[CI-38] C. Choppy et G. Reggio. Requirements Capture and Specification for Enterprise Applications : a UML Based Attempt. Jun Han et Mark Staples, éditeurs, *Proc of the Australian Software Engineering Conference (ASWEC-2006)*, pages 19–28. IEEE, 2006.

[CI-37] Paulin Jacobé de Naurois. A measure of space for computing over the reals. Arnold Beckmann, Ulrich Berger, Benedikt Löwe et John V. Tucker, éditeurs, *Logical Approaches to Computational Barriers, Second Conference on Computability in Europe, CiE 2006, Swansea, UK, June 30-July 5, 2006, Proceedings*, volume 3988, pages 231–240, 2006.

[CI-36] David Delahaye et Micaela Mayero. Quantifier Elimination over Algebraically Closed Fields in a Proof Assistant using a Computer Algebra System. 151(1) :57–73, 2006.

[CI-35] G. H. E. Duchamp, P. Blasiak, A. Horzela, K. A. Penson et A. I. Solomon. Feynman graphs and related Hopf algebras. *Journal of Physics : Conference Series, SSPCM'05*, volume 30, pages 107–118, Myczkowce, Poland, 2006. IoP.

[CI-34] R. Ghnemat, K. Khatatneh, S. Oqeili, C. Bertelle et G.H.E. Duchamp. Automata-based adaptive behavior for economic modeling using game theory. M.A. Aziz-Alaoui et C. Bertelle, éditeurs, *Emergent Properties in Natural and Artificial Dynamical Systems*, Understanding Complex Systems series, pages 173–185, Gammarth, Tunisia, 2006.

[CI-33] L. Hillah, F. Kordon, L. Petrucci et N. Trèves. PN standardisation : a survey. *Proc. 26th International Conference on Formal Methods for Networked and Distributed Systems (FORTE'06), Paris, France*, volume 4229, pages 307–322, septembre 2006.

[CI-32] Hager Karoui, Rushed Kanawati et Laure Petrucci. COBRAS : Cooperative CBR System for Bibliographical Reference Recommendation. *8th European Conference on Case-Based Reasonning (ECCBR'06)*, volume 4106 de *LNCS*, pages 76–90, Fethiye, Turkey, 2006. springer.

[CI-31] Ugo Dal Lago. Context semantics, linear logic and computational complexity. *21th IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS 2006), 12-15 August 2006, Seattle, WA, USA*, pages 169–178, 2006.

[CI-30] J. Nzeutchap, F. Toumazet et F. Butelle. Kostka numbers and Littlewood-Richardson coefficients : distributed computation. R.C. King, M. Bylicki et J. Karwowski, éditeurs, *Symmetry, Spectroscopy and SCHUR, Proc. Prof. Brian G. Wybourne Commemorative Meeting*, Torun, Poland, 2006. Nicolaus Copernicus University Press.

[CI-29] K. A. Penson, P. Blasiak, G. Dattoli, G. H. E. Duchamp, A. Horzela et A. I. Solomon. Monomiality principle, Sheffer-type polynomials and the normal ordering principle. *Journal of Physics : Conference Series, SSPCM'05*, volume 30, pages 86–97, Myczkowce, Poland, 2006. IoP.

[CI-28] A.I. Solomon, P. Blasiak, G. Duchamp, A. Horzela et K.A. Penson. Combinatorial physics, normal order and model Feynman graphs. B. Gruber, G. Marmo et N. Yoshinaga, éditeurs, *Proceedings of the Symposium Symmetries in Science XIII*, pages 150–166, Bregenz, Austria, 2006. Kluwer Academic Publishers.

[CI-27] F. Toumazet. Characterization of generic products in $Sp(2n, R)$ and $SO^*(2n)$. R.C. King, M. Bylicki et J. Karwowski, éditeurs, *Symmetry, Spectroscopy and SCHUR, Proc. Prof. Brian G. Wybourne Commemorative Meeting*, Torun, Poland, 2006. Nicolaus Copernicus University Press.

2005 [CI-26] P. Baillot et K. Terui. A Feasible Algorithm for Typing in Elementary Affine Logic. *Proceedings of 7th International Conference on Typed Lambda Calculi and Applications (TLCA 2005)*, volume 3461, pages 55–70, 2005.

