

C.N.R.S.

Université Denis Diderot Paris VII

UMR 7089

**Laboratoire d'Informatique Algorithmique :
Fondements et Applications**

RAPPORT D'ACTIVITÉ

2003–2007

3 décembre 2007

Sommaire

Organisation du laboratoire	5
Conseil de laboratoire	6
Introduction	7
Rapport scientifique	11
1 L'équipe Algorithmique et Combinatoire	13
1.1 Composition	13
1.2 Thèses et habilitations	13
1.3 Introduction	15
1.4 Thèmes de recherche	15
1.4.1 Algorithmique	15
1.4.2 Principaux résultats obtenus	16
1.4.3 Combinatoire	20
1.5 Résultats obtenus	24
1.5.1 Permutations à motifs exclus et calcul de distances	24
1.6 Autour du théorème de Schur 27	
1.7 Aspect divers des partitions 27	
1.8 Projets de recherche	27
1.8.1 Combinatoire	27
1.8.2 Algorithmes de graphes et Réseaux	28
1.9 Coopérations scientifiques	29
1.9.1 Projets nationaux	29
1.9.2 Projets européens	30
1.9.3 Coopérations industrielles	30
1.9.4 Projets bilatéraux	30
1.9.5 Visiteurs reçus	30
1.10 Diffusion et évaluation de l'information scientifique	30
1.10.1 Edition	31
1.10.2 Comités de programme	31
1.10.3 Comités de pilotage	31
1.10.4 Évaluation de la recherche	31
1.10.5 Rapports de thèses et d'habilitations	32
1.11 Animation de la recherche	32
1.11.1 Organisation de conférences et d'écoles	32
1.11.2 Séminaires	32
1.12 Principaux séjours à l'étranger	32
1.13 Masters et thèses encadrées	32
1.14 Enseignement en Master Recherche	32

1.14.1	Masters MPRI	33
1.14.2	Stages de fin d'étude	33
1.15	Publications	33
2	L'équipe Automates et applications	43
2.1	Composition	43
2.2	Thèses et habilitations	44
2.3	Thèmes de recherche	45
2.4	Résultats obtenus	50
2.4.1	Le modèle de base des automates et ses extensions	50
2.4.2	Automates, logique et topologie	52
2.4.3	Opérations sur les langages	54
2.4.4	Diagrammes de décision binaires	54
2.4.5	Groupes, automates et marches aléatoires	54
2.4.6	Systèmes à événements discrets	56
2.4.7	Jeux	58
2.4.8	Systèmes de numération	59
2.4.9	Automates cellulaires	61
2.4.10	Hasard et complexité de Kolmogorov	61
2.5	Projets de recherche	62
2.5.1	Automates, semigroupes	62
2.5.2	Extensions de la théorie des automates	63
2.5.3	Automates et marches aléatoires	64
2.5.4	Jeux	65
2.5.5	Systèmes de numération	66
2.5.6	Combinatoire des mots	66
2.5.7	Fondements des algorithmes	66
2.6	Coopérations scientifiques	66
2.6.1	Projets européens	68
2.6.2	Projets bilatéraux	68
2.6.3	Visiteurs reçus	68
2.7	Diffusion et évaluation de l'information scientifique	69
2.7.1	Edition	69
2.7.2	Livres	69
2.7.3	Vulgarisation scientifique	69
2.7.4	Comités de programme	69
2.7.5	Évaluation de la recherche	71
2.8	Animation de la recherche	71
2.8.1	Organisation de conférences et d'écoles	71
2.8.2	Séminaires	72
2.8.3	Sociétés savantes	72
2.9	Principaux séjours à l'étranger	72
2.10	Masters et stages encadrées	73
2.11	Publications	74

3	L'équipe Modélisation et Vérification	85
3.1	Composition	85
3.2	Thèses et habilitations	86
3.3	Thèmes de recherche	87
3.3.1	Vérification et contrôle	87
3.3.2	Raisonnement sur des objets structurés	88
3.3.3	Algorithmique distribuée tolérante aux pannes	88
3.4	Résultats obtenus : vérification et contrôle	89
3.4.1	Regular Model Checking	89
3.4.2	Vérification des systèmes paramétrés	92
3.4.3	Programmes récursifs/multithread	92
3.4.4	Programmes avec mémoire dynamique	95
3.4.5	Vérification de systèmes temporisés et hybrides	97
3.4.6	Systèmes perturbés :	97
3.4.7	Vérification de systèmes probabilistes	97
3.4.8	Diagrammes de séquences communicantes et traces de Mazurkiewicz	98
3.4.9	Génération de contre-exemples minimaux	98
3.4.10	Jeux et contrôle	99
3.4.11	La logique temporelle et Datalog	100
3.5	Résultats obtenus : Objets structurés	100
3.5.1	Automates d'arbres à jetons	101
3.5.2	Logiques pour des objets structurés avec données	101
3.5.3	Recherche de motifs	101
3.6	Résultats obtenus : Tolérance aux pannes	102
3.6.1	Détecteurs de défaillances	102
3.6.2	Modèles	103
3.6.3	Réseaux de capteurs	103
3.7	Projets de recherche	103
3.7.1	Vérification et contrôle	103
3.7.2	Algorithmique distribuée et tolérance aux pannes	104
3.8	Coopérations scientifiques	106
3.8.1	Projets nationaux	106
3.8.2	Projets européens	107
3.8.3	Projets bilatéraux	107
3.8.4	Autres collaborations	108
3.8.5	Coopérations industrielles	108
3.8.6	Visiteurs reçus	109
3.9	Diffusion et évaluation de l'information scientifique	109
3.9.1	Edition	109
3.9.2	Vulgarisation scientifique	109
3.9.3	Comités de programme	109
3.9.4	Évaluation de la recherche	111
3.10	Animation de la recherche	112
3.10.1	Organisation de conférences ou d'écoles	112
3.10.2	Séminaires	112
3.10.3	Sociétés savantes	112
3.11	Principaux séjours à l'étranger	112
3.12	Publications	113

Organisation du laboratoire au 30 septembre 2007

Directeur : Jean-Éric Pin, DR CNRS

Directeur adjoint : Ahmed Bouajjani, Prof P7

Equipes et responsables		
Algorithmique	Automates	Vérification
Michel Habib	Jean Mairesse	Ahmed Bouajjani
Membres permanents au 1er octobre 2007		
Yacine Boufkhad, MdC P7	Luc Boasson, Prof P7	Eugène Asarin, Prof P7
Pierre Charbit, MdC P7	Olivier Carton, Prof P7	Ahmed Bouajjani, Prof P7
Fabien de Montgolfier, MdC P7	Christian Choffrut, Prof P7	Thierry Cachat, MdC P7
Enrica Duchi, MdC P7	Thomas Colcombet, CR CNRS	Carole Delporte, MdC P7
Pierre Fraigniaud, DR CNRS	Marie Ferbus, MdC P7	Hugues Fauconnier, MdC P7
Michel Habib, Prof P7	Christiane Frougny, Prof P8	Irène Guessarian, Prof P6
Amos Korman, CR CNRS	Serge Grigorieff, Prof P7	Peter Habermehl, MdC P7
Emmanuelle Lebhar, CR CNRS	Ines Klimann, MdC P7	Yan Jurski, MdC P7
Jeremy Lovejoy, CR CNRS	Jean Mairesse, DR CNRS	François Laroussinie, Prof P7
Roberto Mantaci, MdC P7	James Martin, CR CNRS	Antoine Meyer, MdC P7
Anne Micheli, MdC P7	Matthieu Picantin, MdC P7	Mihaela Sighireanu, MdC P7
Maurice Nivat, Prof P7	Jean-Éric Pin, DR CNRS	Tayssir Touili, CR CNRS
Thi Ha Duong Phan, MdC P7	Olivier Serre, CR CNRS	
Dominique Poulalhon, MdC P7	Wolfgang Steiner, CR CNRS	
Christophe Prieur, Mdc P7	Jean-Baptiste Yunès, MdC P7	
Mathieu Raffinot, CR CNRS	Wieslaw Zielonka, Prof P7	
Dominique Rossin, CR CNRS		
Laurent Viennot, CR INRIA		
Autres chercheurs		
	Eric Thierry, Dél. CNRS	
	Glenn Merlet, Post Doc	

Doctorants		
Mathilde Bouvel Thomas Hugel Vincent Limouzy Olivier Mallet Hoang Anh Phan To Thu-Hien	Marie Albenque Julien Cristau Thu Ha Dao Thi Achille Frigeri	Mohssen Abboud Mohamed Faouzi Atig Claire David Cezara Dragoi Florian Horn Pierre Moro Mathias Samuelides Andreas Tielmann
Équipe administrative	Équipe technique	
Noëlle Delgado, TE CNRS	Laïfa Ahmadi, IR2 CNRS	Houy Kuoy, IE CNRS

Conseil de laboratoire

Le conseil de laboratoire est une structure formée du directeur et de représentants élus par les équipes de recherche et par l'équipe administrative et technique du LIAFA. Il se réunit tous les deux mois. Sa composition est la suivante :

Membres de droit :

- Jean-Éric Pin, directeur
- Ahmed Bouajjani, directeur adjoint

Représentants élus des chercheurs :

- Equipe *Algorithmique et combinatoire* :
Michel Habib xxx
Pierre Fraignaud yyy
- Equipe *Automates et applications* :
Christian Choffrut Matthieu Picantin
Christiane Frougny Olivier Serre
- Equipe *Modélisation et vérification* :
Eugene Asarin Tayssir Touili
Irène Guessarian Jean-Baptiste Yunes
- Thésards :
Claire David

Représentants élus de l'équipe administrative et technique :

- Equipe administrative : Noëlle Delgado
- Equipe technique : Laïfa Ahmadi

Introduction

Présentation

Ce rapport présente l'activité scientifique du Laboratoire d'Informatique Algorithmique, Fondements et Applications (LIAFA), durant la période allant du premier janvier 2004 au premier octobre 2007, soit donc sur un peu moins de quatre ans.

Le LIAFA est l'un des deux laboratoires d'informatique de l'Université Paris Diderot. Les thèmes de recherche du laboratoire sont l'algorithmique (en particulier l'algorithmique des graphes), la combinatoire, la théorie des automates, les événements discrets, la théorie des jeux, la spécification et la vérification, les algorithmes distribués, domaines dans lesquels sa compétence est mondialement reconnue. Ces domaines en pleine vitalité, qui combinent les aspects théoriques et appliqués, suscitent de nombreuses synergies dans les deux directions : les problèmes appliqués sont source de questions de nature théorique et les connaissances fondamentales permettent de trouver des réponses adaptées et efficaces aux questions pratiques.

Le LIAFA est l'une des composantes de la Fondation "Sciences Mathématiques de Paris", créée en décembre 2006, un réseau d'excellence unique au monde dans sa discipline par sa dimension et son potentiel scientifique. La fondation offre un spectre scientifique exceptionnel qui recouvre l'essentiel des thèmes de pointe en mathématiques et informatique fondamentale, des théories les plus abstraites aux applications les plus diversifiées.

Depuis 2000, Le LIAFA a connu une **forte croissance**, puisque le nombre de ces permanents a doublé, et ceci malgré plusieurs départs et le nombre de ses chercheurs CNRS a triplé. Cette période a également connu une **très forte activité scientifique** : on trouvera ci-dessous une présentation plus détaillée, mais quelques chiffres résument assez bien la productivité scientifique du laboratoire : 160 publications dans des revues d'audience internationale, 186 dans des conférences d'audience internationale, 11 chapitres d'ouvrage, 22 thèses soutenues et 18 thèses en cours et 4 habilitations à diriger des recherches.

La nécessité d'un engagement ferme sur les locaux

Malgré ces succès, le LIAFA (tout comme le laboratoire voisin PPS) n'a pas reçu le soutien attendu de l'université en matière de locaux. Pourtant, une **recommandation très ferme** figurait dans les conclusions du **comité d'évaluation** tenu en 2003, dont voici un extrait :

« Une croissance importante (de plus d'un tiers des effectifs permanents dans les prochaines années à venir) est envisagée et se trouve certainement justifiée par l'importance de la discipline informatique dans la société et par la qualité de la production (scientifique et humaine) du LIAFA. Cette croissance que nous saluons de la part de l'université **devrait s'accompagner d'une politique volontariste de la présidence en matière de locaux** et d'un **engagement ferme** à aider sur ce point

un laboratoire excellent et en pleine expansion à accéder à de nouveaux espaces. Le président de l'université paraissait plutôt privilégier des négociations directes entre partenaires. Selon notre expérience, ces questions de locaux sont **cruciales**, et il faut que **l'université s'engage fermement à soutenir l'expansion du LIAFA en allant au delà d'un simple rôle de médiation**. Ceci est une condition nécessaire pour que le LIAFA réussisse à attirer des nouveaux membres qui soient au niveau de ses légitimes ambitions scientifiques. »

Quatre ans plus tard, la situation n'a pas évolué et nous occupons la même surface que lors de notre arrivée sur le site de Chevaleret, tout en ayant doublé notre taille. La rentrée se déroule dans les pires conditions qui soient, car nous n'avons pas de bureaux à offrir aux enseignants chercheurs qui viennent d'être nommés (sans parler des professeurs invités). Cette situation parfaitement intolérable ne peut plus durer et doit faire l'objet d'un engagement précis de l'université dans le cadre du plan quadriennal.

L'organisation scientifique du LIAFA

Le LIAFA comprend trois équipes de recherche

- (1) *Algorithmique et combinatoire*, responsable Michel Habib,
- (2) *Automates et applications*, responsable Jean Mairesse
- (3) *Modélisation et vérification*, responsable Ahmed Bouajjani

Ces trois équipes forment l'ossature du laboratoire et coopèrent fréquemment entre elles.

Revenons aux équipes. Les thèmes de l'équipe **Algorithmique et combinatoire** sont d'une part les modèles combinatoires et d'autre part les aspects énumératifs et algébriques de la combinatoire. Les modèles combinatoires recouvrent une grande variété de situations, tels que les tas de sable, les pavages ou l'étude des graphes de grande dimension, dont l'exemple le plus connu est le Web. Les modèles proposés doivent pouvoir rendre compte des phénomènes observés — tels que l'effet petit-monde du graphe du Web, la diffusion des virus, etc. —, mais il s'agit aussi de proposer des algorithmes efficaces pour étudier ces propriétés. L'approche combinatoire permet une étude approfondie et rigoureuse d'une grande variété de situations : systèmes dynamiques discrets issus de la physique ou de la biologie, problèmes de synchronisation en téléphonie cellulaire, géométrie discrète, etc.

Les recherches de l'équipe **Automates et applications** portent d'une part sur les questions fondamentales de la théorie des automates et d'autre part sur des questions algorithmiques issues de problèmes concrets. Les aspects fondamentaux concernent principalement les semigroupes, la combinatoire des mots, les liens avec la logique, les jeux, etc. Un effort particulier a été fait ces dernières années sur les extensions de la notion d'automate : automates travaillant sur des mots infinis ou même transfinis, automates avec sortie, etc. Ces travaux élargissent le champ de recherche et débouchent sur des applications à des problèmes plus pratiques. Ainsi, l'équipe travaille sur des problèmes issus de la vérification des systèmes ou la modélisation des systèmes concurrents, sur les applications des automates à l'arithmétique des ordinateurs, sur des algorithmes spécialisés pour la reconnaissance automatique dans les séquences génétiques ou la reconstruction phylogénétique.

L'équipe **Modélisation et vérification** part du constat que les systèmes utilisés de nos jours sont de plus en plus complexes alors qu'ils doivent satisfaire des exigences de qualité et de fiabilité de plus en plus fortes. Ceci est notamment vrai pour les systèmes utilisés dans des contextes critiques du point de vue de la sûreté et de la sécurité. Il est donc impératif de développer

des méthodes rigoureuses et des procédés de validation automatiques efficaces. Intégrer ces aspects dès la conception des systèmes — au moins pour les plus critiques parmi eux —, est l'un des enjeux principaux de l'informatique. Il s'agit en particulier de modéliser convenablement les systèmes étudiés et leur propriétés, pouvoir prédire de façon précise leur comportement et pouvoir soit établir la correction de leur comportement, soit déceler les défaillances dans ce comportement et diagnostiquer leurs causes.

En dépit de progrès importants et continus durant ces dernières années, l'obtention de telles techniques pour des systèmes complexes reste un défi majeur. Les recherches de l'équipe concernent les aspects décrits ci-dessus, en particulier la conception de formalismes basées sur les automates et la logique pour la modélisation et la spécification, et le développement de techniques algorithmiques pour l'analyse et la vérification automatique.

Les principaux outils utilisés et développés par l'équipe concernent l'extension de modèles à base d'automates et de systèmes de réécriture pour différentes classes de systèmes, calcul effectif de représentations (basées sur les automates ou la logique) des ensembles d'états accessibles d'un système, modélisation et vérification de systèmes concurrents, systèmes temps-réel, systèmes paramétrés, le développement d'outils logiques et combinatoires pour la spécification et la vérification, l'algorithmique distribuée et la tolérance aux pannes.

L'activité scientifique du LIAFA

Le tableau ci-dessous résume l'activité scientifique du LIAFA. Outre la quantité des publications, il faut également en souligner la qualité. On retrouvera le détail de ces publications dans les pages qui suivent.

Équipes au 30/09/07	Algorithmique	Automates	Vérification	LIAFA
Permanents	17	16	12	45
Autres chercheurs	0	2	0	2
Thésards	6	5	8	19
Effectif total	23	23	20	66
Revue Internationales	51	78	33	160 ¹
Revue Nationales	2	0	0	2
Conférences Intern.	58	49	81	186 ¹
Conférences Nat.	11	0	3	14
Livres (Auteur)	0	1	1	2
Livres/Journaux (Editeur)	0	5	1	6
Chapitres d'ouvrages	3	6	2	11
Total publications	125	139	121	383 ¹
Thèses soutenues	6	12	4	22
Thèses en cours	6	4	8	18
Habilitations	2	1	1	4

Les publications du LIAFA de septembre 2003 à septembre 2007¹. Les publications dont les

¹Le total est inférieur à la somme des équipes, en raison de publications communes.

références complètes figuraient déjà dans le rapport 2000-2003 ne sont pas comptabilisées.

Le LIAFA est représenté dans un très grand nombre de comités de programme de **conférences internationales** (BFCA, CALCO, CAV, CIAA, CONCUR, CSL CSIT, DCFS, DISC, DLT, DLTFPSAC/SFCA, ESA, EXPRESS, FCT, FICS, FINCO, FORMATS, FOSSACS, FST-TCS, HSCC, ICALP, ICTAC, LATA, LATIN, MFCS, RNC, SEFM, SIROCCO, STACS, TACAS, TPTS, VMCAL, Workshops IEEE/ACM, IFIP ou NATO) ou de **journaux scientifiques** (Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science, Fundamenta Informaticae, Informatique Théorique et Applications, International Journal of Algebra and Computation, Information Processing Letters, Journal on Automata, Languages and Combinatorics, Semigroup Forum, Theoretical Computer Science).

Le LIAFA accorde une place très importante à la formation par la recherche. Ses enseignants-chercheurs sont fortement impliqués dans les formations de troisième cycle de la région parisienne, et tout particulièrement dans le Master Parisien de Recherche en Informatique (MPRI, <http://mpri.master.univ-paris7.fr>), qui regroupe les universités Paris VI, Paris VII et Paris XI, les ENS d'Ulm et de Cachan et l'Ecole Polytechnique. Par ailleurs, le LIAFA organise pas moins de six groupes de travail ou séminaires : le séminaire *Automates* chaque vendredi après-midi, le séminaire *Vérification* chaque lundi matin, le séminaire *Algorithmique et combinatoire* le mardi après-midi, le groupe de travail *Systèmes à Événements Discrets* qui se réunit en moyenne une journée par mois, le groupe de travail sur les *Jeux* (environ 10 réunions par an) et enfin le séminaire des thésards, organisé par et pour les thésards du LIAFA et de PPS.

Ce rapport a été préparé avec l'aide de tous les membres du LIAFA et l'assistance de Noëlle Delgado, que je remercie tout particulièrement.

Un grand merci également à Stefan Ulrich, qui a accepté de modifier tout spécialement son style L^AT_EX `bibtopic` pour la préparation de ce rapport.

Paris, le 26 novembre 2008,

Jean-Eric Pin

Rapport scientifique

1 L'équipe Algorithmique et Combinatoire

1.1 Composition

Responsable : Michel Habib, Professeur Paris 7

Membres permanents

- Yacine Boufkhad, MdC Paris 7
- Pierre Charbit, MdC Paris 7
- Fabien de Montgolfier, MdC Paris 7, depuis septembre 2004
- Enrica Duchi, MdC P7, depuis septembre 2005
- Pierre Fraignaud, DR CNRS
- Michel Habib, Professeur P7, depuis septembre 2005
- Amos Korman, CR CNRS, depuis octobre 2007
- Emmanuelle Lebhar, CR CNRS, depuis septembre 2006
- Jeremy Lovejoy, CR CNRS, depuis septembre 2004
- Matthieu Latapy CR CNRS, jusqu'en juillet 2006
- Roberto Mantaci, MdC Paris 7
- Anne Micheli, MdC Paris 7
- Maurice Nivat, Professeur Paris 7
- Thi Ha Duong Phan, MdC Paris 7 (en détachement actuellement)
- Dominique Poulalhon, MdC P7
- Christophe Prieur, MdC Paris 7
- Mathieu Raffinot, CR CNRS, depuis septembre 2007
- Dominique Rossin, CR CNRS
- Laurent Viennot, CR INRIA

Doctorants ayant soutenu leur thèse

- Christophe Crespelle (encadrement Christophe Paul et Michel Habib), Paris 7, septembre 2007.
- Jean-Loup Guillaume (encadrement Matthieu Latapy), Paris 7, thèse soutenue en février 2004.
- Pascal Pons (encadrement Matthieu Latapy), thèse soutenue en juillet 2007.
- Fabien Viger (encadrement Matthieu Latapy et Serge Fdida), thèse soutenue en septembre 2007.

Doctorants en cours de thèse

- Mathilde Bouvel, doctorant Paris 7 depuis septembre 2006 (directeur D. Rossin, AC)
- Thomas Hugel, doctorant Paris 7 depuis septembre 2006 (directeur Y. Boufkhad, AM)
- Vincent Limouzy, doctorant Paris 7 depuis septembre 2005 (directeur M. Habib, AM)
- Olivier Mallet, doctorant Paris 7 depuis septembre 2005 (directeur J. Lovejoy, AM)
- Hoang Anh Phan, doctorant Paris Sud depuis janvier 2007 (directeur P. Fraignaud, BDI CNRS)
- To Thu-Hien, doctorant Paris 7 depuis septembre 2007 (directeur M. Habib, AMX)

1.2 Thèses et habilitations

Thèses soutenues

- Toufik Bennouas (encadrement Michel Habib) *Modélisation de parcours du WEB et calcul de communautés par émergence*. décembre 2005. ²
- Mohamed Bouklit (encadrement Michel Habib) *Autour du graphe du WEB : Modélisations probabilistes de l'internaute et détection de structures de communautés* juin 2006. ³
- Christophe Crespelle (encadrement Christophe Paul et Michel Habib) *Représentations dynamiques de graphes* septembre 2007. ⁴
- Jean-Loup Guillaume (encadrement Matthieu Latapy), *Analyse statistique et modélisation des grands réseaux d'interaction*, février 2004. ⁵
- Fabien Mathieu (encadrement Laurent Viennot et Michel Habib) *Graphes du Web, mesures d'importance à la PageRank*, thèse soutenue à Montpellier en décembre 2004. ⁶
- Pascal Pons (encadrement Matthieu Latapy), *Algorithmes pour les grands réseaux d'interaction*, juillet 2007. ⁷
- Fabien Viger (encadrement Matthieu Latapy et Serge Fdida) *Métriologie de graphes et réseaux* septembre 2007 ⁸

Thèses en cours

- Le Manh Ha (directeur Ha Duong Phan et Trung Huy Phan), *Etude des points critiques de systèmes dynamiques discrets pour les calculs combinatoires* depuis septembre 2006
- Nguyen Ngoc Doanh (directeur Pierre Auger, Alexis Drogoul et Ha Duong Phan) *Prise en compte des comportements individuels en dynamique des populations et des communautés. Conception et confrontation de modèles mathématiques et individu-centrés*. depuis septembre 2007.
- Mathilde Bouvel (directeur Dominique Rossin, AM), *Algorithmique et combinatoire des permutations à motifs exclus* depuis septembre 2006.
- Thomas Hugel (directeur Y. Boufkhad, AM) *Phénomènes de seuil dans SAT* depuis septembre 2006
- Vincent Limouzy (directeur Michel Habib), *Algorithmes de décomposition de graphes*, depuis septembre 2005.
- Olivier Mallet (directeur J. Lovejoy), *Les overpartitions et les identités de séries basiques hypergéométriques*, depuis septembre 2005.
- Hoang Anh Phan (directeur Pierre Fraigniaud), *Algorithmes distribués*, début en septembre 2006.
- D. Perino (directeurs Fabien Mathieu et Laurent Viennot) *Mesures dans Internet par et pour réseaux décentralisés*, Cifre avec Orange, depuis novembre 2006.
- Hien-Thu To (encadrement Michel Habib et M. Raffinot), *Algorithmes de graphes pour la Phylogénie*, depuis septembre 2007.

Habilitations

- Laurent Viennot, *Autour des graphes et du routage*, novembre 2005.
- Dominique Rossin, *Algorithmique et combinatoire*, décembre 2007

²Toufik Bennouas est maintenant ingénieur dans une start up parisienne Criteo travaillant sur le Web

³Mohamed Bouklit est actuellement postdoctorant chez Orange à Lannion.

⁴Christophe Crespelle est ATER au LIAFA

⁵Jean-Loup Guillaume est MdC à l'Université Paris VI.

⁶Fabien Mathieu est maintenant chercheur à France Télécom R et D.

⁷Pascal Pons est actuellement ingénieur à l'IGN.

⁸Fabien Viger est actuellement ingénieur chez Google à Zurich.

1.3 Introduction

Au cours de ces quatre années (2004-2007) l'équipe Algorithmique et Combinatoire s'est considérablement renforcée. En effet, suite aux départs de deux chercheurs importants (D. Krob et M. Morvan), D. Rossin, jeune CR CNRS, a repris la direction de l'équipe et permis non seulement le maintien de ses thèmes mais aussi sa croissance : recrutement de trois MdC, d'un PR, puis le recrutement de 2 CR CNRS ainsi que l'accueil en mobilité de trois autres chercheurs CNRS. Depuis 2005 l'équipe a élargi ses thématiques vers l'algorithmique de graphes, puis en 2007 vers les réseaux (Equipe-Projet INRIA Gang).

Notons aussi le départ en 2007 de M. Latapy (CR CNRS) dont les recherches en matière de réseaux s'orientent désormais plus vers la métrologie. Il a ainsi naturellement rejoint l'équipe de S. Fdida au LIP6.

En conclusion, si l'on ajoute le recrutement CNRS d'A. Korman à la rentrée 2007, l'équipe a un potentiel renforcé par l'arrivée de 4 CR, 1 DR, 3 MdC, 1 PR (soit 9 permanents) ce qui lui donne un formidable potentiel scientifique. Les résultats présentés ici n'expriment pas totalement ce potentiel, en raison de l'arrivée récente de certains membres de l'équipe : le rapport ne mentionne que les activités de recherche menées au LIAFA. Ainsi P. Fraigniaud (DR2 CNRS) a rejoint le LIAFA dans le courant du premier trimestre 2007. Il renforce les thématiques autour de l'algorithmique distribuée et de ses applications (systèmes pair-à-pair, étude des effets *petits mondes*, etc.) au sein de l'équipe Algorithmique et Combinatoire. Seules ses activités du deuxième trimestre 2007 sont décrites dans ce rapport.

1.4 Thèmes de recherche

1.4.1 Algorithmique

Dans de nombreux domaines tels que la chimie, la biologie, les réseaux de télécommunications ou encore les réseaux sociaux, des modèles à base de graphes sont utilisés quotidiennement en recherche. De même les graphes constituent des outils importants et très utilisés de modélisation pour l'informatique elle-même. Pour s'en convaincre il suffit de considérer la place faite aux algorithmes sur les graphes dans les ouvrages classiques d'algorithmique (cf. par exemple l'excellent livre : *Algorithm Design* par J. Kleinberg et E. Tardos, Addison Welsey 2005).

En effet malgré la simplicité apparente de leur définition, les graphes capturent une large part de la complexité algorithmique (i.e. des classes de complexité algorithmique telles P, NP et bien d'autres peuvent se définir comme l'ensemble des problèmes de graphes exprimables dans un certain fragment logique). Il est donc très important de bien comprendre la structure des graphes et en particulier les décompositions combinatoires afin d'utiliser des modélisations pertinentes à base de graphes (i.e. des modélisations sur lesquelles les algorithmes de résolution sont efficaces).

Ainsi nos recherches sur l'algorithmique des graphes ont deux objectifs principaux : le premier concerne la compréhension de la complexité structurelle des graphes via des décompositions de graphes et les invariants de graphes associés, tandis que le deuxième est centré sur la conception d'algorithmes *efficaces* sur les graphes et l'étude des outils algorithmiques nécessaires.

Parallèlement nous étudions plusieurs domaines d'application : les réseaux et les systèmes distribués, les très grands graphes, les réseaux sociaux, la bioinformatique.

En effet ces domaines nous apportent de nouveaux sujets d'étude, tels par exemple l'algorithmique sous-linéaire (quand la donnée est un très grand réseau dont on ne possède pas toutes les caractéristiques, les algorithmes de complexité quadratique, ni parfois même linéaire sont insuffisants). De même, lorsqu'on étudie des modèles particuliers de réseaux, il est parfois possible

d'établir des bornes inférieures de complexité, ce qui est quasi-impossible sur le modèle trop général des graphes.

Un des plus grands graphes de terrain qui puisse être collecté de façon automatisée est le graphe du Web. Ses sommets sont les URL de pages Web, et ses arcs les liens hypertextes entre pages. L'analyse markovienne appliquée à ce graphe est à l'origine de l'algorithme PageRank de Page et Brin, implanté dans le moteur de recherche GoogleTM. Des études, à la suite de la publication dans Nature de Broder *et al*, ont été entreprises pour connaître plus précisément sa forme (structure en nœud papillon, distribution des degrés, diamètre...)

L'algorithmique des grands réseaux, pose en particulier les problèmes de routage spécifiques aux très grands réseaux réels, comme le réseau Internet ou les réseaux sociaux. Une thématique principale est l'étude du phénomène « petit monde », ou l'existence de très courts chemins entre toute paire de noeuds dans un réseau, qui peuvent être découverts de façon décentralisée.

Enfin la conception d'algorithmes combinatoires nécessite aussi l'étude de structures de données (par exemple les PQ-arbres qui permettent de manipuler des ensembles de permutations d'un ensemble) et parfois l'invention de nouvelles structures. Ces thèmes s'inscrivent donc naturellement dans nos recherches.

1.4.2 Principaux résultats obtenus

Décompositions de graphes.

Un module dans un graphe est un ensemble de sommets qui se comportent de la même façon vis-à-vis de l'extérieur. La décomposition modulaire est une des principales décompositions de graphes. Elle permet, grâce à un arbre de décomposition, de résoudre efficacement (en temps polynomial, voire linéaire) de nombreux problèmes NP-complets, quand les graphes s'y prêtent. La décomposition modulaire permet d'ailleurs de mieux comprendre la structure de ces « bonnes » classes de graphes : cographes, graphes de permutation, graphes d'intervalles...

F. de Montgolfier et R. McConnell ont proposé le premier algorithme en temps linéaire de décomposition modulaire de graphes orientés [45].

M. Habib avec A. Brestcher, D. Corneil et C. Paul ont proposé un algorithme particulièrement simple de reconnaissance de la classe des cographes citeBrestcherCHP06. L'algorithme est basé sur deux parcours LexBFS (parcours en largeur lexicographique) du graphe. Pour la décomposition modulaire dans le cas général ce travail a été poursuivi avec l'aide de M. Tedder et récemment un algorithme simple a été proposé qui devrait permettre enfin d'utiliser algorithmiquement cette décomposition des graphes.

La décomposition modulaire est relativement impuissante pour les graphes bipartis. J.-L. Fouquet, M. Habib, F. de Montgolfier et J.-M. Vanherpe ont développé une décomposition adaptée, la décomposition bimodulaire (sur une idée de Jean-Marie Vanherpe) [75].

F. de Montgolfier et M. Rao ont caractérisé les décompositions de graphes en couples de 2-modules, généralisation naturelle de la décomposition modulaire. Il y en a trois, deux déjà connues et une nouvelle, la décomposition *bijoint* [108]. Les graphes totalement décomposables pour cette décomposition ont été caractérisés. Le parallèle avec la classe des graphes *distance-héréditaires* a été établi.

Grâce à l'utilisation de résultats sur les décompositions en coupe et en bijoins, V. Limouzy, F. de Montgolfier et M. Rao [101] ont pu améliorer la complexité d'un algorithme de Johansson donnant, si elle existe, la décomposition NLC-2 d'un graphe.

Enfin dans le cadre du projet ANR Blanc Graal, nous avons étudié d'autres décompositions de graphes. L'équipe du LIAFA a introduit plusieurs généralisations de la notion de module et montré que le calcul de la décomposition modulaire généralisée restait polynomial [135].

Structures de données.

L'ensemble de tous les réalisateurs d'un graphe d'intervalles peut être stocké grâce à une structure de données bien connue, le PQ-arbre. Il sert aussi à stocker les intervalles communs d'une famille de permutations. Formellement, si $\{\sigma_1, \dots, \sigma_k\}$ sont k permutations de $[1, \dots, n]$, les intervalles communs sous les sous-ensemble de $[1, \dots, n]$ dont les éléments apparaissent consécutivement dans chacune des permutations. Le PQ-arbre apparaît donc naturellement dans les problèmes de graphes d'intervalles, de permutations ou planaires, et est relié avec la représentation de tous les modules d'un graphe.

F. de Montgolfier et R. McConnell (Colorado State University) ont travaillé sur des opérations ensemblistes pouvant être réalisées sur les PQ-arbres [103].

A. Bergeron, C. Chauve, F. de Montgolfier et M. Raffinot ont travaillé sur les intervalles communs de plusieurs permutations. Ils ont proposé un algorithme simple en temps linéaire, basé sur une nouvelle structure de données, le *générateur des intervalles communs*. Ce générateur est, au même titre que le PQ-arbre, une représentation des intervalles de la familles, mais les opérations d'union et d'intersections de familles, ainsi que le test d'appartenance des intervalles, se font en temps optimal par des algorithmes de respectivement deux et une lignes seulement [130]. Il est intéressant de remarquer que cette question du calcul des intervalles communs à deux permutations est une question issue de la bioinformatique qui nous a permis d'obtenir de très jolis résultats en algorithmique combinatoire.

Le problème SAT.

Le problème de la satisfaisabilité de formules booléennes (SAT) est central en théorie de la complexité. Il a aussi de nombreuses applications pratiques, notamment la vérification formelle de l'adéquation d'un système à ses spécifications (conception de circuits électroniques), l'ordonnement de tâches, la gestion des dépendances entre les paquets d'une distribution logicielle... Dans k -SAT, les formules sont sous forme normale conjonctive avec des clauses de taille k : une clause est un *OU* de variables éventuellement précédées d'un *NON* ; toutes les clauses sont reliées par des *ET*. La question est de savoir si on peut satisfaire simultanément toutes les clauses. Pour $k \geq 3$, ce problème reste NP-Complet. Un phénomène remarquable a été mis en évidence au début des années 1990 : on fixe le rapport α entre le nombre de clauses et le nombre de variables et on étudie la probabilité pour qu'une formule soit satisfaite quand le nombre de variables tend vers l'infini. On observe qu'il existe une valeur α_c telle que si $\alpha < \alpha_c$ cette probabilité tend vers 1 et si $\alpha > \alpha_c$ cette probabilité tend vers 0. C'est ce qu'on appelle un phénomène de seuil (ou transition de phase). Ce qui motive l'étude de ces problèmes est le constat suivant : tous les algorithmes connus de résolution de SAT mettent d'autant plus de temps à répondre que les formules sont proches du seuil.

L'autre problème sur lequel travaille Y. Boufkhad est la modélisation sous forme SAT de contraintes qui n'ont pas une traduction naturelle sous forme de clauses et plus particulièrement aux contraintes linéaires impliquant des variables booléennes et des coefficients entiers. Cette modélisation doit préserver la propriété de déductibilité par propagation unitaire qui est à la base de tous les solveurs SAT. La question qui n'est pas encore résolue est celle de l'existence d'un codage polynomial ayant la propriété ci-dessus dans le cas général où les coefficients sont des entiers quelconques.

Dans [7], Y. Boufkhad en collaboration avec O. Dubois de Paris 6 et Y. Interian et B. Selman de l'université de Cornell ont établi une borne inférieure et une borne supérieure du seuil de satisfaisabilité des formules régulières. Dans les formules régulières les variables ont quasiment le même nombre d'occurrences dans la formule et chaque variable apparaît autant de fois sous forme directe que complétement. L'intérêt de cette classe est qu'elle capture la difficulté

de la famille 3-SAT dans le sens où tous les instances de 3-SAT se réduisent à des instances de 3-SAT régulières par une transformation polynomiale. En outre, elle permet d'éliminer les complications posées par la distribution en nombre d'occurrences des variables tout en préservant la NP-Complétude du problème et donc tout son intérêt.

T. Hugel travaille actuellement sur la mise en évidence du lien constaté expérimentalement entre la complexité des algorithmes et le seuil de satisfaisabilité. Cette voie qui mérite d'être explorée est trop récente pour qu'il y ait des résultats dignes d'être mentionnés.

Dans [56], Y. Boufkhad et O. Bailleux (Université de Dijon) avaient proposé un codage CNF des contraintes de cardinalités i.e. les contraintes arithmétiques où tous les coefficients sont égaux à 1. Ce résultat est amélioré dans deux directions. D'abord dans [57] où le codage précédent est étendu au problème d'optimisation associé. Ensuite dans [4] où Y. Boufkhad en collaboration avec O. Bailleux et O. Roussel ont étendu ce codage au cas général des coefficients entiers quelconques. Ce dernier codage est polynomial pour des familles importantes de coefficients (lorsqu'ils sont bornés par un polynôme ou lorsqu'ils ont une croissance exponentielle...) mais il est exponentiel dans le pire cas. La question de l'existence d'un codage polynomial pour des coefficients quelconques reste entière.

Algorithmique des grands réseaux.

L'essor des réseaux informatiques décentralisés à grande échelle, où la carte du réseau n'est pas connue et où chaque ordinateur contribue au réseau localement a demandé de revoir les problèmes algorithmiques fondamentaux des réseaux, dont les solutions existantes étaient devenues irréalistes en pratique. L'algorithmique distribuée est un domaine très actif dans cette problématique : comment arriver à calculer une structure sur un graphe sans calcul centralisé ? Les travaux de P. Fraigniaud, E. Lebhar et A. Korman sur la conception d'algorithmes distribués utilisant très peu de mémoire et de temps pour les problèmes classiques et cruciaux des réseaux ont aboutit à un résultat qui présente un algorithme distribué pour calculer un arbre couvrant minimal d'un arbre avec une mémoire constante en chaque noeud et en un nombre de rondes logarithmique [78].

La navigabilité, ou « effet petit monde » est un phénomène encore mal expliqué et qui peut pourtant avoir de nombreuses applications dans le domaine du routage informatique. La modélisation en terme de graphes aléatoires de cette propriété a connu un essor important ces dernières années.

Les travaux de P. Fraigniaud et E. Lebhar ont donné lieu à deux résultats importants. D'une part, la possibilité de produire des modèles pour la navigabilité sur des graphes arbitraires en atteignant une meilleure borne supérieure de temps de routage que l'existante (Best paper de la conférence Annual ACM Symposium on Parallelism in Algorithms and Architectures SPAA'07 [78]). D'autre part, un second résultat dans cette thématique est d'avoir démontré la possibilité de décomposer un graphe pour y retrouver les raccourcis qui y permettent la navigation [141]. Enfin, un résultat récent est la proposition d'un nouveau modèle mathématique pour le réseau Internet, qui s'appuie sur des données réelles et auquel nous pouvons associer des résultats algorithmiques théoriques efficaces [142].

Pair-à-Pair.

Le Pair-à-pair (*peer-to-peer*, P2P) est un paradigme dans lequel les pairs sont à la fois clients et serveurs d'un même service, qui a connu un déploiement très important ces dernières années. Les connections, c'est-à-dire les collaborations, sont établies en fonctions de règle d'intérêt dépendant du système P2P. En général, il y a intérêt mutuel à la connection : par exemple, deux joueurs d'échecs souhaitant jouer ensemble, ou bien deux applications s'échangeant les blocs d'un même

fichier en téléchargement partagé. Chaque pair classe ses collaborateurs potentiels en fonction de l'utilité attendue : niveau ELO voisin du sien (pour les échecs), bande passante élevée ou possession de données intéressantes (pour le téléchargement partagé) etc. Mais sa connectivité est limitée. On modélise ainsi ainsi une application P2P par une instance du problème des collocataires (*roommates problem*). Il s'agit de la variante unisexe du classique problème des mariages stables, où les hommes classent les femmes, et réciproquement, et où l'on s'intéresse aux couplages stables (sans adultère possible).

Nous avons proposé un algorithme d'*initiatives*, inspiré de l'algorithme de Gale et Shapley, résolvant dynamiquement le problème des collocataires dans un contexte P2P. Par des simulations, nous avons observé quelques comportements typiques des applications P2P. Nous avons montré que les principaux systèmes de préférences d'une application P2P (préférences globales : tout le monde à la même liste, préférences basées sur une distance, préférences basées sur la plus grande différence de ressources) sont des cas acycliques, i.e. ayant une unique solution stable. Dans le cas des préférences globales (application BITTORRENT par exemple) nous avons pu formellement caractériser les graphes de connections, quand les pairs ont une connaissance totale ou partielle du réseau. Cela a validé la conjecture de la stratification de BITTORRENT : intuitivement, que les pairs ayant une bande passante élevée s'échangent les données entre eux seulement. On peut en déduire des stratégies d'optimisation de la bande passante. Une série de publications récentes [99, 85] présente ces résultats.

De nombreux graphes structurés ont été proposés pour construire des réseaux logiques entre pairs d'une application décentralisée. Récemment, le graphe de de Bruijn est apparu comme un candidat de choix pouvant permettre d'obtenir un degré constant tout en conservant un diamètre logarithmique. L. Viennot a étudié l'utilisation du graphe de de Bruijn pour construire des réseaux de pair-à-pair de faible degré. Une table de hachage distribuée est proposée dans [82], et une utilisation avec équilibrage de la charge est proposée dans [84]. Une architecture pour le streaming de pair-à-pair est proposée dans [83].

Graphe du WEB.