[CI-25] D. Berrabah, C.F. Ducateau et F. Boufarès. Analysing UML graphic constraints : How to cope with OCL. *Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Science and its Applications*, pages 74–82, 2005.

[CI-24] G. H. E. Duchamp, H. Hadj-Kacem et E. Laugerotte. On the decomposition of boolean functions. J.-F. Michon, P. Valarcher et J.-B. Yunès, éditeurs, *Proceedings of BFCA'05 Conference, March 7–8, 2005 Rouen, France*, pages 115–128. Universités de Rouen et du Havre, 2005.

[CI-23] G. H.E. Duchamp, K. Khatatneh et C. Bertelle. Rewriting tables and memorized semirings. Noureddine Boudriga et Mohammad S. Obaidat, éditeurs, *Proc. of the 12th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems*, Gammarth, Tunisia, 2005. IoP.

[CI-22] G.H.E. Duchamp, J-G. Luque, K-A. Penson et C. Tollu. Free quasi-symmetric functions, product actions and quantum field theory of partitions. *Proceedings of FPSAC'05*, pages 649–660, Taormina, Italy, 2005.

[CI-21] S. Hamdoun et F. Boufarès. Building a data warehouse using heterogeneous data sources. *Proceedings of the International Conference on Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications*, 2005.

[CI-20] S. Hamdoun et F. Boufarès. Relationships between attributes to integrate heterogeneous data sources : an SQL methodology. *Proceedings of the IASTED International Conference on Databases and Applications (IASTED : International Association of Science and Technology for Development)*, pages 23–28, 2005.

[CI-19] H. Kadri-Dahmani, C. Bertelle, G. H.E. Duchamp et A. Osmani. Evolutive complex scheduling in interaction networks for quality improvment in geographical data base updating. Noureddine Boudriga et Mohammad S. Obaidat, éditeurs, *Proc. of the 12th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems*, Gammarth, Tunisia, 2005. IoP.

[CI-18] R. C. King, C. Tollu et F. Toumazet. The hive model and the factorisation of Kostka coefficients. *Proceedings of FPSAC'05*, pages 721–732, Taormina, Italy, 2005.

2004

[CI-17] P. Baillot et K. Terui. Light types for polynomial time computation in lambda-calculus. *Proceedings of 19th IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS 2004)*, pages 266–275. IEEE Computer Society, 2004.

[CI-16] Patrick Baillot et Virgile Mogbil. Soft lambda-calculus : a language for polynomial time computation. *Proceedings of the 7th International Conference on Foundations of Software Science and Computation Structures (FOSSACS'04)*, volume 2987, pages 27–41, 2004.

[CI-15] C. Choppy et G. Reggio. Improving Use Case Based Requirements Using Formally Grounded Specifications. *Fundamental Approaches to Software Engineering (FASE)*, volume 2984, pages 244–260, 2004.

[CI-14] C. Choppy et G. Reggio. Using UML for Problem Frame Oriented Software Development. Walter Dosch et Narayan Debnath, éditeurs, *Proc of the ISCA 13th Int. Conf. on Intelligent and Adaptative Systems and Software Engineering (IASSE-2004)*, pages 239–244. The International Society for Computers and Their Applications (ISCA), 2004.

[CI-13] G. Duchamp, K.A. Penson, A.I. Solomon, A. Horzela et P. Blasiak. One-parameter groups and combinatorial physics. J. Govaerts, M. N. Hounkonnou et A. Z. Msezane, éditeurs, *Proceedings of the Third International Workshop on Contemporary Problems in Mathematical Physics (COPROMAPH3)*, pages 436–, Porto-Novo, Benin, 2004. World Scientific Publishing.

[CI-12] S. Hamdoun et F. Boufarès. Relationships between attributes to integrate heterogeneous data sources. *Proceedings of the 2004 International Arab Conference on Information Technology*, volume 2, pages 602–607, 2004.

[CI-11] A. Horzela, P. Blasiak, G. Duchamp, K. A. Penson et A.I. Solomon. A product formula and combinatorial field theory. J. Govaerts, M. N. Hounkonnou et A. Z. Msezane, éditeurs, *Proceedings of the XI International Conference on Symmetry Methods in Physics (SYMPHYS-11)*, Prague, Czech Republic, 2004. JINR Publishers.