La principale utilisation du graphe du Web concerne l'évaluation de l'importance des pages web avec des algorithmes tels que PageRank. Comprendre la structure fine de ce graphe et comment affiner de tels algorithmes reste un sujet d'actualité. L. Viennot et F. Mathieu ont montré comment se décompose le calcul du PageRank lorsqu'une partition en sites web est donnée [102].

T. Benuouas et F. de Montgolfier [58] ont construit un modèle simple, montrant qu'en faisant simplement une hypothèse sur la distribution des degrés, et en supposant que le graphe est fruit d'un parcours (*i.e.* un *crawl*) on obtenait des graphes ayant les mêmes caractéristiques que celles attribuées aux graphes du Web. Il est donc dur, voire impossible, de distinguer entre les artefacts de capture et les propriétés intrinsèques du *vrai* graphe du Web, si tant est qu'il puisse être défini. En effet, les études existantes ne portent que sur des *crawls*, obtenus par téléchargement récursif des pages.

P. Charbit a étudié les modèles infinis pour le graphe du web. Il s'agit ici d'étudier un modèle du graphe du web proposé par Anthony Bonato. Ce modèle est basé sur une généralisation du graphe probabiliste de Rado. Cela a fait l'objet d'une collaboration en 2006 de P. Charbit avec le Professeur Alex Scott de l'Université d'Oxford qui est encore un partenaire de travail sur ces questions.

Réseaux sociaux.

C. Prieur travaille depuis 2003 sur l'analyse de réseaux sociaux. Il est actuellement en détache-

ment au sein d'un laboratoire de sociologie des usages (France-Télécom R&D). Deux traditions sociologiques s'opposent dans ce domaine : l'une, qu'on pourrait qualifier de « macro », qui tente de modéliser des réseaux supposés connus dans leur globalité (échanges de mails entre les employés d'une entreprise, par exemple), en recherchant des régularités ; l'autre, « micro », qui s'attache à décrire au plus près la diversité et la nature des liens qu'un individu cible entretient avec son entourage relationnel, identifiant ainsi diverses formes de sociabilité.

Les outils de l'algorithmique des graphes, plus naturellement applicables à l'approche « macro », peuvent également servir les tenants de l'approche « micro », voire concilier les deux.

C. Prieur étudie depuis 2006 les usages du web dit « 2.0 » ou « communautaire », notamment par le biais des structures d'échanges entre internautes (blogueurs, contributeurs de Wikipédia, utilisateurs du site Flickr etc.) Associant algorithmique des graphes et sociologie des usages, ce champ d'études est naturellement très en vogue, on parle de « graph mining » ou fouille de graphe, les grands acteurs de l'internet (Yahoo, Google, Microsoft, HP, AT&T...) dotant leurs départements de recherche de cette double compétence. C. Prieur est donc au centre d'un domaine en émergence dont nous espérons des retombées tant pratiques que théoriques.

1.4.3 Combinatoire

- **Membres :** Mathilde Bouvel (en thèse), Enrica Duchi (MDC), Jeremy Lovejoy (CR CNRS), Olivier Mallet (en thèse), Roberto Mantaci (MDC), Anne Micheli (MDC), Ha-Duong Phan (MDC), Dominique Poulalhon (MDC), Dominique Rossin (CR CNRS)

Les études menées ces quatre dernières années portent essentiellement sur l'étude combinatoire de structures comme les permutations, les arbres, les cartes (ces trois structures ayant de nombreux points communs), ou encore les polyominos.

Les travaux ont pour objectif la résolution de problèmes d'énumération, de génération aléatoire ou encore la mise en œuvre d'algorithmes de reconnaissance. C'est d'ailleurs sur ces trois volets que s'articule le nouveau projet ANR GAMMA qui démarre à l'automne 2007, projet en commun avec l'IGM, le LIP6 et le LRI. Ce projet tend à produire des algorithmes de génération aléatoire rapides pour des classes d'objets. Les verrous liés à cette génération sont de plusieurs types et intimement liés aux différentes méthodes de génération aléatoires utilisées.

Les méthodes classiques récursives ou bijectives donnent de très bon résultats mais nécessitent de connaître parfaitement la structure des objets considérés. La méthode par rejet est certes plus rapide à mettre en œuvre mais repose sur des algorithmes rapides pour déterminer si un objet appartient à la classe considérée. La méthode de Boltzmann, plus récente, nécessite quant à elle de connaître une définition récursive de la classe et de savoir évaluer les séries génératrices des classes et sous-classes.

Les travaux réalisés mentionnés ci-dessous ne sont pas tous au même stade de maturité. Par exemple, l'étude des permutations à motifs exclus a surtout été réalisée d'un point de vue algorithmique pour mettre en œuvre des algorithmes de reconnaissance ou encore de distance. Un des projets pour le prochain quadriennal est d'utiliser ces résultats pour réaliser, au sein du projet ANR, des méthodes génériques de génération aléatoire sur ces classes de permutations.

Permutations à motifs exclus et calcul de distances.

Ce thème de recherche a débuté en 2003 suite à un article de Dominique Rossin et Anne Micheli établissant un lien entre la distance d'édition sur les arbres usuellement utilisée en bio-informatique et une distance sur certaines permutations.

Cet article établit un pont entre l'étude des motifs dans les permutations et les distances entre des arbres.

- Premièrement, savoir si un arbre — phylogénique par exemple — est un sous-arbre d'un autre peut se reformuler en savoir si une certaine permutation est un motif d'une autre, ces deux permutations étant prises dans une certaine classe dite des triables par pile — voir les travaux de Mireille Bousquet-Melou (Labri) —.
- En outre, le calcul de la distance d'édition entre deux arbres, c'est-à-dire trouver le nombre minimal d'opérations requises pour passer du premier au second, peut être reformulé en un problème de distance d'édition sur les permutations.

Mathilde Bouvel, Anne Micheli et Dominique Rossin se sont intéressés à l'étude de ces classes de permutations à motifs exclus d'un point de vue combinatoire et algorithmique.

Suite à ce premier travail, il est naturel d'essayer d'étendre ces résultats aux permutations en général, à d'autres types de distance ou encore à des structures plus générales que les arbres bien que le problème générique d'appartenance de motif dans les permutations soit NP-complet.

Ce thème est transverse entre l'algorithmique, la combinatoire et la bioinformatique bien que ce dernier point ne soit pour l'instant pas développé. Il peut aussi être vu sous un angle de combinatoire des mots où les lettres de l'alphabet sont ordonnées.

Cartes.

Les cartes combinatoires sont les représentations discrètes naturelles des objets topologiques que sont les plongements de graphes dans une surface, la sphère (ou de façon équivalente le plan) ou des surfaces de genre plus élevé. Comme telles, elles sont à la base de la théorie des graphes topologiques, et constituent des outils indispensables de l'informatique graphique, du dessin de graphes et de la compression d'images en particulier.

Les algorithmes de graphes travaillent en général sur un plongement particulier du graphe concerné, c'est-à-dire sur une représentation du graphe dans laquelle les voisins de chaque sommet sont ordonnés : autrement dit, des cartes.

L'algorithmique des graphes a clairement montré l'importance du concept de planarité, et, plus généralement, des caractéristiques topologiques des représentations de graphes choisies : de très nombreux problèmes possèdent des solutions beaucoup plus efficaces pour les graphes planaires que pour les graphes généraux, à condition de disposer d'un plongement planaire du graphe considéré. L'efficacité de ces algorithmes dépend en général des caractéristiques topologiques de la carte utilisée pour représenter le graphe. La planarité en particulier joue un rôle très important dans de nombreux algorithmes ; de très nombreux problèmes possèdent des solutions beaucoup plus efficaces pour les graphes planaires que pour les graphes généraux, à condition de disposer d'une carte planaire correspondant au graphe considéré.

Par ailleurs, les cartes planaires sont des objets beaucoup plus structurés que les graphes planaires, et donc plus susceptibles d'être étudiés combinatoirement. C'est l'une des raisons pour lesquelles W. Tutte a entamé leur étude dans les années 60, avec en ligne de mire le théorème des quatre couleurs. Tutte a mis au point tout un arsenal de techniques très efficaces basées sur la décomposition récursive des cartes à énumérer. Ces techniques ont permis d'obtenir de très nombreux résultats énumératifs exacts (forme close ou série génératrice) ou asymptotiques. Cependant, les manipulations analytiques nécessaires ne rendent pas toujours claires les raisons pour lesquelles certaines formules sont particulièrement simples.

L'idée de Tutte de passer par les cartes pour obtenir des renseignements sur les graphes planaires est d'autant plus justifiée que, d'après un théorème dû à H. Whitney (1933), les graphes suffisamment connexes (3-connexes précisément) possèdent un unique plongement planaire. Les familles de cartes planaires satisfaisant une contrainte de connexité forte sont donc également des familles de graphes planaires.

Les cartes sont également très étudiées en physique statistique, comme modélisations de

surfaces *discrètes* aléatoires, plus simples à étudier que les surfaces continues. Elles constituent donc des supports de choix pour les modèles d'Ising ou de particules dures ; les cartes étudiées dans le domaine de la *gravité quantique* 2-dimensionnelle sont donc souvent décorées d'une façon ou d'une autre, par exemple par l'ajout de spins sur les sommets. Une méthode d'énumération de cartes extrêmement puissante a été développée dans ce cadre, à base d'*intégrales de matrices*.

Enfin, les résultats d'A. Hurwitz à la fin du 19^e siècle ont montré que la classification des revêtements topologiques de surfaces de Riemann peut être menée en termes de cartes combinatoires. Des travaux plus récents ont de plus enrichi ce domaine d'aspects arithmétiques. Dans ce cadre, les problèmes de classification effective sont de nature algorithmique, ainsi que l'illustrent par exemple les travaux d'A. Zvonkin.

Dominique Poulalhon s'intéresse aux problèmes liés à l'énumération *constructive* des cartes, en particulier planaires, et satisfaisant des contraintes de connexité : problèmes de comptage selon certains paramètres tout d'abord, mais également, grâce à une meilleure compréhension de la structure des familles de cartes considérées, problèmes de codage et de génération aléatoire, étude de certaines statistiques, de certaines propriétés asymptotiques...

Des pistes d'élargissement naturelles de ces travaux concernent d'une part les graphes planaires, bien plus rétifs à l'étude combinatoire que les cartes car moins structurés, mais dont certaines familles coïncident avec certaines familles de cartes étudiées. Et d'autre part les cartes de genre supérieur (fixé ou non), à la structure plus complexe que les cartes planaires.

Tas de sable.

Le problème de l'étude des tas de sable trouve ses sources dans deux communautés différentes :

- En informatique et plus particulièrement en combinatoire où cette question a été abordée comme un système dynamique sur des partitions d'entiers décroissantes. Cette étude remonte aux travaux de Brylawski vers 1970.

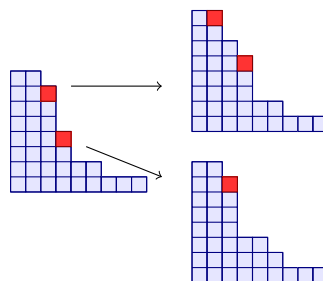


FIG. 1 – Exemple d'éboulement sur les partitions d'entier

- En physique théorique où le modèle du Tas de Sable et plus particulièrement du Tas de Sable Abélien s'est révélé être le système dynamique le plus simple à décrire et dont le comportement est similaire à celui observé pour les tremblements de terre.

Enrica Duchi, Roberto Mantaci, Anne Micheli, Ha Duong Phan et Dominique Rossin ont travaillé sur le problème des piles de sable suivant deux axes :

- Un premier concerne la dynamique de ces systèmes et l'extension des modèles bidimensionnels existants au cas tridimensionnel. De nombreux problèmes de définition et de caractérisation ont été étudiés sur cette extension. Ces travaux sur les piles de sables sont d'ailleurs le plus souvent vus comme des systèmes dynamiques discrets où les configurations sont des partitions d'entiers ou encore des partitions planes.

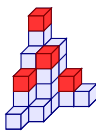


FIG. 2 – Exemple de tas tridimensionnel

- Un second axe concerne le problème d'énumération de certaines configurations du système. Cet axe concerne plus la théorie algébrique des graphes et la combinatoire énumérative.

Étude de la complexité des polyominos.

Les polyominos, c'est-à-dire les ensembles convexes que l'on peut dessiner sur une grille dans le plan, sont à la source de nombreux puzzles depuis 1907 mais leur étude mathématique commence dans les années 50, période à laquelle S. Golomb leur a donné ce nom.

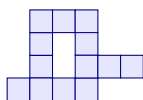


FIG. 3 – Un polyomino

Une des principales problématiques est liée à leur énumération. En effet, aucune formule n'est à ce jour connue pour les énumérer. Pour répondre à cette question, de nombreuses classes de polyominos ont été introduites pour essayer de donner des bonnes bornes minimales quant à cette question.

Mais l'aspect énumératif de ces polyominos n'est pas le seul axe de recherche et une notion de complexité du polyomino appelée la k -convexité a été introduite et Enrica Duchi, Anne Micheli, Dominique Poulalhon et Dominique Rossin cherchent à prouver certaines propriétés énumératives liées à cette convexité, propriétés pour l'instant observées de manière expérimentale.

Combinatoire du processus d'exclusion asymétrique.

Enrica Duchi a travaillé sur un problème combinatoire lié à la physique statistique : le processus d'exclusion asymétrique sur une ligne (Totally Asymmetric Simple Exclusion Process). Il s'agit d'une chaîne de Markov décrivant des particules qui se déplacent sur une ligne selon certaines règles simples. Les nombres de Catalan apparaissent dans la distribution stationnaire de cette chaîne de Markov, ce qui pose le problème de donner une interprétation combinatoire de ce fait. Les extensions au modèle dit *Parallel TASEP* sont liées à la modélisation du trafic routier.

Overpartitions et le rang de Dyson.

Depuis son arrivée au LIAFA en 2005, Jeremy Lovejoy a poursuivi ses recherches sur la combinatoire des overpartitions et les séries basiques hypergéométriques. En particulier, il s'intéresse au rôle que joue le rang introduit par le physicien F. Dyson. Avec Kathrin Bringmann (Minnesota, États-Unis), ils ont démontré que des fonctions génératrices associées au rang d'une overpartition ont la structure d'une forme de Maass *faible*. Ce lien avec la théorie des nombres a beaucoup d'applications. Ensuite avec Robert Osburn (Dublin, Irlande), ils ont calculé certaines

fonctions qui mesure à quel point le rang ne produit pas une congruence de Ramanujan. Jeremy a aussi découvert deux sortes de conjugaisons qui sont fondamentales dans la combinatoire des overpartitions.

Overpartitions et les identités de Rogers-Ramanujan.

Jeremy Lovejoy s'intéresse à la signification combinatoire des identités dites *de Rogers-Ramanujan*. Ainsi il a uni plusieurs grands résultats en utilisant les paires d'overpartitions et en étendant la notion d'une part attachée. Avec son étudiant Olivier Mallet et Sylvie Corteel (LRI, Orsay), ils ont trouvé de nouvelles applications d'une famille de fonctions basiques hypergéométriques introduite par Bressoud. Et avec Olivier ils ont généralisé des travaux d'Andrews, Bressoud, et Burge sur les partitions et les chemins aux paires d'overpartitions.

Autour du théorème de Schur.

Jeremy Lovejoy a cherché à généraliser le fameux théorème de Schur sur les partitions. En étendant une identité clé d'Andrews, Jeremy a pu généraliser ce théorème aux overpartitions et bien au-delà. Et il a adapté ces méthodes pour donner plusieurs résultats concernant les partitions avec *différence 2 à distance 2* et les partitions dentelée, ces dernières ayant été découvertes dans une étude de physique quantique. Finalement, avec Sylvie Corteel, ils ont trouvé une façon bijective de généraliser non seulement le théorème de Schur, mais aussi des résultats célèbres d'Andrews et Andrews-Olsson liés au groupe symétrique.

Aspects divers des partitions.

Jeremy Lovejoy continue à s'intéresser à tout aspect de la théorie de partitions. Par exemple, il poursuit des recherches avec Dohoon Choi et Soon-Yi Kang (KIAS, Corée) sur des congruences et des identités pour des fonctions liées au célèbre *crank* d'une partition. Et avec Sylvie Corteel, ils ont utilisé les overpartitions pour donner une preuve combinatoire de l'identité q -Bailey.

1.5 Résultats obtenus

1.5.1 Permutations à motifs exclus et calcul de distances

Problèmes énumératifs.

Roberto Mantaci et Fanja Rakotondrajao (Madagascar) se sont intéressées à des classes de permutations à motifs exclus à croissance polynomial, celles qui évitent une croissante et une quasi-décroissante. Ils ont donnée la meilleure borne supérieure connue à ce jour sur le degré du polynôme.

Distance d'édition sur les permutations.

Dans [46], Anne Micheli et Dominique Rossin ont étudié la correspondance usuelle entre arbres planaires et permutations triables par une pile. Cette correspondance est une lecture préfixe d'une numérotation postfixe des arêtes de l'arbre selon un parcours en profondeur.

Dans cette correspondance, la suppression d'une arête de l'arbre est équivalente à la suppression du nombre correspondant dans la permutation suivie de la renormalisation de celle-ci — on enlève 1 à tous les éléments supérieurs à la valeur de l'arête supprimée. Cela conduit à une nouvelle permutation qui se révèle être un *motif* de la première.

Aidés de cette correspondance, Anne Micheli et Dominique Rossin ont ensuite utilisé l'algorithme polynomial de K. Zhang et D. Shasha pour le calcul de la distance d'édition entre deux arbres et ont donné son équivalent sur les permutations triables par pile, à savoir trouver le

plus grand motif commun à deux permutations. Ce résultat est d'autant plus intéressant que le problème générique de recherche de plus grand motif est NP-difficile sur les permutations. En fait, savoir si une permutation est motif d'une autre est déjà NP-complet.

Mathilde Bouvel et Dominique Rossin ont ensuite étendu l'algorithme précédent aux permutations séparables, donnant ainsi un algorithme polynomial pour résoudre les problèmes suivants :

- Trouver un plus grand motif commun entre deux permutations, pourvu qu'une des deux soit séparable.
- Trouver un plus grand motif commun séparable entre un ensemble fini de permutations.

Ce résultat a été établi en collaboration avec S. Vialette.

Ces résultats, outre leur portée algorithmique, permettent d'établir un lien avec les problèmes de décomposition de graphe. En effet, la base de l'algorithme proposé repose sur la représentation des permutations séparables par un arbre, dit de séparation, qui se révèle être un cas particulier d'arbre de décomposition modulaire d'un graphe. Cette correspondance permet d'étendre nos algorithmes au cas où l'arbre de décomposition modulaire du graphe de permutation a ses nœuds premiers d'arité bornée.

Distance de réplication en tandem avec pertes aléatoires.

Certains auteurs ont proposé un modèle d'évolution des permutations basé sur les études réalisées sur le génome. Dans ce modèle un opérateur dit de réplication-perte est défini sur les permutations agissant sur une partie de celle-ci. Mathilde Bouvel, Dominique Rossin et François Maindrault ont étudié à la fois d'un point de vue combinatoire et algorithmique cette opération.

Dans un premier temps, la classe des permutations accessibles après un nombre fini d'applications de l'opérateur a été caractérisée comme une classe de permutations à motifs exclus.

Mathilde Bouvel a initié un travail avec E. Pergola et L. Ferrari de Florence sur la caractérisation des motifs exclus dans ces classes.

Ensuite, un algorithme linéaire est proposé pour résoudre le problème de la distance de réplication en tandem. Cet algorithme donne en moyenne le résultat optimal — à un facteur multiplicatif près.

Cartes.

Dominique Poulalhon a obtenu avec Gilles Schaeffer (LIX) des preuves bijectives de résultats de comptage pour certaines familles de cartes, en particulier certaines familles de triangulations contraintes par leur degré de connexité [48], en mettant en évidence la correspondance entre ces familles et des familles d'arbres plans simples à énumérer, à coder et à engendrer. De ces preuves découlent des algorithmes de codage particulièrement efficaces (de complexité linéaire et produisant un code par un mot binaire de longueur optimale), ainsi que des algorithmes de génération aléatoire uniforme de complexité linéaire. Par ailleurs, elles donnent des renseignements suffisamment précis sur la structure des triangulations pour permettre d'étudier le comportement asymptotique de certaines statistiques concernant les *graphes* planaires (entre autres une borne pour le nombre de graphes planaires), comme cela a été démontré dans un article [6] en commun avec Nicolas Bonichon, Cyril Gavoille et Nicolas Hanusse (LaBRI).

Avec Éric Fusy et Gilles Schaeffer (LIX), Dominique Poulalhon a ensuite généralisé ce travail à la famille des cartes planaires 3-connexes [26], qui correspond exactement à la famille des *graphes* planaires 3-connexes, ou encore à celle des polyèdres convexes. Ils démontrent en particulier une formule asymptotique (et non exacte) étonnamment simple pour le nombre de

polyèdres à s sommets, a arêtes et f faces :

$$\frac{1}{972saf} \binom{2s-2}{f+2} \binom{2f-2}{s+2}.$$

Ce travail a également permis à Éric Fusy de concevoir le générateur aléatoire de graphes planaires (sans condition de connexité) le plus efficace à ce jour.

Les mêmes auteurs s'intéressent maintenant au cas des cartes 2-connexes ; ces cartes sont exactement les cartes pouvant être munies d'une orientation bipolaire (c'est-à-dire une orientation acyclique avec un seul sommet sans arête entrante et un seul sans arête sortante), et les auteurs ont obtenu un codage de ces orientations bipolaires par des triplets de mots binaires très simples [81].

Avec Cedric Chauve et Alain Goupil (LaCIM), Dominique Poulalhon a également étendu le lien entre cartes et produits de permutations au cas des permutations signées, fréquemment utilisées en bio-informatique, en introduisant une famille de cartes portant des poids sur les arêtes.

Didier Arquès et Anne Micheli ont donné un codage des hypercartes pointées par les mots d'un langage généralisant le langage de Lukasiewicz [1]. Ce codage permet d'obtenir une nouvelle énumération de ces cartes suivant le nombre de sommets, de faces noires et blanches.

Précédemment des équations pour les séries génératrices des cartes de genre quelconque coloriées ou non ont été obtenues par des méthodes analytiques. Didier Arquès et Anne Micheli ont donné une décomposition bijective des cartes (coloriées ou non) qui permet de retrouver de façon purement combinatoire les équations sur les séries génératrices [2]. Cela permet d'en déduire des codages pour ces ensembles de cartes.

Tas de sable.

Enrica Duchi, Roberto Mantaci, Ha Duong Phan et Dominique Rossin [21] ont essayé d'étendre les travaux effectués sur les tas de sable bidimensionnel au cas tridimensionnel. Les tas de sable peuvent alors être vus comme des partitions planes avec des règles d'évolution similaires au cas bidimensionnel. Ces quatre chercheurs ont étudié et fourni certaines caractéristiques du système où l'on part d'une configuration formée d'une unique pile de grains et où on regarde toutes les possibilités d'évolution.

Les problèmes étudiés sont de différentes nature :

- Dans un premier temps, ils ont essayé de caractériser l'ensemble des partitions atteignables depuis la configuration de départ. Ils ont obtenu des conditions nécessaires, malheureusement pas suffisantes. Ils ont de plus montré que la manière de caractériser les configurations accessibles dans le cas bidimensionnel (sur les partitions) à l'aide de motifs exclus ne pouvait pas se généraliser au cas tridimensionnel.
- Ensuite, ils se sont intéressés à l'étude du temps de relaxation d'une configuration et à la structure de l'ensemble des configurations accessibles.

Tas de sable abélien.

Dans la continuité du travail de Dominique Rossin sur l'étude des tas de sable abéliens, Anne Micheli et Dominique Rossin se sont intéressés au calcul dit du polynôme d'avalanche : il s'agit d'un polynôme codant la distribution des avalanches sur les configurations récurrentes de ce système dynamique discret. Ainsi, A. Micheli et D. Rossin ont étendu ce polynôme sur des classes de graphes comme les arbres planaires et ont étudiés certaines caractéristiques de la distribution des avalanches — moyenne, écart-type, etc.

Combinatoire du processus d'exclusion asymétrique.

Ces travaux ont été présentés lors de la conférence FPSAC05 [74] et ont fait l'objet d'un article actuellement en révision à la revue *Random Structures and Algorithms* [140].

Overpartitions

Les travaux sur les overpartitions et le rang de Dyson ont fait l'objet de 6 publications (dont 3 à paraître et 2 soumis) dans des journaux internationaux [38, 43, 9, 44, 150, 132]. Ils ont été exposés à Lyon, Edinburgh, et en Corée.

Les travaux sur les overpartitions et les identités de Rogers-Ramanujan ont fait l'objet de 4 publications (dont 1 à paraître et 1 soumis) [41, 42, 15, 149] et ils ont été exposés à Lyon et en Corée.

1.6 Autour du théorème de Schur

Ces travaux ont fait l'objet de 3 publications [39, 14, 40] et ils ont été exposés à Lyon et à Gainesville (Etats-Unis).

1.7 Aspect divers des partitions

Ces travaux ont fait l'objet de 2 publications (tous les 2 à paraître) dans des journaux internationaux [139, 137].

1.8 Projets de recherche

1.8.1 Combinatoire

- **Membres** : Mathilde Bouvel (PhD), Enrica Duchi (MDC), Jeremy Lovejoy (CR CNRS), Roberto Mantaci (MDC), Anne Micheli (MDC), Ha-Duong Phan (MDC), Dominique Poulhlon (MDC), Dominique Rossin (CR CNRS)

Les activités en combinatoire de l'équipe s'articulent principalement pour les quatre prochaines années autour du projet blanc ANR Gamma : Génération Aléatoire, Méthodes Modèles et Algorithmes.

L'équipe a acquis une bonne expertise dans plusieurs des domaines auxquels ce projet se rattache. En effet, de nombreux travaux ont été effectués sur les propriétés structurelles d'objets combinatoires comme les permutations, les partitions ou encore les cartes. D'autre part, des algorithmes ont été développés par exemple pour la reconnaissance de ces objets.

Ces différents axes — étude structurelle, algorithmes — sont les deux briques de base nécessaires pour pouvoir engendrer aléatoirement les objets. Ainsi, comme cela a déjà été réalisé au sein de l'équipe pour certaines familles de cartes, un des objectifs pour le prochain quadriennal est de pouvoir unifier et assembler les différentes recherches effectuées pour en dégager des algorithmes efficaces de génération aléatoire.

Cette évolution permet de positionner l'équipe sur un champ thématique plus proche du domaine applicatif où le besoin de génération aléatoire que ce soit dans le domaine du test, de la bioinformatique ou dans d'autres domaines est un problème clé.

1.8.2 Algorithmes de graphes et Réseaux

- **Membres :** Yacine Boufkhad (MdC), Pierre Charbit (MdC), Pierre Fraigniaud (DR), Michel Habib (Pr), Thomas Hugel (PhD), Amos Korman (CR), Emmanuelle Lebar (CR), Vincent Limouzy (PhD), Fabien de Montgolfier (MdC), Christophe Prieur (MdC), Mathieu Raffinot (CR), Thu-Hien TO (PhD), Laurent Viennot (CR)

Dans le domaine de l'algorithmique des graphes, il s'agit de poursuivre les avancées en matière d'algorithmique de décomposition des graphes. En particulier il s'agit de proposer un algorithme linéaire simple pour la décomposition en coupes, qui est une décomposition puissante pour de nombreux problèmes. Ces recherches se feront dans le cadre du projet ANR Blanc GRAAL (commun aux laboratoires LaBRI, LIAFA et LIRMM). Il s'agira de mieux comprendre les théorèmes de structure liés aux décompositions arborescentes (théorèmes de P. Seymour, N. Robertson ou B. Courcelle) et leurs conséquences algorithmiques. Nous étudierons aussi les liens avec la phylogénie (bioinformatique).

Par ailleurs nous aimerions renforcer le thème algorithmique fondamentale de l'équipe et développer les liens avec les théories de la complexité (algorithmique) en liaison avec l'équipe d'A. Durand (Equipe de Logique, UMR 7056).

En ce qui concerne les réseaux et l'algorithmique distribuée, dans le cadre plus général de la compréhension et de l'analyse des grands réseaux réels, les avancées importantes récemment obtenues par l'équipe sur la compréhension de leur structure (métrique sous-jacente particulière et validation sur le réseau Internet) doivent se poursuivre pour aller vers un modèle plus réaliste. Ce projet se fait notamment à la lumière de nouveaux outils mathématiques pour l'analyse de ces réseaux, comme les variables aléatoires cachées ou les plongements randomisés entre métriques. Ces recherches se feront dans le cadre du projet ANR Aladin (démarrage rentrée 2007).

Les deux thèmes précédents se retrouvent au sein de l'équipe/projet INRIA GANG, dont l'objectif principal est le développement d'algorithmes pour la conception et le contrôle des réseaux à grande échelle, en s'appuyant sur les propriétés structurelles de ces réseaux. Le domaine d'application de GANG va de la conception de protocoles optimisés pour la gestion de grands réseaux dynamiques tels que les réseaux radio mobiles ou les réseaux logiques de systèmes pair-à-pair sur Internet, jusqu'à l'étude de la navigabilité dans les réseaux sociaux. Les outils de GANG sont issus des avancées les plus récentes en algorithmique de graphes aussi bien centralisée que distribuée, dont en particulier les décompositions de graphes.

Dans ce cadre nous allons étendre les résultats théoriques récents dans les domaines listés ci-dessus et les prolonger vers des algorithmes distribués dédiés à des applications réelles. Parmi ces applications, nous comptons en particulier nous consacrer à :

- l'architecture d'Internet, via une modélisation des latences par des métriques spécifiques ;
- des applications de pair à pair nouvelles, comme la diffusion coopérative de flux vidéo ou la sauvegarde croisée ;
- la gestion de grands réseaux dynamiques, tels que par exemple les réseaux ad hoc ou les réseaux logiques sur Internet.

Collaborations privilégiées :

- France Telecom : MARDI est un contrat de recherche en collaboration (CRC) entre l'Inria et France Telecom. Il regroupe GANG et Spontex (FT) autour de l'étude des réseaux décentralisés sur Internet.
- Projet DYNAMO de l'action européenne COST 295 sur l'étude de solutions algorithmique pour les réseaux dynamiques, incluant Internet, le Web, les réseaux ad hoc, les systèmes P2P, etc.

Logiciels :

- Peerple (<http://peerple.gforge.inria.fr/>) : partage et sauvegarde coopérative de données personnelles.

Startups :

- MoveNPlay : accès à distance aux contenus multimédias personnels.

1.9 Coopérations scientifiques

1.9.1 Projets nationaux

ANR.

Nom Autograph ;

Thème Analyse et visualisation des collectifs auto-organisés ;

Partenaires France-Télécom R&D, Lisimi (Orsay), projet In-Situ Inria, ENST, Fing (Fondation Internet Nouvelle Génération), SémioSys (PME).

Responsable Dominique Cardon, France-Télécom R&D

Budget total 600 kE, Liafa 110 kE ;

Durée avril 2006 – mars 2008.

Nom GAMMA ;

Thème Génération aléatoire ;

Partenaires IGM (F. Bassino), Liafa (D. Rossin), LIP6 (M. Soria)

Responsable F. Bassino, IGM

Budget total 223 kE, Liafa 89 kE ;

Durée novembre 2007 – novembre 2010.

ANR Blanc.

Nom Graal ;

Thème Graphes et Algorithmes ;

Partenaires Labri (B. Courcelle), Liafa (M. Habib), Lirmm (C. Paul)

Responsable C. Paul, Lirmm

Budget total 450 kE, Liafa 99 kE ;

Durée novembre 2006 – novembre 2008.

P. Fraigniaud est responsable du projet (ALADDIN) de l'ANR Blanche, sur l'étude des aspects fondamentaux des grands réseaux d'interaction (P2P, Web, Grille, etc.). Les deux partenaires de ce projet sont le LIAFA, dont le projet INRIA Gang, et le LaBRI, dont le projet INRIA Cépage. Le projet vient d'être validé par l'ANR mais le montant de la subvention n'est pas encore connu exactement. Il se déroulera sur quatre ans.

E. Duchi est membre du projet ANR blanc SADA dont le responsable scientifique est Mireille Bousquet-Melou au Labri.

Projets MathSTIC du CNRS.

En 2004-2005 Roberto Mantaci a été responsable du projet CNRS Math-STIC numéro 24 sur le thème « Piles de sable sur une grille bidimensionnelle ». Le CNRS a financé pour un an les études post-doctorales de Enrica Duchi qui s'est jointe en septembre 2004 au groupe de travail du LIAFA qui travaille sur cette thématique.

1.9.2 Projets européens

P. Fraigniaud est *Management Committee Chair* de l'Action COST 295 DYNAMO (*Dynamic Communication Networks : Foundations and Algorithms*). Cette Action a pour objectif de définir des modèles et des algorithmes pour l'étude des réseaux de communication dynamiques, afin de développer une méthodologie générale pour les réseaux distribués sujets à des évolutions rapides de leur structure (réseaux ad hoc, réseaux P2P, le Web, etc.). L'Action réunit plus de trente instituts et universités, dans plus de vingt pays en Europe, au Canada et en Israël. Le budget annuel de l'Action est d'environ 150.000 euros, sur quatre ans, de janvier 2005 à juillet 2009.

E. Lebhar est co-responsable avec N. Schabanel (LIP, ENS-Lyon) et Moni Naor (Weizmann Institute) du Working Group *Small Worlds* de l'Action COST 295 DYNAMO.

1.9.3 Coopérations industrielles

- F. de Montgolfier est membre du Contrat de Recherche Collaboratif MARDI (Modèles et Algorithmes pour les réseaux décentralisés sur Internet) signé entre l'INRIA (équipe-projet GANG) et France Télécom. Ce CRC a permis le recrutement en post-doc à France Télécom de Dmitry Lebedev.
- C. Prieur est depuis septembre 2006, pour 18 mois, en détachement auprès de France Télécom R&D, dans le laboratoire de sociologie des usages. En 2007, C. Prieur a participé en tant qu'expert extérieur au processus de sélection de projets pour Agoranov, incubateur public d'entreprises.

1.9.4 Projets bilatéraux

Accord de coopération entre l'Université Paris Diderot et l'institut de Mathématiques de Hanoï. (Resp. LIAFA, D. Rossin)

1.9.5 Visiteurs reçus

- Fanja Rakotonirajao, Université d'Antananarivo (Madagascar), de janvier à mars 2007.
- Marc Noy, Université de Catalogne, Avril 2005
- Martin Loeb, Université Charles de Prague, Mai 2005
- Giambattista Salinari, Université de Florence (Italie), avril 2006.
- Anne Bergeron, Université du Québec à Montréal, 15 jours en mai 2006.
- Derek Corneil, Université de Toronto, 15 jours en juin 2006.
- Martin Charles Golumbic, Université d'Haïfa, septembre 2006.
- Zvi Lotker, Ben Gurion University (Israel), du 22 janvier 2007 au 22 février 2007.
- Feodor Dragan, Kent State University, 3 mois automne 2007.

1.10 Diffusion et évaluation de l'information scientifique

Les membres de l'équipe Algorithmique et Combinatoire ont rédigé plusieurs articles pour la revue de vulgarisation scientifique *Interstices*.

- E. Lebhar a co-écrit avec N. Schabanel (CNRS, Lip-ENS Lyon) : Routage dans les petits mondes (2007)
- L. Viennot : Autour des graphes et du routage (2006)
- L. Viennot : Internet, le conglomérat des réseaux (2006)
- L. Viennot : Les réseaux Pair-à-Pair (2005)

1.10.1 Edition

- P. Fraigniaud est membre de l'éditorial board des revues : Theory of Computing Systems (TOCS) et Journal of Interconnection Networks (JOIN).
- M. Habib est éditeur de la revue électronique *Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science*

1.10.2 Comités de programme

R. Mantaci a été membre du comité de programme du 18ème colloque FPSAC en 2006 à San Diego.

- P. Fraigniaud a été en 2007 membre des comités de programme des conférences suivantes :
- 26th Annual ACM Symposium on Principles of Distributed Computing (PODC 2007).
 - 32nd International Symposium on Mathematical Foundations of Computer Science (MFCS 2007).

- 1st IEEE Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems (SASO 2007).
- 4th IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS 2007).

P. Fraigniaud est orateur invité au 15th Annual European Symposium on Algorithms (ESA 2007).

M. Habib a été membre des comités de programmes :

- WG (International Workshop on Graph-Theoretic Concepts in Computer Science) en 2005 et 2007.
- COSI (Colloque sur l'Optimisation et les systèmes d'Information, conférence internationale des pays du Maghreb) 2005-2007.

1.10.3 Comités de pilotage

Depuis 2005, M. Habib et P. Fraigniaud sont membres du comité de pilotage de STACS.

P. Fraigniaud est membre du comité de pilotage des conférences suivantes : ACM Symposium on Parallel Algorithms and Architectures (SPAA) et International Symposium on Distributed Computing (DISC).

M. Habib est membre fondateur du comité de WG (Workshop on Graph Theory).

1.10.4 Évaluation de la recherche

- Dominique Rossin est membre de la section 07 du comité National du CNRS depuis 2004 et membre de la section 44 depuis 2007.
- Yacine Boufkhad a été Membre du CNU de 2003 à 2007.
- M. Habib a été membre du jury ANR (CSD1 STIC, projets Blancs et jeunes) en 2006 et 2007, président de comité d'évaluation d'UMR CNRS (Greyc, Limos), expert auprès du ministère (jury de PEDR, laboratoires, collaborations internationales).
- P. Fraigniaud et M. Habib ont été membres de jury de recrutement INRIA en 2007.

1.10.5 Rapports de thèses et d'habilitations

- M. Habib a rapporté sur les thèses de : D. Goncalves (Théorie des graphes, Bordeaux), G-B Guenver (Ensembles ordonnés, Nantes), M. Rao (Algorithmique, Metz), V. Lacroix (Bioinformatique Lyon), Estrellon (Optimisation, Marseille), ainsi que sur les habilitations de : P. Berthomé (Orsay), I. Todinca (Théorie des graphes, Orléans) et participé à de nombreux jurys.
- D. Rossin a rapporté sur la thèse de B. Masson (Systèmes dynamiques, Nice).
- Jeremy Lovejoy a été *expert international* pour la thèse de Rhagavendra R., University of Mysore, Inde, 2006.

1.11 Animation de la recherche

1.11.1 Organisation de conférences et d'écoles

- C. Prieur a organisé deux journées d'étude en collaboration avec le Laboratoire de Démographie Historique de l'EHESS (*Les représentations graphiques des réseaux et leurs usages*, avec l'Ined, printemps 2005 ; *Fabrication et usage des catégories*, décembre 2006).
- P. Charbit, E. Lebhar, V. Limouzy et F. de Montgolfier organisent les 9e journées Graphes et Algorithmes au LIAFA (prévues pour novembre 2007).

1.11.2 Séminaires

E. Lebhar est responsable du séminaire hebdomadaire Algorithmes et Combinatoire du LIAFA autour des thèmes de l'équipe.

1.12 Principaux séjours à l'étranger

- P. Charbit : Graph Theory Workshop organisé par Reinhard Diestel (Hamburg), Alexander Schrijver (Amsterdam) et Paul D. Seymour (Princeton) au MFO (Oberwofach) du 25 au 31 Mars 2007.
- M. Habib : Université de Toronto, séjours réguliers (1 à 2 semaines), collaboration avec le Pr. Derek Corneil.
- F. de Montgolfier : Université du Québec à Montréal, Canada, du 27 mars au 10 avril 2006 et au Laboratoire Poncelet (UMI CNRS 44), Moscou, du 6 au 16 juin 2007.
- E. Duchi : CRM à Barcelone, Espagne, Juin 2007.
- J. Lovejoy : Instituto de Matemática y Física, Universidad de Talca, Chili, collaboration sur place, deux semaines, décembre 2005. POSTECH, KIAS, et KAIST, Corée, collaboration sur place et série d'exposés (6), deux semaines, juin 2007. Universiteit Utrecht, Pays-Bas, collaboration sur place, deux semaines, août 2007. University College Dublin, Irlande, collaboration sur place et séminaire, deux semaines, septembre 2007.

1.13 Masters et thèses encadrées

1.14 Enseignement en Master Recherche

Enseignants en Master Recherche MPRI :

- P. Fraigniaud et M. Habib, cours d'algorithmes de graphes, 24h par an, depuis 2006.
- D. Poulalhon (Cours de combinatoire - 2005-2007 - 15 H / an)
- D. Rossin (Cours de Combinatoire et Cours d'Algorithmique- 2004-2005 et 2006-2008 - 15 H / an)

1.14.1 Masters MPRI

- M. Bouvel (encadrement Dominique Rossin), *Recherche de motifs dans les permutations*, Université Paris diderot, Mars-Juillet 2006
- C. Billon (encadrement Dominique Rossin), *Génération des arbres couvrants d'un graphe*, Université Paris 7, Mars-Juillet 2005
- Mehdi Nafa (encadrement Yacine Boufkhad) *Une étude expérimentale du protocole Bit-torrent* (stage effectué au LIAFA en 2005).
- Philippe Gambette (encadrement M. Habib), *Graphes 2-intervallaires* (stage effectué au LIAFA en 2006).
- Jean Daligault (encadrement M. Habib), *Algorithmes de reconnaissance de classes de graphes* (stage effectué au LIAFA en 2007).
- A. Stoica (encadrement C. Prieur), *Comparaison de réseaux sociaux ego-centrés*, Ecole Polytechnique, printemps 2007 (stage effectué au laboratoire de sociologie des usages de France Télécom R&D)
- Hien-Thu To (encadrement M. Habib), *Graphes et Phylogénie* (stage effectué au LIAFA en 2007).
- Sylvain Sené (encadrement Roberto Mantaci), *Piles de Sable bidimensionnelles*, LIAFA, Université Paris 7, mai-septembre 2004.
- Emilie Diot (encadrement Roberto Mantaci), *Algorithmes efficaces pour la génération exhaustive des espaces de configurations de SPM(n)*, Université Paris 7, avril-juin 2007.

1.14.2 Stages de fin d'étude

- F. Maindrault (encadrement Dominique Rossin), *Algorithme de calcul de distance pour la duplication.*, Ecole Polytechnique, Avril-Juillet 2007
- S. Chakraborty (encadrement Anne Micheli et Dominique Rossin), *Editing distance in trees*, Chennai Mathematical Institute (Inde), mai-juin 2003.