[CI-10] R.C. King, C. Tollu et F. Toumazet. Stretched Littlewood-Richardson and Kostka coefficients. P. Winternitz, J. Harnad, C.S. Lam et J. Patera, éditeurs, *Symmetry in physics : in Memory of Robert T. Sharp*, volume 34 de *CRM Proceedings and Lecture Notes*, pages 99–112. Amer. Math. Soc., 2004.

[CI-9] L. Kristensen et L. Petrucci. An approach to distributed state space exploration for coloured Petri nets. volume 3099, pages 474–483, juin 2004.

[CI-8] C. Lakos et L. Petrucci. Modular analysis of systems composed of semiautonomous subsystems. *Proc. 4th Int. Conf. on Application of Concurrency to System Design (ACSD'04), Hamilton, Canada, June 2004*, pages 185–194, juin 2004.

[CI-7] A.I. Solomon, G. Duchamp, P. Błasiak, A. Horzela et K. A. Penson. Partition functions and graphs : A combinatorial approach. J. Govaerts, M. N. Hounkonnou et A. Z. Msezane, éditeurs, *Proceedings of the XI International Conference on Symmetry Methods in Physics (SYMPHYS-11)*, Prague, Czech Republic, 2004. JINR Publishers.

[CI-6] A.I. Solomon, G. Duchamp, P. Błasiak, A. Horzela et K.A. Penson. Normal order : Combinatorial graphs quantum theory and symmetries. P.C. Argyres, T.J. Hodges, F. Mansouri, J.J. Scanio, P. Suranyi et L.C.R. Wijewardhana, éditeurs, *Proceedings of the 3rd International Symposium*. World Scientific Publishing, 2004.

2003

[CI-5] F. Boufarès, H. Bennaceur et A. Osmani. On the consistency of cardinality constraints in UML modeling. *Proc. of the 10th ISPE International Conference on Concurrent Engineering : Research and Applications, (ISPE : International Society for Productivity Enhancement)*, pages 287–292, 2003.

[CI-4] C. Choppy, D. Hatebur et M. Heisel. Use of Patterns in Formal Development : Systematic Transition From Problems to Architectural Designs. *Recent Trends in Algebraic Development Techniques*, volume 2755, pages 205–220, 2003.

[CI-3] G. Duchamp, C. Tollu et F. Toumazet. Combinatorics of the q-shuffle product and Bargmann-Fock spaces of the $q$uon Weyl algebra. *Physical and Mathematical Aspects of Symmetry, Proc. 24th Int. Conf. on Group-theoretical Methods in Physics*, volume 173 de *Conference series*, pages 803–807. IoP, 2003.

[CI-2] S. Hamdoun et F. Boufarès. An XML approach of construction and self-maintenance of a web warehouse. *Proceedings of the 2003 International Arab Conference on Information Technology*, 2003.

[CI-1] Max I. Kanovich et Jacqueline Vauzeilles. Coping polynomially with numerous but identical elements within planning problems. *Computer Science Logic, 17th International Workshop, CSL 2003, 12th Annual Conference of the EACSL, and 8th Kurt Güdel Colloquium, KGC 2003, Vienna, Austria, August 25-30, 2003, Proceedings*, volume 2803, pages 285–298, 2003.

Workshops et autres conférences avec comité de lecture

2007 [CO-49] Delphine Battistelli, Jean-Luc Minel et Sylviane R. Schwer. Calendar expressions ordering in text corpora, juin 2007.

[CO-48*] A. BenHadjAli, F. Boufarès et S. BenAhmed. Handling integrity constraints via model transformation. *Proceedings of the 16th International conference on Information Systems Development (Galway, Ireland, August 29-31, 2007)*, 2007. À paraître.

[CO-47*] D. Berrabah et F. Boufarès. Constraints checkinh in UML class diagrams : SQL vs OCL. *Proceedings of the 18th International conference on Database and Expert Systems Applications*, 2007. À paraître.

[CO-46] D. Berrabah, F. Boufarès et M. Badri. Un métamodèle pour l'étude de la cohérence globale des contraintes dans les bases de données. *Actes du Colloque sur l'Optimisation et les Systèmes d'Information*, pages 485–497, 2007.

[CO-45] O. Bertrand, P. Carle et C. Choppy. Chronicle modelling using automata and colored Petri nets. *The 18th International Workshop on Principles of Diagnosis (DX-07)*, pages 229–234, 2007.