1.15 Publications

Articles publiés ou acceptés dans des revues d'audience internationale

- [1] D. ARQUÈS ET A. MICHELI, A generalization of the language of Lukaszewicz coding rooted planar hypermaps, *Theoret. Comput. Sci.* **307**,2 (2003), 221–239.
- [2] D. ARQUÈS ET A. MICHELI, Generalized Dyck equations and multilabel trees, *Discrete Math.* **298** (2005), 18–38.
- [3] F. BAILLE, Bicriteria Scheduling for Contiguous and Non-Contiguous Parallel Tasks, *Annals of Operations Research*, 2007. À paraître.
- [4] O. BAILLEUX, Y. BOUFKHAD ET O. ROUSSEL, A Translation of Pseudo Boolean Constraints to SAT, *Journal on Satisfiability, Boolean Modeling and Computation* **2** (2006), 191–200.
- [5] A. BARRAT, D. KOLACZYK, L. DALL'ASTA, F. VIGER ET C.-H. ZHANG, What is the real size of a sampled network? The case of the Internet, *Physical Review E*, 2007. ap.
- [6] N. BONICHON, C. GAVOILLE, N. HANUSSE, D. POULALHON ET G. SCHAEFFER, Planar graphs, via well-orderly maps and trees, *Graphs and Combinatorics* **22**,2 (2006), 185–202.
- [7] Y. BOUFKHAD, O. DUBOIS, Y. INTERIAN ET B. SELMAN, Regular Random k -SAT : Properties of Balanced Formulas., *J. Autom. Reasoning* **35**,1-3 (2005), 181–200.

- [8] M. BOUVEL ET D. ROSSIN, The Longest Common Pattern Problem for two Permutations, *Pure Mathematics and Applications*, 2007. À paraître.
- [9] K. BRINGMANN ET J. LOVEJOY, Rank and congruences for overpartition pairs, *Int. J. Number Theory*, 2007. À paraître.
- [10] S. BRLEK, S. HAMEL, M. NIVAT ET C. REUTENAUER, On the palindromic complexity of infinite words., *Int. J. Found. Comput. Sci.* **15**,2 (2004), 293–306.
- [11] A.-R. CARVUNIS, M. LATAPY, A. LESNE, C. MAGNIEN ET L. PEZARD, Dynamics of three-state excitable units on Poisson vs power-law random networks, *Physica A* **367** (2006), 585–612.
- [12] P. CHARBIT ET A. SCOTT, Infinite Locally Random Graphs, *Internet Mathematics* **3**,3 (2007), 323–333.
- [13] F. CHAVANON, M. LATAPY, M. MORVAN, E. RÉMILA ET L. VUILLON, Graph encoding of 2 D -gon tilings, *Theoret. Comput. Sci.* **346**,2-3 (2005), 226–253.
- [14] S. CORTEEL ET J. LOVEJOY, An iterative-bijective approach to generalizations of Schur’s theorem, *Europ. J. Combin.* **27**,4 (2006), 496–512.
- [15] S. CORTEEL, J. LOVEJOY ET O. MALLET, An extension to overpartitions of the Rogers-Ramanujan identities for even moduli, *J. Number Theory*, 2007. À paraître.
- [16] S. CORTEEL ET O. MALLET, Overpartitions, lattice paths, and Rogers-Ramanujan identities, *J. Combin. Theory Ser. A*, 2007. À paraître.
- [17] A. DAURAT, Y. GÉRARD ET M. NIVAT, Some necessary clarifications about the chords’ problem and the partial digest problem, *Theoret. Comput. Sci.* **347**,1-2 (2005), 432–436.
- [18] A. DAURAT ET M. NIVAT, Salient and reentrant points of discrete sets, *Discrete Appl. Math.* **151**,1-3 (2005), 106–121.
- [19] A. DEL LUNGO, M. NIVAT, R. PINZANI ET S. RINALDI, A bijection for the total area of parallelogram polyominoes, *Discrete Appl. Math.* **144**,3 (2004), 291–302.
- [20] M. DOBSON, M. GUTIERREZ, M. HABIB ET J. SZWARCFITER, On transitive orientations with restricted covering graphs, *Ipl* **101** (2007), 119–125.
- [21] E. DUCHI, R. MANTACI, H.-D. PHAN ET D. ROSSIN, Bidimensional Sand Pile and Ice Pile Models, *Pure Mathematics and Applications / Algebra and Theoretical Computer Science*, 2007. À paraître.
- [22] E. DUCHI, S. RINALDI ET G. SCHAEFFER, The number of Z-convex polyominoes, *Adv. in Appl. Math.*, 2007. À paraître.
- [23] A. FROSINI ET M. NIVAT, On a tomographic equivalence between $(0, 1)$ matrices, *Pure Math. Appl.* **16**,3 (2005), 251–265 (2006).
- [24] A. FROSINI ET M. NIVAT, Binary matrices under the microscope : a tomographical problem, *Theoret. Comput. Sci.* **370**,1-3 (2007), 201–217.
- [25] A. FROSINI, M. NIVAT ET L. VUILLON, An introduction to periodical discrete sets from a tomographical perspective, *Theoret. Comput. Sci.* **347**,1-2 (2005), 370–392.
- [26] É. FUSY, D. POULALHON ET G. SCHAEFFER, Dissections and trees, with applications to optimal mesh encoding and to random sampling, *ACM Trans. on Algorithms*, 2007. À paraître.
- [27] E. GOLES, M. LATAPY, C. MAGNIEN, M. MORVAN ET T. PHAN, Sandpile Models and Lattices : A Comprehensive Survey, *Tcs* **322** (2004), 383–407.

- [28] A. GOUPIL, D. POULALHON ET G. SCHAEFFER, Katriel's operators for products of conjugacy classes of \mathfrak{S}_n , *J. Algebraic Combin.* **21**,2 (2005), 137–146.
- [29] J.-L. GUILLAUME ET M. LATAPY, Bipartite structure of all complex networks, *Inform. Proc. Letters* **90**,5 (2004), 215–221.
- [30] J.-L. GUILLAUME ET M. LATAPY, Complex Network Metrology, *Complex Systems* **16** (2005), 83–94.
- [31] J.-L. GUILLAUME ET M. LATAPY, Bipartite Graphs as Models of Complex Networks, *Physica A* **371** (2006), 795–813.
- [32] J.-L. GUILLAUME, M. LATAPY ET D. MAGONI, Relevance of massively distributed explorations of the internet topology : qualitative results, *Comput. Networks* **50**,16 (2006), 3197–3224.
- [33] M. HABIB, D. KELLY, L. E. ET P. C., Can transitive orientation make sandwich problems easier ?, *Dm* **307** (2007), 2030–2041.
- [34] M. HABIB ET C. PAUL, A simple linear-time algorithm for cograph recognition, *Dam* **145**,2 (2005), 183–197.
- [35] A. KUBA ET M. NIVAT, A sufficient condition for non-uniqueness in binary tomography with absorption, *Theoret. Comput. Sci.* **346**,2-3 (2005), 335–357.
- [36] R. KUMAR ET M. LATAPY, Preface, *Theoret. Comput. Sci.* **355**,1 (2006), 1–5.
- [37] J. LEGUAY, M. LATAPY, T. FRIEDMAN ET K. SALAMATIAN, Describing and Simulating Internet Routes, *computer networks* **51** (2007), 2067–2087.
- [38] J. LOVEJOY, Rank and conjugation for the Frobenius representation of an overpartition, *Ann. Comb.* **9**,3 (2005), 321–334.
- [39] J. LOVEJOY, A theorem on seven-colored overpartitions and its applications, *Int. J. Number Theory* **1**,2 (2005), 215–224.
- [40] J. LOVEJOY, Constant terms, jagged partitions, and partitions with difference two at distance two, *Aequationes Math.* **72**,3 (2006), 299–312.
- [41] J. LOVEJOY, Overpartition pairs, *Ann. Inst. Fourier* **56**,3 (2006), 781–794.
- [42] J. LOVEJOY, Partitions and overpartitions with attached parts, *Arch. Math.* **88**,4 (2007), 316–322.
- [43] J. LOVEJOY, Rank and conjugation for a second Frobenius representation of an overpartition, *Ann. Comb.*, 2007. À paraître.
- [44] J. LOVEJOY ET R. OSBURN, Rank differences for overpartitions, *Quart. J. Math.*, 2007. À paraître.
- [45] R. MCCONNELL ET F. D. MONTGOLFIER, Linear-time modular decomposition of directed graphs, *Discrete Appl. Math.* **145**,2 (2005), 189–209.
- [46] A. MICHELI ET D. ROSSIN, Edit Distance between Unlabeled Ordered Trees, *Theoret. Inform. Appl.* **40** (2006), 593–609.
- [47] P. PONS ET M. LATAPY, Computing communities in large networks using random walks, *Journal of Graph Algorithms and Applications (JGAA)* **10**,2 (2006), 191–218.
- [48] D. POULALHON ET G. SCHAEFFER, Optimal coding and sampling of triangulations, *Algorithmica* **46**,3-4 (2006), 505–527.
- [49] D. ROSSIN, A. DARTOIS ET R. CORI, Avalanche Polynomials of some Families of Graphs, *Trends in Mathematics Mathematics and Computer Science III* (2004), 81–94.

- [50] D. ROSSIN ET F. FOMIN, Chip firing and vertex cover of squares of graphs, *Theoret. Inform. Appl.*, 2006. À paraître.
- [51] K. SUCHAN ET I. TODINCA, On powers of graphs of bounded NLC-width (clique-width), *Discrete Appl. Math.*, 2007. À paraître.

Articles publiés ou acceptés dans des revues d'audience nationale

- [52] M. LATAPY ET J.-L. GUILLAUME, Topologie d'Internet et du Web : mesure et modélisation, in *Mesures de l'Internet*, E. Guichard (éd.), vol. 6, pp. 213–226, Les Canadiens en Europe, 2004.
- [53] C. PRIEUR ET G. SALINARI, Social distances or what lies beneath preferential attachment, *Mathématiques & Sciences Humaines*, 2008. À paraître.

Articles parus dans des actes de conférences d'audience internationale

- [54] B. AUGUSTIN, X. CUVELLIER, B. ORGOGOZO, F. VIGER, T. FRIEDMAN, M. LATAPY, C. MAGNIEN ET R. TEIXEIRA, Avoiding traceroute anomalies with Paris traceroute, in *Proceedings of the 6th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement*, J. M. Almeida, V. A. F. Almeida et P. Barford (éd.), pp. 153–158, ACM, 2006.
- [55] F. BAILLE, L. BLIN ET C. LAFOREST, Distributed Approximation Allocation Ressources Algorithm for Connecting Groups, in *proceedings of the 12-th international conference Euro-Par, Lect. Notes Comp. Sci.*, Springer-Verlag, 2006.
- [56] O. BAILLEUX ET Y. BOUFGHAD, Efficient CNF encoding of boolean cardinality constraints, in *Proceedings of the 9th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming, CP 2003*, pp. 108–122, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 2833, Springer-Verlag, 2003.
- [57] O. BAILLEUX ET Y. BOUFGHAD, Problem encoding into SAT : the counting constraints case, in *Proceedings of The Seventh International Conference on Theory and Applications of Satisfiability Testing (SAT 2004)*, <http://www.satisfiability.org/SAT04/programme/102.pdf>, 2004. Poster.
- [58] T. BENNOUAS ET F. D. MONTGOLFIER, Random Web Crawls, in *WWW2007, 16th International World Wide Web Conference*, ACM, 2007. À paraître.
- [59] A. BERGERON, C. CHAUVE, F. D. MONTGOLFIER ET M. RAFFINOT, Computing commons interval of K permutations, with applications to modular decomposition of graphs, in *ESA'05, 13th Annual European Symposium on Algorithms*, pp. 779–790, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3669, Springer-Verlag, 2005.
- [60] A. BERNINI, M. BOUVEL ET L. FERRARI, Some statistics on permutations avoiding generalized pattern. GASCom, 2006.
- [61] N. BONICHON, C. GAVOILLE, N. HANUSSE, D. POULALHON ET G. SCHAEFFER, Planar graphs, via well-orderly maps and trees, in *WG'04, 30th International Workshop on Graph-Theoretic Concepts in Computer Science*, pp. 270–284, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3353, Springer-Verlag, 2004.
- [62] M. BOUVEL ET D. ROSSIN, A variant of the tandem duplication - random loss model of genome rearrangement. Permutation Patterns 2007, 2007.
- [63] M. BOUVEL, R. ROSSIN ET S. VIALETTE, Longest Common Separable Pattern among Permutations, in *Combinatorial Pattern Matching 2007*, Springer-Verlag, 2007. À paraître.

- [64] B. BUI XUAN, M. HABIB ET C. PAUL, Revisiting T. Uno and M. Yagiura's algorithm, in *16th International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC)*, pp. 146–155, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3827, Springer-Verlag, 2005.
- [65] B. BUI XUAN, M. HABIB, L. V. ET F. D. MONTGOLFIER, On a new family of tractable decomposition for graphs. Canadam, Banff, Alberta, 2007.
- [66] B. BUI XUAN, M. HABIB, L. V. ET F. D. MONTGOLFIER, Variations on modular decomposition and interesting subset families. Dagstuhl Seminar on Exact, Approximative, Robust and Certifying algorithms on Particular Graph Classes, May 2007, 2007.
- [67] B.-M. BUI XUAN, M. HABIB, V. LIMOUZY ET F. D. MONTGOLFIER, Homogeneity vs. Adjacency : generalising some graph decomposition algorithms, in *WG'06, 32nd International Workshop on Graph-Theoretic Concepts in Computer Science, Bergen*, F. V. Fomin (éd.), pp. 278–288, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 4271, Springer-Verlag, 2006.
- [68] B.-M. BUI XUAN, M. HABIB, V. LIMOUZY ET F. D. MONTGOLFIER, On Modular Decomposition Concepts : the case for Homogeneous Relations, in *Proceedings of ODSA 2006 - Conference on Optimal Discrete Structures and Algorithms*, pp. 13–14, *Electronic Notes in Discrete Mathematics* vol. 27, North Holland-Elsevier Science Publishers, 2006. short abstract.
- [69] D. CARDON, H. DELAUNAY, C. FLUCKIGER ET C. PRIEUR, Sociological typology of personal blogs, in *Intern. Conf. of Weblogs and Social Media*, 2007. <http://www.icwsm.org/program.html>.
- [70] S. CORTEEL, J. LOVEJOY ET O. MALLET, An extension to overpartitions of the Rogers-Ramanujan identities for even moduli, in *Fourth Colloquium on Mathematics and Computer Science Algorithms, Trees, Combinatorics and Probabilities*, vol. AG, pp. 141–150, *Discrete Math. Theoret. Comput. Sci.*, 2006.
- [71] S. CORTEEL ET O. MALLET, Overpartitions, lattice paths, and Rogers-Ramanujan identities, in *Formal Power Series and Algebraic Combinatorics (SFCA/FPSAC)*, 2006.
- [72] E. DUCHI, On some classes of prudent walks, in *Proceedings of FPSAC05*, U. of Messina (éd.), 2005.
- [73] E. DUCHI, S. RINALDI ET G. SCHAEFFER, The number of Z-convex polyominoes, in *Proceedings of FPSAC06*, U. of California at San Diego (éd.), pp. 221–232, 2006.
- [74] E. DUCHI ET G. SCHAEFFER, A combinatorial approach to jumping particles : the parallel TASEP, in *Proceedings of FPSAC05*, U. of Messina (éd.), 2005.
- [75] J.-L. FOUQUET, M. HABIB, F. D. MONTGOLFIER ET J.-M. VANHERPE, Bimodular decomposition of bipartite graphs, in *WG'04, 30th International Workshop on Graph-Theoretic Concepts in Computer Science*, pp. 117–128, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3353, Springer-Verlag, 2004.
- [76] P. FRAIGNIAUD, P. GAURON ET M. LATAPY, Combining the Use of Clustering and Scale-Free Nature of User Exchanges into a Simple and Efficient P2P System, in *proceedings of the 11-th international conference Euro-Par*, J. C. Cunha et P. D. Medeiros (éd.), pp. 1163–1172, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3648, Springer-Verlag, 2005.
- [77] P. FRAIGNIAUD, C. GAVOILLE, A. KOSOWSKI, E. LEBHAR ET Z. LOTKER, Universal augmentation schemes for networks navigability, overcoming the \sqrt{n} -barrier, in *Proceedings of the 19th Annual ACM Symposium on Parallel Algorithms and Architectures*, ACM (éd.), pp. 1–7, 2007.

- [78] P. FRAIGNIAUD, A. KORMAN ET E. LEBHAR, Local MST computation with short advice, in *Proceedings of the 19th Annual ACM Symposium on Parallel Algorithms and Architectures*, pp. 154–160, ACM, 2007.
- [79] A. FROSINI ET M. NIVAT, Binary matrices under the microscope : a tomographical problem, in *Combinatorial image analysis, IWCIA 2004*, pp. 1–22, *Lecture Notes in Comput. Sci.* vol. 3322, Springer, Berlin, 2004.
- [80] É. FUSY, D. POULALHON ET G. SCHAEFFER, Dissections and trees, with applications to optimal mesh encoding and to random sampling, in *Sixteenth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA)*, pp. 690–699 (electronic), ACM, 2005.
- [81] É. FUSY, D. POULALHON ET G. SCHAEFFER, Bijective counting of plane bipolar orientations, in *European Conference on Combinatorics, Graph Theory and Applications (EuroComb)*, *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, Elsevier, 2007. À paraître.
- [82] A. GAI ET L. VIENNOT, Broose : A Practical Distributed Hashtable based on the De-Bruijn Topology, in *The Fourth IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing*, IEEE Computer Society, 2004.
- [83] A. GAI ET L. VIENNOT, Incentive, Resilience and Load Balancing in Multicasting through Clustered de Bruijn Overlay Network (PrefixStream), in *14th IEEE International Conference on Networks*, IEEE Computer Society, september 2006.
- [84] A. GAI ET L. VIENNOT, Optimizing and Balancing Load in Fully Distributed P2P File Sharing Systems, in *International Conference on Internet and Web Applications and Services (ICIW)*, IEEE Computer Society, february 2006.
- [85] A.-T. GAI, F. MATHIEU, F. D. MONTGOLFIER ET J. REYNIER, Stratification in P2P networks, Application to BitTorrent, in *ICDCS'07, International Conference on Distributed Computing Systems*, IEEE Computer Society, 2007.
- [86] J. GALTIER, A. LAUGIER ET P. PONS, Algorithms to evaluate the reliability of a network, in *5th International Workshop on Design of Reliable Communication Networks (DRCN'05)*, 2005.
- [87] P. GAMBETTE ET S. VIALETTE, On restrictions of balanced 2-interval graphs, in *WG'07, 33rd International Workshop on Graph-Theoretic Concepts in Computer Science, Lect. Notes Comp. Sci.*, Springer-Verlag, 2007. À paraître.
- [88] J.-L. GUILLAUME ET M. LATAPY, Bipartite Graphs as Models of Complex Networks, in *proceedings of the 1-st international workshop on Combinatorial and Algorithmic Aspects of Networking CAAN'04*, A. López-Ortiz et A. M. Hamel (éd.), pp. 127–139, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3405, Springer-Verlag, 2004.
- [89] J.-L. GUILLAUME ET M. LATAPY, Relevance of massively distributed explorations of the Internet topology : simulation results, in *roceedings of the 24-th IEEE international conference Infocom'05*, pp. 1084–1094, IEEE, 2005.
- [90] J.-L. GUILLAUME, M. LATAPY ET S. LE-BLOND, Statistical Analysis of a P2P Query Graph Based on Degrees and Their Time-Evolution, in *6-th International Workshop on Distributed Computing IWDC'04*, N. Das, A. Sen, S. K. Das et B. P. Sinha (éd.), pp. 126–137, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3326, Springer-Verlag, 2004.
- [91] J.-L. GUILLAUME, M. LATAPY ET C. MAGNIEN, Comparison of Failures and Attacks on Random and Scale-Free Networks, in *proceedings of the 8-th International Conference On Principles Of Distributed Systems OPODIS'04*, T. Higashino (éd.), pp. 186–196, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3544, Springer-Verlag, 2004.

- [92] J.-L. GUILLAUME ET S. LE-BLOND, Statistical Properties of Exchanges in P2P systems, in *The 2004 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA'04)*, 2004.
- [93] M. HABIB, On some generalisations of modular decomposition. Conférencier invité à Second Latin-American Workshop on Cliques in Graphs La Plata, Argentina, 2006.
- [94] M. HABIB, On two graph problems from biology. Conférencier invité pour un minisymposium à SIAM meeting on Discrete Mathematics Canada, Victoria, 2006.
- [95] M. HABIB, Search Engines and Graph Algorithms. Conférencier invité à ICFCFA (International Conference on Formal Concept Analysis) Clermond-Ferrand, 2007.
- [96] P. HEGGERNES, K. SUCHAN, I. TODINCA ET Y. VILLANGER, Characterizing minimal interval completions. Towards better understanding of profile and pathwidth, in *Proceedings 24th Symposium on Theoretical Aspects in Computer Science (STACS'07)*, *Lect. Notes Comp. Sci.*, Springer-Verlag, 2007. ap.
- [97] M.-H. LE ET T. PHAN, Strict partitions and discrete dynamical systems, in *Formal Power Series and Algebraic Combinatorics (SFCA/FPSAC)*, 2004.
- [98] S. LE-BLOND, J.-L. GUILLAUME ET M. LATAPY, Clustering in P2P Exchanges and Consequences on Performances, in *proceedings of the 4-th International workshop on Peer-to-Peer Systems IPTPS'05*, M. Castro et R. van Renesse (éd.), pp. 193–204, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3640, Springer-Verlag, 2005.
- [99] D. LEBEDEV, F. MATHIEU, L. VIENNOT, A.-T. GAI, J. REYNIER ET F. D. MONTGOLFIER, On Using Matching Theory to Understand P2P Network Design, in *INOC07, International Network Optimization Conference*, 2007.
- [100] J. LEGUAY, M. LATAPY, T. FRIEDMAN ET K. SALAMATIAN, Describing and Simulating Internet Routes, in *Proceedings of the 4-th IFIP international conference on Networking*, *Lect. Notes Comp. Sci.*, Springer-Verlag, 2005.
- [101] V. LIMOUZY, F. D. MONTGOLFIER ET M. RAO, NLC-2 graph recognition and isomorphism, in *WG'07, 33rd International Workshop on Graph-Theoretic Concepts in Computer Science*, *Lect. Notes Comp. Sci.*, Springer-Verlag, 2007. À paraître.
- [102] F. MATHIEU ET L. VIENNOT, Local Aspects of the Global Ranking of Web Pages, in *6th International Workshop on Innovative Internet Community Systems (I2CS)*, *Lect. Notes Comp. Sci.*, Springer-Verlag, june 2006.
- [103] R. MCCONNELL ET F. D. MONTGOLFIER, Algebraic Operations on PQ-trees and Modular Decomposition Trees, in *WG'05, 31st International Workshop on Graph-Theoretic Concepts in Computer Science*, pp. 421–432, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3787, Springer-Verlag, 2005.
- [104] A. MICHELI ET D. ROSSIN, Edit Distance between Unlabeled Ordered Trees, in *Mathematics and Computer Science III. Algorithms, Trees, Combinatorics and Probabilities*, D. G. M. Drmota, P. Flajolet et B. Gittenberger (éd.), pp. 257–259, *Trends in Mathematics*, Birkhäuser, 2004.
- [105] T. PHAN ET T. TRAN, Structure of Stable Sand Piles Model, in *Fourth Colloquium on Mathematics and Computer Science Algorithms, Trees, Combinatorics and Probabilities*, vol. AG, pp. 407–410, *Discrete Math. Theoret. Comput. Sci.*, 2006.
- [106] P. PONS ET M. LATAPY, Computing Communities in Large Networks Using Random Walks, in *20-th International Symposium on Computer and Information Sciences IS-CIS'05*, P. Yolum, T. Güngör, F. S. Gürgen et C. C. Özturan (éd.), pp. 284–293, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3733, Springer-Verlag, 2005.

- [107] P. PONS, C. ROSENBERG ET D. XU, Policy-driven multi-file distribution, in *12th International Workshop on Quality of Service (IWQoS'2004)*, 2004.
- [108] M. RAO ET F. D. MONTGOLFIER, The bi-join decomposition, in *Proceedings of ICGT '05, 7th International Colloquium on Graph Theory*, pp. 173–177, *Electronic Notes in Discrete Mathematics* vol. 22, North Holland-Elsevier Science Publishers, 2005.
- [109] D. ROSSIN, E. DUCHI, R. MANTACI ET T. PHAN, Bidimensionnal sand pile and ice pile models, in *GASCom*, 2006.
- [110] K. SUCHAN ET I. TODINCA, Pathwidth of circular-arc graphs, in *WG'07, 33rd International Workshop on Graph-Theoretic Concepts in Computer Science, Lect. Notes Comp. Sci.*, Springer-Verlag, 2007. À paraître.
- [111] F. VIGER ET M. LATAPY, Efficient and Simple Generation of Random Simple Connected Graphs with Prescribed Degree Sequence, in *proceedings of the 11-th international conference on Computing and Combinatorics COCOON'05*, L. Wang (éd.), pp. 440–449, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3595, Springer-Verlag, 2005.

Articles parus dans des actes de conférences d'audience nationale

- [112] T. BENNOUAS ET F. D. MONTGOLFIER, Un modèle de crawls aléatoires, in *Algotel 2006, 8emes Rencontres Francophones sur les aspects Algorithmiques des Télécommunications*, 2006. En français.
- [113] D. CARDON ET C. PRIEUR, Les formes de la discussion citoyenne dans les blogs politiques, in *Colloque Les usages partisans de l'internet, Univ. de Nancy*, 2007.
- [114] J.-L. GUILLAUME ET M. LATAPY, Modèles pour les topologies réalistes, in *Algotel, 5èmes Rencontres Francophones sur les aspects Algorithmiques des Télécommunications*, 2003. En français.
- [115] J.-L. GUILLAUME ET M. LATAPY, Relevance of Massively Distributed Explorations of the Internet Topology : Simulation Results, in *Algotel, 6èmes Rencontres Francophones sur les aspects Algorithmiques des Télécommunications*, 2004.
- [116] J.-L. GUILLAUME, M. LATAPY ET C. MAGNIEN, Comparison of Failures and Attacks on Random and Scale-Free Networks, in *Algotel, 6èmes Rencontres Francophones sur les aspects Algorithmiques des Télécommunications*, 2004.
- [117] J.-L. GUILLAUME ET S. LE-BLOND, Clustering in P2P exchanges and consequences on performances, in *Algotel, 7èmes Rencontres Francophones sur les aspects Algorithmiques des Télécommunications*, 2005. En français.
- [118] M. HABIB, Algorithmes robustes sur les graphes. Conférencier invité au colloque algorithmique, Optimisation combinatoire et Systèmes d'Information (COSI 2005) Bejaia, Algérie, 2005.
- [119] M. HABIB, Calculs de diamètre dans les graphes et réseaux. Algotel 2006 (Conférencier invité), 2006.
- [120] F. D. MONTGOLFIER, Optimisation de la bande passante dans un réseau pair-à-pair : la stratégie BitTorrent face à ses challengers, in *Algotel, 7èmes Rencontres Francophones sur les aspects Algorithmiques des Télécommunications*, 2005. En français.
- [121] N. PISSARD ET C. PRIEUR, Thematic vs. social networks in web 2.0 communities, a case study on Flickr groups, in *Algotel 2007, 9emes Rencontres Francophones sur les aspects Algorithmiques des Télécommunications*, 2007.

- [122] P. PONS, Détection de structures de communautés dans les grands réseaux d'interactions, in *Algotel, 7èmes Rencontres Francophones sur les aspects Algorithmiques des Télécommunications*, 2005. En français.

Chapitres de livres

- [123] D. CARDON ET C. PRIEUR, Les réseaux de liens sur Internet, un outil de recherche pour l'informatique et les sciences sociales, in *Humanités Numériques*, Hermès (éd.), vol. 1, Claire Brossaud et Bernard Reber ed., 2007.
- [124] M. NIVAT, On a tomographic equivalence between $(0, 1)$ -matrices, in *Theory is forever*, pp. 216–234, *Lecture Notes in Comput. Sci.* vol. 3113, Springer, Berlin, 2004.
- [125] D. POULALHON ET G. SCHAEFFER, Counting, coding and sampling with words, in *Applied Combinatorics on Words*, M. Lothaire (éd.), ch. 9, pp. 478–519, *Encyclopedia of mathematics and its applications* vol. 105, Cambridge University Press, 2005.

Thèses et habilitations

- [126] T. BENNOUAS, *Modélisation de Parcours du Web et Calcul de Communautés par Émergence*, PhD thesis, Université Montpellier II, 2005.
- [127] P. GAURON, *Interconnexion et routage efficaces pour des procédures de recherche décentralisées dans les systèmes pair-à-pair*, PhD thesis, Université Paris Sud, septembre 2006.
- [128] I. TODINCA, *Décompositions arborescentes de graphes : calculs, approximations, heuristiques*, PhD thesis, Université d'Orléans, 2006. Habilitation à diriger des recherches.
- [129] L. VIENNOT, *Autour des graphes et du routage*, PhD thesis, Univ. Paris 7, 2005. Habilitation à diriger des recherches.

Articles soumis

- [130] A. BERGERON, C. CHAUVE, F. D. MONTGOLFIER ET M. RAFFINOT, Computing common interval of K permutations, with applications to modular decomposition of graphs. Version révisé soumise à *SIAM Journal on Discrete Mathematics*.
- [131] A. BRESTCHER, D. CORNEIL, M. HABIB ET C. PAUL, A simple linear time LexBFS cograph recognition algorithm. Soumis à *SIAM J. on Discrete Mathematics*, 2006.
- [132] K. BRINGMANN ET J. LOVEJOY, Dyson's rank, overpartitions, and weak Maass forms. Soumis, 2007.
- [133] B. BUI XUAN, M. HABIB, L. V. ET F. D. MONTGOLFIER, On a new family of tractable decomposition for graphs. Canadam, Banff, Alberta, 2007.
- [134] B. BUI XUAN, M. HABIB, L. V. ET F. D. MONTGOLFIER, Variations on modular decomposition and interesting subset families. Dagstuhl Seminar on Exact, Approximative, Robust and Certifying algorithms on Particular Graph Classes, May 2007, 2007.
- [135] B.-M. BUI-XUAN, M. HABIB, V. LIMOUZY ET F. DE MONTGOLFIER, Algorithmic Aspects of a Novel Modular Decomposition Theory. Soumis à *Discrete Applied Mathematics*, 2006.

- [136] B.-M. BUI XUAN, M. HABIB, V. LIMOUZY ET F. DE MONTGOLFIER, Unifying two Graph Decompositions with Modular Decomposition. Soumis à ISAAC07, 2007.
- [137] D. CHOI, S.-Y. KANG ET J. LOVEJOY, Partitions weighted by the parity of the crank. Soumis, 2007.
- [138] D. CORNEIL, M. HABIB, J. LANLIGNEL ET B. REED, Polynomial recognition of clique-width ≤ 3 graphs. en révision pour J. of Graphs Algorithms and Applications, 2005.
- [139] S. CORTEEL ET J. LOVEJOY, Overpartitions and the q-Bailey identity. Soumis, 2007.
- [140] E. DUCHI ET G. SCHAEFFER, A combinatorial approach to jumping particles : the parallel TASEP. En révision pour la revue *Random Structures and Algorithms*.
- [141] P. FRAIGNIAUD, E. LEBHAR ET Z. LOTKER, Recovering the long range links in Augmented graphs, rap. tech. n°6197, INRIA, 2007.
- [142] P. FRAIGNIAUD, E. LEBHAR ET L. VIENNOT, The inframetric model for the Internet. Soumis, 2007.
- [143] P. GAMBETTE, *Les graphes 2-intervallaires*, mémoire de master, Université Paris VII, 2006.
- [144] M. HABIB, On some generalisations of modular decomposition. Conférencier invité à Second Latin-American Workshop on Cliques in Graphs La Plata, Argentina, 2006.
- [145] M. HABIB, On two graph problems from biology. Conférencier invité pour un minisymposium à SIAM meeting on Discrete Mathematics Canada, Victoria, 2006.
- [146] M. HABIB, Search Engines and Graph Algorithms. Conférencier invité à ICFCA (International Conference on Formal Concept Analysis) Clermond-Ferrand, 2007.
- [147] M. LATAPY ET T. PHAN, The lattice of integer partitions and its infinite extension, 2005.
- [148] M. LE ET T. PHAN, Strict partitions and discrete dynamical systems (long version), 2004.
- [149] J. LOVEJOY ET O. MALLET, Overpartition pairs and two classes of basic hypergeometric series. Soumis, 2007.
- [150] J. LOVEJOY ET R. OSBURN, M2-rank differences for partitions without repeated odd parts. Soumis, 2007.
- [151] T. PHAN, Discrete Dynamical System and Unimodal sequences, 2005.
- [152] M. TEDDER, D. CORNEIL, M. HABIB ET C. PAUL, A simple algorithm for modular decomposition. Soumis à Soda08, 2007.

2 L'équipe Automates et applications

2.1 Composition

Responsable : Jean Mairesse, DR CNRS

Membres permanents

- Luc Boasson, Professeur Paris 7 (membre de l'équipe Modélisation et Vérification jusqu'en juin 2007)
- Olivier Carton, Professeur Paris 7,
- Christian Choffrut, Professeur Paris 7
- Thomas Colcombet, CR CNRS, depuis juillet 2007
- Marie Ferbus, MdC Paris 7
- Christiane Frougny, Professeur Paris 8
- Serge Grigorieff, Professeur Paris 7
- Ines Klimann, MdC Paris 7
- Sylvain Lombardy, MdC Paris 7, jusqu'en juillet 2006
- Jean Mairesse, DR CNRS
- James Martin, CR CNRS, en détachement à Oxford
- Matthieu Picantin, MdC Paris 7, depuis septembre 2004
- Christophe Prieur, MdC Paris 7, (membre de l'équipe *Algorithmes et Combinatoire* depuis janvier 2006)
- Jean-Éric Pin, DR CNRS
- Olivier Serre, CR CNRS, depuis septembre 2005
- Wolfgang Steiner, CR CNRS, depuis septembre 2005
- Jean-Baptiste Yunès, MdC Paris 7 (membre de l'équipe Modélisation et Vérification jusqu'en juin 2007)
- Wieslaw Zielonka, Professeur Paris 7

Autres chercheurs

- Samy Abbes, Post-doctorant Ile-de-France, de décembre 2005 à décembre 2006
- Ali Akhavi, MdC Caen, en délégation CNRS, de septembre 2005 à août 2007
- Eric Thierry, Délégation CNRS, depuis septembre 2007
- Glenn Merlet, Post Doc

Doctorants ayant soutenu leur thèse

- Petr Ambrož, Université Polytechnique de Prague, octobre 2003–octobre 2006.
- Anne Bouillard, ENS Lyon et Paris 7, septembre 2002–décembre 2005
- Jérémie Cabessa, Paris 7 et université de Lausanne, septembre 2003–septembre 2007
- Frédéric Chataignier, Paris 7, septembre 2001–février 2005
- Laura Chaubard, Paris 7, septembre 2003–mai 2007
- Moez Draïef, Paris 7, septembre 2001–janvier 2005
- Berke Durak, Paris 7, septembre 2002–décembre 2005
- Blaise Genest, Paris 7, septembre 2001–novembre 2004
- Hugo Gimbert, Paris 7, septembre 2002–décembre 2006
- Olivier Serre, Paris 7, septembre 2001–décembre 2004

Doctorants en cours de thèse

- Marie Albenque, doctorant Paris 7 depuis janvier 2006 (encadrement J. Mairesse, AM)
- Julien Cristau, doctorant Paris 7 depuis septembre 2005 (encadrement O. Carton, AM)
- Thu Ha Dao Thi, doctorant Paris 7 depuis septembre 2004 (encadrement J. Mairesse, AMX)
- Achille Frigeri, doctorant Politecnico di Milano et Paris 7 depuis janvier 2006 (encadrement C. Choffrut, bourse franco-italienne)

2.2 Thèses et habilitations

Thèses soutenues

- Petr Ambrož (encadrement Christiane Frougny et Edita Pelantová, bourse du gouvernement tchèque), *Propriétés combinatoires et algorithmiques des numérations non-standard*, octobre 2006.⁹
- Anne Bouillard (encadrement Bruno Gaujal, Grenoble, et Jean Mairesse, AM), *Optimisation et analyse probabiliste de systèmes à événements discrets*, décembre 2005.¹⁰
- Jérémie Cabessa (encadrement Jean-Éric Pin et Jacques Duparc, bourse de l'université de Lausanne), *A Game Theoretical Approach to the Algebraic Counterpart of the Wagner Hierarchy*, septembre 2007.
- Frédéric Chataigner (encadrement Christian Choffrut, bourse DGA), *Phylogénie en présence de recombinaison*, février 2005.
- Laura Chaubard (encadrement Jean-Éric Pin, bourse DGA), *Méthodes algébriques pour les langages formels. Applications à la logique et à la dynamique symbolique*, mai 2007.¹¹
- Moez Draief (encadrement Jean Mairesse, AM), *Grands réseaux aléatoires : comportement asymptotique et point fixe*, janv. 2005.¹²
- Berke Durak (encadrement Christian Choffrut, AM), *Automates WORM et collages de mots et d'images*, décembre 2005.¹³
- Avi Elkharrat (encadrement Christiane Frougny et Jean-Pierre Gazeau), *Etude et applications des beta-réseaux aux structures aperiodiques*, octobre 2004.¹⁴
- Blaise Genest (encadrement Anca Muscholl, AM), *L'Odyssée des Graphes de Diagrammes de Séquence*, novembre 2004.¹⁵
- Hugo Gimbert (encadrement Wiesław Zielonka, AM), *Jeux positionnels*, décembre 2006.¹⁶
- Chloé Rispal (encadrement Olivier Carton, effectuée à Marne-la-Vallée, AM), *Automates sur ordres linéaires : complémentation*, décembre 2004.¹⁷
- Olivier Serre (encadrement Jean-Éric Pin et Anca Muscholl, AM), *Contribution à l'étude des jeux sur des graphes de processus à pile*, novembre 2004.¹⁸

Thèses en cours

- Julien Cristau (encadrement Olivier Carton) *Logique temporelle et automates sur ordres linéaires*, depuis septembre 2005.

⁹ P. Ambrož a été recruté comme Maître de Conférences à l'Université Polytechnique de Prague.

¹⁰ A. Bouillard est Maître de Conférences à l'ENS Cachan Bretagne.

¹¹ Laura Chaubard travaille actuellement à la Direction Générale de l'Armement (DGA).

¹² M. Draief est Lecturer à l'Imperial College de Londres.

¹³ B. Durak travaille dans le secteur privé comme ingénieur R&D chez Exalead.

¹⁴ A. Elkharrat travaille dans le privé comme informaticien dans une banque d'investissement.

¹⁵ B. Genest est actuellement CR2 au CNRS.

¹⁶ H. Gimbert est recruté comme CR2 au CNRS.

¹⁷ C. Rispal est Maître de Conférences à l'Université de Marne-la-Vallée depuis septembre 2005.

¹⁸ Olivier Serre est actuellement CR2 au CNRS.

- Achille Frigeri (encadrement Christian Choffrut et Alessandra Cherubini, Politechnico de Milan), *Nombres p -adiques et logique du premier ordre*, depuis janv. 2006.
- Thu-Ha Dao-Thi (encadrement Jean Mairesse), *Files d'attente et marches aléatoires*, soutenance prévue en décembre 2007.
- Marie Albenque (encadrement Jean Mairesse et Jean-François Marckert, Univ. Bordeaux), *Approche combinatoire des marches aléatoires sur certains groupes*, début en janvier 2006.

Habilitations

- Jean Mairesse, *Tetris, traces et tresses. Modélisation, combinatoire et performances*, nov. 2006.

2.3 Thèmes de recherche

Les recherches de l'équipe **Automates et applications** portent d'une part sur les questions fondamentales de la théorie des automates et d'autre part sur des questions algorithmiques issues de problèmes concrets. Les aspects fondamentaux concernent principalement les semigroupes, la combinatoire des mots, les liens avec la logique, la topologie, les jeux, etc. Un effort particulier a été fait ces dernières années sur les extensions de la notion d'automate : automates travaillant sur des mots infinis ou même transfinis, automates avec sortie, etc. Ces travaux élargissent le champ de recherche et débouchent sur des applications à des problèmes plus pratiques. Ainsi, l'équipe travaille sur des problèmes issus de la vérification des systèmes ou la modélisation des systèmes concurrents, sur les applications des automates à l'arithmétique des ordinateurs, sur des algorithmes spécialisés pour la reconnaissance automatique dans les séquences génétiques ou la reconstruction phylogénétique.

Le modèle de base des automates et ses extensions. Les automates travaillent de façon classique sur des mots finis. Mais il existe diverses extensions du modèle de base où les objets reconnus par l'automate fini ne sont plus des mots. Ainsi on s'intéresse aux automates travaillant sur des mots infinis. Ce cas est bien étudié en raison notamment de ses applications à la vérification. Les automates sur les ordres acceptent des mots indexés par des ordinaux, ou plus généralement par des ordres linéaires. Leur étude, outre son intérêt intrinsèque, permet de clarifier et d'unifier de nombreux résultats antérieurs.

Les automates à deux bandes reconnaissent des couples de mots. Plus généralement, on peut considérer les automates à n bandes qui reconnaissent des n -uplets de mots. Dans le cas à 2 bandes, on peut voir l'une des deux bandes comme bande d'entrée et l'autre comme bande de sortie, l'automate devenant une machine à transformer les mots d'entrée en mots de sortie. Il s'agit d'un sujet d'étude déjà ancien, mais il reste de nombreux problèmes à résoudre, notamment liés aux vitesses de synchronisation relatives des bandes.

Les automates à multiplicités sont encore des automates à deux bandes. Sur la première bande, on continue à lire des lettres et à former des mots, mais sur la seconde les lettres sont remplacées par des coefficients dans un semi-anneau et le produit de concaténation est remplacé par le produit du semi-anneau. A chaque chemin dans l'automate est donc associé un mot et un « poids » dans le semi-anneau. Maintenant à un mot (d'entrée) on associe un poids (de sortie) en faisant la somme dans le semi-anneau des poids des chemins réussis d'étiquette le mot d'entrée. Il faut ensuite spécialiser la notion en précisant le semi-anneau K sur le quel on travaille. Si on prend pour K le semi-anneau booléen, on retombe sur le modèle de base des automates finis. Si on prend $K = (\mathbb{N}, +, \times)$ et qu'on adjoint un poids 1 à chaque transition de l'automate, on calcule le nombre de chemins réussis d'étiquette donnée, ce qui revient à s'intéresser au

degré d'ambiguïté de l'automate restreint à sa bande d'entrée. On peut aussi s'intéresser aux semi-anneaux dits tropicaux $((\mathbb{N}, \min, +)$, $(\mathbb{R}, \max, +)$) avec des motivations allant de questions internes à la théorie des automates, jusqu'à la modélisation des systèmes à événements discrets.

Les séries rationnelles sont une formulation plus mathématisée de la même notion d'automates à multiplicités, qui soulève des problèmes très difficiles (croissance des coefficients, etc.).