[CO-44] O. Bertrand, P. Carle et C. Choppy. Vers une exploitation des simulations distribuées par les chroniques. *8e Rencontres nationales des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle (RJCIA 07)*, pages 15–30, 2007.

[CO-43] C. Boukala et L. Petrucci. Towards distributed verification of Petri nets properties. *Proc. 1st International Workshop on Verification and Evaluation of Computer and Communication Systems (VECOS'07), Algiers, Algeria*, eWiC, pages 15–26. British Computer Society, mai 2007.

[CO-42] C. Choppy, L. Petrucci et G. Reggio. Designing coloured Petri net models : a method. *Proc. Workshop on Practical Use of Coloured Petri Nets, Aarhus, Denmark*, octobre 2007.

[CO-41] Sylviane R. Schwer et Jean-Paul Cardinal. 1870 : une catastrophe, une aubaine pour l'université française et les scientifiques. *Actes des 14èmes Journées de Rochebrune, Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels. Catastrophes, discontinuités, ruptures, limites, frontières.*, pages 289–300, janvier 2007.

[CO-40] C. Lakos et L. Petrucci. Modular state spaces and place fusion. *Workshop on Petri Nets and Software Engineering (PNSE'07, associated with PETRI NETS'07), Siedlce, Poland*, pages 175–190. University of Podlasie, juin 2007.

[CO-39*] Jean-Vincent Loddo et Luca Saiu. Marionnet – How to Implement a Virtual Network Laboratory in Six Months and be Happy. *ACM SIGPLAN Workshop on ML*. ACM Press, 2007.

[CO-38] Donazzan Marta, Sylviane R. Schwer et Lucia Tovena. Apport du treillis associé à l'interprétation d'adverbes itératifs, septembre 2007.

[CO-37] Sylviane R. Schwer. Au sujet de la représentation et du raisonnement pour les informations temporelles : vers un modèle purement algébrique., mai 2007.

[CO-36] Sylviane R. Schwer. Topologie d'une cité fantôme [d'alain robbe-grillet] : une approche catastrophique ou chaotique. *Actes des 14èmes Journées de Rochebrune, Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels. Catastrophes, discontinuités, ruptures, limites, frontières.*, pages 273–287, janvier 2007.

2006 [CO-35] M. Badri, F. Boufarès, C.F. Ducateau et S. Hamdoun. Maintenance des entrepôts de données hétérogènes. *Proceedings of the 9th Maghrebian Conference on Software Engineering and Artificial Intelligence*, pages 152–158, 2006.

[CO-34] M. Badri, F. Boufarès, C.F. Ducateau et R. Nefoussi. Maintenance des vues matérialisées hétérogènes sous Oracle. *Actes de l'atelier Système d'Information Décisionnels, Informatique des Organisations et Systèmes d'Information et de Décision*, pages 8–14, 2006.

[CO-33] P. Baillot, U. Dal Lago et J.-Y. Moyen. On Quasi-interpretations, Blind Abstractions and Implicit Complexity. 8th International Workshop on Logic and Computational Complexity (LCC'06) (Satellite de LICS'06), Seattle, Prepublication HAL ccsd-00023668, août 2006.

[CO-32] P. Baillot et M. Pedicini. An Embedding of the BSS Model of Computation in Light Affine Lambda-Calculus. 8th International Workshop on Logic and Computational Complexity (LCC'06) (Satellite de LICS'06), Seattle, Prepublication HAL ccsd-00085547, août 2006.

[CO-31] Delphine Battistelli, Jean-Luc Minel et Sylviane R. Schwer. Quelques exemples d'utilisation des s-langages pour le traitement de la temporalité en linguistique, juin 2006.

[CO-30] S. Baudic et G. H. E. Duchamp. Modelling and reasoning on emotions : theories and clinical implications. *Complex Systems and Self-organization Modelling, CoSSOM'06 (Toulouse)*, 2006.

[CO-29] D. Berrabah, F. Boufarès, C.F. Ducateau et V. Heiwy. Sémantique des contraintes dans les diagrammes de classes UML : une expression en langage OCL. *Proceedings of the 9th Maghrebian Conference on Software Engineering and Artificial Intelligence*, pages 534–538, 2006.