Tous ces différents modèles possèdent leurs problèmes et questions propres. Même sur le modèle de base des automates finis, de nombreuses questions et pistes de recherche demeurent. En voici deux exemples. Le théorème de Kleene, pierre fondatrice de la théorie des automates, établit l'équivalence entre langages reconnus par un automate fini et langages associés à une expression rationnelle. Cependant décider de l'équivalence de deux de ces objets n'est pas élémentaire. L'algorithmique fine autour de la manipulation des automates, ou des expressions rationnelles, et des transformations permettant de passer de l'un à l'autre est un sujet actif. Un automate est dit « synchronisant » s'il existe un mot envoyant tous les états de l'automate sur un même état. La conjecture de Černý dit que si un automate à n états est synchronisant alors il existe un mot synchronisant de longueur inférieure ou égale à $(n-1)^2$. Cette conjecture résiste depuis plus de 40 ans à tous les efforts.

Ce qui est décrit ci-dessus peut être vu comme le socle commun des thèmes de recherche de tous les membres l'équipe. On va maintenant décrire des aspects ou angles d'approches plus spécifiques.

Automates, logique et topologie.

L'objectif général est de clarifier les connexions entre automates, langages reconnaissables, théorie des modèles finis, jeux de Ehrenfeucht-Fraïssé, topologie et structures algébriques finies. Voici quelques-uns des thèmes en plein essor.

Ce qu'on appelle traditionnellement la théorie algébrique des automates a fait des progrès considérables ces dernières années, ouvrant de nouvelles perspectives. Le monoïde syntactique est un invariant algébrique puissant pour étudier et classifier les langages reconnaissables. C'est Eilenberg qui a fourni le bon cadre pour l'étude des monoïdes syntactiques avec sa théorie des variétés. Depuis, la notion de monoïde syntactique et la théorie des variétés, été étendue successivement aux mots infinis, puis aux mots indexés par des ordinaux, ou par des ordres. Des résultats prometteurs ont été obtenus pour les automates d'arbre.

Par ailleurs, de nouveaux outils sont venus enrichir la théorie, tels que les topologies profinies. On passe des mots finis aux mots profinis par complétion, de la même façon que l'on passe des rationnels aux réels. L'approche profinie offre un cadre mathématique rigoureux pour aborder de très nombreux problèmes sur les automates. Elle a déjà permis la résolution de nombreux problèmes, y compris des problèmes très concrets comme la caractérisation des langages reconnus par des automates réversibles.

Les participants à cette thématique de recherche sont Olivier Carton, Christian Choffrut, Serge Grigorieff, Jean-Éric Pin, Olivier Serre et Thomas Colcombet et de nombreux chercheurs en France (M. Zeitoun, P. Weil) et à l'étranger (J. Almeida, V. Bruyère, Z. Esik, M. Gehrke, P. Silva, H. Straubing, W. Thomas, etc.) qui collaborent au sein du programme AutoMathA de l'European Science Foundation.

Opérations sur les langages.

Un autre défi est l'étude des opérations sur les langages, en particulier, les produits de concaténation et de mélange, l'étoile et les commutations partielles. Rappelons que le produit de mélange et les commutations partielles constituent la base mathématique de l'un des modèles

du parallélisme. Cette étude peut être menée soit à un niveau algébrique soit à un niveau combinatoire.

Un exemple de problème considéré : décrire les transformations préservant ou ne préservant pas les langages rationnels. Plus concrètement encore, voici deux instanciations de cette question. Le *mélange* (ou *shuffle*) de deux mots est l'ensemble des mots obtenus en mélangeant les mots de départ tout en préservant l'ordre des lettres. On se demande à quelles conditions un langage rationnel peut se décomposer comme mélange non-trivial de langages rationnels. Dans le même genre d'idées, on s'intéresse à la question suivante : étant donnée une suite strictement croissante d'entiers positifs s , au langage L , on associe le langage $L[s]$ obtenu en effaçant dans chaque mot les lettres en position un entier de la suite s ; à quelles conditions sur la suite s , la rationalité des langages est-elle préservée ?

Les participants à cette thématique de recherche sont Luc Boasson, Olivier Carton, Christian Choffrut, et Jean-Éric Pin.

Groupes, automates et marches aléatoires.

Il existe des classes générales de groupes discrets que l'on peut définir ou étudier par l'intermédiaire d'automates. Par exemple, les groupes hyperboliques à la Gromov, les groupes automatiques à la Epstein, les groupes d'automates à la Grigorchuk.

Décrivons plus en détail cette dernière classe. Soit un automate à deux bandes dans lequel les transitions sont étiquetées par des couples de lettres sur le même alphabet et dans lequel, partant de chaque état, les couples entrées-sorties définissent une permutation sur l'alphabet. Un tel transducteur définit un ensemble de transformations bijectives du monoïde libre sur l'alphabet des entrées dans lui-même. Le groupe engendré par ces transformations est un *groupe d'automate*. Ces groupes ont déjà fourni des exemples ou contre-exemples à des conjectures importantes de la théorie combinatoire des groupes. Ils sont pour cette raison très étudiés depuis quelques années, mais recèlent encore de très nombreux mystères. L'objectif est de les étudier avec un point de vue original, plus combinatoire et fondé sur la théorie des automates. Les premiers résultats obtenus sont encourageants.

Un projet complémentaire est l'étude combinatoire des marches aléatoires sur ces groupes discrets. La question générique est de calculer les constantes du modèle, tels la vitesse de fuite (ou exposant de Lyapunov) ou l'entropie. Ces quantités existent par sous-additivité mais leur détermination explicite est un problème notoirement difficile. Dans cette optique, l'existence d'automates sous-jacents fournit un levier combinatoire puissant. L'intuition est que cette structure combinatoire doit se refléter au niveau de la marche aléatoire, et donc que cette dernière doit aussi, en un sens, se décrire à l'aide d'automates finis. La retombée principale est alors la capacité à calculer explicitement vitesse de fuite ou entropie. Des résultats préliminaires ont été obtenus par J. Mairesse et F. Mathéus pour les groupes du type produits libres de groupes finis. Tout reste à faire pour les groupes dont la structure est plus complexe.

Cette thématique de recherche est développée par Ines Klimann, Matthieu Picantin, Jean Mairesse et Glenn Merlet. Un projet ANR Jeune Chercheur (*MASED*) est destiné à aider et à financer les recherches sur ce thème.

Systèmes à événements discrets.

Les systèmes à événements discrets sont des systèmes conçus par l'homme, obéissant à des règles opérationnelles, ou *algorithmes*, et dont les transformations ont lieu à des instants *discrets*, en réponse à des *événements* ponctuels (typiquement l'arrivée d'un client, d'un signal ou l'achèvement d'une tâche). Ces événements donnent lieu à des phénomènes de synchronisation

et de concurrence. Les systèmes à événements discrets apparaissent de façon naturelle dans la modélisation des systèmes informatiques, des réseaux de télécommunications, des réseaux de transport ou des systèmes de production (lignes d'assemblage, ateliers flexibles).

Pour décrire et étudier les systèmes à événements discrets (SED), on utilise de nombreux modèles (réseaux de files d'attente, réseaux de Petri, automates temporisés, ...). L'idée est d'étudier ces modèles en associant d'une part des outils logiques provenant de la théorie des automates et des langages formels, et d'autre part des outils temporisés à base de calcul dans des semi-anneaux non-conventionnels. Souvent, on est amené à introduire un système dynamique. Plus précisément, on modélise une action élémentaire comme une application transformant les instants de début d'exécution en les instants de fin d'exécution pour un ensemble fini de tâches. L'existence de plusieurs modes opératoires pour le SED (par exemple l'existence de plusieurs gammes de fabrication dans un système de production) conduit à l'introduction d'un système itéré de fonctions. D'autre part, on considère aussi de façon systématique des versions stochastiques des systèmes à événements discrets étudiés. Cela suppose d'associer aux outils mentionnés précédemment des méthodes provenant du calcul des probabilités.

Les problèmes abordés sont de différents types : recherche théorique sur les objets mathématiques utilisés (semi-anneau max-plus, automates à multiplicités, langages de traces pour ne citer que quelques exemples), modélisation, calcul effectif et algorithmique.

Les membres de l'équipe travaillant sur ce thème sont Ines Klimann, Jean Mairesse et Éric Thierry. Le projet ANR *MASED* déjà cité recouvre également cette thématique.

Jeux.

Par « jeux », il faut entendre des jeux à deux joueurs sur des graphes finis ou infinis, avec un point de vue sensiblement différent de celui des économistes ou de la théorie des jeux classique. Les jeux sont utilisés pour définir des modèles de calcul variés, l'existence de deux joueurs servant à prendre en compte la notion d'interaction. Ainsi, un module logiciel peut être vu comme un agent jouant un jeu avec son environnement suivant une stratégie finie. *Spécifier* un module revient à définir formellement un jeu, *synthétiser* un module revient à calculer une stratégie gagnante, et *vérifier* un module vis-à-vis d'une spécification revient à vérifier qu'une stratégie est gagnante. Dans cette vision, jeux et automates sont intimement liés.

On s'intéresse à la fois à des questions théoriques fondamentales et à des questions algorithmiques. En particulier, dans les applications des jeux en informatique, on souhaite pour des raisons pratiques d'implantation disposer de stratégies à mémoire bornée ou, mieux encore, de stratégies sans mémoire. Comprendre quels sont les jeux pour lesquelles les stratégies optimales sont de ce type est donc un objectif majeur.

Un autre thème de recherche se concentre sur les jeux de parité. Ceux-ci apparaissent en vérification en lien avec les automates d'arbres. Le résultat d'un jeu de parité est binaire : on gagne où on perd. Mais il existe des extensions naturelles de jeux de parité dans lesquels on peut quantifier les gains. W. Zielonka et H. Gimbert ont introduit et étudié les jeux de priorité avec le paiement en moyenne. Ces jeux généralisent à la fois les jeux de parité et les jeux classiques avec le paiement en moyenne.

Ces activités sont développés dans l'équipe par Thomas Colcombet, Jean-Éric Pin, Olivier Serre, Wieslaw Zielonka. D'autre part, cette étude est menée en liaison étroite avec l'équipe Vérification.

Systèmes de numération.

La question de la représentation des nombres est centrale en arithmétique des ordinateurs.

Les nombres sont manipulés, dans les ordinateurs comme dans la vie courante, selon leur forme — leur représentation symbolique — et non selon leur valeur. L'utilisation de systèmes de numération non classiques, mais adéquats à des problématiques particulières, peut accélérer les opérations arithmétiques et certains algorithmes de calcul numérique. Par exemple, une généralisation importante du système de numération binaire consiste en l'utilisation des chiffres signés -1 , 0 et 1 . Ceci permet d'accélérer l'addition et la multiplication en arithmétique des ordinateurs.

Dans un système de numération donné, lorsque les représentations sont redondantes, il est possible de choisir celle qui a le poids minimal. Christiane Frougny et Wolfgang Steiner ont entamé une étude des représentations de poids minimal dans des bases irrationnelles. Poursuivre et développer ses recherches est un enjeu important pour les années à venir, avec notamment des retombées escomptées en cryptographie avec courbes elliptiques.

Un autre thème de recherche concerne les numérations à base rationnelle non entière. Il est très probable que les chiffres apparaissant dans de telles représentations des réels ont une distribution aléatoire. Ceci pourrait servir à la construction de générateurs de nombres pseudo-aléatoires.

Ce thème de recherche s'articule dans l'équipe autour de Christiane Frougny et Wolfgang Steiner, et s'appuie sur l'ANR Jeune Chercheur *DyCoNum*.

Automates cellulaires.

Les automates cellulaires sont un modèle de calcul introduit par John Von Neumann dans les années 50. On peut les voir comme un réseau d'automates synchrones communicants. Chaque automate réactualise son état de façon synchrone en fonction de l'état d'un nombre fini de voisins. L'exemple le plus célèbre d'entre eux est le fameux « Jeu de la vie ». L'intérêt pour les automates cellulaires s'est développé en liaison avec les tentatives de parallélisation massives des années 80 et les efforts de parallélisation accrues dans les processeurs modernes. Ceux-ci induisant un besoin de mieux fonder les calculs parallèles. Dans l'équipe, on s'intéresse en particulier au problème de la synchronisation d'automates cellulaires (plus connu sous le nom de Firing Squad Synchronization Problem). Les questions étudiées sont les suivantes : conditions permettant d'obtenir une synchronisation en temps linéaire dans le cas où certains automates sont défectueux ; étude systématique des solutions avec très peu d'états.

Les participants de l'équipe à cette thématique sont Serge Grigorieff et Jean-Baptiste Yunès.

Hasard et complexité de Kolmogorov.

La complexité de Kolmogorov associe à un entier ou à un mot la taille du plus court programme (déterministe) permettant de le calculer. Il est bien connu que la complexité de Kolmogorov est, à une constante additive près, indépendante de la représentation des entiers, que ce soit en unaire ou dans n'importe quelle base. Marie Ferbus et Serge Grigorieff ont entrepris de reconsidérer en profondeur la définition même de la complexité de Kolmogorov. Ils considèrent les variantes obtenues en jouant aussi bien sur la définition sémantique des entiers que sur la classe des fonctions admises comme substituts des langages de programmation. Ils ont ainsi mis en évidence des liens surprenants entre l'impact des calculs infinis et/ou avec oracles et certaines représentations issues de définitions sémantiques très naturelles des entiers. Ainsi, la représentation des entiers par fonctionnelles d'itération conduit à la complexité de Kolmogorov usuelle tandis que celle, classique, par classes cardinales, est plus complexe.

Une problématique liée consiste à chercher à obtenir des réels « aléatoires » ayant une interprétation intéressante.

Cette thématique de recherche est développée par Serge Grigorieff et Marie Ferbus en collaboration avec Verónica Becher (professeur à Buenos-Aires).

2.4 Résultats obtenus

2.4.1 Le modèle de base des automates et ses extensions

Séries rationnelles en variables commutatives.

Le problème de la croissance des coefficients entiers, respectivement entiers positifs, respectivement réels, d'une série rationnelle en plusieurs variables non commutatives a été résolu depuis une vingtaine d'années, notamment par Christophe Reutenauer. Qu'en est-il lorsque les variables sont commutatives ?

Précisons le problème considéré. Considérons les séries rationnelles à coefficients réels positifs et à deux variables, appelons-les a et b , qui sont des images commutatives de séries rationnelles en variables non commutatives. Pour une somme fixe, disons n , des degrés de a et b , on s'intéresse à la distribution de probabilité obtenue en considérant les coefficients des termes $a^i b^{n-i}$ proprement normalisés. C. Choffrut en collaboration avec A. Bertoni, M. Goldwurm et V. Lonati (Université de Milan) a démontré, sous des hypothèses de forte connexité l'existence d'une distribution limite. Le cas général est cependant toujours ouvert.

Relations rationnelles.

Il est traditionnel de considérer une hiérarchie de relations rationnelles (des plus générales aux plus particulières : relations rationnelles, relations rationnelles déterministes, relations synchrones et relations reconnaissables). Etant donnée une relation appartenant à une famille, peut-on décider si elle appartient à une sous-famille ?

O. Carton, C. Choffrut et S. Grigorieff ont résolu la plupart des problèmes concernant la décidabilité d'une sous-famille de relations rationnelles dans une autre.

Olivier Carton s'est intéressé au rapport de croissance entre la sortie et l'entrée pour les transducteurs synchrones. Il a montré que les seules relations pouvant avoir deux rapports différents sont les relations reconnaissables.

Théorie du premier ordre sur les mots.

Un ancien résultat dû à Eilenberg, Elgot et Shepherdson dit que les relations entre mots définies par certains prédicats naturels (« deux mots sont de même longueur », « un mot est préfixe d'un autre » ou « un mot termine par une lettre donnée ») sont exactement celles qui sont acceptées par des automates à plusieurs bandes où toutes les têtes se déplacent à la même vitesse. En particulier la théorie logique du premier ordre définie sur la structure est décidable. Qu'en est-il lorsque l'alphabet est infini ?

C. Choffrut et S. Grigorieff ont décrit les automates à plusieurs bandes qui reconnaissent les relations entre mots sur un alphabet infini, définies par les mêmes prédicats. Ce résultat prouve en particulier que la théorie est décidable.

Automates sur les ordres.

Ces automates introduits en 2001 par Véronique Bruyère (Univ. Mons) et Olivier Carton acceptent des mots indexés par des ordres linéaires. Ils généralisent les automates sur les mots finis, les mots (bi-)infinis et les mots sur les ordinaux. Des expressions rationnelles pour décrire des ensembles de tels mots ont aussi été définies. Un premier théorème de Kleene dans le cas des

ordres dispersés a été obtenu par Olivier Carton et Véronique Bruyère. Ce résultat a été étendu à tous les ordres par Alexis Bès et Olivier Carton.

Dans sa thèse, Chloé Rispal s'est intéressée au problème de la complémentation. Il s'agit pour tout automate de trouver un automate qui accepte le complémentaire. Un premier résultat a été obtenu dans les cas des ordres dispersés de rang fini puis il a été étendu à tous les ordres dispersés.

Julien Cristau a étudié les langages rationnels de mots indexés par des ordres linéaires. Il fait le lien entre les langages reconnus par des transducteurs finis sur ces mots et les langages exprimés par des formules de LTL.

Langages XML.

Des résultats de J. Berstel et L. Boasson démontrent qu'il est indécidable de savoir si un langage algébrique inclus dans un langage de Dyck avec suffisamment de parenthèses est un langage XML. Peut-on étendre ce résultat d'indécidabilité ou en sens inverse trouver des cas décidables ?

C. Choffrut en collaboration avec A. Bertoni et B. Palano (Université de Milan) ont montré l'indécidabilité du problème consistant à déterminer si un langage algébrique inclus dans le langage de Dyck avec une seule paire de parenthèses est ou non un langage XML. Le problème est cependant décidable si le langage de départ est déterministe.

Automates à pile avec visibilité.

En 2004, une sous-classe stricte des langages hors contexte déterministes a été introduite : les langages avec visibilité. Il s'agit en fait de langages sur des alphabets partitionnés en trois types de lettres : les appels, les retours et les actions internes. Un langage est avec visibilité si et seulement s'il est accepté par un automate à pile qui empile en lisant un appel, dépile en lisant un retour et ne modifie pas sa pile en lisant une action interne. Cette classe de langages forme une algèbre de Boole et possède de nombreuses autres propriétés remarquables. Ces langages peuvent être étudiés sous plusieurs angles : théorie des langages formels, application à la vérification et aux jeux, application à XML, application à la logique.

Olivier Serre a obtenu plusieurs résultats dans ce domaine :

- Déterminisation des automates à pile avec visibilité pour les mots infinis et applications aux jeux (travaux en collaboration avec C. Löding et P. Madhusudan).
- Questions de régularité pour les langages avec visibilité (travaux en collaboration avec V. Bárány et C. Löding).
- Utilisation des langages avec visibilité pour obtenir des extensions décidables de la logique dynamique propositionnelle (travaux en collaboration avec C. Löding et C. Lutz).

Algorithmique des automates.

Étant donné un alphabet fini A et un entier n , il est assez facile de montrer qu'il existe des mots sur l'alphabet A qui garantissent une image minimale dans tout automate à n états sur l'alphabet A . Par contre, la description explicite de tels mots est loin d'être triviale et même l'estimation de leur longueur est un problème très difficile. S.W. Margolis, J.-É. Pin and M.V. Volkov ont donné l'encadrement suivant, qui est le meilleur connu à ce jour : la borne inférieure est $|A|^{(n-1)}$ et la borne supérieure est $O(|A|^{(n^2-n)})$. Ce résultat est à comparer avec la borne supérieure doublement exponentielle connue jusqu'ici.

Transformations Automates/Expressions.

Sylvain Lombardy a étudié en collaboration avec Jacques Sakarovitch (CNRS-ENST) les invariants des transformations automates-expressions. Ils ont étendu un algorithme de conversion expression/automates aux automates avec multiplicités en montrant que l'automate obtenu ainsi est un quotient de celui obtenu par l'algorithme plus classique des positions.

Conjugaison d'automates.

Sylvain Lombardy, en collaboration avec Marie-Pierre Béal (Univ. Marne-la-Vallée) et Jacques Sakarovitch (CNRS - ENST), a transposé aux automates à multiplicité des techniques utilisées pour les systèmes symboliques. Ceci leur a permis d'appréhender l'équivalence des automates sous un jour nouveau et de montrer facilement des propriétés sur les relations rationnelles entre langages de même complexité.

Réalisations logicielles.

Sylvain Lombardy participe depuis 2002 à l'encadrement du projet Vaucanson dont l'objectif est de fournir une plateforme pour la manipulation d'automates dans le sens le plus général possible (multiplicités, transductions, ...) Ce projet est implanté grâce au concours de deux à trois étudiants chaque année dans le cadre de leurs études à l'EPITA. Il a donné lieu à plusieurs publications.

Jean-Éric Pin termine en ce moment la version 2.0 de son logiciel **Semigroupe**, un logiciel de calcul des semigroupes finis. Ce logiciel est – de très loin – le logiciel le plus rapide pour le calcul de semigroupes finis. Il permet par exemple de calculer en moins d'une minute la structure en \mathcal{D} -classes d'un semigroupe de plus de cinq millions d'éléments. La nouvelle version permet le calcul des blocs des \mathcal{D} -classes et autorise des sorties formatées en \LaTeX .

2.4.2 Automates, logique et topologie**Théorie des semigroupes.**

J. Fountain, J.-É. Pin et P. Weil ont montré deux résultats fondamentaux relatifs aux extensions de monoïdes par des groupes. Le premier donne la description de ces extensions en termes de groupes agissant sur des catégories. Le second résultat répond à la question suivante : étant donné un monoïde M et un sous-monoïde T , sous quelles conditions peut-on trouver un revêtement de M qui soit une extension de T par un groupe ? Ces résultats peuvent être considérés comme des généralisations de deux théorèmes de McAlister qui font partie des fondements de la théorie des semigroupes inversifs. Les résultats de McAlister ont par la suite été étendus à diverses classes de semigroupes, et pratiquement toutes ces généralisations sont des conséquences de ces deux théorèmes.

G. Gomes, J.-É. Pin et H. Sezinando ont étudié les semigroupes de matrices triangulaires supérieures à coefficients dans un semi-anneau. Ils ont montré que le monoïde des matrices de ce type dont les coefficients diagonaux sont inversibles se décompose comme produit semi-direct d'un monoïde de matrices unitriangulaires par le groupe des matrices diagonales. Lorsque ce semi-anneau est un corps, on retrouve un cas bien connu de la théorie des groupes et des algèbres de Lie. Ils ont aussi obtenu des présentations du monoïde de toutes les matrices booléennes unitriangulaires.

Variétés.

L. Chaubard, J.-É. Pin et H. Straubing ont collaboré pour étendre la théorie des variétés d'Eilenberg. Il y a quelques années, Pin avait proposé de relaxer la définition des variétés en

n'imposant plus la fermeture par complémentation (on parle alors de variété positive). En enrichissant la structure algébrique duale en passant des monoïdes aux monoïdes ordonnés, on peut généraliser le théorème d'Eilenberg. Straubing a ensuite proposé d'affaiblir une autre propriété : au lieu de supposer la fermeture par inverse de morphismes, il se restreint à certaines classes de morphismes (un cas typique étant celui des morphismes alphabétiques). Là encore, il faut enrichir la structure algébrique duale et considérer des *timbres*, qui sont des morphismes d'un monoïde libre dans un monoïde fini. Divers articles de Chaubard, Pin et Straubing ont eu pour objet d'étendre à ce nouveau cadre des résultats connus antérieurement dans le cadre plus restreint des variétés d'Eilenberg (théorème de Reiterman, fermeture polynomiale des langages, principe du produit en couronne, etc.). Ces résultats permettent non seulement d'étendre les résultats déjà connus, mais fournissent également une approche unifiée pour des cas qui nécessitaient jusqu'ici un traitement séparé. Si la plupart des généralisations se font sans douleur, certaines, comme l'extension du produit en couronne, sont nettement plus techniques.

Les automates finis réversibles avec états d'arrêt ont été introduits par Ambainis et Freivalds dans le cadre de l'étude des automates finis quantiques de Kondacs-Watrous. M. Golovkins et J.-É. Pin ont étudié les variétés engendrées par ces automates et obtenu en particulier une caractérisation de la clôture booléenne de la classe des langages reconnue par ces modèles.

Logique et automates.

J.-É. Pin a étudié la théorie du premier ordre du successeur, interprétée sur les mots finis. Il complète en particulier l'étude de la hiérarchie basée sur l'alternance des quantificateurs. On savait depuis Thomas (1982) que cette hiérarchie s'effondre au second niveau, mais le pouvoir expressif des niveaux inférieurs n'était pas encore connu. J.-É. Pin caractérise en particulier en termes algébriques le pouvoir d'expression des combinaisons booléennes des formules purement existentielles. Cependant, contrairement à de nombreux résultats du domaine, cette caractérisation n'entre pas dans le cadre de la théorie des variétés d'Eilenberg, puisque les langages définissables dans par ce type de formules ne sont pas fermés par résiduels. Elle conduit néanmoins à des algorithmes performants : on peut décider en temps polynomial si le langage accepté par un automate déterministe à n états peut être exprimé par une formule logique de niveau donné.

Les résultats de Schützenberger et McNaughton et Papert cités plus permettent de décrire avec précision le pouvoir expressif du premier ordre de l'ordre linéaire sur les mots. L. Chaubard, J.-É. Pin et H. Straubing ont étudié le pouvoir expressif des formules existentielles et des combinaisons booléennes des formules existentielles dans une logique enrichie par les prédicats numériques modulaires (du type $x \equiv i \pmod n$). Ils ont donné une description combinatoire des langages reconnaissables définissables par ces deux fragments de la logique du premier ordre, puis en ont fourni une caractérisation algébrique. Il en résulte que l'on peut effectivement décider si un langage reconnaissable donné est capturé par l'un de ses fragments. Les preuves reposent sur des techniques non triviales de théorie des semigroupes : timbres, catégories dérivées et produits en couronne.

Relations et transductions.

J.-É. Pin et P. Silva ont donné une caractérisation topologique (en termes de topologie profinie) des transductions τ d'un monoïde M dans un monoïde N , telles que si R est une partie reconnaissable de N , $\tau^{-1}(R)$ est une partie reconnaissable de M .

2.4.3 Opérations sur les langages

A. Cano Gómez et J.-É. Pin ont publié en revue leurs résultats sur l'opération de mélange. Ils ont démontré l'existence d'une variété positive de langages maximale parmi celles qui ne contiennent pas le langage $(ab)^*$. Cette variété, notée \mathcal{W} , est l'unique variété positive maximale vérifiant les deux conditions suivantes : elle est propre, i.e. strictement contenue dans la classe des langages rationnels, et fermée pour l'opération de mélange. C'est également la plus grande variété positive propre fermée par morphisme alphabétique. C'est une classe de langages rationnels particulièrement robuste, puisqu'elle est fermée par union, résiduels, produit de concaténation et de mélange, morphismes inverses et morphismes alphabétiques. A. Cano Gómez et J.-É. Pin ont donné les identités de la variété de monoïdes ordonnés correspondante. De ce fait, on peut décider, étant donné un langage rationnel, s'il appartient ou non à \mathcal{W} .

Filtrer un mot suivant un ensemble S d'entiers naturels consiste à en supprimer toutes les lettres dont les positions n'appartiennent pas à S . La notion s'étend facilement aux langages et le problème du filtrage consiste à caractériser les filtres qui préservent les langages reconnaissables. Ce problème a été résolu par J. Berstel, L. Boasson, O. Carton, B. Petazzoni et J.-E. Pin. Leur solution donne de plus une approche unifiée pour résoudre des questions similaires, telles que le « removal problem » de Seiferas et McNaughton.

Luc Boasson et Jean Berstel (Marne-la-Vallée) ont montré le résultat suivant. Étant donné un entier n et un langage rationnel K sur l'alphabet $A \cup B$, on peut décider si K est le produit de mélange de n langages. Si oui, on peut effectivement trouver n tels langages tous rationnels. Il faut noter que si n n'est pas fixé, la question reste ouverte.

2.4.4 Diagrammes de décision binaires

Les diagrammes de décision binaires ordonnés sont des objets permettant de définir de façon succincte des fonctions booléennes. Le problème général consiste à déterminer pour chaque famille particulière de fonctions, la taille du diagramme qui les calcule.

Avec Y. Haddad, C. Choffrut a étudié la croissance, en fonction de la taille de l'entrée et de l'ordre d'interrogation des variables, du diagramme réalisant la reconnaissance de motif, *string matching* en anglais. Le résultat est qu'avec probabilité 1, sous l'hypothèse de distribution uniforme des ordres de consultation, la taille croît exponentiellement. La reconnaissance des langages qui sont des images inverses dans un groupe fini a aussi fait l'objet d'étude. Dans ce cas, la croissance dépend du groupe, mais est généralement exponentielle avec probabilité 1.

Jean-Baptiste Yunès a travaillé avec Jean-François Michon et Pierre Valarcher de l'Université de Rouen sur des problèmes de complexité des fonctions Booléennes. Ils ont montré que les QROBDD (Quasi-Reduced Ordered BDD) constituent la bonne (canonique) représentation des fonctions booléennes. Les fonctions de complexité maximale dans cette représentation ont alors été identifiées : ce sont toutes des fonctions dérivées de la fonction SA (Storage Access). Un dénombrement combinatoire de ces fonctions a été mené.

2.4.5 Groupes, automates et marches aléatoires

Produits libres de groupes finis.

Considérons un groupe G muni d'un ensemble fini de générateurs S clos par inverses. On définit l'ensemble de mots $L(G, S) = \{u_1 \cdots u_k \mid \text{pour tout } i, u_i u_{i+1} \notin S \cup \{1_G\}\}$. Si cet ensemble est en bijection avec G , on dit que la paire (G, S) est θ -automatique. Si (G, S) est 0-automatique alors

G est isomorphe au produit libre d'un groupe libre finiment engendré et d'une famille finie de groupes finis. Mais S peut être strictement plus large que l'ensemble des générateurs naturels. J. Mairesse a étudié les marches aléatoires sur les paires 0-automatiques. Il montre la mesure harmonique est Markovienne avec une structure spéciale. Cela permet de calculer explicitement diverses grandeurs associées à la marche : vitesse de fuite, entropie.

J. Mairesse et F. Mathéus ont mené une étude plus particulière des marches aléatoires sur les produits libres de groupes cycliques. Ils calculent explicitement la vitesse de fuite pour un ensemble d'exemples intéressants : le groupe modulaire $\mathbb{Z}/2\mathbb{Z} \star \mathbb{Z}/3\mathbb{Z}$, le groupe $\mathbb{Z}/3\mathbb{Z} \star \mathbb{Z}/3\mathbb{Z}$, les groupes $\mathbb{Z}/k\mathbb{Z} \star \mathbb{Z}/k\mathbb{Z}$, les groupes de Hecke $\mathbb{Z}/2\mathbb{Z} \star \mathbb{Z}/k\mathbb{Z}$. Ils utilisent ces différents exemples pour étudier la relation entre vitesse de fuite, entropie et volume, et en particulier la notion de générateurs extrémaux de Vershik.

Groupe de tresse.

J. Mairesse et F. Mathéus ont réalisé une étude détaillée des tresses aléatoires à trois brins, c'est-à-dire des marches aléatoires sur le groupe $B_3 = \langle a, b \mid aba = bab \rangle$. Plus précisément, l'étude porte sur les groupes d'Artin de type diédral $A_{2k} = \langle a, b \mid (ab)^k = (ba)^k \rangle$ ou $A_{2k+1} = \langle a, b \mid (ab)^k a = (ba)^k b \rangle$.

En parallèle, J. Mairesse et F. Mathéus ont étudié la combinatoire de A_k . Pour les générateurs de Garside, celle-ci est bien connue. Ici on s'intéresse aux générateurs d'Artin, c'est-à-dire $S = \{a, a^{-1}, b, b^{-1}\}$. La combinatoire est alors plus complexe. J. Mairesse et F. Mathéus ont montré que les séries de croissance géodésiques et sphériques de (A_k, S) sont rationnelles en exhibant des automates finis les reconnaissant.

Marie Albenque a proposé une preuve nouvelle d'une formule due à Bronfman pour la série génératrice des monoïdes de tresse. Il s'agit d'une preuve bijective pouvant être vue comme une extension de l'approche par empilements de pièces. Approche et preuve s'étendent à toute une classe de monoïdes incluant les traces et les tresses.

Structures de Garside.

Introduite en 1998 par Patrick Dehornoy et Luis Paris, la notion de structure de Garside a connu un intérêt croissant ces dernières années, notamment avec, récemment, la définition de catégories de Garside par David Bessis et Daan Krammer. Depuis sa thèse soutenue en 2000 consacrée aux monoïdes et groupes de Garside, Matthieu Picantin poursuit ses investigations autour de la question de structures de Garside alternatives.

En analysant un lien avec les groupes à une seule relation et centre non trivial, il a pu montrer que la classe des groupes de fractions de monoïdes de Garside à deux générateurs contenait d'autres groupes que les groupes de tresses de type diédral et les groupes de nœuds toriques. Matthieu Picantin a également décrit une nouvelle structure de Garside pour le groupe de tresses de type hyperoctaédral, qui se situe entre les structures classique et duale déjà connues ; il répond ainsi à une question de David Bessis.

Dans le même esprit mais avec de nouveaux outils, Matthieu Picantin et Ruth Corran (The American University of Paris) ont décrit et étudié une structure de Garside post-classique pour les groupes de tresses des groupes de réflexions complexes imprimitifs.

Groupes de trace.

Le monoïde de trace est une généralisation naturelle du monoïde libre dans laquelle certaines lettres commutent et d'autres non. Un monoïde de trace peut être visualisé à l'aide d'un modèle d'empilement de pièces à la Tetris.

Daniel Krob, Jean Mairesse et Ioannis Michos ont étudié la combinatoire du monoïde de trace par rapport à la hauteur et à la longueur. Ils ont montré que la série génératrice bivariée correspondante est rationnelle et explicitement calculable. Cela entraîne que la limite de la hauteur moyenne pour la distribution uniforme sur les traces est un nombre algébrique explicitement calculable. Cette limite peut être vue comme une mesure de la quantité de parallélisme intrinsèque dans un monoïde de trace.

En introduisant un inverse pour chacun des générateurs, on associe de façon naturelle un groupe de trace à un monoïde de trace. A. Bouillard et J. Mairesse ont obtenu une formule de type Möbius pour la série génératrice d'un groupe de trace.

Monoïdes de divisibilité.

Les monoïdes de divisibilité ont été introduits en 2001 par Dietrich Kuske et Manfred Droste comme une généralisation algébrique des monoïdes de traces de Mazurkiewicz. Répondant à une question de Manfred Droste, Matthieu Picantin a étudié les connexions qui pouvaient exister entre les monoïdes de divisibilité et les monoïdes de Garside. Il a ainsi montré que, malgré leurs définitions proches axées sur la structure de treillis de la relation de divisibilité, ces deux classes sont essentiellement orthogonales, leur intersection se résumant aux monoïdes commutatifs libres. Cela étant, il a pu adapter les outils développés pour les monoïdes de Garside afin de construire des transducteurs finis permettant de calculer itérativement des formes normales pour les monoïdes de divisibilité. Il a montré que cette nouvelle forme normale présente de belles propriétés, dont une propriété géométrique profonde liée au graphe de Cayley. Ce travail fournit une preuve alternative au théorème de Kuske établissant que tout monoïde de divisibilité est automatique. Il a en outre prouvé que tout monoïde de divisibilité est biautomatique au sens de Hoffmann.

2.4.6 Systèmes à événements discrets

File d'attente simple et combinatoire.

La file simple ou file $M/M/1$ est le modèle le plus étudié de la théorie des files d'attente. M. Draief et J. Mairesse revisitent la correspondance classique entre périodes d'activité et chemins de Dyck pour donner la loi du service d'un client en fonction de sa position et de la longueur de la période d'activité qui le contient.

M. Draief, J. Mairesse et N. O'Connell ont mené une étude systématique des liens entre la file d'attente simple et un modèle de stock. En régime stationnaire, ils obtiennent un théorème de Burke pour ces modèles. L'étude du régime transient est également possible et se fait par l'intermédiaire de l'algorithme de Robinson-Schensted-Knuth

Files d'attente zero-automatique.

Thu-Ha Dao-Thi et Jean Mairesse introduisent un modèle nouveau : les files d'attente 0-automatiques. Dans une file 0-automatique, le contenu de la salle d'attente évolue suivant une marche aléatoire sur un groupe ou monoïde. Le résultat marquant est que toutes les files 0-automatiques ont la propriété PIPO (Poisson Input Poisson Output). Les files 0-automatiques sont intéressantes pour les raisons suivantes :

- (1) Elles permettent d'unifier des modèles classiques de files quasi-réversibles : la file $M/M/1$ et la G-file avec clients positifs et négatifs de Gelenbe. Ces deux modèles correspondent en effet aux cas extrêmes les plus simples de files 0-automatiques.

- (2) Le contenu de la salle d'attente n'est pas codé par un entier mais par un mot non-commutatif sur un alphabet. Cela permet d'incorporer au modèle une notion de classes de clients, tout en conservant la plupart des propriétés des files simples.
- (3) Elles permettent une grande flexibilité de modélisation.

En général, lorsqu'on interconnecte entre elles des files PIPO, on obtient des réseaux ayant de bonnes propriétés reflétées par l'existence d'une distribution stationnaire dite à forme produit. Thu-Ha Dao-Thi et Jean Mairesse ont montré que les files 0-automatiques ne font pas exception à la règle. Cela permet d'enrichir la théorie classique des réseaux à *forme produit* d'une nouvelle branche.

Réseaux de Petri.

Les réseaux de Petri à choix libre sont une sous-classe remarquable de réseaux de Petri. Ils fournissent un bon compromis entre puissance de modélisation et complexité d'analyse : de nombreux problèmes indécidables deviennent décidables dans cette classe, et leur complexité est même souvent polynomiale.

Bruno Gaujal, Stefan Haar et Jean Mairesse ont montré les résultats suivants. Sélectionnons une transition non-conflictuelle. Alors il existe un unique marquage atteignable dans lequel la transition sélectionnée est la seule à être habilitée. Considérons maintenant un réseau à choix libre aléatoire routé, vivant et borné, avec des routages et des temps de tirs indépendants et identiquement distribués. À l'aide des résultats précédents, on prouve l'existence de débits asymptotiques pour le tir des transitions. De plus le vecteur des débits est explicitement calculable à une constante multiplicative près. Ces résultats étendent très largement les résultats connus pour la classe des réseaux de Jackson.

Anne Bouillard, Bruno Gaujal et Jean Mairesse ont proposé une méthode pour calculer le débit d'un réseau de Petri à choix libres sous une allocation totale (*i.e.* un routage 0-1). On caractérise également les politiques de résolution de conflits qui atteignent le débit minimal dans le cas des réseaux 1-bornés et on montre comment les calculer. Ce ne sont pas des allocations totales, mais des routages avec de petites périodes.

Automates max-plus.

Ines Klimann, Sylvain Lombardy, Jean Mairesse et Christophe Prieur ont décrit un algorithme qui permet de décider si des automates max-plus finiment ambigus sont déterminisables, ce qui permet, le cas échéant, de rendre le calcul de la fonction qu'ils représentent beaucoup plus efficace et d'évaluer aisément le comportement asymptotiques des systèmes qu'ils modélisent.

Sylvain Lombardy et Jean Mairesse ont montré qu'une fonction représentable à la fois par un automate max-plus et un automate min-plus l'est par un automate non ambigu, donc beaucoup plus simple. Ils donnent un algorithme effectif pour construire un automate non ambigu à partir d'un automate max-plus et d'un automate min-plus qui reconnaissent la même série.

Fonctions uniformément topicales.

J. Mairesse et T. Bousch ont introduit la classe des fonctions *uniformément topicales*, qui englobe les fonctions max-plus et min-max-plus, entre autres. Ils démontrent l'existence d'un vecteur spectral, ainsi que l'existence du vecteur spectral stochastique (théorème ergodique multiplicatif). Ce résultat englobe et généralise tout ce qui était déjà connu dans le cas max-plus. Est également couvert par ce théorème ergodique, le cas des itérées aléatoires de fonctions min-max-plus, pour lesquelles quasiment aucun résultat n'était disponible.

Animaux dirigés.

Un « animal dirigé » est un ensemble connexes de points sur un réseau. Marie Albenque a obtenu par une approche probabiliste les séries génératrices selon l'aire des animaux dirigés de sources variées sur toute une classe de réseaux.

Réseaux euclidiens et algorithme LLL.

Un réseau euclidien est l'ensemble des combinaisons linéaires entières d'un système libre de vecteurs de \mathbb{R}^n . On dit alors que le système de vecteurs est une base du réseau. Un réseau possède une infinité de bases. Le problème de la réduction est de construire parmi toutes les bases d'un réseau, une base ayant de « bonnes propriétés euclidiennes », i.e. ses vecteurs doivent être assez courts et la base doit être assez orthogonale. Il s'agit là de problèmes difficiles pour lesquels une première solution approchée satisfaisante et construite en temps polynomial a été apporté en 1982 par Lenstra, Lenstra et Lovàsz (algorithme LLL, qui reste encore aujourd'hui l'outil majeur pour ce problème).

Ali Akhavi, Jean-François Marckert (Bordeaux) et Alain Rouault (Versailles) ont étudié les propriétés géométriques de familles de bases aléatoires en tant que base du réseau euclidien engendré. La probabilité asymptotique (en la dimension de l'espace ambiant) qu'une base aléatoire soit réduite au sens de LLL (soit un point fixe de l'algorithme LLL) est fournie.

2.4.7 Jeux**Jeux sur des graphes infinis.**

Considérer des jeux sur des graphes infinis est naturel dès lors que l'on souhaite modéliser des systèmes ouverts avec un espace d'états infini. Olivier Serre s'est principalement penché sur le cas des graphes de transition d'automates à pile et plus récemment sur celui des graphes de transitions des automates à pile de pile.

Olivier Serre a obtenu plusieurs résultats dans le domaine (en grande partie regroupés dans sa thèse) :

- Caractérisation de l'ensemble des positions gagnantes pour un jeu sur un graphe d'automate à pile. Une généralisation de ce résultat a été récemment obtenue en collaboration avec A. Carayol, M. Hagues, A. Meyer et L. Ong.
- Obtention d'une famille de condition de gain décidable et de complexité topologique arbitraire.
- Décidabilité des jeux munis d'une condition de bornage combinée avec une condition régulière (travaux en collaboration avec A. Bouquet et I. Walukiewicz).
- Complexité optimale pour les jeux de parité sur des graphes d'automate à compteur.

Jeux positionnels et jeux de parité.

W. Zielonka et H. Gimbert ont résolu complètement le problème de l'existence de stratégies optimales sans mémoire pour les jeux déterministes infinis sur les graphes finis. Ils ont trouvé des conditions nécessaires et suffisantes qui caractérisent les fonctions de paiement pour lesquelles les deux joueurs n'ont pas besoin de mémoire pour jouer optimalement.

W. Zielonka et H. Gimbert ont mis à jour les liens entre les jeux de parité, ou plus généralement les jeux de priorité avec les paiements en moyenne, et les jeux escomptés classiques. Ils ont démontré que les jeux de parité sont une limite de jeux escomptés quand les taux d'escompte tendent vers 0 mais avec des vitesses différentes pour les différents états.

Jeux de longueur ordinale.

Julien Cristau s'est intéressé aux jeux d'accessibilité de longueur ordinale, en collaboration avec Florian Horn. Ils ont prouvé que les jeux de longueur inférieure à ω^ω sont déterminés et que le problème consistant à trouver le vainqueur est PSPACE-complet.

2.4.8 Systèmes de numération**Représentations de poids minimal.**

Christiane Frougny et Wolfgang Steiner ont considéré les représentations de nombres en base un nombre de Pisot, avec chiffres signés, qui ont la propriété d'être minimales pour la somme des valeurs absolues des chiffres. Ils ont montré que si la base est un nombre de Pisot satisfaisant une condition particulière — dite de « dominance » — alors l'ensemble des représentations minimales pour cette fonction de poids est reconnaissable par automate fini. En particulier, lorsque la base est le nombre d'or, le nombre espéré de chiffres non nuls dans une représentation de longueur n de poids minimal est $n/5$. Ils ont obtenu des résultats similaires dans le cas du nombre de Tribonacci.

Systèmes de numération abstraits.

Pour la plupart des systèmes de numération considérés dans la littérature, le langage associé est régulier. Une approche intéressante consiste à définir de façon générale un système de numération à partir d'un langage régulier. Wolfgang Steiner étudie des propriétés de ces systèmes de numération avec des membres de l'Université de Liège.

Depuis les travaux de Cobham, les ensembles reconnaissables par des automates ont été étudiés dans différents systèmes de numération. En particulier, il est intéressant de savoir quelles opérations arithmétiques préservent les ensembles reconnaissables. Les systèmes de numération abstraits définis par les langages $a_1^* a_2^* \cdots a_\ell^*$ ont des propriétés combinatoires particulières qui permettent d'étudier ces questions. Wolfgang Steiner a montré avec Emilie Charlier et Michel Rigo que la multiplication par un entier n préserve la reconnaissabilité si et seulement si $\ell = 1$ ou $\ell = 2$ et n est un carré impair.

Fractions continues de Rosen.

Il est bien connu que les fractions continues donnent les meilleures approximations rationnelles des nombres réels. Wolfgang Steiner travaille sur les fractions continues de Rosen, où les quotients partiels sont des multiples entiers de $\lambda = 2 \cos \pi/q$. (Pour $q = 3$, on obtient les fractions continues habituelles.) Ces fractions continues donnent des approximations dans des groupes de Hecke.

Pour les fractions continues classiques, on peut choisir entre la fraction continue régulière, celle à l'entier le plus proche, et des versions intermédiaires, dites α -fractions continues. Dans le même esprit, Wolfgang Steiner a défini avec Cor Kraaikamp et Karma Dajani les α -fractions continues de Rosen. Ils ont montré à l'aide des extensions naturelles que les systèmes dynamiques associés sont faiblement Bernoulli.

Shift radix systems et rotations discrétisées.

Une classe importante de nombres de Pisot est constituée par les nombres β pour lesquels les β -développements de tous les éléments de $\mathbb{Z}[\beta^{-1}]$ sont finis. Cette propriété peut être vérifiée à l'aide d'un algorithme qui mène à la définition des « shift radix systems ». Wolfgang Steiner travaille sur ces systèmes, en particulier sur ceux qui correspondent à des rotations discrétisées.

Wolfgang Steiner a montré avec Shigeki Akiyama, Horst Brunotte et Attila Pethő que toutes les suites d'entiers $(a_k)_{k \in \mathbb{Z}}$ satisfaisant $0 \leq a_{k-1} + \lambda a_k + a_{k+1} < 1$ sont périodiques si λ est un

nombre quadratique correspondant à une rotation rationnelle ($\lambda = \frac{\pm\sqrt{5}\pm 1}{2}, \pm\sqrt{2}, \pm\sqrt{3}$). Cette question est issue d'une part de l'étude des shift radix systems, d'autre part des rotations discrétisées. A part les cas triviaux $\lambda = -1, 0, 1$, il semble très difficile de démontrer cette propriété pour d'autres λ réels avec $|\lambda| < 2$.

Quasi-cristaux.

En 1984, des physiciens ont découvert un solide présentant une symétrie d'ordre 5, inconnue en cristallographie classique, et que l'on a appelé *quasi-cristal*. Ce quasi-cristal est lié au nombre d'or et à la substitution de Fibonacci. Un modèle en a été donné par Gazeau *et alii*, qui utilise la numération en base le nombre d'or. La notion d'*ensemble de Meyer* permet d'utiliser des outils algébriques dans cette modélisation.

Christiane Frougny et son étudiant Avi Elkharrat ont montré comment utiliser des nombres de Pisot quadratiques ou cubiques unitaires pour définir des cellules de Voronoi, qui ont un « sens » en physique des quasi-cristaux. Avec S. Akiyama et F. Bassino, elle a décrit par automate fini des ensembles de Meyer purement arithmétiques.

Arithmétique en base irrationnelle.

Dans la modélisation des quasi-cristaux, la notion de « β -entier » est fondamentale. Un β -entier est un nombre réel dont l'écriture en base β ne fait apparaître que des puissances positives ou nulles de la base (il n'y a pas de partie « après la virgule »). Quand β est un entier, un β -entier est un entier ; quand β n'est pas un entier, on obtient un nombre réel, qui a des propriétés importantes car il sert à étiqueter les nœuds du quasi-réseau. Une différence avec le cas des entiers classiques est que la somme et le produit de deux β -entiers ne sont pas des β -entiers en général.

Puisque la somme et le produit de deux β -entiers ne sont pas des β -entiers en général, un problème important consiste à déterminer quelle est la distance entre la somme (ou le produit) de deux β -entiers et un β -entier. Petr Ambrož a consacré sa thèse à ces questions, principalement d'un point de vue algorithmique. En particulier, il a écrit un logiciel permettant de faire des additions et des multiplications de β -entiers. P. Ambrož et Ch. Frougny ont aussi étudié des généralisations semblables aux nombres p -adiques.

Nombres univoques.

On dit qu'un nombre $\beta > 1$ est *univoque* si le nombre 1 n'a qu'une seule écriture en base β , plus précisément, s'il n'existe qu'une seule suite de chiffres s_n entiers positifs ou nuls et strictement inférieurs à β telle que $1 = \sum_{n \geq 1} s_n \beta^{-n}$. Par exemple 2 est univoque, mais le nombre d'or ne l'est pas. Il est connu qu'il existe un plus petit nombre univoque, qui est un nombre transcendant. On sait aussi qu'il existe un plus petit nombre de Pisot.

Ch. Frougny avec J.-P. Allouche et K. Hare a montré qu'il existe un plus petit nombre de Pisot univoque, de degré 14. La preuve est un mélange intéressant de combinatoire des mots, de théorie des nombres, et de calculs sur ordinateur.

Numération à base rationnelle.

L'étude des systèmes de numération où la base est un nombre rationnel ($3/2$ étant l'exemple le plus simple) se révèle particulièrement intéressante dans ses liens avec des problèmes classiques non résolus sur la distribution des parties fractionnaires des puissances d'un nombre rationnel (problème de Mahler).

Christiane Frougny, Shigeki Akiyama et Jacques Sakarovitch ont donné un algorithme qui permet de représenter de manière unique tous les entiers positifs dans un système de numération

où la base est un nombre rationnel. Ce qui est surprenant, c'est que — contrairement au cas où la base est un entier ou un nombre de Pisot — l'ensemble des représentations des entiers n'est pas reconnaissable par automate fini. En revanche, l'addition se fait avec un transducteur fini. Les réels sont représentés comme étiquettes de nœuds dans un arbre non rationnel. Cette contribution permet d'espérer un progrès dans la résolution du problème de Mahler. L'étude des propriétés de répartition des chiffres de ces représentations reste à faire.

2.4.9 Automates cellulaires

Une solution en temps linéaire au problème de la synchronisation dans le cas d'une ligne d'automates comportant des cellules défectueuses a été trouvée par J.-B. Yunès.

J.-B. Yunès a également proposé une solution au problème de la synchronisation avec seulement 6 états internes et en temps $3n$ (si n est le nombre d'automates sur la ligne) pour lequel le travail de la machine est en $O(n \log n)$ (première solution de ce type). D'autres algorithmes ont été construits permettant d'obtenir des solutions en très peu d'états et en temps linéaire, $4n$, $5n$.

Serge Grigorieff a montré (en collaboration avec Maurice Margenstern de l'Univ. de Metz) que l'utilisation du plan hyperbolique permet de considérer des automates cellulaires avec une infinité de voisins et ainsi de reconnaître des langages non calculables, de tous niveaux dans la hiérarchie arithmétique.

2.4.10 Hasard et complexité de Kolmogorov

Complexité de Kolmogorov.

Marie Ferbus et Serge Grigorieff ont entrepris de reconsidérer en profondeur la définition même de la complexité de Kolmogorov en étudiant l'impact de certains paramètres peu questionnés jusqu'ici.

C'est ainsi que des liens surprenants ont été mis en évidence entre l'impact des calculs infinis et/ou avec oracles et certaines représentations issues de définitions sémantiques très naturelles des entiers. Ce lien induit une hiérarchie inattendue sur ces représentations. Ainsi, contrairement à ce qu'on peut croire a priori, la représentation des entiers par fonctionnelles d'itération conduit à la complexité de Kolmogorov usuelle tandis que celle, classique, par classes cardinales, est plus complexe.

Un paramètre intéressant est la classe des fonctions admises comme substituts des langages de programmation. Par exemple, les minima ou maxima selon des ordres partiels calculables des suites de fonctions calculables ont été considérés par Marie Ferbus et Serge Grigorieff. De telles fonctions sont omniprésentes en informatique : les fonctions de « busy beaver » sont des max, la complexité de Kolmogorov est un min. Dans ce cadre général, les comparaisons entre les complexités de Kolmogorov associées mettent curieusement en jeu des questions difficiles d'algorithmique on-line liées à des résultats classiques comme le théorème de Dilworth..

Réels aléatoires.

Serge Grigorieff, en collaboration avec Verónica Becher (prof. à Buenos-Aires), s'est intéressé à la question d'obtenir des réels aléatoires (au sens de Martin-Löf) ayant une interprétation intéressante. Les résultats obtenus sont basés sur la technique mise en oeuvre par Chaitin il y a 20 ans et utilisent en plus une version effective de la théorie des réductions de Wadge relativement à des topologies non séparées. Ils montrent que des réels aléatoires à la Chaitin

peuvent être obtenus avec la complexité de Kolmogorov usuelle, et que la considération de la complexité prefix-free - sine qua non jusqu'ici - est facultative.

En calculabilité, le théorème classique de Rice assure que toute question non triviale sur les programmes est indécidable. Serge Grigorieff avait conjecturé que ce résultat avait une version en termes d'aléatoires. V. Becher, S. Figueira, S. Grigorieff et J.S. Miller. montrent que la conjecture est formellement fautive mais que des formes plus faibles sont vraies.

2.5 Projets de recherche

2.5.1 Automates, semigroupes

Automates, algèbre et logique.

L'objectif général est de clarifier les connexions entre automates, langages reconnaissables, théorie des modèles finis, jeux de Ehrenfeucht-Fraïssé et structures algébriques finies.

L'exemple emblématique est le problème de la décidabilité des hiérarchies de concaténation, ou *dot-depth problem*. Ce problème, formulé à la fin des années 1970 par Brzozowski est encore largement ouvert en dépit de progrès significatifs. C'est au départ un problème de théorie des automates, mais on a pu lui trouver deux formulations équivalentes, l'une algébrique et l'autre logique. Par exemple, le problème de la *dot-depth 2* (toujours ouvert) revient à décider si un semigroupe fini donné divise un semigroupe de matrices unitriangulaires booléennes (la version algébrique) ou à décider si une formule du premier ordre est équivalente à une combinaison booléenne de formules comportant seulement deux alternances de quantificateurs (la version logique). Depuis, la compétition entre logiciens et algébristes est ouverte!

On peut aussi citer le problème de la hauteur d'étoile généralisée, un problème de théorie des automates ouvert depuis 30 ans, qui a lui aussi été réduit récemment à un problème algébrique (Pin, Straubing) et à un problème logique (Thomas).

Topologies profinies.

On passe des mots finis aux mots profinis par complétion, de la même façon que l'on passe des rationnels aux réels. L'approche profinie est utilisée avec profit en théorie des automates et des semigroupes depuis la fin des années 1980 (Almeida, Auinger, Margolis, McCammond, Pin, Steinberg, Weil, Zeitoun). Elle a déjà conduit en particulier à la solution de problèmes très concrets comme la caractérisation des langages reconnus par des automates réversibles.

Toute proportion gardée, l'introduction de la topologie profinie en théorie des automates peut être comparée à l'utilisation de l'analyse p -adique en théorie des nombres (d'autant plus que la topologie p -adique est un exemple de topologie profinie). Dès lors, topologie et méthodes algébriques deviennent intimement reliées, permettant de fréquents changements de point de vue et des progrès croisés d'un domaine vers l'autre.

Cependant, nombre de questions fondamentales restent sans réponse : la décidabilité des hiérarchies de concaténation et de leur contrepartie logique évoquée plus haut est certainement l'une des plus célèbres. Nos objectifs à court ou moyen-terme comprennent des problèmes sans doute plus accessibles. Par exemple, savoir décrire les semigroupes profinis libres relatifs à variétés de semigroupes finis (Almeida, Costa, Weil, Zeitoun). Un autre problème intéressant est la caractérisation des fonctions qui sont continues ou uniformément continues pour diverses distances profinies, un problème directement relié à l'étude des fonctions et des relations qui préservent les langages reconnaissables.

Mathématiques automatiques.

Nous abordons ici un sujet de recherche à très long terme. Le point de départ en est l'observation suivante : que ce soit en algorithmique, en théorie de la complexité ou en théorie descriptive des ensembles, les hiérarchies sont toujours définies suivant le même modèle : étant donné deux ensembles X et Y , Y se réduit en X s'il existe une fonction f telle que $X = f^{-1}(Y)$. En théorie de la complexité, on demande que f soit calculable en temps polynomial. En théorie descriptive des ensembles, on impose que f soit continue.

Nous proposons d'examiner des réductions similaires définies par divers types d'automate. Le cas où f est réalisée par un automate séquentiel a été étudiée par Wagner, mais il y a d'autres cas intéressants, qui ont commencé à être explorés. Notre formulation « divers types d'automate » est volontairement imprécise, car cette idée peut s'appliquer à des automates agissant sur des mots, des mots infinis, des mots transfinis, des arbres, etc., munis de contraintes variées (déterministes, synchrones, etc.).

L'analogie avec la théorie descriptive des ensembles laisse espérer des liens profonds avec la topologie, la logique, la théorie des jeux mais aussi l'algèbre. Une autre idée concerne l'exploration de la structure des hiérarchies booléennes : ces hiérarchies apparaissent de façon très naturelle en théorie descriptive des ensembles et pourraient avoir des homologues intéressants en théorie des automates.

On peut se demander s'il est possible de donner une définition purement algébrique de la réductibilité. Ces considérations conduisent à des questions fondamentales que l'on pourrait appeler les mathématiques automatiques. La question générale peut être formulée sous cette forme : quels types d'objets mathématiques, tels que fonctions, relations, ensembles, stratégies de jeux, etc., peuvent être réalisés par des automates finis ? Dans un certain sens, les notions de parties rationnelles et reconnaissables sont une première étape dans cette direction.

Rationalité et combinatoire des mots.

Le travail sur le produit de mixage décrit plus haut a naturellement donné naissance à la question suivante avec le mélange : étant donné un langage rationnel K , peut-il être décrit comme mélange de n langages non-triviaux ? De manière surprenante, cette question est ouverte. Des cas particuliers ont été traités par Luc Boasson et Jean Berstel.

2.5.2 Extensions de la théorie des automates

Relations rationnelles et observabilité.

Un problème classique d'observabilité peut être interprété comme un problème sur les relations entre mots qui sont acceptées par un automate fini à plusieurs bandes où les têtes se déplacent à des vitesses différentes. Intuitivement, on considère deux observateurs d'un même suite d'événements devant prendre une décision en fonction de cette suite. Les observateurs ont une vue partielle de la suite (chacun ne voit qu'un type d'événements) et une mémoire finie. Peut-on décider dans quelles conditions il existe un algorithme qui leur permet de prendre la bonne décision ? En termes plus abstraits il s'agit de savoir si l'on peut décider la possibilité de séparer deux relations rationnelles par une relation reconnaissable.

Le problème général d'observabilité est toujours ouvert. Certains résultats partiels ont été obtenus qui constituent des pistes de recherche pour le problème général. Ainsi C. Choffrut et S. Grigorieff ont résolu le cas particulier où les monoïdes ont un unique générateur. Ce problème de décision a été étendu par C. Choffrut en collaboration avec F. D'Alessandro et S. Varricchio (Université de Rome), à la séparation des langages algébriques bornés par des langages reconnaissables et à celui de la séparation des relations rationnelles bornées par des

relations reconnaissables.

Groupes d'automates.

Soit un transducteur lettre à lettre dans lequel les alphabets des entrées et des sorties coïncident et dans lequel, partant de chaque état, les couples entrées-sorties définissent une permutation sur l'alphabet. Un tel transducteur définit un ensemble de transformations bijectives du monoïde libre sur l'alphabet des entrées dans lui-même. Grigorchuk a considéré pour la première fois le groupe engendré par ces transformations. Les groupes ainsi construits, appelés groupes d'automates, ont déjà fournis des exemples ou contre-exemples à des conjectures importantes de la théorie combinatoire des groupes. Ils sont pour cette raison très étudiés depuis quelques années, mais recèlent encore de très nombreux mystères.

Ali Akhavi, Ines Klimann, Sylvain Lombardy (Marne-la-Vallée), Jean Mairesse et Matthieu Picantin ont créé un groupe de travail autour des groupes d'automates. L'objectif est de les étudier avec un point de vue original, plus combinatoire et fondé sur la théorie des automates. Les premiers résultats obtenus sont encourageants.

2.5.3 Automates et marches aléatoires

Groupes discrets.

Un projet de recherche de long terme s'articule autour de l'étude combinatoire des marches aléatoires sur les (semi)groupes discrets. La question générique est de calculer les constantes du modèle, tels la vitesse de fuite (ou exposant de Lyapunov) ou l'entropie. Ces quantités existent par sous-additivité mais leur détermination explicite est un problème notoirement difficile. Dans ce cadre, l'objectif est de déterminer les marches aléatoires pour lesquelles il existe une description combinatoire explicite du comportement asymptotique. L'idée de départ est de travailler sur des groupes ou monoïdes sur lesquels la manipulation des éléments peut se faire à l'aide d'automates finis. L'intuition est que cette structure combinatoire doit se refléter au niveau de la mesure harmonique de la marche, et donc que cette dernière doit aussi, en un sens, se décrire à l'aide d'automates finis. La retombée principale est alors la capacité à calculer explicitement vitesse de fuite ou entropie.

Cette approche est orthogonale à celle, classique et activement suivie dans les années 80 et 90, consistant à analyser les séries génératrices de la marche (Lalley, Sawyer, Steger, Woess).

Des résultats préliminaires ont été obtenus par J. Mairesse et F. Mathéus (U. Bretagne Sud). Pour aller plus loin, une démarche naturelle consiste à se placer dans une classe générale de groupes munis d'automates, puis à rajouter des hypothèses permettant de mener à bien l'étude combinatoire de la marche. On pourra ainsi se pencher sur les classes suivantes : les groupes hyperboliques à la Gromov, les groupes automatiques à la Epstein et les groupes d'automates à la Grigorchuk.

Traces et tresses.

Un système tâche-ressource, ou encore un réseau de Petri 1-borné temporisé, peut être modélisé à l'aide d'empilements de pièces à la Tetris (Gaubert & Mairesse). Chaque pièce correspond à une tâche et deux pièces commutent si les tâches correspondantes peuvent être exécutées en parallèle. Le modèle de Tetris peut être vu par ailleurs comme une visualisation du monoïde de trace (Viennot). Un monoïde de trace est un quotient du monoïde libre dans lequel certaines paires de lettres commutent, c'est une structure algébrique classiquement utilisée pour représenter les exécutions dans les systèmes parallèles. Évaluer les performances d'un système

tâche-ressource aléatoire revient alors à analyser la marche aléatoire sur un monoïde de trace. La vitesse de fuite de la marche s'interprète comme l'inverse du débit du système tâche-ressource.

On s'intéresse en particulier aux groupes de trace A_n définis par :

$$A_n = \langle c_1, \dots, c_{n-1} \mid c_i c_j = c_j c_i, |i - j| \geq 2 \rangle.$$

Un premier objectif de court terme consiste à se pencher sur le groupe de trace non-trivial le plus simple, à savoir A_4 . On observe que A_4 est isomorphe à $\mathbb{Z}^2 * \mathbb{Z}$. Pour ce dernier groupe, une description de la mesure harmonique a été proposée par J. Mairesse et F. Mathéus (U. Bretagne Sud) à travers un système d'une infinité d'équations algébriques. Partant de là, une analyse combinatoire fine pourrait permettre d'extraire une formule explicite pour la vitesse de fuite. En revanche, pour les groupes $A_n, n \geq 5$, le problème est entièrement ouvert.

Autre problème entièrement ouvert, étudier les tresses aléatoires sur 4 brins ou plus. Un préalable à ce travail est d'avoir une compréhension suffisamment fine de la combinatoire des groupes de tresses à 4 brins ou plus. En particulier, on s'intéresse à la longueur minimale d'une tresse, c'est à dire au nombre minimal de mouvements élémentaires nécessaires pour constituer la tresse. La situation, subtile, est la suivante. Il existe une forme canonique pour les tresses, la « forme normale de Garside ». Ceci permet de déterminer si deux tresses sont équivalentes. Mais la forme de Garside n'est pas de longueur minimale. Partant d'une tresse, la méthode pour déterminer sa longueur consiste à essayer toutes les tresses plus courtes et à tester leur égalité avec la tresse initiale. En particulier, un problème ouvert très intrigant consiste à déterminer si la série génératrices des tresses suivant leur longueur est rationnelle.

2.5.4 Jeux

Jeux positionnels.

Dans les applications des jeux en informatique (en vérification ou en théorie des automates), on souhaite pour des raisons pratiques d'implantation disposer de stratégies à mémoire bornée ou, mieux encore, de stratégies sans mémoire.

Pour les jeux stochastiques à information parfaite, on ne sait pas caractériser les jeux où les deux joueurs peuvent jouer optimalement sans mémoire. Des résultats préliminaires ont toutefois été obtenus par W. Zielonka et H. Gimbert. Ceux-ci ont réussi à démontrer que si un joueur n'a pas besoin de mémoire pour jouer optimalement en l'absence de l'adversaire, alors il n'a pas besoin de mémoire même si son adversaire est présent. De cette façon ils ont ramené le problème pour le jeu à deux joueurs au problème à un joueur.

Active XML.

Active XML (AXML) est un formalisme qui a été introduit afin d'enrichir les documents XML par des appels de services. Un service est une requête sur un autre document AXML et son résultat est lui même un document AXML. Un exemple de document AXML est un journal : certaines informations sont données de façon explicite dans le document (date, nouvelles du jour...) tandis que d'autres informations sont représentées par des services que l'on peut invoquer pour trouver l'information dans d'autres documents (météo du jour à aller chercher sur un site ad hoc, spectacles à l'affiche...).

En collaboration avec B. Genest (Irisa), A. Muscholl (Labri, Bordeaux) et M. Zeitoun (Labri, Bordeaux), Olivier Serre a commencé à travailler sur le sujet, proposant un modèle permettant de modéliser des documents AXML et d'établir plusieurs résultats de décidabilité. Ces travaux en sont néanmoins à leur début et demandent à être poursuivis.

2.5.5 Systèmes de numération

Représentations de poids minimal.

Dans un système de numération donné, lorsque les représentations sont redondantes, il est possible de choisir celle qui a le poids minimal. Ceci a des applications importantes en cryptographie avec courbes elliptiques. Christiane Frougny et Wolfgang Steiner ont entamé une étude des représentations de poids minimal dans des bases irrationnelles. Celle-ci doit se poursuivre en liaison avec des applications cryptographiques particulières.

Pour les numérations à base rationnelle non entière, il est très probable que les chiffres apparaissant dans les représentations des réels ont une distribution aléatoire. Ceci pourrait servir à la construction de générateurs de nombres pseudo-aléatoires.

Dans une direction différente, Christiane Frougny, Valérie Berthé, Michel Rigo et Jacques Sakarovitch ont récemment entrepris un travail sur la complexité amortie de la fonction successeur dans divers systèmes de numération. Dans tous ces travaux, les automates finis jouent un rôle fondamental, comme outil et modèle de calcul.

2.5.6 Combinatoire des mots

Arbres de Sturm.

Les arbres de Sturm sont la généralisation aux arbres de la notion de mot de Sturm. Cette généralisation est plus délicate qu'on ne pourrait le penser de prime abord. En effet, les arbres de Sturm sont de types très divers. O. Carton et L. Boasson en collaboration avec J. Berstel et I. Fagnot (Univ. Marne-la-Vallée) ont étudié une famille particulière d'entre eux possédant des propriétés remarquables. A la suite de ces travaux, une autre famille a été étudiée à Grenoble (Bruno Gaujal) en liaison avec des problèmes d'optimisation. D'une façon générale, l'étude de ces arbres n'en est qu'à ses débuts et constitue une piste de recherche très prometteuse.

2.5.7 Fondements des algorithmes

S'il existe une théorie des fonctions calculables par algorithme depuis les années 30, la notion d'algorithme est longtemps restée assez mystérieuse. Et les travaux sur les algorithmes ne concernaient que des algorithmes aux fins de résoudre tel ou tel problème.

Une théorie des algorithmes en tant que telle n'a été dégagée que depuis les années 80 par Yuri Gurevich grâce à la notion d'Abstract State Machine (ASM). Les ASM sont des algèbres — c'est-à-dire des structures logiques avec seulement des fonctions — qui évoluent dans le temps.

Cette théorie est aux algorithmes ce que la calculabilité est aux fonctions calculables par algorithme. Face à la thèse de Church, la thèse de Gurevich assure que les ASM capturent complètement la notion d'algorithme.

Les choses sont en fait bien plus complexes car le caractère séquentiel ou parallèle ou encore distribué des algorithmes a conduit Gurevich à élaborer plusieurs thèses.

Marie Ferbus et Serge Grigorieff travaillent à dégager une approche formelle de type logique des ASM, en commençant par le cas séquentiel.

2.6 Coopérations scientifiques

GDR

Christiane Frougny a dirigé jusqu'en décembre 2004 le GDR 673 du CNRS *Algorithmique, Langage et Programmation*.

En janvier 2005, ce GDR a été transformé en le GDR *Informatique Mathématique* dirigé par Brigitte Vallée (Caen), et dont Ch. Frougny est la directrice-adjointe. Ce recentrage correspond à la volonté de prendre en compte l'émergence de nouvelles problématiques issues des grandes questions informatiques, qui ont toutes un point commun : elles sont mathématisables, à l'aide d'outils de mathématiques déjà existants ou nouveaux. Le GDR compte plus d'un millier de membres.

Jean Mairesse est responsable du Groupe de Travail *SDA2 : Systèmes Dynamiques, Automates et Algorithmique* au sein du GDR 673 Informatique Mathématique. Le groupe de travail comprend une centaine de membres.

ANR

Jean Mairesse est coordinateur du projet Jeunes Chercheurs *MASED*.

- Nom du projet : *MASED – Marches Aléatoires et Systèmes à Événements Discrets*.
- Nature : ANR Jeunes Chercheuses et Jeunes Chercheurs
- Responsable : Jean Mairesse
- Budget global : 120 000 euros.
- Durée : 01/01/07–31/12/09.

Wolfgang Steiner est coordinateur du projet *DyCoNum*. Christiane Frougny est membre du projet.

- Nom du projet : *DyCoNum – Études diophantiennes, dynamiques et combinatoires de différentes numérations*.
- Nature : ANR Jeunes Chercheuses et Jeunes Chercheurs
- Responsable : Wolfgang Steiner
- Budget global : 80 000 euros.
- Durée : 01/11/06–30/10/09.

Olivier Serre participe au projet DocFlow (en tant que membre rattaché au LaBRI)

- Nom du projet : DocFlow (analysis, monitoring, and optimization of Web documents and services).
- Nature : ANR *masse de données et connaissances ambiantes*.
- Responsable : Anca Muscholl (LaBRI, Bordeaux).
- Budget global : 112 781 €.
- Durée : 01/01/07–31/12/09.

Olivier Serre participe aux projets AVERISS « Automated Verification of Software Systems » et ANR-SETIN (« sécurité et informatique »), Janvier 2007-Décembre 2009. Coordination par Ahmed Bouajjani. Partenaires : LABRI (Bordeaux) et LSV (ENS Cachan). Budget global 216 k€.

Wieslaw Zielonka participe aux projet AVERISS

ACI

- Christiane Frougny a été membre du projet *Numération* de l'ACI Nouvelles Interfaces des Mathématiques (juin 2005 – juin 2007), dirigé par P. Arnoux, budget par personne de l'ordre de 1000 euros.
- Jean-Baptiste Yunès a été membre de l'ACI-Cryptologie.
- Jean Mairesse a été membre du projet *Nœuds et tresses* de l'ACI Nouvelles Interfaces des Mathématiques (coordinateur : A. Sossinsky, LIFR-MIIP, Moscou, et S. Nechaev, LPTMS, Orsay), 2004-2006.

- Jean Mairesse a été membre du projet *Graphes, Algorithmes et Probabilités* de l'ACI Nouvelles Interfaces des Mathématiques (coordinateur : S. Boucheron, LRI, Orsay), 2003–2205.

Autres projets nationaux

Jean Mairesse a été responsable du groupe *Systèmes dynamiques à événements discrets*. Soutien spécifique du département STIC et du GDR ALP.

2.6.1 Projets européens

Jean-Éric Pin dirige le projet AUTOMATHA de l'European Science Foundation, (voir <http://www.esf.org/automatha>). Ce programme de cinq ans (2005–2010), se situe à la frontière entre mathématiques, informatique fondamentale et applications. Il regroupe 15 pays européens travaillant dans le domaine de la théorie des automates, pour un budget annuel de 140.000 euros.

Olivier Serre a participé au projets GAMES

- Nom du projet : GAMES (Games and Automata for Synthesis and Validation).
- Nature : Research Training Network du cinquième programme cadre de la communauté européenne.
- Nombre de partenaires européens : 6.
- Laboratoire responsable : RWTH Aachen (Allemagne). Chair : Erich Grädel.
- Durée : 01/01/02–31/12/06.

2.6.2 Projets bilatéraux

- Christiane Frougny a été responsable du PAI BARRANDE *Aspects combinatoires et algorithmiques des structures aperiodiques* avec C. Burdík, Université Polytechnique de Prague, 2002–2003.
- Christiane Frougny a été responsable du projet CNRS/JSPS *Numeration, automata and tilings* avec S. Akiyama, Université de Niigata, Japon, 2004.
- Christiane Frougny est responsable du projet PHC AMADEUS *Représentation non-standard des nombres* avec l'Autriche, responsable Peter Grabner, pour l'année 2007. Budget 2600 Euros. Wolfgang Steiner en est membre.
- Christiane Frougny est membre d'un projet CMCU *Théorie combinatoire des nombres* avec Christian Mauduit, Université Marseille 2, et M. Mkaouar, Université de Sfax, Tunisie, 2006 – 2007.
- Jean-Éric Pin est membre d'un projet PESSOA, *Automata, Profinite semigroups and Symbolic Dynamics*, avec le Portugal. Responsables : M. Zeitoun, P. Silva et J. Almeida.
- Wieslaw Zielonka est responsable d'un projet bilatéral Hubert Curien franco-polonais *Polonium* intitulé *Jeux pour la synthèse et la vérification de systèmes réactifs*. Olivier Serre est membre du projet. Budget : 3000 Euros en 2007. Durée : 01/01/07–31/12/08.
- Wolfgang Steiner est membre du PHC Sakura avec le Japon, 2007.

2.6.3 Visiteurs reçus

- Juhani Karhumäki, Université de Turku, Finlande, septembre 2003
- Edita Pelantová, Université Polytechnique de Prague, République Tchèque, janvier 2005.
- Christoph Bandt, Université de Greifswald, Allemagne, juin 2005.
- Mai Gehrke, Université d'Oxford, juin-août 2006.

- Peter Grabner, Université Technique de Graz, Autriche, juin 2007.
- Verónica Becher, Université de Buenos-Aires, Argentine, février 2005 et janvier 2007.
- Christof Löding, Université d'Aachen, Allemagne, mars 2006.

2.7 Diffusion et évaluation de l'information scientifique

2.7.1 Edition

- Luc Boasson est éditeur de la revue *Information Processing Letters*.
- Christian Choffrut est, depuis 1991, rédacteur en chef de la RAIRO Informatique Théorique et Applications, seule revue internationale d'informatique théorique publiée en France.
- Jean-Éric Pin est éditeur des journaux suivants :
 - Semigroup Forum
 - International Journal of Algebra and Computation
 - Theoretical Informatics and Applications
 - Bulletin of the Iranian Mathematical Society
- Jean-Baptiste Yunès est co-éditeur des actes des conférences BFCA sur les fonctions booléennes ayant eu lieu à trois reprises en 2005 (Rouen), 2006 (Rouen) et 2007 (Paris). Ces actes ont été publiés et diffusés par les Presses Universitaires de Rouen et du Havre.

2.7.2 Livres

- Le livre écrit par Jean-Éric Pin et Dominique Perrin, *Infinite Words* (538 p.), est paru chez Elsevier en 2004. Ce livre aborde la théorie des automates sur les mots infinis sous des aspects très divers : algorithmique, algébrique, topologique, logique, théorie des jeux, théorie des modèles et systèmes dynamiques.
- Jean-Éric Pin a coordonné le chapitre Algorithmique et Programmation de l'Encyclopédie de l'informatique et des systèmes d'information, paru en 2006 et en a également rédigé le chapitre consacré aux automates.
- Luc Boasson a contribué avec Jean Berstel (Marne-la-Vallée) à l'*Encyclopédie de l'informatique et des systèmes d'informations* éditée en 2006 par Vuibert. Le chapitre qu'ils ont écrit s'intitule *Modèles de machines*. Il s'agit d'un des chapitres de la section supervisée par Jean-Eric Pin.
- Christiane Frougny a été éditrice avec V. Brattka et N. Mueller du numéro spécial *Real Numbers* de la revue *RAIRO - Theoretical Informatics and Application*, 41, 2007.

2.7.3 Vulgarisation scientifique

- Jean-Éric Pin a donné un exposé dans le cadre des « Leçons de Mathématiques d'Aujourd'hui » à Bordeaux, en octobre 2005.

2.7.4 Comités de programme

Olivier Carton a été membre du comité de programme des conférences suivantes :

- Journées Montoises, Liège, Belgique, 2004.
- Conference on Implementation and Application of Automata (CIAA), Kingston, Canada, 2004.

Christian Choffrut a été membre du comité de programme des conférences suivantes :

- Developments in Language Theory, Turku, Finlande, 2–6 Juillet 2007.
- Automata and Formal languages, Dobogókö, Hongrie, 17–20 Mai 2005.
- Developments in Language Theory, Mondello, Italie, 4–8 Juillet 2005.

Christiane Frougny a été co-responsable scientifique des premières journées d'Informatique Mathématique, décembre 2005. Elle a aussi été membre du comité de programme des conférences suivantes :

- Colloques internationaux *Real numbers and computers* en 2003, 2004 et 2006. Chair de *Real numbers and computers* en 2004.
- CANT, Liège, 2006.
- ARITH 18, Montpellier, juin 2007.
- *Symbolic dynamics and coding*, juillet 2007, Marne-la-Vallée.
- Ecole *Physique et Informatique*, Cargèse, Corse, octobre 2005.
- École Jeunes Chercheurs en Algorithmique et Calcul Formel du GDR ALP en 2003, 2004, 2005, et de l'École Jeunes Chercheurs en Informatique Mathématique en 2007.
- LATA (2008).

Jean Mairesse a été membre du comité de programme de

- *The Algebra and Geometry around Knots and Braids*, Euler Institute, St-Petersbourg, Russie, 2007.
- *2nd Int. Conf. on Performance Evaluation Methodologies and Tools*, IEEE, Nantes, France, 2007.
- *1st Int. Conf. on Performance Evaluation Methodologies and Tools*, IEEE, Pise, Italie, 2006.

Jean-Éric Pin a été membre du comité de programme des conférences et ateliers suivants :

- AutoMathA (2007)
- CALCO (2007)
- CIAA (2004, 2005, 2006, 2007)
- CSL (2007)
- DCFS (2004)
- DLT (2005 et 2006)
- FCT (2005 et 2007)
- FINCO (2007)
- FSMNLP (2005)
- ICALP (2006)
- ICTAC (2005 et 2006)
- IFIP TCS (2004 et 2006)
- JM (2006)
- LATA (2008)
- LATIN (2008)
- Majestic (2004)
- STACS (2006)
- WSA (2005)

Olivier Serre a été membre du comité de programme de

- *Games in Design and Verification (GDV 2005)*, workshop international affilié à *Computer Aided Verification (CAV 2005)*.
- BFCA'05, BFCA'06, BFCA'07.

2.7.5 Évaluation de la recherche

CSE

- Membres de la CSE de Paris 7 : Olivier Carton, Christian Choffrut, Jean Mairesse, Jean-Éric Pin, Jean-Baptiste Yunès.
- Membre de la CSE de Marne-la-Vallée : Christian Choffrut, Jean Mairesse
- Membre de la CSE de Caen : Jean Mairesse
- Membre de la CSE de Cergy-Pontoise : Christiane Frougny
- Membre de la CSE de Créteil : Olivier Carton
- Membre de la CSE de Paris 12 : Jean-Baptiste Yunès
- Membre de la CSE de Versailles : Jean Mairesse
- Membre de la CSE de Rouen : Christian Choffrut, Christiane Frougny, Jean-Éric Pin, Jean-Baptiste Yunès
- Membre de la CSE de l'ENS Lyon : Jean Mairesse

Autres (CNRS, CNU, ANR, ...)

- Luc Boasson va participer à l'évaluation de l'Université de Nice pour l'AERES.
- Christiane Frougny est ou a été :
 - experte au Ministère pour la DSTP9 ;
 - membre du Comité Scientifique de l'ACI *Nouvelles Interfaces des Mathématiques en 2004* ;
 - membre du Comité Scientifique du programme MATHSTIC du CNRS en 2004 ;
 - membre du Comité Scientifique Disciplinaire *Mathématiques et Interactions* de l'ANR programme blanc en 2006 et 2007.
- Jean-Éric Pin participe depuis 4 ans à l'Advisory Board du CAUL (Centre d'Algèbre de Lisbonne), Portugal.

Jurys de thèse

- Christiane Frougny a été membre du jury de thèse de M. Hbaib, (Marseille, 2006), du jury d'habilitation de Frédérique Bassino (Marne-la-Vallée, 2005).
- Jean-Baptiste Yunès a été membre du jury de thèse de Mr Benoit Poulot-Cazajous (PPS, Paris 7).
- Wieslaw Zielonka a été rapporteur et membre du jury de thèse de Julien Bernet (Bordeaux, 2006), Rodrigue Bertrand Ossamy (Bordeaux, 2005). Wieslaw Zielonka a été membre du jury de thèse de Benjamin Lerman (Paris 7, 2005), Guillaume Feuillade (IRISA, Rennes, 2005).
- Jean Mairesse a été rapporteur et membre du jury de thèse de Glenn Merlet (Rennes, 2005), Benoit Daireaux (Caen, 2005), Samy Abbes (Rennes, 2004), Violetta Lonati (Milan, Italie, 2004). Jean Mairesse a été membre du jury pour la thèse de Ana Busic (Versailles, 2007), Hugo Gimbert (Paris 7, 2006), Nazim Fates (ENS Lyon, 2004), Thierry Gross (Paris 7, 2004). Jean Mairesse a été membre du jury pour l'habilitation de Sylvain Lombardy (Paris 7, 2005).

2.8 Animation de la recherche

2.8.1 Organisation de conférences et d'écoles

- Christian Choffrut a organisé (avec M. Anselmo, Université de Salerno et Dora Giammarresi Université de Rome) le workshop « langages bidimensionnels », mai 2006, Salerno,

Italie, dans le cadre du projet ESF Automatha.

- Christiane Frougny a organisé les Journées d'Informatique Mathématique du GDR ALP et du RTP MathInfo, décembre 2004, Paris, et les Journées du GDR Informatique Mathématique, Paris, février 2007.
- Christiane Frougny et Wolfgang Steiner ont organisé les journées *Aspects dynamiques de la numération*, Paris, décembre 2006.
- Christiane Frougny a donné des cours à l'école d'automne *Physique et Informatique*, Cargèse, Corse, octobre 2005.
- Christiane Frougny et Wolfgang Steiner ont donné des cours à l'école de printemps *Combinatorics on Words* à Herbertov, République Tchèque, mai 2007.
- Jean-Éric Pin a co-organisé le workshop *Semigroups and Automata* à Lisbonne, Portugal, juillet 2005.
- Jean-Éric Pin a co-organisé la journée *Finite Model Theory*, Paris, mars 2006.
- Jean-Baptiste Yunès a organisé les trois premières éditions de la conférence internationale *BFCA*, 2005, 2006, 2007.
- Jean Mairesse a organisé une session invitée aux Journées MAS 2006, Lille, France, Septembre 2006.
- Jean Mairesse a organisé une session invitée, 13-th INFORMS Applied Probability Conference, Ottawa, Canada, Juillet 2005.

2.8.2 Séminaires

- Christiane Frougny et Olivier Serre sont responsables du Groupe de Travail *Automates* de l'équipe.
- Olivier Serre organise un groupe de travail mensuel sur les jeux.
- Jean Mairesse organise un groupe de travail sur les systèmes à événements discrets.

2.8.3 Sociétés savantes

Jean Mairesse est membre du Conseil d'Administration de la SMAI (Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles) depuis juin 2007. Jean Mairesse est membre du bureau du groupe MAS (Modèles Aléatoires et Statistiques) de la SMAI depuis 2004.

2.9 Principaux séjours à l'étranger

Olivier Carton

- Montréal 2004 (1 semaine) sur invitation de Christophe Reutenauer
- Aix-la-Chapelle (2 semaines) 2007 RWTH Aachen sur invitation de Wolfgang Thomas
- Mons 2007 (1 semaine) Université de Mons-Hainaut sur invitation de Véronique Bruyère

Christian Choffrut

- Université de Turku, Finlande, invité par J. Karhumäki, septembre 2003 et mai 2007
- Université de Budapest et de Szeged, Hongrie, 2003 (10 jours)
- Université de Milan, Italie, invité par M. Goldwurm, A. Bertoni et G. Pighizzini suivant les cas, 2003, 2004, 2005 (4 semaines chaque fois).

Christiane Frougny

- Université Polytechnique de Prague en septembre 2003, août 2004, mai 2006, mai 2007 (1 semaine chaque fois).