[CO-28] R. Ghnemat, C. Bertelle et G.H.E. Duchamp. Self-organization simulation over geographical information system based on multi-agent platform. *Complex Systems and Self-organization Modelling, CoSSOM'06 (Toulouse)*, 2006.

[CO-27] S. Hamdoun, F. Boufarès et M. Badri. Construction et maintenance des entrepôts de données hétérogènes. *Proceedings of the 9th Maghrebian Conference on Software Engineering and Artificial Intelligence*, pages 160–168, 2006.

[CO-26] H. Kadri-Dahmani, C. Bertelle, G.H.E. Duchamp et A. Osmani. The evolution process of geographical data base within self-organized topological propagation area. *Complex Systems and Self-organization Modelling, CoSSOM'06 (Toulouse)*, 2006.

[CO-25] Hager Karoui, Rushed Kanawati et Laure Petrucci. Cooperative CBR system for peer agent committee formation. *Proc. 5th Workshop on Agents and Peer-to-Peer Computing (AP2PC'06)*, pages 76–90, Hakodate, Japan, mai 2006.

[CO-24] S. Mazouz et L. Petrucci. Modular discrete pseudo-state graphs for time Petri nets. *Workshop on Modelling of Objects, Components and Agents (MOCA'06, associated with PETRI NETS'06), Turku, Finland*, numéro 272 Universität Hamburg Bericht, pages 223–244, juin 2006.

[CO-23] Sylviane R. Schwer. Le système des formes verbales de Marc Wilmet revisité dans une perspective néo-reichenbachienne, septembre 2006.

2005 [CO-22] M. Badri, F. Boufarès, C.F. Ducateau et F. Gargouri. Etat de l'art de la maintenance des entrepôts de données issus des systèmes d'information hétérogènes. *Actes des cinquièmes journées scientifiques des jeunes chercheurs en Génie Electrique et Informatique*, pages 13–18, 2005.

[CO-21] J. Billington, G. E. Gallasch et L. Petrucci. Transforming couloured Petri nets to counter systems for parametric verification : A stop-and-wait protocol case study. *Proc. 2nd workshop on MOdel-based Methodologies for Pervasive and Embedded Software (MOMPES'05, satellite of ACSD'05), Rennes, France*, volume 39, pages 37–55. TUCS general publication, juin 2005. ISBN 952-12-1556-9.

[CO-20] C. Lakos et L. Petrucci. Distributed and modular state space exploration for timed Petri nets. *Proc. Workshop on Practical Use of Coloured Petri Nets, Aarhus, Denmark*,

pages 191–210, octobre 2005. Proceedings published as Report DAIMI-PB 576, Aarhus, DK.

2004 [CO-19] S. Bardin et L. Petrucci. COAST : des réseaux de Petri à la planification assistée. *Proc. 6ème Conférence sur les Approches Formelles dans l'Assistance au Développement de Logiciels (AFADL'2004), Besançon, France*, pages 285–298, juin 2004.

[CO-18] S. Bardin et L. Petrucci. From PNML to counter systems for accelerating Petri nets with FAST. *Proc. of the Workshop on Interchange Formats for Petri Nets (at ICATPN 2004)*, pages 26–40, juin 2004.

[CO-17] D. Berrabah, F. Boufarès, C.F. Ducateau, F. Gargouri et V. Heiwy. Les conflits entre les contraintes dans les schémas conceptuels de bases de données UML-EER. *Proceedings of the 8th Maghrebian Conference on Software Engineering and Artificial Intelligence*, pages 437–448, 2004.

[CO-16] C. Choppy et M. Heisel. Une approche à base de "patrons" pour la spécification et le développement de systèmes d'information. *Proceedings Approches Formelles dans l'Assistance au Développement de Logiciels - AFADL'2004*, pages 61–76, 2004.

[CO-15] C. Choppy et L. Petrucci. Towards a methodology for modelling with Petri nets. *Proc. Workshop on Practical Use of Coloured Petri Nets, Aarhus, Denmark*, pages 39–56, octobre 2004. Proceedings published as Report DAIMI-PB 570, Aarhus, DK.

[CO-14] C. Choppy et G. Reggio. A UML-Based Method for the Commanded Behaviour Frame. K. Cox, J.G. Hall et L. Rapanotti, éditeurs, *Proc. of the 1st International Workshop on Advances and Applications of Problem Frames (IWAAPF 2004)*, pages 27–34. An ICSE 2004 workshop, IEEE, 2004.