- Niigata University, Japon, octobre 2003 (3 semaines).
- Tohoku University, Japon, octobre 2003 (1 semaine).

Jean Mairesse

- Département de Mathématiques de l'Université d'Oxford, Royaume-Uni, février 07 (1 semaine).
- Département de Mathématiques de l'Université de Breme, Allemagne, décembre 05 (2 semaines).

Jean-Éric Pin

- Université de Porto, Portugal, mars 2004, avril 2005.
- Lisbonne, Portugal, juil. 2005, février 2006, février 2007
- Université de Sao-Paulo, Brésil, avril 2004.
- Buenos-Aires, Argentine, LATIN 2004, avril 2004.
- Tarragona, Espagne, professeur invité à l'« International PhD School in Formal Languages and Applications », éditions 3, 4 et 5, avril 2004, avr. 2005 et mai 2006.
- Université d'Athènes, Grèce, juin 2004.
- Université d'Alicante, Espagne, juin 2007.
- Ekaterinburg, Russie, août-septembre 2005.
- Hanoi, Vietnam, octobre 2005.
- EPFL, Lausanne, Suisse, décembre 2005.
- CWI, Amsterdam, Pays-Bas, janvier 2006.
- Université de Valencia, Espagne, Juillet 2006.

Olivier Serre

- Université d'Aachen (Allemagne), séjour post-doctoral dans le cadre du projet GAMES, cinq mois entre janvier et juillet 2005.
- Université d'Aachen, Allemagne, décembre 2003 (1 semaine), mai-juin 2006 (5 semaines), juillet 2007 (3 semaines).
- Université d'Oxford, Angleterre, juillet 2006 (1 semaine), septembre 2006 (2 semaines).

Wolfgang Steiner

- Université technique de Prague, mars et août 2006.
- Université technique de Delft, février 2007.

2.10 Masters et stages encadrées

Enseignement en Master

- Luc Boasson assure un cours d'informatique dans le Master *Modélisation Aléatoire et Finances* (Paris 7).
- Christiane Frougny a enseigné au DEA Intelligence Artificielle (Paris 8 - Paris 13) jusqu'en 2005.
- Jean Mairesse a enseigné au DEA de Probabilités de Paris 6 jusqu'en 2004.
- Olivier Carton, Christian Choffrut, Christiane Frougny, Jean Mairesse, Jean-Éric Pin, Olivier Serre, Wieslaw Zielonka enseignent dans la master MPRI (*Master Parisien de Recherche en Informatique* de Paris 7, l'ENS, l'ENS Cachan et l'École Polytechnique).

Stages de Mastères

- Wajdi Lafejh (encadrement Ch. Frougny), *Réalisation d'un logiciel de calcul en base irrationnelle*, Université Paris 8, octobre 2003.
- L. Chaubard (encadrement Jean-Éric Pin), *L'équivalence faible des systèmes sofiques*, Université Paris 7, juillet 2003.
- D. Durrleman (encadrement Olivier Serre), *Jeux sur des graphes d'automates à pile de pile*, École Normale Supérieure de Paris (dans le cadre du MPRI), septembre 2007.
- T.H. Dao-thi (encadrement Jean Mairesse), *Files d'attente et marches aléatoires*, École Polytechnique (dans le cadre du DEA de Probabilités de Paris 6).

Stages de fin d'étude

- B. Brotosumpeno (encadrement I. Klimann, S. Lombardy et J. Mairesse), *Extension de l'algorithme de Ramadge-Wonham à des automates à multiplicité*, stage de fin d'études de l'École Polytechnique, avril-juin 2004.
- Bruneau, Cortot, Pincon, Porcher et Montagu (encadrement J. Mairesse), *Problèmes de plus court chemin, de la théorie à la pratique*, Projet Scientifique Collectif de l'École Polytechnique, 2004-05.
- R. Ben-dhaou, G. Lacote, V. Loonis, M. Puyfaucher (encadrement M. Latapy et J. Mairesse), *Le graphe des échanges sur Internet*, mémoire de Statistiques Appliquées de l'ENSAE, 2003-2004.

2.11 Publications

Articles publiés ou acceptés dans des revues d'audience internationale

- [1] S. ABBES, A Cartesian closed category of event structures with quotients, *Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science* **8** (2006), 249–270.
- [2] S. ABBES ET K. KEIMEL, Projective topology on bifinite domains and applications, *Theoretical Computer Science* **365**,3 (2006), 171–183.
- [3] S. AKIYAMA, F. BASSINO ET C. FROUGNY, Arithmetic Meyer sets and finite automata, *Inform. Comput.* **201** (2005), 199–215.
- [4] S. AKIYAMA, H. BRUNOTTE, A. PETHŐ ET W. STEINER, Remarks on a conjecture on certain integer sequences, *Period. Math. Hung.* **52** (2006), 1–17.
- [5] S. AKIYAMA, C. FROUGNY ET J. SAKAROVITCH, Powers of rationals modulo 1 and rational base number systems, *Isr. J. Math.*, 2007. À paraître.
- [6] J.-P. ALLOUCHE, C. FROUGNY ET K. HARE, On univoque Pisot numbers, *Math. Comput.* **76** (2007), 1639–1660.
- [7] P. AMBROŽ, Non-standard Numeration Systems, *Acta Polytechnica* **45**,5 (2005), 24–27.
- [8] P. AMBROŽ ET C. FROUGNY, On alpha-adic expansions in Pisot bases, *Theoret. Comput. Sci.* **380** (2007), 238–250.
- [9] P. AMBROŽ, C. FROUGNY, Z. MASÁKOVÁ ET E. PELANTOVÁ, Arithmetics on number systems with irrational bases, *Bull. Belgian Math. Soc. Simon Stevin* **10** (2003), 641–659.
- [10] P. AMBROŽ, Z. MASÁKOVÁ ET E. PELANTOVÁ, Addition and multiplication of beta-integers in generalized Tribonacci base, *Discrete Math. Theoret. Comput. Sci* **9**,2 (2007), 73–88 (electronic).

- [11] P. AMBROŽ, Z. MASÁKOVÁ, E. PELANTOVÁ ET C. FROUGNY, Palindromic complexity of infinite words associated with simple Parry numbers, *Ann. Inst. Fourier* **56**,7 (2006), 2131–2160. Numération, pavages, substitutions.
- [12] G. BARAT, C. FROUGNY ET A. PETHŐ, A note on linear recurrent Mahler numbers, *Integers* **5**,3 (2005), A1, 17 pp. (electronic).
- [13] V. BECHER, S. FIGUEIRA, S. GRIGORIEFF ET J. MILLER, Random reals and halting probabilities, *J. Symbolic Logic* **71**,4 (2006), 1411–1430.
- [14] V. BECHER ET S. GRIGORIEFF, Recursion and topology on $2^{\leq\omega}$ for possibly infinite computations, *Theoret. Comput. Sci.* **322** (2004), 85–136.
- [15] V. BECHER ET S. GRIGORIEFF, Random reals and possibly infinite computations — Part I : randomness in \emptyset' , *J. Symbolic Logic* **70**,3 (2005), 891–913.
- [16] J. BERSTEL, L. BOASSON, O. CARTON, B. PETAZZONI ET J.-E. PIN, Operations preserving recognizable languages, *Theoret. Comput. Sci.* **354**,3 (2006), 405–420.
- [17] J. BERSTEL, L. BOASSON ET M. LATTEUX, Mixed languages, *Theoret. Comput. Sci.* **332**,1–3 (2005), 179–198.
- [18] A. BERTONI, C. CHOFFRUT, M. GOLDWURM ET V. LONATI, Local limit properties for pattern statistics and rational models, *Theory of Comput. Syst.* **39**,1 (2006), 209–235.
- [19] A. BÈS ET O. CARTON, A Kleene Theorem for Languages of Words Indexed by Linear Orderings, *Int. J. Found. Comput. Sci.* **17**,3 (2006), 519–542.
- [20] A. BOUILLARD, B. GAUJAL ET J. MAIRESSE, Extremal throughputs in free-choice nets, *Discrete Event Dyn. Syst.* **16**,3 (2006), 327–352.
- [21] A. BOUILLARD ET J. MAIRESSE, Möbius inversion formula for the trace group, *C. R. Math. Acad. Sci. Paris* **339**,12 (2004), 899–904.
- [22] T. BOUSCH ET J. MAIRESSE, Finite-range topical functions and uniformly topical functions, *Dyn. Syst.* **21**,1 (2006), 73–114.
- [23] V. BRUYÈRE ET O. CARTON, Hierarchy among Automata on Linear Orderings, *ACM Trans. Comput. Syst.* **38**,5 (2005), 593–621.
- [24] V. BRUYÈRE ET O. CARTON, Automata on linear orderings, *J. Comput. System Sci.* **73**,1 (2007), 1–24.
- [25] A. CANO GÓMEZ ET J.-E. PIN, Shuffle on positive varieties of languages, *Theoret. Comput. Sci.* **312** (2004), 433–461.
- [26] O. CARTON, The growth ratio of synchronous rational relations is unique, *Theoret. Comput. Sci.* **376** (2007), 52–59.
- [27] O. CARTON, C. CHOFFRUT ET S. GRIGORIEFF, Decision problems among the main subfamilies of rational relations, *Theoret. Inform. Appl.* **40** (2006), 255–275.
- [28] J. CHALOPIN, Y. MÉTIVIER ET W. ZIELONKA, Local Computations in Graphs : The Case of Cellular Edge Local Computations, *Fund. Inform.* **74**,1 (2006), 85–114.
- [29] L. CHAUBARD, J.-E. PIN ET H. STRAUBING, Actions, Wreath Products of \mathcal{C} -varieties and Concatenation Product, *Theoret. Comput. Sci.* **356** (2006), 73–89.
- [30] C. CHOFFRUT, F. D’ALESSANDRO ET S. VARRICCHIO, On the separability of sparse context-free languages and of bounded rational relations, *Tcs*, 2007. available on line 7 April 2007.

- [31] C. CHOFRUT ET B. DURAK, Collage of two-dimensional words, *Theoret. Comput. Sci.* **340**,1 (2005), 364–380.
- [32] C. CHOFRUT ET S. GRIGORIEFF, Separability of rational relations in $A^* \times \mathbb{N}^m$ by recognizable relations is decidable, *Inform. Proc. Letters* **99** (2006), 27–32.
- [33] C. CHOFRUT ET Y. HADDAD, String-matching with OBDDs, *Theoret. Comput. Sci.* **313**,2–3 (2004), 187–198.
- [34] C. CHOFRUT ET Y. HADDAD, Recognizing group languages with OBDDs, *Vietnam J. Math.* **34**,4 (2006), 269–279.
- [35] C. CHOFRUT ET J. KARHUMÄKI, Some decision problems on integer matrices, *RAIRO Inform. Théor.* **39**,1 (2004), 125–132.
- [36] T.-H. DAO-THI ET J. MAIRESSE, Zero-automatic queues and product form, *Adv. in Appl. Probab.* **39**,2 (2007), 429–461.
- [37] M. DRAIEF ET J. MAIRESSE, Services within a busy period of an M/M/1 queue and Dyck paths, *Queueing Syst.* **49** (2005), 73–84.
- [38] M. DRAIEF, J. MAIRESSE ET N. O’CONNELL, Queues, Stores, and Tableaux, *J. Appl. Probab.* **42**,4 (2005), 1145–1167.
- [39] A. ELKHARRAT, C. FROUGNY, J.-P. GAZEAU ET J.-L. VERGER GAUGRY, Symmetry groups for beta-lattices, *Theoret. Comput. Sci.* **319** (2004), 281–305.
- [40] M. FERBUS ET S. GRIGORIEFF, Kolmogorov complexity and set theoretical representations of integers, *Math. Logic Quarterly* **52**,4 (2006), 381–409.
- [41] M. FERBUS-ZANDA ET S. GRIGORIEFF, Kolmogorov complexities K_{\min} , K_{\max} on computable partially ordered sets, *Theoret. Comput. Sci.* **352** (2006), 159–180.
- [42] M. FERBUS-ZANDA ET S. GRIGORIEFF, Kolmogorov complexity and set theoretical representations of integers, *Math. Logic Quarterly* **52**,4 (2006), 381–409.
- [43] J. FOUNTAIN, J.-E. PIN ET P. WEIL, Covers for monoids, *J. Algebra* **271** (2004), 529–586.
- [44] C. FROUGNY, J.-P. GAZEAU ET R. KREJCAR, Additive and multiplicative properties of point sets based on beta-integers, *Theoret. Comput. Sci.* **303** (2003), 491–516.
- [45] C. FROUGNY, Z. MASÁKOV’A ET E. PELANTOV’A, Complexity of infinite words associated with beta-expansions, *Theoret. Inform. Appl.* **38** (2004), 163–185. Corrigendum, pp. 269–271.
- [46] C. FROUGNY, Z. MASÁKOVÁ ET E. PELANTOVÁ, Infinite special branches in words associated with beta-expansions, *Discrete Math. Theoret. Comput. Sci* **9** (2007), 125–144.
- [47] C. FROUGNY ET L. VUILLON, Coding of two-dimensional constraints of finite type by substitutions, *J. Autom. Lang. Comb.* **10** (2005), 465–1482.
- [48] B. GAUJAL ET J. MAIRESSE, Minimization of circuit registers : retiming revisited, *Discrete Appl. Math.*, 2007. À paraître.
- [49] G. GOMES, J.-E. PIN ET H. SEZINANDO, Presentations of the Schützenberger product of n groups, *Commun. Algebra* **34** (2006), 1213–1235.
- [50] S. GRIGORIEFF, Synchronization of a bounded degree graph of cellular automata with non uniform delays in time $D \log_m(D)$, *Theoret. Comput. Sci.* **356** (2006), 170–185.
- [51] S. GRIGORIEFF ET M. MARGENSTERN, Register cellular automata in the hyperbolic plane, *Fund. Inform.* **61**,1 (2004), 19–27.

- [52] I. KLIMANN, S. LOMBARDY, J. MAIRESSE ET C. PRIEUR, Deciding unambiguity and sequentiality from a finitely ambiguous automaton, *Theoret. Comput. Sci.* **327**,3 (2004), 349–373.
- [53] D. KROB, J. MAIRESSE ET I. MICHOS, Computing the average parallelism in trace monoids, *Discrete Math.* **273** (2003), 131–162.
- [54] C. LÆDING, C. LUTZ ET O. SERRE, Propositional Dynamic Logic with Recursive Programs, *J. Log. Algebr. Program.*, 2007. À paraître.
- [55] S. LOMBARDY ET J. MAIRESSE, Series which are both max-plus and min-plus rational are unambiguous, *Theoret. Inform. Appl.* **40**,1 (2006), 1–14.
- [56] S. LOMBARDY, Y. RÉGIS-GIANAS ET J. SAKAROVITCH, Introducing VAUCANSON, *Theoret. Comput. Sci.* **328**,1-2 (2004), 77–96.
- [57] S. LOMBARDY ET J. SAKAROVITCH, Derivatives of rational expressions with multiplicity, *Theoret. Comput. Sci.* **332** (2005), 141–177.
- [58] S. LOMBARDY ET J. SAKAROVITCH, How expressions can code for automata, *Theoret. Inform. Appl.* **39** (2005), 217–237.
- [59] S. LOMBARDY ET J. SAKAROVITCH, Sequential?, *Theoret. Comput. Sci.* **359**,1-2 (2006), 224–244.
- [60] J. MAIRESSE, Random walks on groups and monoids with a Markovian harmonic measure, *Electron. J. Probab.* **10** (2005), 1417–1441.
- [61] J. MAIRESSE ET F. MATHÉUS, Growth series for Artin groups of dihedral type, *Internat. J. Algebra Comput.* **16**,6 (2006), 1087–1107.
- [62] J. MAIRESSE ET F. MATHÉUS, Random Walks on Free Products of Cyclic Groups, *J. Lond. Math. Soc.* **75**,2 (2007), 47–66.
- [63] J. MAIRESSE ET F. MATHÉUS, Randomly growing braid on three strands and the manta ray, *Ann. Appl. Probab.* **17**,2 (2007), 502–536.
- [64] J. MAIRESSE ET B. PRABHAKAR, The existence of fixed points for the $\cdot/GI/1$ queue, *Ann. Probab.* **31**,4 (2003), 2216–2236.
- [65] S. MARGOLIS, J.-E. PIN ET M. VOLKOV, Words guaranteeing minimal image, *Int. J. Found. Comput. Sci.* **15** (2004), 259–276.
- [66] J.-F. MICHON, P. VALARCHER ET J.-B. YUNÈS, On Maximal QROBDD's of Boolean Functions, *Theoret. Inform. Appl.* **39**,4 (2005).
- [67] J.-F. MICHON, P. VALARCHER ET J.-B. YUNÈS, Mahler's expansion and Boolean functions, *J. Integer Seq.* **10**,3 (2007).
- [68] M. PICANTIN, Garside monoids vs divisibility monoids, *Math. Structures Comput. Sci.* **15**,2 (2005), 231–242.
- [69] M. PICANTIN, Finite transducers for divisibility monoids, *Theoret. Comput. Sci.* **362**,1–3 (2006), 207–221.
- [70] J.-E. PIN, The expressive power of existential first order sentences of Büchi's sequential calculus, *Discrete Math.* **291** (2005), 155–174.
- [71] J.-E. PIN ET P. SILVA, A topological approach to transductions, *Theoret. Comput. Sci.* **340** (2005), 443–456.
- [72] J.-E. PIN ET H. STRAUBING, Some results on \mathcal{C} -varieties, *Informatique théorique et applications* **39** (2005), 239–262.

- [73] C. RISPAL ET O. CARTON, Complementation of Rational Sets on Countable Scattered Linear Orderings, *Int. J. Found. Comput. Sci.* **16**,4 (2005), 767–786.
- [74] O. SERRE, Vectorial Languages and Linear Temporal Logic, *Theoret. Comput. Sci.* **310**,1–3 (2004), 79–116.
- [75] O. SERRE, Games with Winning Conditions of High Borel Complexity, *Theoret. Comput. Sci.* **350**,2–3 (2006), 345–372.
- [76] W. STEINER, Regularities of the distribution of β -adic van der Corput sequences, *Monatsh. Math.* **149** (2006), 67–81.
- [77] J.-B. YUNÈS, Fault Tolerant Solution to the Firing Squad Synchronization Problem, *Journal of Cellular Automata* **1**,3 (2006).
- [78] W. ZIELONKA, Time-stamps for Mazurkiewicz traces, *Theoret. Comput. Sci.* **356**,1–2 (2006), 255–262.

Articles parus dans des actes de conférences internationales

- [79] S. ABBES, The information rate of asynchronous sources, in *Proceedings of 2nd IEEE International Conference on Information and Communication Technologies : from theory to Applications, ICTTA'06*, Damas (Syrie), 2006. 5 pages.
- [80] A. AKHAVI, J.-F. MARCKERT ET A. ROUAULT, On the reduction of a random basis, in *Proc. of the 9th workshop on algorithm engineering and experiments and the 4th workshop on analytic algorithmics and combinatorics (ANALCO'07)*, A. Applegate, G. Storing Brodal, D. Panario et R. Sedgewick (éd.), pp. 265–271, Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia, 2007.
- [81] S. AKIYAMA, F. BASSINO ET C. FROUGNY, Automata for arithmetic Meyer sets, in *Proceedings of LATIN 04*, pp. 252–261, *lncs* vol. 2976, Sv, 2004.
- [82] S. AKIYAMA, C. FROUGNY ET J. SAKAROVITCH, On the representation of numbers in a rational base, in *Proceedings of Words 2005*, Canada Montréal, 2005, pp. 47–64, *Monographies du LaCIM 36*, uqam.
- [83] M. ALBENQUE, Bijective combinatorics of positive braids, in *Electronic Notes on Discrete Mathematics Eurocomb 2007*, Espagne, 2007, Elsevier.
- [84] P. AMBROŽ, On the tau-adic expansions of real numbers, in *Words 2005, 5th International Conference on Words, actes*, S. Brlek et C. Reutenauer (éd.), pp. 79–89, *Publications du LaCIM* vol. 36, UQÀM, 2005.
- [85] V. BÁRÁNY, C. LÆDING ET O. SERRE, Regularity Problems for Visibly Pushdown Languages, in *Proceedings of 23rd International Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science, STACS 2006*, B. Durand et W. Thomas (éd.), pp. 420–431, *lncs* vol. 3884, Sv, 2006.
- [86] M.-P. BÉAL, S. LOMBARDY ET J. SAKAROVITCH, On the equivalence of \mathbb{Z} -automata, in *Automata, languages and programming*, pp. 397–409, *Lecture Notes in Comput. Sci.* vol. 3580, Springer, Berlin, 2005.
- [87] M.-P. BÉAL, S. LOMBARDY ET J. SAKAROVITCH, Conjugacy and equivalence of weighted automata and functional transducers, in *Computer science—theory and applications*, pp. 58–69, *Lecture Notes in Comput. Sci.* vol. 3967, Springer, Berlin, 2006.

- [88] J. BERSTEL, L. BOASSON, O. CARTON ET I. FAGNOT, A first investigation of Sturmian trees, in *STACS*, W. Thomas et P. Weil (éd.), pp. 73–84, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 4393, Springer-Verlag, 2007.
- [89] J. BERSTEL ET O. CARTON, On the complexity of Hopcroft’s state minimization algorithm, in *CIAA’2004*, pp. 35–44, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3317, Springer-Verlag, 2004.
- [90] A. BERTONI, C. CHOFFRUT, M. GOLDWURM ET V. LONATI, Local Limit Distributions in Pattern Statistics : Beyond the Markovian Models., in *STACS*, pp. 117–128, 2004.
- [91] A. BERTONI, C. CHOFFRUT ET B. PALANO, Context-Free Grammars and XML Languages., in *Developments in Language Theory*, pp. 108–119, 2006.
- [92] A. BÈS ET O. CARTON, A Kleene Theorem for Languages of Words Indexed by Linear Orderings, in *DLT’2005*, C. D. Felice et A. Restivo (éd.), pp. 158–167, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3572, Springer-Verlag, 2005.
- [93] A. BOUILLARD, B. GAUJAL ET J. MAIRESSE, Extremal throughputs in free-choice nets, in *26th Int. Conf. on Application and Theory of Petri Nets*, G. Ciardo et P. Darondeau (éd.), *lncs* vol. 3536, Sv, 2005.
- [94] A. BOUILLARD, B. GAUJAL ET J. MAIRESSE, Throughput in stochastic free-choice nets, in *Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control*, Sevilla, Spain, 2005, pp. 2131–2136.
- [95] A.-J. BOUQUET, O. SERRE ET I. WALUKIEWICZ, Pushdown games with unboundedness and regular conditions, in *Proceedings of FST TCS 2003 : Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science, 23rd Conference*, P. Pandya et J. Radhakrishnan (éd.), pp. 88–99, *lncs* vol. 2914, Sv, 2003.
- [96] O. CARTON, The growth ratio of synchronous rational relations is unique, in *DLT’2006*, O. H. Ibarra et Z. Dang (éd.), pp. 270–279, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 4036, Springer-Verlag, 2006.
- [97] O. CARTON ET C. RISPAL, Complementation of Rational sets on Scattered Linear Orderings of Finite rank, in *LATIN’2004*, pp. 292–301, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 2976, 2004.
- [98] L. CHAUBARD ET J.-E. PIN, Open problems on regular languages : an historical perspective, in *Semigroups and formal languages, Proceedings of the International Conference, Centro de Álgebra da Universidade de Lisboa (CAUL), Portugal, 12–15 July 2005*, J. André, V. Fernandes, M. J. Branco, G. Gomes, J. Fountain et J. Meakin (éd.), World Scientific, 2007.
- [99] L. CHAUBARD, J.-E. PIN ET H. STRAUBING, First order formulas with modular predicates, in *21st Annual IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS 2006)*, pp. 211–220, Ieee, 2006.
- [100] C. CHOFFRUT, Rational Relations as Rational Series., in *Theory Is Forever*, pp. 29–34, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3113, Springer-Verlag, 2004.
- [101] C. CHOFFRUT, M. GOLDWURM ET V. LONATI, On the Maximum Coefficients of Rational Formal Series in Commuting Variables., in *Developments in Language Theory*, pp. 114–126, 2004.
- [102] C. CHOFFRUT ET S. GRIGORIEFF, The theory of rational relations on transfinite strings, in *Words, Languages and Combinatorics III : Proceedings of the International Conference, Kyoto, Japan, 14–18 March 2000*, M. Ito (éd.), pp. 103–151, World Scientific, 2004.

- [103] T. CLAVEIROLE, S. LOMBARDY, S. O'CONNOR, L.-N. POUCHET ET J. SAKAROVITCH, Inside VAUCANSON, in *CIAA '2005*, I. L. e. S. S. J. Farré (éd.), pp. 116–128, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3845, Springer-Verlag, 2006.
- [104] T.-H. DAO-THI ET J. MAIRESSE, Zero-automatic queues, in *Formal Techniques for Computer Systems and Business Processes*, pp. 64–78, *lncs* vol. 3670, Pub-Sv, 2005.
- [105] T.-H. DAO-THI ET J. MAIRESSE, Zero-automatic networks, in *Proceedings of the 1st Int. Conf. on Performance Evaluation and Tools*, Acm, 2006. Best Student Paper Award.
- [106] A. ELKHARRAT ET C. FROUGNY, Voronoi cells of beta-integers, in *Proceedings of DLT 05, Developments in Language Theory*, pp. 209–223, *lncs* vol. 3572, Sv, 2005.
- [107] H. GIMBERT, Exploration Games on Infinite Graphs, in *CSL'04*, J. Marcinkowski et A. Tarlecki (éd.), pp. 56–70, *lncs* vol. 3210, Sv, 2004.
- [108] H. GIMBERT ET W. ZIELONKA, Discounting Infinite Games but How and Why?, in *Proceedings of the Workshop on Games in Design and Verification (GDV 2004)*, L. D. Alfaro (éd.), pp. 3–9, *Electronic Notes in Theor. Comp. Sci.* vol. 119, Elsevier, 2004.
- [109] H. GIMBERT ET W. ZIELONKA, When Can You Play Positionally?, in *MFCS '04*, I. Fiala, V. Koubek et J. Kratochvil (éd.), pp. 686–697, *lncs* vol. 3153, Sv, 2004.
- [110] H. GIMBERT ET W. ZIELONKA, Games where you can play optimally without any memory, in *CONCUR'05*, M. Abadi et L. D. Alfaro (éd.), pp. 428–442, *lncs* vol. 3653, Sv, 2005.
- [111] H. GIMBERT ET W. ZIELONKA, Deterministic priority mean-payoff games as limits of discounted games, in *ICALP '06*, pp. 312–323, *lncs* vol. 4052, Sv, 2006.
- [112] H. GIMBERT ET W. ZIELONKA, Limits of Multi-Discounted Markov Decision Processes, in *LICS '07*, IEEE Computer Society, 2007. ap.
- [113] H. GIMBERT ET W. ZIELONKA, Perfect information stochastic priority games, in *ICALP '07*, *lncs*, Sv, 2007. ap.
- [114] M. GOLOVKINS ET J.-E. PIN, Varieties Generated by Certain Models of Reversible Finite Automata, in *Computing and Combinatorics : 12th Annual International Conference, COCOON 2006*, D. Z. Chen et D. Lee (éd.), pp. 83–93, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 4112, 2006.
- [115] C. J., Y. MÉTIVIER ET W. ZIELONKA, Election, naming and cellular edge local computations, in *2nd International Conference on Graph Transformation, ICGT 2004*, pp. 242–256, *lncs* vol. 3256, Sv, 2004.
- [116] C. LÆDING, P. MADHUSUDAN ET O. SERRE, Visibly Pushdown Games, in *Proceedings of FST TCS 2004 : Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science, 24th Conference*, K. Lodaya et M. Mahajan (éd.), pp. 408–420, *lncs* vol. 3328, Sv, 2004.
- [117] C. LÆDING ET O. SERRE, Propositional Dynamic Logic with Recursive Programs, in *Proceedings of FOSSACS 2006 : Foundations of Software Science and Computation Structures*, L. Aceto et A. Ingolfssdottir (éd.), pp. 292–306, *lncs* vol. 3921, Sv, 2006.
- [118] S. LOMBARDY ET J. SAKAROVITCH, How expressions can code for automata, in *LATIN 2004 : Theoretical informatics*, pp. 242–251, *Lecture Notes in Comput. Sci.* vol. 2976, Springer, Berlin, 2004.
- [119] J. MAIRESSE ET F. MATHÉUS, Random walks on groups with a tree-like Cayley graph, in *Mathematics and computer science III*, M. Drmota, P. Flajolet, B. Gittenberger et D. Gardy (éd.), pp. 445–460, *Trends in Mathematics*, Birkhäuser, 2004.

- [120] S. MARGOLIS, J.-E. PIN ET M. VOLKOV, Words guaranteeing minimal image, in *Words, Languages & Combinatorics III*, M. Ito et T. Imaoka (éd.), pp. 297–310, World Scientific, 2003.
- [121] J.-F. MICHON, P. VALARCHER ET J.-B. YUNÈS, HFE and BDD's : A Practical Attempt at Cryptanalysis, in *Coding, Cryptography and Combinatorics*, K. Feng, H. Niederreiter et C. Xing (éd.), Birkhäuser, 2004.
- [122] C. RISPAL ET O. CARTON, Complementation of Rational Sets on Countable Scattered Linear Orderings, in *DLT'2004*, C. S. Calude, E. Calude et M. J. Dinneen (éd.), pp. 381–392, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3340, Springer-Verlag, 2004.
- [123] O. SERRE, Games with Winning Conditions of High Borel Complexity, in *Proceedings of Automata, Languages and Programming : 31st International Colloquium, ICALP 2004*, J. Diaz, J. Karhumaki, A. Lepisto et D. Sannella (éd.), pp. 1150–1162, *lncs* vol. 3142, Sv, 2004.
- [124] O. SERRE, Parity games played on transition graphs of one-counter processes, in *Proceedings of FOSSACS 2006 : Foundations of Software Science and Computation Structures*, L. Aceto et A. Ingolfsdottir (éd.), pp. 337–351, *lncs* vol. 3921, Sv, 2006.
- [125] J.-B. YUNÈS, Simple New Algorithms which solve the Firing Squad Synchronization Problem : a 7-states 4n-steps solution, in *Machines, Computations and Universality 2007*, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 4664, Sv, september 2007. À paraître.
- [126] W. ZIELONKA, Perfect-information Stochastic Parity Games, in *FOSSACS 2004*, I. Walukiewicz (éd.), pp. 499–513, *lncs* vol. 2987, Sv, 2004.
- [127] W. ZIELONKA, An invitation to play, in *MFCS '2005*, J. Jędrzejowicz et A. Szepietowski (éd.), pp. 58–70, *lncs* vol. 3618, Sv, 2005.

Livres publiés (comme auteur)

- [128] D. PERRIN ET J.-E. PIN, *Infinite Words, Pure and Applied Mathematics* vol. 141, Elsevier, 2004. ISBN 0-12-532111-2.

Livres et journaux édités

- [129] V. BRATTKA, C. FROUGNY ET N. MÜLLER, Special issue : Real numbers, *Theoret. Inform. Appl.* **41**,1 (2007).
- [130] C. CHOFRUT, Imre Simon, the tropical computer scientist, *Informatique théorique et applications* **39**,1 (2005). Numéro spécial de la revue RAIRO/ITA, en l'honneur du soixantième anniversaire d'Imre Simon.
- [131] C. CHOFRUT, P. CAMPADELLI ET M. GOLDWURM, Alberto Bertoni : climbing summits, *Informatique théorique et applications* **40**,2 (2006). Numéro spécial de la revue RAIRO/ITA, en l'honneur du soixantième anniversaire d'Alberto Bertoni.
- [132] J.-F. MICHON, P. VALARCHER ET J.-B. YUNÈS (éd.), *Boolean Function : Cryptography and Applications 2005*, Presses Universitaires de Rouen et du Havre, 2005.
- [133] J.-F. MICHON, P. VALARCHER ET J.-B. YUNÈS (éd.), *Boolean Function : Cryptography and Applications 2006*, Presses Universitaires de Rouen et du Havre, 2006.

Chapitres de livres

- [134] J. BERSTEL ET L. BOASSON, Modèles de machines, in *Encyclopédie de l'informatique et des systèmes d'informations*, J. Akoka et I. Comyn-Wattiau (éd.), pp. 987–998, Vuibert, 2006.
- [135] M. FERBUS-ZANDA ET S. GRIGORIEFF, Is randomness native to computer science?, in *Current Trends in Theoretical Computer Science*, G. Paun, G. Roenberg et A. Salomaa (éd.), vol. 2, pp. 141–179, World Scientific, 2004.
- [136] C. FROUGNY, Non-standard number representation : computer arithmetic, beta-numeration and quasicrystals, in *Physics and Theoretical Computer Science*, J. Gazeau, J. Nesestril et B. Rovan (éd.), pp. 155–169, IOS Press, 2007.
- [137] J.-E. PIN, Algorithmique et Programmation. Automates finis, in *Encyclopédie de l'informatique et des systèmes d'information*, J. Akoka et I. Comyn-Wattiau (éd.), ch. I/9, pp. 966–976, Vuibert, 2006.
- [138] J.-E. PIN, Algorithmique et Programmation. Introduction, in *Encyclopédie de l'informatique et des systèmes d'information*, J. Akoka et I. Comyn-Wattiau (éd.), ch. I/9, pp. 913–918, Vuibert, 2006.
- [139] J.-E. PIN, Automates réversibles : combinatoire, algèbre et topologie, in *Leçons de mathématiques d'aujourd'hui*, E. Charpentier (éd.), Cassini, 2007. À paraître.

Thèses et habilitations

- [140] H. GIMBERT, *Jeux positionnels*, thèse de doctorat, Université Paris VII, 2007.
- [141] S. LOMBARDY, *Contribution aux problèmes de réalisation des langages et séries rationnelles*, habilitation à diriger des recherches, Université Paris VII, Paris, 2005.
- [142] J. MAIRESSE, *Tetris, traces et tresses. Modélisation, combinatoire et performances*, habilitation à diriger des recherches, Université Paris VII, 2006.
- [143] O. SERRE, *Contribution à l'étude des jeux sur des graphes de processus à pile*, thèse de doctorat, Université Paris 7, 11 2004.

Rapports techniques

- [144] C. CHOFFRUT, Relations over words and logic : a chronology, *Bull. EATCS* **89** (2006), 159–163.
- [145] C. CHOFFRUT, Weakening Presburger Arithmetic, rap. tech., Turku General Publications Series, 2007. à paraître dans les actes de la conférence Reachability Problems; Turku, 7-8 July 2007.
- [146] H. GIMBERT, Pure stationary optimal strategies in markov decision processes, rap. tech. n°02, LIAFA, Univ. Paris 7, 2006.

Articles soumis

- [147] S. AKIYAMA, H. BRUNOTTE, A. PETHŐ ET W. STEINER, Periodicity of certain piecewise affine planar maps. soumis, 2007.
- [148] J. BERSTEL, L. BOASSON, O. CARTON ET I. FAGNOT, Sturmian trees. soumis, 2007.

- [149] O. CARTON, J.-E. PIN ET X. SOLER-ESCRIVÀ, Languages recognized by finite supersoluble groups. Soumis, 2007.
- [150] E. CHARLIER, M. RIGO ET W. STEINER, Abstract numeration systems on bounded languages and multiplication by a constant. soumis, 2007.
- [151] R. CORRAN ET M. PICANTIN, Garside structures for the braid groups of well-generated imprimitive reflection groups. soumis, 2007.
- [152] K. DAJANI, C. KRAAIKAMP ET W. STEINER, Metrical theory for α -Rosen fractions. soumis, 2007.
- [153] M. FERBUS-ZANDA ET S. GRIGORIEFF, Kolmogorov complexity in perspective. soumis, 2007.
- [154] J.-B. YUNÈS, An Intrinsically non Minimal-time Minsky-like 6-States Solution to the Firing Squad Synchronization Problem. Soumis, 2007.

3 L'équipe Modélisation et Vérification

3.1 Composition

Responsable : Ahmed Bouajjani, Professeur Paris 7

Membres permanents

- Eugène Asarin, Professeur Paris 7
- Luc Boasson, Professeur Paris 7 (membre de l'équipe Automates et Applications depuis juillet 2007)
- Ahmed Bouajjani, Professeur Paris 7
- Thierry Cachat, MdC Paris 7, depuis septembre 2004
- Carole Delporte, MdC Paris 7
- Hugues Fauconnier, MdC Paris 7
- Paul Gastin, Professeur Paris 7, jusqu'en juillet 2004
- Irène Guessarian, Professeur Paris 6
- Peter Habermehl, MdC Paris 7, jusqu'au 1er février 2007 (membre associé depuis cette date)
- Yan Jurski, MdC Paris 7
- François Laroussinie, Professeur Paris 7, depuis septembre 2007
- Antoine Meyer, MdC Paris 7, depuis septembre 2006
- Anca Muscholl, Professeur Paris 7, jusqu'en juillet 2006
- Mihaela Sighireanu, MdC Paris 7
- Tayssir Touili, CR CNRS, depuis 2004
- Jean-Baptiste Yunès, MdC Paris 7 (membre de l'équipe Automates et Applications depuis juillet 2007)
- Marc Zeitoun, MdC Paris 7, jusqu'en juillet 2005

Autres chercheurs

- Stéphane Devismes, ATER, Septembre 2006 – Août 2007
- Séverine Fratani, post-doctorant, Septembre 2006 – Août 2007
- Piotr Kordy, doctorant de l'université de Twente (Pays-Bas), Janvier-Avril 2007
- Adam Rogalewicz, doctorant à l'université technique de Brno (Rep. Chèque), Octobre 2004 – Septembre 2005
- Laurent Van Begin, ATER, Septembre 2005 – Août 2006

Doctorants ayant soutenu leur thèse

- Benjamin Lerman, Paris 7, septembre 2002 – novembre 2005
- Antoine Meyer, Rennes 1, thèse soutenue en octobre 2005
- Tayssir Touili, Paris 7, thèse soutenue en novembre 2003
- Denis Oddoux, Paris 7, thèse soutenue en décembre 2003

Doctorants en cours de thèse

- Mohssen Abboud, doctorant Paris 7 depuis janvier 2007 (directeur H. Fauconnier, bourse étrangère)
- Mohamed Faouzi Atig, doctorant Paris 7 depuis septembre 2006 (directeur A. Bouajjani, AM)

- Claire David, doctorant Paris 7 depuis septembre 2004 (directeur A. Muscholl et L. Segoufin, BDI)
- Cezara Dragoi, doctorant Paris 7 depuis septembre 2007 (directeur A. Bouajjani, Bourse ANR)
- Florian Horn, doctorant Paris 7 depuis septembre 2004 (directeur A. Muscholl, AM)
- Pierre Moro, doctorant Paris 7, septembre 2003–Août 2007 (directeur Ahmed Bouajjani, bourse ACI)
- Mathias Samuelides, doctorant Paris 7 depuis septembre 2003 (directeur A. Muscholl, AM)
- Andreas Thiemann, doctorant Paris 7 depuis janvier 2007 (C. Delporte, Allocation Ile de France)

3.2 Thèses et habilitations

Thèses soutenues

- Benjamin Lerman (encadrement Paul Gastin), *Vérification et Spécification des systèmes distribués*, novembre 2005.¹⁹
- Antoine Meyer (encadrement Ahmed Bouajjani et Didier Cauca), l'IRISA, thèse de l'université de Rennes 1, *Graphes infinis de présentation finie*, octobre 2005.²⁰
- Denis Oddoux, Paris 7 (encadrement P. Gastin, AM), *Utilisation des automates alternants pour un model-checking efficace des logiques temporelles linéaires* décembre 2003.²¹
- Tayssir Touili (encadrement Ahmed Bouajjani, AM), *Analyse symbolique de systèmes infinis basée sur les automates : Application à la vérification de systèmes paramétrés et dynamiques*, novembre 2003.²²

Habilitations

- Marc Zeitoun, *Concurrence et automates*, 2005. Marc Zeitoun est Professeur à l'université de Bordeaux 1.

Thèses en cours

- Mohssen Abboud (encadrement Carole Delporte et Hugues Fauconnier), *Détecteurs de défaillances et service tolérants aux pannes*, doctorant depuis octobre 2004. Bourse de 4 ans de l'état Syrien.
- Mohamed Faouzi Atig (encadrement Tayssir Touili et Ahmed Bouajjani), *Vérification de programmes concurrents*, depuis octobre 2006.
- Claire David (encadrement Anca Muscholl et Luc Segoufin), *Analyse d'XML avec données non-bornées*, soutenance prévue fin 2008.
- Cezara Dragoi (encadrement Mihaela Sighireanu et Ahmed Bouajjani), *Vérification de systèmes dynamiques avec données non bornées*, commence en octobre 2007.
- Florian Horn (encadrement Anca Muscholl et Wolfgang Thomas de l'université de Aix-la-chapelle), *Jeux, Synthèse et Systèmes Concurrents*, soutenance prévue fin 2008.
- Pierre Moro (encadrement Peter Habermehl et Ahmed Bouajjani, AM), *Techniques de vérification basées sur des représentations symboliques par automates et l'abstraction guidée par les contre-exemples*, soutenance prévue le 4 février 2008.

¹⁹ Benjamin Lerman a pris un poste dans le privé.

²⁰ Antoine Meyer est actuellement Maître de Conférences à l'université Paris 7.

²¹ Denis Oddoux dirige maintenant un service informatique de 130 personnes à la direction générale des impôts.

²² Tayssir Touili est actuellement CR2 au CNRS.

- Brahim Nasraoui (encadrement Tayssir Touili et Riadh Robbana de Tunis), *Modèles de programmes concurrents basés sur les systèmes de réécriture de processus*. Thèse en cotutelle entre l'université Paris 7 et l'université de Tunis. Depuis Janvier 2007. Bourse tunisienne.
- Mathias Samuelides, encadrement Anca Muscholl et Luc Segoufin, *Automates d'arbres à jetons : expressivité et complexité*, soutenance prévue le 17 décembre 2007.
- Andreas Thiemann (encadrement Carole Delporte et Hugues Fauconnier), *Vérification automatique des algorithmes distribués tolérants aux défaillances*, doctorant depuis Février 2007. Bourse de 3 ans de l'Ile de France.

3.3 Thèmes de recherche

3.3.1 Vérification et contrôle

Les systèmes informatiques sont omniprésents dans tous les secteurs de la vie moderne (télécommunications, transports, économie, santé, etc.) et leur complexité est de plus en plus grande. Il devient alors extrêmement difficile de concevoir et de développer ces systèmes tout en respectant le niveau de qualité et de fiabilité requis par leurs utilisateurs, un niveau qui peut être très élevé dans le cas des systèmes *critiques* devant satisfaire de fortes exigences de sûreté et de sécurité.

La vérification automatique de systèmes complexes est un défi scientifique et technologique majeur. Il s'agit de développer des formalismes et des méthodes algorithmiques permettant de modéliser de tels systèmes à différents niveaux d'abstraction et de les analyser automatiquement pour soit établir la correction de tous leurs comportements possibles, ou bien de déceler leurs comportements défaillants et dans ce cas, de diagnostiquer la cause des défaillances et proposer une réparation. Le problème de la réparation peut être vu comme un problème de synthèse, c'est-à-dire, de trouver les actions à effectuer par le système afin de satisfaire une certaine propriété. Ce problème de synthèse se pose aussi naturellement dans le domaine du contrôle de systèmes devant interagir avec un environnement externe.

Il existe actuellement une activité intense, aussi bien dans le milieu académique que dans le milieu industriel, visant à concevoir et à développer les méthodes et les techniques d'analyse pour la nouvelle génération d'outils de vérification, principalement pour la vérification des *systèmes logiciels* complexes. En effet, les systèmes logiciels comportent de multiples sources de complexité, parmi lesquelles : la manipulation de données sur des domaines non bornés (les entiers et les réels par exemple), la création dynamique d'objets et la manipulation de structures de données de tailles arbitraires (les listes, les arbres, etc.), les appels de procédures (potentiellement récursives), la concurrence, la création dynamique de processus concurrents, les contraintes temps-réel, l'interaction avec des modules externes (un environnement partiellement défini), la distribution, les aspects probabilistes, etc.

L'analyse des systèmes doit tenir compte de tous ces aspects et doit porter sur la satisfaction de différentes sortes de propriétés telles que : les invariants et/ou les propriétés de sûreté, les propriétés de vivacité et/ou de terminaison, ainsi que les contraintes *quantitatives* concernant par exemple les temps d'exécution des opérations, la consommation des ressources (la mémoire, l'énergie, etc.), les performances, etc. L'analyse quantitative des systèmes est en effet particulièrement importante dans le cas des *systèmes embarqués* qui doivent respecter des contraintes (e.g., temps-réel, portant sur les ressources) strictes, mais aussi pour d'autres types de systèmes tels que les noyaux de systèmes d'exploitation, les protocoles de télécommunication, etc.

De plus, la considération de ces différents aspects complexes dans le comportement des systèmes pour ces différentes classes de propriétés peut se faire soit dans le contexte des systèmes

fermés (totalement spécifiés) ou bien alors dans le contexte en général plus difficile des *systèmes ouverts* qui doivent interagir avec un environnement externe (non totalement spécifié).

L'équipe Modélisation et Vérification a une activité importante concernant les problèmes décrits plus haut, en collaboration étroite avec d'autres équipes au niveau national et international. L'équipe a obtenu durant les quelques dernières années des résultats de premier plan concernant la spécification et l'analyse de systèmes concurrents et distribués, des techniques basées sur les automates pour l'analyse symbolique de systèmes infinis, la vérification automatique de programmes récursifs et concurrents, de programmes manipulant des structures de données dynamiques, les programmes avec données numériques, les systèmes temporisés, les systèmes hybrides, les réseaux paramétrés/dynamiques de processus (finis ou infinis), etc.

3.3.2 Raisonnement sur des objets structurés

Ce thème de recherche est motivé par la vérification des nouveaux systèmes de manipulation et d'échange de données dont XML (Extended Markup Language) est le nouveau standard. Du point de vue théorique, on modélise les documents XML comme des arbres étiquetés sur un alphabet dont les données représentent les données attachés aux documents. Les problèmes qui se posent sur les documents structurés peuvent alors être exprimés dans le cadre des automates ou des logiques sur les arbres (avec données).

L'utilisation des données arbitraires dans des documents XML entraîne assez facilement l'indécidabilité de nombreux problèmes, même sans exploiter une structure particulière des données (par exemple des propriétés arithmétiques). L'étude de modèles décidables d'automates et logiques qui permettent de manipuler des données arbitraires est un premier pas vers des applications d'analyse statique de documents XML.

Bien que la motivation initiale de ce thème de recherche soit le raisonnement sur les documents XML, les problèmes théoriques abordés dans ce thème et les techniques utilisés sont fortement liés à ceux qui se posent dans le thème « vérification et contrôle ». En effet, dans ce dernier se pose le problème de raisonner sur des objets structurés que sont les configurations de systèmes auxquels peuvent être attachés des données dans des domaines non bornés.

3.3.3 Algorithmique distribuée tolérante aux pannes

La finalité de l'algorithmique distribuée tolérante aux pannes est d'offrir, malgré les pannes, des services fiables. Le champs d'application de ces services est vaste : réseaux de téléphones ou de communication, système de réservation, gestion de trafic aérien, bourse, systèmes embarqués, etc.

Dans le cadre de l'algorithmique distribuée tolérante aux défaillances, un problème fondamental est celui de l'accord (ou *consensus*) : comment arriver en présence de défaillances à un accord entre les processus sur une certaine valeur. Il est, en effet, difficile d'envisager des applications tolérantes aux défaillances sans pouvoir au moins arriver à un accord entre les participants. Or, un résultat fondamental (Fischer, Lynch et Paterson 1985) prouve que, dans le cas de systèmes asynchrones, un tel accord est impossible à atteindre dès qu'au moins un processus est susceptible de tomber en panne.

Une partie importante des travaux de recherche en algorithmique distribuée tolérante aux défaillances consiste à arriver à contourner ce résultat négatif. Pour cela, il existe essentiellement trois possibilités. La première consiste à restreindre le caractère asynchrone du modèle considéré : c'est l'approche des modèles partiellement synchrones. On peut aussi modifier la spécification du consensus, soit en remplaçant la condition de terminaison par une terminaison sûre (i.e. avec probabilité 1), soit en ajoutant des conditions sur les valeurs proposées. La troisième solution est

celle des détecteurs de défaillances ; elle consiste à maintenir le caractère asynchrone du système mais à supposer que les processus peuvent obtenir des informations sur les défaillances. D'un point de vue pratique, c'est souvent ce que l'on fait en utilisant des *time-out* : si un processus ne répond pas assez vite, on considère qu'il est en panne. Cependant, l'information ainsi obtenue est imparfaite et peut être erronée. D'un point de vue plus théorique cette approche est celle des détecteurs de défaillances : un détecteur de défaillances est une abstraction qui fournit aux processus des informations sur les défaillances des processus. Pour l'essentiel, un détecteur de défaillances encapsule la connaissance nécessaire sur les défaillances des processus.

Cette dernière approche a l'avantage d'être rigoureuse et formelle et a de nombreuses implications pratiques. Elle permet de développer une algorithmique dans un cadre asynchrone qui, en utilisant des détecteurs de défaillances, peut contourner les résultats d'impossibilité. Elle est aussi modulaire : les détecteurs de défaillances peuvent être considérés comme une abstraction définie par ses propriétés. Cette abstraction étant ensuite réalisée dans un système partiellement synchrone (c'est-à-dire avec certaines propriétés de synchronie).

3.4 Résultats obtenus : vérification et contrôle

Les résultats décrits ci-dessous sont dûs aux participants suivants : Eugène Asarin, Ahmed Bouajjani, Thierry Cachat, Julien d'Orso, Séverine Fratani, Paul Gastin, Irène Guessarian, Peter Habermehl, Florian Horn, Benjamin Lerman, Yan Jurski, Antoine Meyer, Pierre Moro, Anca Muscholl, Adam Rogalewicz, Mihaela Sighireanu, Tayssir Touili, et Marc Zeitoun.

3.4.1 Regular Model Checking

Nous avons développé durant les quelques dernières années un cadre pour la vérification des systèmes infinis basé sur les automates et les systèmes de réécriture. Ce cadre est naturel pour raisonner sur des classes de systèmes infinis tels que les systèmes communicant par files d'attente, et les réseaux paramétrés de composants identiques (chacun étant un processus d'état fini). Dans ce cadre une configuration est représentée par une séquence de symboles (un mot sur un vocabulaire fini), et donc un ensemble de configurations est vu comme un langage de mots. Nous considérons dans ce cadre des ensembles réguliers de mots représentés par des automates d'état fini ou par des expressions régulières. Une action du système (ou sa relation de transition entre configurations) est alors naturellement représentée par un transducteur d'état fini (relation régulière de mots) ou par une règle de réécriture de mots.

Ainsi, nous posons le problème de la vérification dans le cadre du regular model checking (RMC) comme étant le problème de calculer effectivement une représentation de $R^*(L)$, étant donné un langage L et une relation régulière (système de réécriture) R , où R^* est la fermeture réflexive-transitive de R . Ce problème n'a pas de solution en général (chaque pas de calcul d'une machine de Turing peut être décrit par une relation régulière de mot). Notre but est alors de définir des classes de langages L et de relations R pour lesquelles $R^*(L)$ est régulier et effectivement constructible. Un problème plus général est celui de définir des classes de relations régulières telles que la relation R^* est régulière est effectivement constructible.

Le cadre du RMC peut être étendu au cas des arbres afin de raisonner sur des systèmes dont les configurations sont représentés par des arbres ou par des termes. Des exemples de tels systèmes sont les systèmes paramétrés avec une topologie arborescente, ou les programmes manipulant des structures dynamiques arborescentes.

Semi-commutations : Dans [12], nous considérons un cas particulier de règles de réécriture qui est celui des semi-commutations (règles de la forme $ab \rightarrow ba$). Ces règles apparaissent dans

les modèles des systèmes paramétrés où des communications entre processus voisins ont lieu (par exemple dans le token ring protocol). Il est bien connu que les semi-commutations ne préservent pas la régularité. Nous avons alors défini une classe naturelle et significative de langages réguliers qui est fermée par les semi-commutations : nous avons donné un algorithme permettant de calculer $R^*(L)$ pour tout langage L dans cette classe, et tout ensemble de semi-commutations R .

Systèmes communicant par canaux FIFO : Dans [3], nous adoptons une méthode pragmatique pour la construction de l'ensemble des accessibles pour des automates à canaux FIFO avec pertes, et nous montrons son application à la vérification de protocoles de communications tels que le *Bounded Retransmission Protocol*. Nous définissons des représentations symboliques particulières permettant de manipuler efficacement des ensembles de configurations de ces systèmes (ensembles de vecteurs de mots clots par relation de sous-mots), et nous définissons des techniques de construction de l'ensemble des accessibles utilisant des techniques d'accélération. Ces techniques sont basés sur l'utilisation comme *méta-transitions* des circuits dans le graphe de contrôle du système. Nous montrons en effet que l'effet d'itérer tout circuit de ce genre est effectivement constructible.

Systèmes de réécriture de termes : En considérant tous les types de superposition possibles entre les différentes règles d'un système de réécriture, Antoine Meyer montre dans [100] qu'il est possible de caractériser certaines classes de systèmes dont la relation de réécriture en plusieurs étapes (ou *dérivation*) peut être représentée par un formalisme (transducteur d'un certain type) fini. Ces résultats étendent des résultats existants dans le cas des systèmes de réécriture de mots (menés par Didier Caucal). Ils ont des applications en Regular Model Checking sur les arbres. Ceci permet en effet d'identifier des classes de systèmes pour lesquels il existe des algorithmes effectifs de calcul des prédécesseurs ou successeurs d'ensembles réguliers de configurations.

Traces de graphes infinis de présentation finie : Dans sa thèse [122], Antoine Meyer a étudié les graphes infinis pouvant être décrits de façon finie en particulier grâce à des familles d'automates ou de systèmes de réécriture. Il s'est intéressé en particulier aux graphes dont l'ensembles de traces sont les langages contextuels.

Un résultat récent concernant les langages contextuels est qu'ils coïncident avec les traces des graphes rationnels, ou graphes dont les arcs sont définis par des relations rationnelles de mots. La démonstration initiale de ce résultat exploitait une caractérisation non triviale des langages contextuels par grammaires, qui ne permettait notamment pas de considérer le cas des langages contextuels déterministes. En utilisant un formalisme différent, les systèmes de pavage, nous avons simplifié la preuve existante et obtenu des résultats concernant le cas déterministe.

D'autre part, ces nouvelles constructions ont permis d'obtenir d'intéressantes caractérisations des langages de certaines familles structurellement restreintes de graphes rationnels, par exemple en termes de classes de complexité. En particulier, il paraît probable qu'une restriction aux graphes de degré borné ne permette plus d'accepter tous les langages contextuels. Ce travail a été publié dans la revue électronique *Logical Methods in Computer Science* [14].

Plus récemment, nous avons également entrepris de généraliser ces résultats à une famille de graphes plus importante, à savoir les graphes terme-automatiques, définis à l'aide de relations binaires sur les termes. Il apparaît que les traces de ces graphes forment la classe des langages acceptés par des machines linéairement bornées alternantes, ou de façon équivalente par des machines de Turing travaillant en temps $O(2^n)$. Ce travail a été présenté à MFCS 2007 [101].

Une autre suite naturelle aux résultats obtenus sur les graphes rationnels fut de proposer une nouvelle famille de graphes infinis, les graphes de transition des machines de Turing linéairement bornées, qui sont les accepteurs naturels de la famille des langages contextuels. Nous montrons que ces graphes possèdent plusieurs caractérisations équivalentes, les comparons à la famille des graphes rationnels et les situons par rapport à d'autres familles de graphes infinis bien connues. Ces résultats ont été présentés à la conférence MFCS 2005 [65], et publiés en version longue dans la revue *Acta Informatica* [15].

Regular Model Checking Abstrait (ARMC) : Dans [56], nous introduisons le *Abstract Regular Model Checking* comme une nouvelle approche générique pour la vérification des systèmes infinis. Cette approche combine le Regular Model Checking et la vérification par abstraction (model checking abstrait). Il s'agit, dans le cadre du Regular Model Checking basé sur les automates, d'une méthode permettant de calculer une surapproximation de l'ensemble des accessibles, ou alors de la relation d'accessibilité, d'un système donné. Les surapproximations sont calculées par la considération de relations d'équivalence sur les états des automates (ou des transducteurs) permettant de forcer la terminaison de l'analyse d'accessibilité. Ensuite, nous donnons pour les équivalences considérées des principes de raffinement d'abstraction guidée par les contre-exemples. Nous avons implanté ces techniques et nous avons montré qu'elles s'appliquent de manière efficace à la vérification de plusieurs types de systèmes infinis : réseaux paramétrés de processus, systèmes à pile, systèmes avec files, et pour la première fois dans le cadre du Regular Model Checking, des programmes manipulant des structures chaînées séquentielles.

Nous avons aussi, dans [96], appliqué dans le cadre du RMC les méthodes d'inférence de langages réguliers qui permettent à partir d'un échantillon de configurations d'*apprendre* des invariants du système.

Dans [54] le cadre du ARMC est étendu aux *arbres* en utilisant les automates et transducteurs d'arbres. Le nouveau cadre est appelé ARTMC (Abstract Regular Tree Model Checking).

Propriétés de vivacité en Regular Model Checking : Les travaux sur le regular model checking considère en général le problème de l'accessibilité et la vérification de propriétés de sûreté. Dans [10], nous étendons l'applicabilité des techniques de regular model checking à la vérification de propriétés plus générales, y compris les propriétés de vivacité. Nous considérons dans ce travail aussi bien le cas des mots finis (adéquats pour coder les configurations de systèmes tels que les automates à pile, à files, à compteurs entiers, les réseaux paramétrés de processus, etc), que celui des mots infinis (permettant de représenter les configurations de systèmes ayant des valeurs réelles tels que les automates temporisés ou hybrides).

Regular Hedge Model Checking : Dans [76], Tayssir Touili et Julien d'Orso étendent le regular model checking à des systèmes dont la structure est sous forme d'arbres à arités arbitraires. Ils ont considéré le problème du calcul de la clôture transitive $\mathcal{R}^*(L)$ pour le langage d'un hedge automate L et un système de réécriture \mathcal{R} . Ce calcul n'étant pas possible en général, ils ont proposé une technique d'accélération pour calculer \mathcal{R}^+ si \mathcal{R} est un système de réécriture de termes (d'arités arbitraires) qui préserve la structure. Ensuite, dans [113], Tayssir Touili a proposé un semi-algorithme qui calcule, en cas de terminaison, une sur-approximation de l'ensemble des accessibles $\mathcal{R}^*(L)$. Cette procédure calcule l'ensemble *exact* dans plusieurs cas. Les techniques proposées ont permis d'analyser (1) des protocoles d'exclusion mutuelle définis sur des structures d'arbres à arités non fixées, et (2) des applications XML.

3.4.2 Vérification des systèmes paramétrés

Résultats de décidabilité : Tayssir Touili, avec la collaboration de Ed Clarke, Muralidhar Talupur, et Helmut Veith, a travaillé sur l'analyse des réseaux paramétrés en considérant (1) des topologies complexes (graphes, etc), et (2) des propriétés plus générales que l'accessibilité, exprimables en LTL ou CTL. Pour ce faire, ils ont adopté une approche qui consiste à trouver une constante « cut-off » k telle que si les systèmes contenant un nombre de processus inférieur ou égal à k satisfont la propriété, alors il en est de même des systèmes ayant un nombre plus grand de composantes. Ils ont identifié des classes significatives de systèmes paramétrés, ayant des topologies complexes de graphes, pour lesquelles il est possible de calculer effectivement des cut-offs. Ces travaux ont été publiés dans [68].

Vérification d'un algorithme d'appartenance au groupe : Dans [11], nous considérons le problème de la vérification de l'algorithme d'appartenance au groupe (group membership algorithm) du protocole TTP (time-triggered protocol) utilisé en industrie automobile. Il s'agit d'un mécanisme très subtil permettant à des processus (composants) qui communiquent de manière périodique à travers un réseau en anneau de se rendre compte qu'ils sont en panne (ou perçus comme tels), de se retirer du groupe dans ce cas, et de rejoindre ce groupe plus tard. Le problème crucial est d'éviter que les processus actifs forment plusieurs groupes déconnectés (ce que l'on désigne par le problème des cliques). La vérification automatique de cet algorithme est difficile du fait que son comportement comprend plusieurs dimensions de paramétrisation et sources d'infinitude.

Nous avons pu améliorer de manière significative l'état de l'art concernant la preuve et la vérification automatique de cet algorithme en en fournissant une preuve dans un cadre général, pour un nombre arbitraire de processus et nombre arbitraire de pannes. De plus, nous avons défini une méthode algorithmique permettant de vérifier automatiquement cet algorithme : nous avons réduit, par une abstraction non triviale, le problème de la vérification de cet algorithme avec un nombre arbitraire de processus (et un nombre donné de pannes) au problème d'accessibilité des automates à compteurs. Ainsi, nous avons pu vérifier *automatiquement* qu'après l'occurrence d'une panne, l'algorithme se stabilise après deux tours d'émissions (autour de l'anneau) dans une configuration correcte, i.e., une configuration où seul un groupe de processus actifs existe. Pour cela, nous avons utilisé des outils d'analyse symbolique d'automates à compteurs (ALV et LASH).

3.4.3 Programmes récursifs/multithread

Abstractions de programmes parallèles avec procédures : Dans [50], nous considérons le problème de la vérification de programmes qui sont la mise en parallèle d'un ensemble (non borné) de processus communicants ; chacun de ces processus étant un programme récursif. Nous modélisons ces programmes parallèles par des termes d'une algèbre de processus particulière permettant la composition séquentielle, la composition parallèle avec synchronisation par rendez-vous, la création dynamique de processus, et les appels de procédures. Le problème de la vérification de ces modèles est indécidable en général (correspond à analyser des automates à plusieurs piles). Nous proposons alors un cadre générique pour définir des abstractions de ces systèmes et pour les analyser automatiquement. Ce cadre est basé sur le calcul d'abstractions des langages de séquences d'exécution (dérivations) des processus parallèles. Nous identifions des classes d'abstractions pour lesquelles ce calcul peut être effectué, et nous proposons plusieurs instances de ce cadre menant à des procédures d'analyse de différentes précisions et différents coûts.

Récemment, Tayssir Touili a considéré dans [112] un modèle plus expressif nommé SPAD (Synchronised PAD systems) qui permet de modéliser en plus le retour de procédures. L'algorithme proposé a été implanté avec Mihaela Sighireanu et le stagiaire Gael Patin dans un outil nommé SPADE. Cet outil a permis de trouver des erreurs dans des programmes réels tels que le driver BlueTooth de Microsoft. Cet outil a été présenté dans la conférence internationale CAV [105].

CEGAR pour programmes concurrents : Les travaux cités précédemment supposent que les données des programmes appartiennent à des domaines finis. Pour pouvoir traiter les programmes manipulant des données non bornées, Tayssir Touili a considéré les techniques de *predicate-abstraction* qui consistent à abstraire le domaine infini des données en un domaine fini défini par un ensemble donné de prédicats. Comme la taille du modèle croît avec le nombre de prédicats, le problème central en predicate-abstraction est de découvrir un ensemble *réduit* de prédicats suffisants pour prouver la propriété considérée. Pour ce faire, des techniques CEGAR (*CounterExample Guided Abstraction Refinement*) ont été considérées. Le principe consiste à : (1) partir d'un ensemble vide de prédicats, (2) vérifier le modèle obtenu. Si la propriété est satisfaite, on en déduit qu'elle l'est aussi pour le vrai programme. Sinon, nous obtenons un contre-exemple, c-à-d., une trace du modèle qui ne satisfait pas la propriété. (3) Si le contre-exemple correspond à de vraies exécutions dans le programme, nous en déduisons que ce dernier contient une erreur ; (4) Sinon, nous calculons un nouvel ensemble de prédicats qui élimine cette trace erronée et nous recommençons à partir de l'étape (2).

Ces techniques de CEGAR predicate-abstraction ont été appliquées à l'analyse des programmes par plusieurs équipes de recherche aussi bien académiques que industrielles (telle que Microsoft Research, etc). Cependant, dans ces travaux les modèles considérés sont des systèmes *finis* qui ne permettent pas de modéliser la récursion et la création dynamique de processus. Pour pallier ce problème, Tayssir Touili avec Sagar Chaki, Ed Clarke, Nicholas Kidd et Thomas Reps ont proposé dans [67] des techniques de CEGAR predicate-abstraction qui permettent d'obtenir des modèles basées sur des automates à piles communicants permettant de modéliser de manière précise *récursion et communication entre processus parallèles*. Ils ont aussi proposé une procédure de semi-décision qui permet d'analyser un système d'automates à piles communicants. Ces algorithmes ont été implantés dans l'outil MAGIC de l'université Carnegie-Mellon.

Techniques CEGAR pour des propriétés arborescentes : Les travaux décrits précédemment ne permettent de traiter que les propriétés d'accessibilité. Seulement, il est aussi important de pouvoir traiter des propriétés plus générales. Pour ce faire, nous avons défini dans [66] une logique arborescente expressive qui permet de raisonner simultanément sur les *états* et les *événements*, et qui a la bonne propriété d'être *universelle*, c-à-d., de n'utiliser que l'opérateur de quantification universelle sur les chemins d'exécutions (pas de quantification existentielle) ; ce qui fait qu'elle peut être utilisée dans un cadre CEGAR. Tayssir Touili, en collaboration avec le groupe de Ed Clarke, ont proposé un algorithme de model-checking pour cette logique, et ont décrit des techniques d'abstraction et de raffinement compositionnelles. Ces algorithmes ont été implanté dans le model-checker MAGIC. Cette implantation a permis de détecter une erreur dans une pièce de contrôle d'un robot industriel qui a été utilisée pendant sept ans sans que l'erreur ne soit découverte.

Techniques efficaces d'analyse abstraite de programmes : Tayssir Touili, en collaboration avec Akash Lal, Nicholas Kidd et Thomas Reps de l'université du Wisconsin-Madison ont introduit la notion de *projection d'erreur*. Etant donnée une abstraction d'un programme, une

projection d'erreur divise le programme en deux parties : la partie en dehors de la projection d'erreur est garantie d'être correcte, et la partie dans la projection d'erreur peut contenir des erreurs. Et donc, les efforts de vérification doivent se concentrer sur la partie contenue dans la projection d'erreur. Nous avons présenté de nouveaux algorithmes pour calculer ces projections d'erreur dans les programmes. Ce travail sera publié dans [99].

Analyse symbolique de programmes multithread avec procédures : Dans [61, 62], nous considérons le problème de la vérification de programmes multithread avec création dynamique de processus communicants et appels récursifs de procédures, avec des conditions particulières sur le parallélisme et la communication des processus. En gros, il est permis d'utiliser des primitives fork-join (ou blocs parbegin-parend), c'est-à-dire, un processus peut créer des processus et doit attendre leur terminaison avant de poursuivre son exécution. Nous modélisons de tels programmes par des PRS (process rewrite systems) qui sont des ensembles de règles de réécriture de termes de la forme $t_1 \rightarrow t_2$, où t_1 et t_2 sont construits à partir d'un ensemble fini de symboles X, Y, \dots représentant des noms des points de contrôle dans les procédures, du processus inactif 0 (état de terminaison), de la composition séquentielle « \cdot », et de la composition parallèle asynchrone « \parallel ». Le modèle des PRS est plus expressif que les automates à pile et que les réseaux de Petri, deux modèles naturels, respectivement, des programmes récursifs (sans création dynamique de processus), et des programmes multithread avec création dynamique de processus (sans appels récursifs de procédures).

Nous donnons des constructions d'automates d'arbres représentant les ensembles d'accessibles (en avant et en arrière) pour des sous-classes importantes de PRS. Nos résultats unifient et généralisent les résultats existants concernant les sous-classes de PRS (automates à pile, PA, réseaux de Petri) et leur application à l'analyse de programmes.

Dans [60], nous avons étendu le modèle de PRS avec des états. Ceci permet d'avoir une analyse exacte des programmes après un nombre borné de communications. Également, dans [110], nous avons considéré une autre extension de PRS qui permet de considérer l'ordre pour certains processus parallèles. Nous avons implanté cet algorithme dans l'outil PRESS.

Réseaux dynamiques d'automates à pile : Dans [59] nous étudions les réseaux dynamiques d'automates à pile comme modèles de programmes multithread avec création dynamique de processus et appels récursifs de procédures. Nous proposons deux modèles (DPN et CDPN) que nous montrons adéquats pour la modélisation de tels programmes. En particulier, nous montrons qu'ils peuvent modéliser des instructions *spawn* que des modèles basés sur les PRS ne peuvent pas modéliser. (Les modèles basés sur les PRS modélisent des blocs parbegin-parend, voir plus haut.) Nous étudions le problème de l'accessibilité de ces nouveaux modèles et nous proposons des algorithmes pour construire leurs accessibles en utilisant des automates de mots/d'arbres.

Dans [49] nous considérons une extension du modèle DPN en permettant la communication asynchrone par variables partagées. Le nouveau modèle ADPN est alors indécidable. Nous proposons alors des algorithmes efficaces basés sur ceux développés en [59] pour la vérification en considérant un nombre borné de changement de contexte. L'approche développée permet d'obtenir des sous approximations de précisions croissantes, et de détecter des comportements erronés.

Dans [13] nous étendons DPN par un nombre borné de synchronisation et considérons le problème du model-checking pour un fragment de la logique CTL.

Modèles de programmes basés sur les systèmes de réécriture : Dans [48], Ahmed Bouajjani et Javier Esparza présentent une synthèse sur les modèles de programmes (booléens)

séquentiels/concurrents/dynamiques basées sur les systèmes de réécriture de mots ou de termes, ainsi que sur les résultats existants concernant leur analyse.

Systèmes concurrents dynamiques avec données : Dans [57, 52], nous considérons des modèles basées sur des systèmes de réécritures (multi-ensemble, préfixe, ou facteur) avec contraintes sur des mots avec données. Nous montrons que ces modèles permettant de raisonner sur des systèmes concurrents avec création dynamique de processus, où chaque processus peut manipuler des variables sur des données dans des domaines pouvant être infinis (tels que les entiers, les réels, etc.).

Nous proposons une logique de premier ordre permettant de raisonner sur les configurations de tels systèmes (c'est-à-dire, des mots avec données) qui est paramétrée par une théorie de premier ordre sur les données. nous montrons que le problème du fragment $\forall^*\exists^*$ est indécidable même pour des théories très simples sur les données. Par contre, nous prouvons que le problème de la satisfaisabilité est décidable pour le fragment $\exists^*\forall^*$ de cette logique si ce même problème est décidable pour la théorie utilisée pour les données. De plus, nous montrons que ce même fragment est effectivement clos par le calcul des post et pré-images. Ces résultats permettent d'effectuer des raisonnements sur les post-pré conditions d'une transition, et de prouver automatiquement qu'une propriété donnée est un invariant inductif du système.

Un prototype a été implanté faisant appel à un outil SMT, et des expérimentations ont été réalisées montrant l'applicabilité de cette approche à des exemples non triviaux de systèmes tels qu'un système de verrous lecteurs-écrivains (reader-writer locks) avec un nombre arbitraire de processus.

Nous travaillons actuellement sur l'extension de nos travaux pour prendre en compte des structures plus générales (nous avons montré récemment que nos résultats se généralisent aux arbres), et nous envisageons la combinaison de notre approche avec des techniques de synthèse d'invariants basées sur l'analyse d'accessibilité.

Programmes récursifs d'ordre supérieur : En programmation fonctionnelle, il est naturel de manipuler des fonctions d'ordre supérieur qui peuvent prendre des fonctions en paramètres et rendre des fonctions comme résultats. Un modèle correspondant à ces fonctions est celui des automates à pile d'ordre supérieur, capables de manipuler des piles de piles. Dans [58], nous étudions le problème de l'analyse symbolique de ce genre de modèles. Nous montrons essentiellement que pour une sous classe significative de ces modèles (les processus hors-contexte d'ordre supérieur), il est possible de construire effectivement une représentation à base d'automates finis de l'ensemble des prédecesseurs d'un ensemble donné de configurations. Ce résultat peut être exploité pour définir un algorithme de model-checking pour un fragment de la logique temporelle CTL.

3.4.4 Programmes avec mémoire dynamique

ARMC pour les programmes avec listes chaînées : Dans [53], nous proposons une méthode automatique basée sur les automates pour l'analyse des programmes séquentiels itératifs (sans appels de procédures) manipulant des listes chaînées dynamiques. Notre méthode consiste à traduire et à résoudre le problème de la vérification de tels programmes dans le cadre du regular model checking abstrait. Nous définissons un codage systématique des configurations de ce genre de programmes par des mots sur un alphabet adéquat (défini en fonction du programme), et nous définissons une traduction automatique associant à chaque programme une relation entre

configurations représentée par un ensemble de transducteurs finis. Nous développons ensuite plusieurs techniques d'abstraction sur les automates (avec raffinement guidé par les contrexemples) permettant de vérifier de manière automatique des propriétés de sûreté sur les modèles obtenus. Nos expérimentations montrent l'applicabilité et l'efficacité de notre approche.

ARTMC pour programmes avec structures dynamiques : Dans [55] nous utilisons l'abstract regular model checking sur les arbres [54] pour analyser des programmes à mémoire dynamique travaillant sur des structures chaînées avec plusieurs sélecteurs de successeurs. Ces structures peuvent être des arbres simples, mais aussi des structures plus complexes comme les arbres binaires où toutes les feuilles ont un pointeur vers la racine, les listes doublement chaînées, les listes de listes, etc. La représentation de ces structures est basée sur l'utilisation d'un squelette arborescent augmenté d'arcs définis par des expressions de routage (ou de cheminement) dans ce squelette. Ce travail a été implanté et a permis d'analyser automatiquement une grande variété de programmes avec des structures complexes.

Une logique pour raisonner sur les structures chaînées : Dans [114, 33], nous proposons une logique permettant de décrire et de raisonner sur des structures chaînées dynamiques. Cette logique est un fragment de la logique de premier ordre sur les graphes avec des prédicats d'accessibilité. Le fragment permet de raisonner sur l'accessibilité de motifs (sous-graphes connexes). Nous étudions la décidabilité du problème de la satisfaisabilité de la logique et nous montrons son utilité dans la vérification de programmes manipulant des structures dynamiques tels que les listes doublement chaînées ou les arbres.

Des programmes à pointeurs vers les automates à compteurs : Dans [47] nous étudions une approche de vérification de programmes avec listes basée sur une traduction d'un programme vers un automate à compteurs équivalent. Ensuite, les propriétés peuvent être vérifiées directement sur l'automate à compteurs. Cela permet de réutiliser toutes les méthodes existantes d'analyse et vérification d'automates à compteurs, pour établir aussi bien des propriétés de sûreté que pour prouver la terminaison de ces programmes.

Dans [95] nous définissons une classe d'automates d'arbres augmentés de compteurs (avec des opérations particulières) permettant de raisonner sur des programmes avec différents types d'arbres équilibrés (AVL, rouge et noir, etc.) et de définir une méthode de vérification basée sur des triples de Hoare.

Programmes concurrents avec structures de données dynamiques : L'analyse d'accessibilité avec un changement de contexte borné (ou bounded context switch), est une approche efficace pour la détection d'erreurs dans les programmes multi-thread. En effet, il s'avère que dans beaucoup de cas, les erreurs apparaissent après un nombre assez faible de changement de contexte. Noter qu'il s'agit ici de borner le nombre de changement de contexte d'une thread à une autre, sans borner le nombre d'étapes de calcul de chacune des threads.

Dans [51], nous étudions l'application de cette approche à l'analyse de programmes multi-thread avec appels de procédures (potentiellement récursives), et manipulation de structures de données dynamiques (création dynamique d'objets et manipulation de pointeurs).

Nous définissons une sémantique des programmes basées sur les automates à pile concurrents, ayant comme symboles de pile ce que nous appelons des *tas mémoire visibles* (ou visible heaps). Un tas mémoire visible est la partie du tas mémoire du programme qui est accessible (à un moment donné) à partir des variables globales et des variables locales (de la procédure qui s'exécute à ce moment là).

Nous utilisons des techniques d'analyse d'automates à pile pour définir un algorithme qui explore tout l'espace des configurations du programme qui sont accessibles en fixant une borne sur le nombre des changements de contexte, et une borne sur la taille des tas mémoire visibles. Noter que, comme nous permettons des procédures récursives, d'une part la taille de la pile des appels est non bornée (car, comme il est mentionné plus haut, le nombre des étapes de calcul des threads n'est pas borné entre les changements de contexte), et d'autre part la taille du programme analysé peut ne pas être borné, même en fixant une borne sur la taille des tas visibles.

3.4.5 Vérification de systèmes temporisés et hybrides

Eugene Asarin, en collaboration avec Thao Dang, Sergio Yovine et Antoine Girard (Grenoble) et Gerardo Schneider (Oslo), a travaillé sur les techniques de vérification des systèmes hybrides (discret/continu). De tels systèmes trouvent de nombreuses applications dans l'automatique, systèmes embarqués etc., mais leur analyse reste souvent difficile. Il s'agit d'une combinaison astucieuse des méthodes énumératives, symboliques et numériques. Les méthodes d'abstraction et d'accélération ont été développées et appliquées pour rendre la vérification plus efficace. Une approche à la vérification (calcul des états atteignables) des systèmes continus non-linéaires par hybridation a été proposée. Les résultats sur les techniques de vérification des systèmes hybrides par abstraction ont été présentés dans [42]. La méthode d'hybridation a été publiée dans [5]. L'algorithme de décision pour une large classe de systèmes hybrides planaires est le sujet principal de [6].

Eugene Asarin a proposé un vaste programme de recherches théoriques sur les automates temporisés publié dans le bulletin de l'EATCS. Dans le cadre de ce programme, il étudie avec Piotr Kordy les modèles distribués des systèmes temporisés avec les horloges imprécises.

Eugene Asarin a aussi travaillé en collaboration avec Scott Cotton, Oded Maler (Grenoble) et Peter Niebert (Marseille) sur la vérification des systèmes temporisés par *bounded model-checking* et sur les procédures de décision de la logique sous-jacente [69].

Finalement, Ahmed Bouajjani a contribué au développement d'algorithmes efficaces de *model-checking* symbolique à la volée pour des propriétés temporisées linéaires exprimables par des automates de Büchi temporisés [32].

3.4.6 Systèmes perturbés :

Eugene Asarin a travaillé sur l'effet de perturbations sur le fonctionnement des modèles de calcul. Avec Pieter Collins (Amsterdam) il a défini et analysé le modèle de machines de Turing perturbés par un petit bruit stochastique. Avec Piotr Kordy (Twente) il étudie les modèles distribués des systèmes temporisés avec les horloges imprécises. Le modèle et la caractérisation complète de la puissance de calcul des machines de Turing perturbés ont été présentés à l'ICALP [41]. Le modèle et l'algorithme d'analyse des systèmes temporisés partiellement synchrones sont en cours de rédaction.

3.4.7 Vérification de systèmes probabilistes

Eugene Asarin, Thierry Cachat et Tayssir Touili explorent actuellement l'applicabilité des techniques de *regular model-checking* à la vérification des systèmes probabilistes. Les applications sont multiples : de la vérification des protocoles de télécommunications à l'analyse de la structure secondaire de l'ARN. En effet, Eugene Asarin, Thierry Cachat et Tayssir Touili travaillent, avec Alexander Seliverstov et Vassily Lyubetsky (IITP, Moscou) sur plusieurs problèmes de

modélisation bio-informatique. En particulier sur l'évolution d'une séquence d'ARN tout au long de la transcription et de la traduction (qui ont lieu simultanément, dans les cellules sans noyau). Les premiers résultats de ce travail ont été présentés dans [40].

3.4.8 Diagrammes de séquences communicantes et traces de Mazurkiewicz

Les Diagrammes de séquences communicantes (Message Sequence Charts) sont un formalisme visuel pour l'étude des protocoles de communication. De nombreux problèmes se posent pour ce formalisme, à savoir ce qu'il permet d'exprimer (expressivité), savoir quand et comment transformer un tel formalisme en un programme (implantation), et savoir tester si un modèle de ce formalisme respecte certaines propriétés (vérification, model-checking). De nombreux résultats découlent des relations avec les traces de Mazurkiewicz, qui sont un formalisme simple qui permet de décrire les interactions de plusieurs processus par le biais d'actions communes. Les problèmes considérés sont la vérification, l'expressivité, ainsi que la création d'un système distribué à partir d'une spécification séquentielle (synthèse distribuée).

Deux articles de synthèse ont été écrits par Anca Muscholl et ses co-auteurs sur le sujet des diagrammes de séquences communicantes. Ces articles ont fait l'objet de présentations invitées aux conférences *Fifth International Conference on Application of Concurrency to System Design* et *Advanced Course on Concurrency and Petri Nets* [90, 87].

Concernant la vérification, la complexité exacte de la vérification d'un système de diagrammes de séquences vis-à-vis d'un autre système a été considérée dans l'article [20]. Une logique temporelle adaptée a aussi été étudiée dans [86]. Enfin, l'étude d'abstraction à partir de projections est parue dans l'article [84].

Par ailleurs, M. Zeitoun, avec L. Hérouet et A. Degorre, ont montré qu'il était possible de détecter si un système communicant modélisé par des MSC possède des canaux cachés [97].

En ce qui concerne le problème de synthèse, une classe de systèmes qui permet toujours l'implémentation a été proposée dans l'article [83]. Concernant les aspects d'expressivité, les résultats obtenus dans [89, 19] montrent que le théorème classique en théorie des automates de Büchi-Kleene se généralise aux langages de diagrammes existentiellement bornés, notamment par l'équivalence entre MSC-graphes coopératifs, automates communicants et logique monadique du second ordre.

Le problème de la distribution d'un système séquentiel, résolu par W. Zielonka en 1987, est un des résultats majeurs de la théorie des traces de Mazurkiewicz. La construction originale a été améliorée dans l'article [88], qui présente une construction d'automates distribués de taille simplement exponentielle.

3.4.9 Génération de contre-exemples minimaux

Dans le cadre de model-checking, les contre-exemples (attestant qu'une propriété n'est pas satisfaite) jouent un rôle important. Leur analyse permet en effet de comprendre la cause de comportements defectueux, et dans le cadre de l'abstraction guidée par les contre-exemples, leur analyse permet de raffiner automatiquement les modèles abstraits. Il est donc important de pouvoir générer des contre-exemples de tailles minimales.

Dans [80], Paul Gastin, Pierre Moro et Marc Zeitoun proposent des algorithmes efficaces de minimisation de contre-exemples qui améliorent l'état-de-l'art sur le sujet. Dans [79], Paul Gastin et Pierre Moro améliorent leur travail précédent et proposent un algorithme de minimisation de contre-exemples dont la complexité est inférieure à celle des algorithmes existants.

Cet algorithme permet en outre, d'effectuer le Bounded Model Checking dans le cadre du Model Checking explicite.

3.4.10 Jeux et contrôle

Jeux sur des systèmes infinis bien structurés : Il est bien connu que le problème de l'accessibilité (et donc la vérification des propriétés de sûreté) est décidable pour les systèmes bien-structurés (ou monotones) par rapport à un beau préordre (well quasi ordering). Dans [2], nous étudions la résolution de problèmes de jeux pour les systèmes bien-structurés. La résolution de tels problèmes a de multiples applications, notamment en vérification de systèmes ouverts. Nous montrons que les problèmes de jeux, y compris les jeux d'accessibilité (ou de sûreté), sont en général indécidables pour les systèmes bien-structurés (ils le sont par exemple pour les réseaux de Petri). Cependant, nous montrons que les jeux d'accessibilité sont décidables pour les systèmes *fermés vers le bas* (downward closed) par rapport à un beau préordre. Un exemple de tels systèmes sont les automates communicants par canaux FIFO avec pertes. Nous prouvons que les jeux de parité restent indécidables pour cette classe de systèmes.

Par ailleurs, Mathias Samuelides a identifié avec Jean-François Raskin et Laurent Van Begin (ULB) une sous-classe intéressante de structures de jeux monotones pour lesquels les problèmes de couverture et de blocage sont décidables.

Algorithmique des jeux : Florian Horn consacre sa thèse à l'étude des jeux infinis, et tout particulièrement de leur version stochastique. Ces jeux sont utilisés en vérification pour modéliser la capacité d'un contrôleur à garantir ou maintenir une propriété, en présence d'opposants (environnement) non-déterministes et/ou aléatoires. Les travaux de Florian Horn sur les jeux de Streett à deux joueurs ont été exposés dans le workshop GDV'05 consacré aux jeux. L'extension de ces résultats aux arènes et aux stratégies stochastiques a récemment été acceptée en [26]. Un article présentant des algorithmes plus rapides pour les jeux finitaires a été publié dans [98]. Une version journal, en collaboration avec Krishnendu Chatterjee (University of California, Berkeley) et Thomas Henzinger (EPFL, Lausanne) a été soumise à ToCL.

Jeux et contrôle distribués : Pour modéliser les problèmes de contrôle dans lequel on cherche à superviser un système distribué dans un environnement global, P. Gastin, B. Lerman et M. Zeitoun ont dégagé une notion abstraite de jeux distribués, dans lesquels deux équipes de joueurs s'affrontent. Chaque joueur n'a qu'une vision locale et donc partielle de la partie en cours. Des conditions globales sur la partie déterminent l'équipe gagnante. L'objectif est de trouver une stratégie *distribuée* gagnante pour l'une des équipes. Trouver une stratégie distribuée gagnante pour le jeu revient à synthétiser un contrôleur distribué. Dans [77], les auteurs ont montré que ces jeux modélisent bien des systèmes concurrents, et ont relié cette notion de jeu distribué avec celle bien classique de jeu à deux joueurs sur un graphe fini. Ils ont montré ensuite que sous des hypothèses raisonnables, ces jeux sont décidables [78], ce qui contraste avec la situation généralement observée. Lors de l'encadrement du stage de M2 de N. Sznajder, P. Gastin et M. Zeitoun ont appliqué ces mêmes idées pour la synthèse de spécification pour systèmes synchrones [82], et dégagé une classe de tels systèmes pour lesquels cette synthèse est décidable.