[CO-13] Louisette Emirkanian, Christophe Fouqueré et Fabrice Issac. Corpus issus du web : analyse des pertinences thématiques et informationnelles. *Actes du Congrès JADT2004*, mars 2004.

[CO-12] H. Karoui, R. Kanawati et L. Petrucci. An intelligent peer-to-peer multi-agent system for collaborative management of bibliographic databases. *Proc. Workshop on Case Based Reasoning, Cambridge, England*, décembre 2004.

[CO-11] Sylviane R. Schwer. Relations temporelles qualitatives et langages formels. *Actes des 11èmes Journées de Rochebrune, Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels, Le temps dans les systèmes complexes naturels et artificiels*, pages 329–340, janvier 2004.

[CO-10] A. Suna, A El Fallah-Seghrouchni, C. Fouqueré et P. Baillot. Mobile Multi-Agent Systems : A Programming Language and its Semantics. *3rd International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2004)*, pages 1386–1387. IEEE Computer Society, 2004. Poster.

2003 [CO-9] F. Boufarès, D. Berrabah, C.F. Ducateau et V. Heiwy. Etude de la cohérence des contraintes de multiplicité dans un schéma conceptuel de BD avec UML. *Actes du Colloque National de la Recherche en IUT*, pages 375–382, 2003.

[CO-8] F. Boufarès et S. Hamdoun. Construction et auto-maintenance d'un web warehouse. *Actes du Colloque National de la Recherche en IUT*, pages 366–374, 2003.

[CO-7] Christophe Fouqueré. Process calculus and mobile code, octobre 2003. 2ème école franco-mexicaine sur les systèmes répartis coopératifs.

[CO-6] S. Jungjariyanonn et Sylviane R. Schwer. Extended trivalent computations. *Proceedings of KRR1 (Spatial and Temporal Reasoning) of the 18th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, août 2003.

[CO-5] K. Lellahi et A. Zamulin. Algebraic semantics of statements of sequential java. *proc. ECOOP Workshop on Formal Techniques for Java Programs (FTFJP-2003), Darmstadt Germany*, juin 2003.

[CO-4] Sylviane R. Schwer. Temporal reasoning without transitive table. *Proceedings of KRR1 (Spatial and Temporal Reasoning) of the 18th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, août 2003.

2002 [CO-3] Christophe Fouqueré et Fabrice Issac. Constitution de corpus du web et analyse informationnelle : premiers résultats. Colloque TALN, Corpus et Web, MSH Paris Nord, 26 et 27 novembre 2002.

[CO-2] K. Lellahi et A. Zamulin. Towards an algebraic formalization of sequential java-like programs with implicit states. *Proc. ECOOP Workshop on Formal Techniques for Java Programs (FTFJP-2002), Malaga, Spain*, pages 131–132. Computing Science Department, University of Nijmegen, technical report No. NIII-R0204, juin 2002.

[CO-1*] L. Jaff, Hatem Hadj-Kacem, G. H.E. Duchamp, et C. Bertelle. Moderate growth time series for dynamic combinatorics modelisation. submitted to the *International Journal of Electronic Commerce*.

Direction d'ouvrages (DO)

Livres

2008 [LI-2*] F. Kordon, L. Pautet et L. Petrucci. *Systèmes répartis en action : de l'embarqué au large échelle*. 2008.

2006 [LI-1] S. Haddad, F. Kordon et L. Petrucci, éditeurs. *Méthodes formelles pour les systèmes répartis et coopératifs*. octobre 2006, ISBN 2-7462-1447-4.

Chapitres de livre

2008 [CL-4*] E. Badouel, P. Darondeau et L. Petrucci. *Synthesis of Distributed Petri Nets from Coordinated Automata*, M. Mukund, éditeur, *Perspectives in Concurrency Theory*. décembre 2008.

2006 [CL-3] C. Choppy et L. Petrucci. *Démarches de spécification*, Chapitre 2. Haddad et al. [LI-1], octobre 2006, ISBN 2-7462-1447-4.

[CL-2] H. Kadri-Dahmani, C. Bertelle, G.H.E. Duchamp et A. Osmani. *Consistent Updating of Geographical DataBase as Emergent Property over Influence System*, M. A. Aziz-Alaoui et C. Bertelle, éditeurs, *Emergent Properties in Natural and Artificial Dynamical Systems*. Understanding Complex Systems. Springer, 2006, ISBN 978-3-540-34822-1.

[CL-1] L. Petrucci. *Panorama des modèles et langages de spécification*, Chapitre 1. Haddad et al. [LI-1], octobre 2006, ISBN 2-7462-1447-4.

Ouvrages scientifiques (OS)

Édition d'ouvrages collectifs

2008 [ED-2*] R. Janicki et L. Petrucci (eds.). Fifth Special Issue on Application of Concurrency to System Design. 2008. À paraître.

2006 [ED-1] K. Goossens et L. Petrucci, éditeurs. *Proceedings of the 6th International Conference on Application of Concurrency to System Design (ACSD'06), Turku, Finland*, juin 2006, ISBN 0-7695-2556-3.

Rapports

2007 [Ra-15] S. Bardin, A. Finkel, J. Leroux et L. Petrucci. Fast : Acceleration from theory to practice. Research Report LSV-07-16, Laboratoire Spécification et Vérification, ENS Cachan, France, avril 2007. 21 pages.

[Ra-14] C. Choppy, L. Petrucci et G. Reggio. A method for modelling with coloured nets. Rapport Technique, Universite Paris 13, 2007.

[Ra-13] Philippe Darondeau et Laure Petrucci. Modular automata 2 distributed Petri nets 4 synthesis. Rapport Technique 6192, INRIA, mai 2007.

[Ra-12] L. Petrucci. ISO/IEC 15909 — Part 3 : Extensions, novembre 2007. Working document of ISO/IEC JTC1-SC7-WG19, ref. PA2-018.

2006 [Ra-11] C. Choppy, L. Petrucci et G. Reggio. A method for modelling with place/transitions nets. Rapport Technique, Universite Paris 13, 2006.

[Ra-10] Max Kanovich et Jacqueline Vauzeilles. Linear logic in temporal planning for actions with delayed effects. Rapport Technique, LIPN, 2006.

[Ra-9] J.-Y. Marion et J.-Y. Moyen. Heap-size analysis for assembly programs. Rapport Technique, LIPN, 2006.

2005 [Ra-8] David Delahaye et Micaela Mayero. Diophantus' 20th Problem and Fermat's Last Theorem for $n = 4$: Formalization of Fermat's Proofs in the Coq Proof Assistant. Rapport Technique, 2005.

[Ra-7] Christophe Fouqueré et Virgile Mogbil. Rewritings in polarized (partial) proof structures. Francois Lamarche Paola Bruscoli et James Stewart, éditeurs, *1st Workshop on Structures and Deductions*, volume ISSN 1430-211X de *Technical Report*, pages 95–109. Technische Universität Dresden, juillet 2005.

[Ra-6] Micaela Mayero, B. Monsuez et F. Védrine. How an "Incoherent Behavior" inside generic hardware component characterizes functional errors. Rapport Technique, 2005.

2004 [Ra-5] Christophe Fouqueré et Virgile Mogbil. Modules and logic programming. Rapport Technique, LIPN, Université Paris 13, 2004. cs.LO/0411029.

[Ra-4] F. Kordon et L. Petrucci. Proposal for an addendum to ISO/IEC 15909-1, novembre 2004. NWI submitted by AFNOR to ISO/IEC JTC1-SC7-WG19, ref. MAL-012.

2003 [Ra-3] K. Lellahi et A. Zamulin. A state-based algebraic semantics of statements of sequential java. Rapport Technique 3, LIPN, 2003.

[Ra-2] G. Reggio, E. Astesiano et C. Choppy. CASL-LTL : A CASL extension for dynamic reactive systems version 1.0 – summary. Rapport Technique DISI-TR-03-36, Univ. of Genova, 2003.

2002 [Ra-1] K. Lellahi et A. Zamulin. Implicit state approach for formalisation of sequential java-like programs. Rapport Technique 10, LIPN, 2002.

Outils

2006 [Lo-6] J.-V. Loddo. Iutoppix, septembre 2006. Cdrom amorçable, auto-configurable, dérivé de Knoppix 5.0.1, francisé et spécialisé pour les enseignements aux dép. R&T et INFO de l'IUT Villetaneuse. Licence GPL.

[Lo-5] J.-V. Loddo. Synopsys, juin 2006. Utilitaire permettant d'automatiser l'analyse lexicale, syntaxique et en partie sémantique des paramètres d'appel d'un script bash. Code source OCaml, licence GPL.

2005 [Lo-4] S. Bardin, A. Finkel, J. Leroux et L. Petrucci. FAST : Fast Acceleration of Symbolic Transition systems, juin 2005. Tool presentation at ACSD'05.

[Lo-3] J.-V. Loddo. Netxkiss, mai 2005. Application (en mode texte) de simulation d'un réseaux d'ordinateurs qui exploite la technologie UML (User Mode Linux) et repose sur un DVD amorçable, auto-configurable, dérivé de Knoppix 3.8. Code source OCaml, licence GPL.

2004 [Lo-2] J.-V. Loddo. Knoppix4gtr, septembre 2004. Cdrom amorçable, auto-configurable, dérivé de Knoppix 3.8, francisé et spécialisé pour les enseignements au dép. GTR de l'IUT Villetaneuse. Licence GPL.

[Lo-1] Jean-Vincent Loddo et Hamon Thierry. Marionnet/iutoppix : un Environnement Pédagogique pour la Simulation de Réseaux Locaux. Accepted for demonstration at the conference Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain (EIAH), Lausanne, 2007.

Travaux en cours de soumission

[So-2] Christophe Fouqueré et Virgile Mogbil. Rewritings in polarized proof structures. *Mathematical Structures in Computer Science.*

[So-1] Max Kanovich et Jacqueline Vauzeilles. Linear logic foundations for artificial intelligence. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence.*

Partie IV
Acronymes

A³ Apprentissage Artificiel et Applications

ACI Action Concertée Incitative

AM allocataire moniteur

ANR Agence National de la Recherche

ARC Australian Research Council

AS Action Spécifique (CNRS)

ATER attaché temporaire d'enseignement et de recherche

B boursier

CDI Contrat à Durée Indéterminée

CEDRIC Centre d'Etudes et de Recherche en Informatique du CNAM - EA 1395

CNR Consiglio Nazionale delle Ricerche

CNRS Centre National de la Recherche Scientifique

COST european Cooperation in the field Of Scientific and Technical Research

CR chargé de recherche

DEA Diplôme d'Etudes Approfondies

EA Equipe d'Accueil

ENS Ecole Normale Supérieure

GDR Groupement de Recherche

GDRE Groupement de Recherche Européen

I3M Institut de Mathématiques et Modélisation de Montpellier - UMR 5030

IG Institut Galilée

IML Institut de Mathématiques de Luminy - UMR 6206

INPL Institut National Polytechnique de Lorraine

Inria Institut National de la Recherche en Informatique et Automatique

IRMA Institut de Recherche Mathématique Avancée

IUTV IUT de Villetaneuse

LAGA Laboratoire Analyse, Géométrie et Applications, université Paris 13 - UMR 7539

LIENS Laboratoire d'Informatique de l'Ecole Normale Supérieure - UMR 8548

LIF Laboratoire d'Informatique Fondamentale - UMR 6166

LIFAR Laboratoire d'informatique fondamentale et appliquée de Rouen - EA 2655

LIFM Laboratoire d'Informatique Fondamentale de Marseille - UMR 6166

LIP Laboratoire de l'Informatique du Parallélisme

LIPN Laboratoire d'Informatique de Paris-Nord - UMR 7030

LRI Laboratoire de Recherches en Informatique, université Paris 11 - UMR 8623

LSV Laboratoire Spécification et Vérification

MAE Ministère des Affaires Etrangères

MCF maître de conférences

MC-TOK action Marie Curie - Transfer of Knowledge

MENESR Ministère de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche

MPRI Master Parisien de Recherche en Informatique

NII National Institute of Informatics

OCAD Optimisation Combinatoire et Algorithmique Distribuée

ONERA Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales

PAI Programme Actions Intégrées

PCRDT Programme Cadre de Recherche et Développement Technologique

PPS Preuves Programmes et Systèmes - UMR 7126

PU professeur des universités

SMF Société Mathématique de France

UE Union européenne

UMR Unité Mixte de Recherche

UniSA University of South Australia