Jeux temporisés et leurs applications : Thierry Cachat travaille (depuis septembre 2003) sur des problèmes de contrôle de systèmes temporisés (par exemple, des automates temporisés). Le cadre temporisés ajoute une dimension supplémentaire aux problèmes de jeu et de contrôle :

les deux joueurs peuvent agir simultanément, et leurs actions interviennent à des dates qui ne sont pas connues à l'avance. Cela donne lieu à des jeux à information partielle. On est également confronté au comportement de type Zénon des joueurs. Ces travaux ont été exposés lors d'une conférence nationale sur les systèmes réactifs [116], et lors d'une conférence sur la vérification automatique [63].

Par ailleurs, motivé par le problème de l'étude des comportements de systèmes temporisés, Thierry Cachat a travaillé sur la décidabilité de la logique du premier ordre et du second ordre monadique de la théorie monadique des ordinaux. La complexité exacte de ces procédures de décision n'était pas encore connue. Ces travaux ont été présentés en [64].

Eugene Asarin et Mihaela Sighireanu, en collaboration avec Yasmina Abdeddaïm (ESIEE) et Oded Maler (Grenoble) travaillent sur les applications des automates et des jeux temporisés à l'ordonnancement et à la planification, en particulier dans le cadre du projet ANR AMAES sur les systèmes autonomes embarqués.

La planification par automates et jeux temporisés dans le contexte classique de l'ordonnement jobshop est présenté dans l'article [1].

Dans le cadre du projet AMAES, ont été considérés les problèmes de planification qui nécessitent du non-déterminisme discret ou temporel de l'environnement, par exemple, la planification des robots d'exploration autonomes. Les liens entre l'approche utilisée dans IxTeT (un système de planification développé au LAAS) et les techniques basées sur les automates temporisés et les TGA (timed games automata) ont été étudiés. Une procédure de traduction d'une classe des modèles IxTeT vers des TGA a été définie. Ce travail a permis d'une part, d'identifier les différences d'expressivité entre les deux formalismes et, d'autre part, d'avoir une base pour la comparaison qualitative et quantitative des solutions produites avec le planificateur d'IxTeT et avec l'outil Uppaal d'analyse d'accessibilité dans les TGA. Les résultats de ce travail ont été présentés dans [34].

3.4.11 La logique temporelle et Datalog

Nous avons travaillé sur une traduction des logiques temporelles (de type CTL et μ -calcul) vers Datalog, qui est un langage de requêtes simple avec une sémantique claire. Pour ce faire, nous avons dû définir un langage inf-Datalog, qui généralise Datalog en permettant à certains prédicats d'être évalués comme plus grands points fixes au lieu de plus petits points fixes : les plus grands points fixes sont en effet indispensables pour pouvoir exprimer des propriétés d'équité (par exemple, le fait qu'un prédicat soit vérifié infiniment souvent). Irène Guessarian a caractérisé les fragments de inf-Datalog qui ont le même pouvoir d'expression que la logique modale (resp. *CTL*, le μ -calcul sans alternation et le μ -calcul modal). Cette traduction des logiques temporelles vers inf-Datalog est intéressante car

- elle est directe et le programme inf-Datalog qui exprime une formule de logique temporelle a une taille linéaire en la taille de la formule d'origine.
- les programmes Datalog sont faciles à lire (et plus faciles à décoder que les formules du μ -calcul par exemple).

Irène Guessarian a aussi étudié la complexité de l'évaluation des programmes inf-Datalog.

Ces travaux ont été faits en collaboration avec F. Afrati, E. Foustoucos et T. Andronikos. Ils ont été présentés dans des conférences [94, 91] et ont fait l'objet de deux publications [24, 23].

3.5 Résultats obtenus : Objets structurés

Les résultats décrits ci-dessous sont dûs aux participants suivants : Claire David, Irène Guessarian, Anca Muscholl, Mathias Samuelides.

3.5.1 Automates d'arbres à jetons

Durant ses quatre années de thèse, Mathias Samuelides a effectué des recherches sur les *automates d'arbres à jetons*. Les travaux concernant ces automates séquentiels sur des arbres de degré borné sont motivés par la manipulation de documents XML, en particulier la vérification de type pour ces documents et l'étude du corps navigationnel de langages de requêtes tels que XPATH et XSLT. Les automates d'arbres à jetons ont été introduits par J. Engelfriet et H.J. Hoogeboom afin d'avoir un modèle d'automate d'arbres dont le pouvoir d'expression se situe entre celui des automates d'arbres classiques et celui des automates cheminant qui ont été introduits par A.V. Aho et J.D. Ullman . Il existe deux modèles d'automates à jetons qui diffèrent selon la manière de lever un jeton. Dans le modèle faible, le jeton est vu comme un objet physique et ne peut être levé que si l'automate est sur ce jeton. Dans le modèle fort le jeton est vu comme un pointeur et peut être levé par l'automate à partir de n'importe quel nœud. Dans les deux modèles, une restriction sur le placement des jetons est imposée afin de ne pas dépasser le cadre des langages réguliers : on suppose que ce placement obéit à une discipline de pile.

Mathias Samuelides a obtenu et publié plusieurs résultats sur les automates d'arbres à jetons :

- La construction du complément d'un automate d'arbres à jetons (en collaboration avec Anca Muscholl et Luc Segoufin) [29].
- L'équivalence du modèle fort et du modèle faible d'automates à jetons (en collaboration avec Mikolaj Bojanczyk, Thomas Schwentick et Luc Segoufin) [46]
- L'évolution du pouvoir d'expression des automates d'arbres à jetons en fonction du nombre de jetons (en collaboration avec Mikolaj Bojanczyk, Thomas Schwentick et Luc Segoufin) [46]
- La complexité du vide et de l'inclusion pour les variantes déterministes et non-déterministes des modèles forts et faibles d'automates à jetons sur les mots et sur les arbres (en collaboration avec Luc Segoufin) [106].

3.5.2 Logiques pour des objets structurés avec données

Dans l'article [45] on montre la décidabilité de la logique du premier ordre à deux variables, qui utilise l'ordre et le successeur, sur des modèles correspondant aux mots finis (et infinis), étiquetés par des données non-bornées. Le problème s'avère être décidable, car équivalent au problème d'accessibilité dans les réseaux de Petri. Dans [44] on considère la même logique, cette fois-ci interprétée sur des arbres de rang non-borné. On montre la décidabilité dans le cas où elle peut utiliser seulement le successeur (horizontal et vertical). Ce résultat permet de déduire la décidabilité de questions variées de consistance de documents XML. L'article [44] a reçu le prix du meilleur papier (Best paper award) de la conférence PODS'06.

D'autres travaux sur des logiques sur des multiensembles ou sur des mots avec données ont été effectués dans le cadre de la vérification de systèmes concurrents dynamiques avec données [57, 52].

3.5.3 Recherche de motifs

Les problèmes de recherche de motifs, que ces motifs soient des facteurs, des sous-mots ou, des sous-arbres, sont extrêmement importants dans les recherches d'informations dans des documents (textes, ou bien documents (semi-)structurés), ou même pour étudier la structure du génome.

Nous avons décrit des algorithmes de recherche de sous-mots dans un texte qui sont « à la volée » et linéaires dans la taille du texte. Elle a ensuite généralisé ces algorithmes à

- la recherche simultanée de plusieurs sous-mots dans un texte,
- la recherche de sous-mots dans un texte compressé sans décompresser le texte,
- la recherche de sous-arbres dans un arbre.

Ces travaux sont le résultat d'une collaboration entre I. Guessarian, P. Cegielski, Y. Lifshits et Y. Matiyasevich. Ils ont été présentés dans des conférences [93, 92] et ont fait l'objet d'une publication en revue [22].

3.6 Résultats obtenus : Tolérance aux pannes

Les résultats décrits ci-dessous sont dûs aux participants suivants : Mohessen Abboud, Carole Delporte, Hugues Fauconnier, Andreas Thielmann.

3.6.1 Détecteurs de défaillances

Plus faible détecteur de défaillances : Avec R. Guerraoui, nous avons apporté une réponse à la question du plus faible détecteur de défaillances dans le cas du consensus uniforme et des registres [128] puis nous avons étendu notre résultat à d'autres problèmes [128, 73]. Le plus faible détecteur de défaillances pour les registres, noté Σ , est d'ores et déjà utilisé dans d'autres travaux.

Avec P. Kouznetsov, nous avons aussi trouvé le plus faible détecteur de défaillances pour résoudre le problème de l'exclusion mutuelle en présence de pannes [16].

Si on utilise des objets partagés, on peut caractériser la puissance d'un objet par le nombre de processus qui peuvent réaliser un consensus grâce à cet objet. Ainsi il a été montré qu'une pile est un objet de consensus 2. A l'aide d'une pile, deux processus peuvent faire un consensus mais pas trois. Un registre est un objet de consensus 1. Herlihy a montré que pour tout k , il existe un objet de consensus k et que la hiérarchie est stricte. Dans [71], on met en évidence le plus faible détecteur de défaillances pour tout objet de consensus supérieur à 2, montrant ainsi que la hiérarchie, lorsque les objets sont implantés dans un système distribué à communication par messages et équipé de détecteurs de défaillances est plate.

Élection de leader et implantation de détecteurs de défaillances : Les articles [35] concernent l'implantation des détecteurs de défaillances Ω (élection ultime de leader) et $\diamond P$ (élection ultime du groupe des processus corrects). Avec Ω , ultimement, tous les processus feront confiance à un même processus correct (le leader). Ce détecteur de défaillances qui est équivalent à $\diamond S$ est utilisé dans de nombreux algorithmes. Ces implantations sont optimales en nombre d'émetteurs et de canaux de communication utilisés. Dans [35], on minimise les hypothèses de synchronisme et de fiabilité sur le système partiellement synchrone pour réaliser Ω , tout en conservant des implantations optimales en nombre d'émetteurs et de canaux de communication utilisés. Une réalisation des algorithmes proposés a été développée à l'université de Toronto.

Ces travaux ont initié une importante recherche dans le domaine (plus d'une dizaines d'articles ont été depuis consacrés à ces problèmes).

Efficacité et pertinence de l'approche : L'article [18] présente un algorithme de décision dans un modèle asynchrone équipé d'un détecteur de défaillances parfait. La valeur de décision est un vecteur contenant les valeurs proposées par les processus. Cet algorithme s'arrête au

plus tôt i.e. en fonction des pannes effectives et non en fonction des pannes potentielles. On montre ici que pour une classe importante d'algorithmes, leurs développements dans un système asynchrone enrichi du détecteur parfait \mathcal{P} se font sans perte d'efficacité. Les bornes connues sur le nombre de rondes en fonction des pannes effectives et des pannes potentielles sont les mêmes pour le système synchrone et le système asynchrone enrichi de \mathcal{P} .

Les résultats de [75] permettent, dans un système synchrone, de terminer plus vite quand certaines pannes sont « propres ». C'est à dire que le processus qui tombe en panne, ne tombe pas en panne au moment où il envoie les messages aux autres processus. Dans cet article, on établit aussi des bornes sur le nombre minimal de rondes nécessaire pour réaliser le consensus dans ces conditions.

Extension à d'autres types de pannes : L'article [70] étend les détecteurs de défaillances à un type particulier de pannes par omissions. Ces pannes modélisent le modèle de défaillances lorsque les processeurs, en présence de pannes arbitraires, sont équipés de modules fiables de sécurité.

En [36], on présente un algorithme de consensus en présence de pannes byzantines dans un modèle partiellement synchrone plus faible que celui utilisé par Dwork, Lynch et Stockmeyer.

3.6.2 Modèles

Avec Rachid Guerraoui et Bastian Pochon, nous avons étudié la transformation automatiquement d'algorithmes tolérants des pannes bénignes en algorithmes tolérants des pannes plus sévères. Dans [17], nous avons montré que ceci peut être réalisé par adjonction d'un nombre constant de rondes d'échanges de messages (contrairement aux travaux précédents qui multipliaient le nombre de rondes d'échanges).

Avec Felix Freiling, Lucia Braque Penso et Andreas Thielmann nous avons étudié une transformation d'algorithme d'un système asynchrone enrichi d'un détecteur de défaillances soumis à des pannes par arrêt à un système asynchrone enrichi d'un détecteur de défaillances soumis à des pannes par omission. Dans [127], on propose une transformation et on montre qu'elle est non triviale. De plus à partir du détecteur de défaillances pour les pannes par arrêt, on exhibe le détecteur de défaillances nécessaire pour l'algorithme transformé. Une propriété très intéressante de cette transformation est qu'elle préserve la propriété de plus faible détecteur de défaillances.

3.6.3 Réseaux de capteurs

Avec Rachid Guerraoui et Eric Ruppert nous avons montré [72, 74] comment on pouvait rendre tolérant aux pannes des applications développées dans des réseaux de capteurs à capacité limitée et sans identité.

Avec Mohssen Abboud nous étudions comment définir et utiliser une détection de pannes raisonnable pour un réseau de capteurs. Dans [115], nous montrons comment des détecteurs de collisions peuvent être utilisés pour résoudre des algorithmes de calcul du maximum dans un réseau de capteurs.

3.7 Projets de recherche

3.7.1 Vérification et contrôle

Vérification de systèmes logiciels : La vérification de systèmes logiciels nécessite le développement de nouvelles techniques de vérification automatique et d'outils permettant d'analyser

des programmes à partir de leur code source. Dans nos travaux récents, nous avons étudié des modèles et développé des techniques de vérification pour différentes classes de programmes. La recherche sur la vérification des systèmes logiciels n'en est cependant qu'à ses débuts et il reste de nombreux progrès à accomplir. Ces progrès doivent être aussi bien qualitatifs, portant sur la nature des programmes qui peuvent être considérés, que quantitatifs, portant sur la taille des programmes qui peuvent être traités.

Notre équipe va poursuivre son effort dans ce domaine en s'attaquant plus particulièrement aux problèmes suivants : la vérification de programmes multithread avec manipulation de pointeurs/données (paramètres, variables globales/locales) dans des domaines pouvant être infinis (entiers ou réels par exemple), programmes avec structures de données dynamiques complexes, analyse de propriétés quantitatives en considérant des modèles combinant des aspects temps-réel/données (compteurs par exemple) et des aspects stochastiques, méthodes algorithmiques pour la résolution de jeux sur des graphes infinis et leur application à l'analyse de systèmes ouverts et à la vérification modulaire, amélioration de l'algorithmique des automates et son utilisation dans la représentation et la manipulation d'ensembles (potentiellement infinis) de configurations, automates et logiques pour raisonner sur des structures complexes sur des alphabets infinis (configurations de systèmes avec contrôle et données non bornés), techniques de regular model checking probabiliste (systèmes de réécriture probabilistes) et leur applications.

Le travail de l'équipe sera guidé par des applications pratiques dans les domaines des systèmes embarqués, les systèmes autonomes, les noyaux de systèmes d'exploitation, les protocoles de communication, les services web.

Un autre domaine d'application que notre équipe compte investiguer est celui des systèmes biologiques. Nous comptons étudier dans ce contexte l'utilisation de modèles basés sur les automates hybrides (permettant de modéliser conjointement des aspects discrets et des aspects continus), les automates et les systèmes de réécriture probabilistes, et l'utilisation de techniques algorithmiques pour analyser automatiquement et raisonner sur ces modèles. Notre équipe a effectué récemment un premier travail prometteur dans cette direction, en collaboration avec une équipe russe.

3.7.2 Algorithmique distribuée et tolérance aux pannes

L'algorithmique distribuée tolérante aux pannes a accumulé de nombreux résultats, cependant la plupart des algorithmes distribués actuels ne concernent que des réseaux statiques où le nombre de processus est connu et en général petit. Il est clair qu'il s'agit là d'une restriction très importante qui limite la portée de ces algorithmes. On peut dire qu'un des « challenges » actuels de l'algorithmique distribuée actuelle réside dans l'extension des résultats actuels à des réseaux dynamiques où le nombre de processus peut varier dynamiquement et/ou le nombre de processus est très grands. Définir une algorithmique distribuée tolérante aux pannes pour des réseaux dynamiques et à grande échelle est au coeur de nos perspectives même si des problèmes plus classiques sont aussi à prendre en compte.

Dans ce cadre un problème important qui peut servir de fil directeur est celui du stockage de données comme le réalise un registre distribué. Actuellement, en présence de défaillances, les systèmes à grande échelle comme les réseaux pair à pair permettent de stocker des données plus sur une base de « best effort » que sur une base garantissant les propriétés d'un registre distribué.

Systèmes où le nombre de processus est inconnu Un premier pas vers un traitement des réseaux dynamiques consiste à considérer ce qui se passe si le nombre de processus n'est pas

connu. Par exemple, de nombreux algorithmes supposent qu'au moins une majorité de processus sont sans défaillances et que l'on connaît une borne inférieure sur le nombre de ces processus. Il est clair que cette hypothèse n'est réaliste ni pour des réseaux à grande échelle (comment évaluer une telle borne?) ni pour des réseaux dynamiques (qu'est ce qu'un processus sans défaillances dans ce cas?). Or il se trouve que sans ces hypothèses les propriétés de sûreté, les algorithmes ne sont généralement plus garantis (intuitivement il devient impossible faire la distinction entre un groupe de processus corrects et incorrects). En particulier, sans ce type d'hypothèse il devient impossible de réaliser des mécanismes pour stocker des données comme les registres. Il est par contre intéressant de noter que les mêmes mécanismes que ceux où le nombre de processus est connu permettent en général d'assurer la vivacité.

Une approche possible pour traiter ce problème peut être de suivre une démarche similaire à celle des détecteurs de défaillances, où, tout en restant dans un système asynchrone, on ajoute un mécanisme abstrait qui encapsule l'information nécessaire sur les défaillances. Les travaux que nous avons réalisés sur le détecteur de défaillance Sigma qui permet justement d'éviter de faire des hypothèses sur le nombre de processus corrects est un bon point de départ. On devrait pouvoir déterminer des formes de conditions minimales permettant de garantir les propriétés de sûreté des algorithmes quand le nombre de processus est inconnu.

Considérer des réseaux pour lesquels le nombre de processus est inconnu n'est bien sûr qu'une étape préliminaire vers le traitement des réseaux dynamiques et à grande échelle.

Systèmes partiellement synchrones et grande échelle Si une approche utilisant des oracles permet d'obtenir des résultats dans le cadre de systèmes où le nombre de processus est inconnu, comme dans le cas des modèles plus classiques, ces oracles n'ont d'intérêt que si on peut définir des systèmes partiellement synchrones dans lesquels ils peuvent être réalisés. De ce point de vue de nombreux modèles partiellement synchrones dans lesquels une élection de leader ultime (ce qui permet de résoudre de nombreux problèmes de vivacité) ont été proposés, mais à notre connaissance la plupart des systèmes dans lesquels on peut réaliser des registres sont synchrones ou bien supposent que le nombre de processus est connu.

Il est donc nécessaire de définir de nouveaux modèles réalistes dans lesquels le nombre de processus n'est pas connu et peut être très grand mais qui permettent, par exemple, de réaliser des registres distribués.

Il est aussi nécessaire d'étudier comment, dans des systèmes partiellement synchrones, des algorithmes classiques comme l'élection ultime de leader peuvent s'adapter de manière efficace à la grande échelle et à la dynamicité.

Réseaux de capteurs, tolérance aux pannes, anonymat et confidentialité Un capteur, étant un mécanisme limité, ne dispose en général que d'une mémoire finie, ce qui est un argument pour s'intéresser à des réseaux de capteurs anonymes. Une autre raison pour cela est aussi de pouvoir assurer la confidentialité des calculs.

Dans le cadre des réseaux de capteurs, le modèle des « population protocols » est particulièrement intéressant. Dans ce modèle les capteurs sont des automates finis anonymes qui changent d'état quand ils se rencontrent deux à deux. Ce modèle a permis d'obtenir des résultats théoriques importants permettant de caractériser sa puissance de calcul (l'arithmétique de Presburger). Une des caractéristiques de ces réseaux est le fait que les capteurs sont anonymes. On peut utiliser cet anonymat pour garantir la confidentialité du calcul. Un problème intéressant est celui de savoir s'il est toujours possible d'assurer que les capteurs n'apprennent que le résultat du calcul sans rien apprendre des valeurs initiales. Une réponse partielle a été donnée dans un article à paraître.

Un autre problème dans le cadre de ce type de réseau de capteur concerne la tolérance aux défaillances : il est assez raisonnable de considérer que dans un réseau comprenant un grand nombre de capteurs, certains d'entre eux peuvent tomber en pannes. De quelles manières perturbent-ils le calcul ? Est-il possible d'assurer malgré tout certaines propriétés ?

On peut enfin se demander ce qui se passe si certains capteurs cherchent délibérément à empêcher le calcul d'aller à son terme. Dans quelle mesure une toute petite minorité de capteurs peut perturber les calculs est une question intéressante.

Implantation d'objets partagés et détecteurs de défaillances Il existe deux grandes classes de modèles pour les systèmes distribués : les modèles dans lesquels la communication se fait pas envoi et réception de messages et les systèmes où l'interaction se fait par le partage d'objets atomiques. Un registre atomique ou un test-and-set sont des exemples d'objets partagés.

La programmation dans les modèles à partage d'objets est généralement plus simple mais par contre l'implantation de ces objets dans des systèmes distribués est plus difficile et souvent peu efficace dans le cadre de réseaux à large échelle. Un autre avantage des modèles à objets partagés est qu'ils permettent d'obtenir des résultats théoriques généraux comme par exemple l'universalité du consensus. De même, dans une certaine mesure, les problèmes de tolérances aux pannes sont remplacés par des problèmes de scheduling (un processus en panne est simplement un processus qui n'est pas « schedulé »).

Nous avons déjà prouvé plusieurs résultats concernant l'implantation des objets partagés dans les modèles à communication par échange de messages. Certains de ses résultats peuvent s'étendre assez naturellement. Pour l'essentiel ils prouvent qu'en ce qui concerne la tolérance aux pannes, implanter un objet partagé est différent de supposer son existence : en d'autres termes en ce qui concerne les défaillances en implantant un objet atomique on obtient des propriétés plus forte que celles provenant de la spécification de l'objet.

Auto-stabilisation et convergence Si l'on considère les « population protocols » les calculs ne terminent jamais mais doivent se stabiliser (ultimement tous les calculs des capteurs doivent converger vers une valeur). De même dans une élection de leader ultime dans un système partiellement synchrone on affirme uniquement qu'une fois que le système a convergé (c'est-à-dire les communications sont devenues synchrones) alors, au bout d'un certain temps inconnu, un leader unique sera désigné. Dans une certaine mesure ces spécifications sont assez proches de la notion de convergence dans les systèmes auto-stabilisants et il est intéressant d'étudier les rapports entre ces notions. En particulier, il est intéressant de transformer de tels algorithmes en algorithmes auto-stabilisant comme nous venons de le faire avec S. Devismes dans une publication à paraître.

3.8 Coopérations scientifiques

3.8.1 Projets nationaux

ACI

- PERCÉE *Techniques symboliques pour la vérification automatique des systèmes critiques hétérogènes*. ACI Sécurité Informatique. Octobre 2003-Septembre 2006. Partenaires : LSV et LABRI.
- DYNAMO *Analyse de logiciels embarqués : Mémoire et contrôle dynamique*. ACI Sécurité Informatique. Oct 2003-Sept 2006. Partenaire : VERIMAG.
- VERSYDIS *Vérification des systèmes distribués*, ACI Sécurité Informatique. Oct 2003-Sept 2006. Partenaires : LaBRI, LSV. Responsable (ccordinateur) : Paul Gastin.

- TraLaLa *XML Transformation Languages : logic and applications*. ACI Masses de données. 2004-2006. Partenaires : INRIA futurs, LIENS, LIF, LRI. Responsable LIAFA : Anca Muscholl.
- FRAGILE est une ACI Sécurité. Débutée en septembre 2004, elle s'achève en septembre 2007. Elle permet une collaboration active le LIAFA, le LIP6, le LRI et l'EPFL. Le LIAFA reçoit un financement de 15 k€ par an au titre de cette ACI. Le responsable est Sébastien Tixeuil. Le responsable au LIAFA est Hugues Fauconnier.

ANR

- AVERISS *Automated Verification of Software Systems*, projet ANR-SETIN, Janvier 2007-Décembre 2009. Coordination par Ahmed Bouajjani. Partenaires : LABRI (Bordeaux) et LSV (ENS Cachan).
- AMAES, *Advanced Methods for Autonomous and Embedded Systems*, projet de l'ANR SSIA, Janvier 2006-Décembre 2008. Partenaires : LAAS (Toulouse), VERIMAG.

Actions Spécifiques (AS) Carole Delporte et Hugues Fauconnier sont initiateurs de l'Action Spécifique : *Algorithmes Distribués et Applications* (septembre 2003-septembre 2004). Le budget global était d'environ 10 k€.

RNTL

- AVERILES *Analyse de Systèmes Embarqués avec Structures de Mémoire Dynamique*, projet RNTL, Jan 2006-Déc 2008. Coordination par Peter Habermehl du LIAFA. Partenaires : EDF, CRIL Technology, LSV, VERIMAG (Grenoble).

3.8.2 Projets européens

- GAMES *Games and Automata for Synthesis and Validation*, Research and Training Network, 2002-2006. Responsable LIAFA : Anca Muscholl.
- Réseau d'excellence ARTIST2 *Embedded Systems Design* du 6^{ème} PCRD, cluster *Test and Vérification*, Octobre 2004 - Septembre 2007. Responsable LIAFA : Ahmed Bouajjani.

3.8.3 Projets bilatéraux

- PHC Germaine de Staël *Algorithmique distribuée : détecteurs de défaillances et masquage de fautes*. Collaboration avec le laboratoire Distributed Programming Laboratory (LPD) de l'EPFL dirigé par Rachid Guerraoui. Responsable Carole Delporte. Environ 2 k€ par an. (Janvier 2004-décembre 2005)
- PHC Germaine de Staël *Réseaux de capteurs*. Collaboration avec le laboratoire Distributed Programming Laboratory (LPD) de l'EPFL dirigé par Rachid Guerraoui. Responsable Hugues Fauconnier. Environ 2 k€ par an. (Janvier 2007-décembre 2008)
- PHC Procope *Sécurité et Algorithmique Distribuée*. Collaboration avec Felix Freiling, chef du département Dependable Distributed systems à Mannheim et son équipe. Responsable Hugues Fauconnier. Environ 2,8 k€. (Janvier 2006-décembre 2007)
- Projet de coopération franco-allemand PROCOPE *Symbolic Analysis of Complex Features of Software*. Responsables : Tayssir Touili (LIAFA) et Markus Müller-Olm (université de Münster).

- Projet PHC de coopération franco-tchèque BARRANDE *Vérification automatique de programmes avec structures de données dynamiques à pointeurs*. Responsables : Peter Habermehl (LIAFA) et Tomas Vojnar (Université de Brno).
- Projet de coopération franco-indien *Modèles distribués et temporisés pour le contrôle et la vérification*. Coordinateurs : Pascal Weil (LABRI) et Madhavan Mukund (CMI, Chennai, Inde). Laboratoires participants : LIAFA, LABRI et LSV en France, Chennai Mathematical Institute (CMI), Institute of Mathematical Sciences (IMSc, Chennai), et Indian Institute of Science (IISc, Bangalore) en Inde. Participants du LIAFA : Eugène Asarin, Wieslaw Zielonka et Antoine Meyer.
- Projet de coopération franco-russe *Évolution des signaux de régulation et mécanismes de régulation de l'expression des gènes dans les bactéries : modélisation et analyse par les méthodes de la vérification automatique*. Coopération CNRS–Académie des Sciences de Russie. Responsables : Eugène Asarin (LIAFA) et Vassily Lyubetsky (IITP, Moscou)
- Projet CMCU franco-tunisien *Techniques avancées pour la vérification du logiciel : Abstraction et Vérification Automatique*. 2006-2008. Responsables : Tayssir Touili (LIAFA) et Riadh Robbana (Tunis).
- Accord bilatéral de coopération entre l'université Paris 6 et le Steklov Institute de St Pétersbourg (2007-2012), responsable français : Irène Guessarian.

3.8.4 Autres collaborations

L'équipe Modélisation et Vérification a des liens de collaboration très étroits avec d'autres équipes aussi bien au niveau national que international. Les équipes avec lesquelles il existent des travaux communs avec notre équipe sont :

- France : Bordeaux (LaBRI), ENS Cachan (LSV), Grenoble (VERIMAG),
- Allemagne : Stuttgart et Munich (Javier Esparza), Münster (Markus Müller-Olm),
- Belgique : Bruxelles (Jean-François Raskin), Liège (Pierre Wolper),
- Pays-bas : CWI Amsterdam (Pieter Collins),
- Inde : CMI Chennai (Kamal Lodaya),
- Israël : Tel Aviv (Alexander Rabinovich, Shmuel Sagiv),
- Russie : IITP Moscou (Vassily Lyubetsky), Steklov Inst. Saint Petersburg (Yuri Matiyasevich),
- Suède : Uppsala (Parosh Aziz Abdulla, Bengt Jonsson),
- Rep Tchèque : Brno (Tomas Vojnar),
- USA : Université Carnegie-Mellon (Edmund Clarke), Wisconsin-Madison (Thomas Reps), laboratoire Microsoft research à Redmond (Shaz Qadeer).
- Suisse : EPFL (Rachid Guerraoui)

3.8.5 Coopérations industrielles

De fin 2001 à début 2004, Carole Delporte et Hugues Fauconnier ont participé à l'étude Architectures Génériques pour le Spatial (AGS). Cette étude, commandée par le CNES à l'INRIA était sous la responsabilité scientifique de Gérard Le Lann (INRIA). Les autres participants sont, outre Gérard Le Lann, les membres de l'action ADEPT de l'IRISA.

Cette étude a pour thème l'architecture générique pour l'informatique bord. Après la phase de spécification du problème, nous avons proposé des solutions sous la forme de spécifications de primitives de niveau middleware, modulaires et intégrant des solutions commerciales lorsque cela était pertinent. Nous espérons que cette étude sera prolongée et que le CNES prototypera notre travail.

Les résultats de cette étude [125] ont été présentés au CNES en mars 2004 et ont donné lieu à une publication [39].

3.8.6 Visiteurs reçus

- Parosh Aziz Abdulla de l'université d'Uppsala (Suède), 1 mois, 2005,
- Rohit Chadha de l'université d'Illinois à Urbana-Champaign, 1 semaine, 2007,
- Felix Freiling, alors a TRWH (Allemagne), 2 semaines, 2005,
- Rachid Guerraoui de l'EPFL (Suisse), 1 mois en 2003 et en 2005.
- Shaz Qadeer de Microsoft research à Redmond (USA), 1 semaine, 2004,
- Martin Leucker, TU Munich (Allemagne), 1 mois, 2007,
- Vassily Lyubetsky de l'IITP Moscou (Russie), 1 mois, 2006,
- Yuri Matiyasevich, Steklov Institute, St Petersburg, 1 mois 2005,
- Markus Müller-Olm de l'université de Münster (Allemagne), 1 mois, 2004,
- Alexander Rabinovich de l'université de Tel Aviv (Israël), 2 semaines en 2005, 1 mois en 2006,
- Thomas Reps et Susan Horwitz de l'université du Wisconsin-Madison (USA), année sabbatique depuis fin Août 2007.
- Noam Rinetzky de l'université de Tel Aviv (Israël), 2 semaines, 2007,
- Shmuel Sagiv de l'université de Tel Aviv (Israël), 1 mois, 2005,
- Sam Toueg de l'Université de Toronto (Canada), 1 mois, 2005,
- Tomas Vojnar de l'université technique de Brno (Rép. Tchèque), 1 mois, 2005, et plusieurs séjours de 1, 2, ou 3 semaines en 2003, 2004, 2006 et 2007,
- Greta Yorsh de l'université de Tel Aviv (Israël), 2 semaines, 2005.

3.9 Diffusion et évaluation de l'information scientifique

3.9.1 Edition

- Eugène Asarin est membre du comité d'édition du journal *Mathematical Structures in Computer Science*.
- Irène Guessarian est éditeur de *Fundamenta Informaticae*.
- Anca Muscholl (membre jusqu'à Août 2006) est éditeur du journal *DMTCS (Discrete mathematics and theoretical computer science)*.
- Paul Gastin (membre jusqu'à Août 2004) est éditeur du *Journal of Automata, Languages, and Combinatorics*.

3.9.2 Vulgarisation scientifique

Irène Guessarian est co-auteur de *Mathématiques pour l'Informatique*, Edisciences, ouvrage d'enseignement (2005).

3.9.3 Comités de programme

Eugène Asarin a été membre des comités de programmes des conférences suivantes :

- FORMATS (International Conference on Formal Modelling and Analysis of Timed Systems) en 2004, 2005, et 2006 (co-chair),
- HSCC (Hybrid Systems : Computation and Control) en 2006
- STACS (International Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science) en 2007
- CSR (International Computer Science Symposium in Russia) en 2007

Ahmed Bouajjani a été membre des comités de programmes des conférences suivantes :

- CAV (International Conference on Computer Aided Verification) en 2006, 2007, et le sera en 2008 et en 2009 (co-chair),
- FOSSACS (International Conference on Foundations of Software Science and Computation Structures) en 2007,
- plusieurs workshops internationaux dont INFINITY (Verification of Infinite-State Systems) en 2006 (chair), GT-VC (Graph Transformation for Verification and Concurrency) en 2005 et HAV (Heap Analysis and Verification) en 2007.
- MEMICS (Annual Doctoral Workshop on Mathematical and Engineering Methods in Computer Science) organisé par les universités de Brno (Rep. tchèque), en 2006 et 2007.

Carole Delporte a été membre des comités de programmes des conférences ou journées suivantes :

- 18th Annual Conference on Distributed Computing (DISC) (homepages.cwi.nl/~paulv/disc04/) en 2004.
- 12th Colloquium on Structural Information and Communication Complexity (SIROCCO) (sirocco.informatika.sk) en 2005.
- 8th International Symposium, Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems (SSS) (www.irisa.fr/sss/2006) en 2006.
- Journées Francophones sur la Cohérence des Données Univers Réparti (CDUR) (www.ece.fr/cdur2005) en 2005.
- 7ème journées Doctorales Informatique et Réseau (JDIR) (www-jdir2005.utt.fr/html/index.htm) en 2005.
- 8ème journées Doctorales Informatique et Réseau (JDIR) (www.polytechnicum.org/jdir2007/) en 2007.

Hugues Fauconnier a été membre des comités de programmes des conférences suivantes :

- 25th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS 2005).
- 19th Annual Conference on Distributed Computing (DISC) 2005
- 12th Colloquium on Structural Information and Communication Complexity (SIROCCO) (sirocco.informatika.sk) en 2005.
- 8th International Symposium, Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems (SSS) (www.irisa.fr/sss/2006/) en 2006.

Anca Muscholl a été membre des comités de programmes des conférences suivantes :

- CAV (Intern. Conf. on Computer Aided Verification) en 2004,
- TACAS (Intern. Conf. on Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Software) en 2004,
- FOSSACS (International Conference on Foundations of Software Science and Computation Structures) en 2005,
- FSTTCS (Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science) en 2005,
- MFCS (Intern. Symp. on Mathematical Foundations of Computer Science) en 2005,
- CONCUR (Intern. Conf. on Concurrency Theory) en 2006.

Tayssir Touili a été membre des comités de programmes des conférences suivantes :

- VMCAI (International Conference on Verification, Model-Checking, and Abstract Interpretation) en 2007 et le sera en 2008.
- ICTAC (International Colloquium on Theoretical Aspects of Computing) en 2006.

Peter Habermehl a été membre des comités de programmes des workshops :

- COSMICAH (Intern. Workshop on the Verification of Concurrent Systems with Dynamic Allocated Heaps) en 2005

- GT-VC (Graph Transformation for Verification and Concurrency) en 2006 et 2007

Irène Guessarian a été membre des comités de programmes des conférences suivantes :

- MFCS (Intern. Symp. on Mathematical Foundations of Computer Science) en 2004,
- CSIT (Inter. Conf. on Computer Science and Information Technologies) en 2005 et 2007
- WOLLIC (Intern. Workshop on Logic, Language, Information and Computation) en 2004.

3.9.4 Évaluation de la recherche

Evaluation et expertise de projets et de laboratoires

- Ahmed Bouajjani a été membre du comité de sélection des projets RNTL de Janvier 2003 à Décembre 2005.
- Ahmed Bouajjani a été membre du comité d'évaluation CNRS d'un laboratoire national, décembre 2005.
- Ahmed Bouajjani est expert du programme FET (Future and Emerging Technologies) de la communauté européenne. Il a participé à l'évaluation de 10 propositions de projets en 2007.
- Ahmed Bouajjani a été sollicité par plusieurs universités et centres de recherche étrangers pour l'évaluation de propositions de projets.

CSE

- Membres de la CSE de Paris 7 : Ahmed Bouajjani, Eugène Asarin, Carole Delporte, Marc Zeitoun (jusqu'à 2005), Mihaela Sighireanu (jusqu'à 2006), Peter Habermehl (depuis 2007), Tayssir Touili (depuis 2007).
- Ahmed Bouajjani a été membre de la CSE de l'ENS Cachan et de l'université d'Aix-Marseille(2003-2006)
- Ahmed Bouajjani est membre de la CSE de l'université de Paris 12 (depuis 2007)
- Eugène Asarin a été membre de la CSE de l'université d'Aix-Marseille (2003-2006).
- Irène Guessarian est membre de la CSE de l'université de Clermont - Ferrand.

Conseil Scientifique de l'UFR

- Membres du Conseil Scientifique de l'UFR de Paris 7 : Ahmed Bouajjani, Carole Delporte, Hugues Fauconnier.

Jurys de thèse

- Ahmed Bouajjani a été rapporteur sur les thèses de Syrine Ayadi (Tunis), Michaël Adélaïde (Nantes), Céline Charlet (Besançon), Yannick Chevalier (Nancy), Sébastien Bardin, Régis Gascon, Jérôme Leroux, Pierre-Alain Reynier (ENS Cachan), Ramzi Ben Salah, Marcelo Zanconi (Grenoble), Alexandre Duret-Lutz (Paris 6), Guillaume Feuillade (Rennes), Gilles Geeraerts (UL Bruxelles), Fernando Schapachnik (Buenos Aires), Daniele Zucchelli (Nancy 1 et Milan), Constantin Enea (Paris 12 et Iasi), Sarah Zenou (Aix-Marseille). Ahmed Bouajjani a aussi été rapporteur sur les habilitations de Sophie Pinchinat (Rennes), de Stéphane Demri (ENS Cachan) et de Franck Cassez (Nantes). De plus, il a été membre du jury de plusieurs thèses de doctorats dont celles de Nathalie Bertrand et de Stéphanie Delaune (LSV, Cachan).
- Eugene Asarin a participé aux jurys d'HDR de Riadh Robbana (Tunis), Mark Zeitoun (Paris 7), François Laroussinie (ENS Cachan) et Olivier Bournez (LORIA - Nancy). Il a également fait partie des jurys de thèse d'Antoine Girard (INPG - Grenoble), Aude Rondepierre (INPG - Grenoble), Abdelkarim Kerbaa (UJF - Grenoble). Il a été *opponent*

dans la soutenance de Johann Deneux (Université d'Uppsala - Suède). Il fait partie du comité de thèse de Mikhail Bernadsky (Université de Pennsilvanie, USA).

- Carole Delporte a été rapporteur de la thèse de Marin Bertier (Paris 6, 2004) et membre du jury de l'habilitation à diriger des recherches de Michel Hurfin (2004).
- Hugues Fauconnier a été rapporteur des thèses de Thomas Hérault (LRI, 2003), E. Mourgaya (IRISA, 2003), F. Tronel (IRISA, 2004), L. El Haddad (Lamsade, 2004) et membre du jury de la thèse de S. Devismes (LARIA, 2006).
- Irène Guessarian a été rapporteur sur les thèses de Willy Lesaint (Orléans) et de de Mathieu Objois (Orsay). Elle a aussi été rapporteur sur l'habilitation de Bruno Martin (Nice).
- Tayssir Touili a participé au jury de thèse de Johann Deneux à Uppsalla University (Suède, juin 2006). Elle a été rapporteur de la thèse de Adam Rogalewicz (Faculty of Information Technology, Brno, République Tchèque, novembre 2007).

3.10 Animation de la recherche

3.10.1 Organisation de conférences ou d'écoles

- M. Zeitoun a co-organisé l'École de printemps 2004 d'informatique théorique et y a donné un cours de 3h.
- Anca Muscholl a co-organisé l'Ecole de Printemps en Informatique Théorique 2006 : Jeux en Sémantique et en Vérification.
- Eugène Asarin a été co-organisateur de la conférence internationale FORMATS (International Conference on Formal Modelling and Analysis of Timed Systems) en 2006.
- Ahmed Bouajjani a organisé le workshop international INFINITY (International Workshop on the Verification of Infinite-State Systems) en 2006.
- Ahmed Bouajjani a co-organisé un séminaire Dagstuhl sur le thème *Software Verification : Infinite-State Model-Checking and Static Program Analysis* en 2006.
- Irène Guessarian a co-organisé le workshop CDB'04 (avec P. Cegielski), en liaison avec PODS'04 à Paris.
- Carole Delporte et Hugues Fauconnier ont organisé en septembre 2004 les journées thématiques de l'AS : Algorithmes distribués et Applications.

3.10.2 Séminaires

L'équipe organise un séminaire hebdomadaire sur la vérification. Les responsables sont Ahmed Bouajjani, Paul Gastin (jusqu'en Août 2004) et Tayssir Touili.

3.10.3 Sociétés savantes

Ahmed Bouajjani a été invité en Septembre 2007 à devenir nouveau membre du groupe de travail IFIP WG2.2 *Formal Description of Programming Concepts* (après avoir été observateur depuis 3 ans).

3.11 Principaux séjours à l'étranger

Eugène Asarin a été invité à effectuer un séjour d'une semaine à l'Université d'Oslo en Juin 2006. **Ahmed Bouajjani** a été invité à effectuer les séjours suivants :

- Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences (Cambridge, RU), un mois, en Mai 2006

- Université d’Uppsala (Suède), un mois, Juin 2007
- Université de Stuttgart, deux mois, Février et Mars 2007
- Université de Tel-Aviv, deux semaines, Juillet 2007
- Microsoft Research (Redmond, USA), deux semaines en Août 2006.

Tayssir Touili a été invitée à effectuer les séjours suivants :

- Université de Wisconsin (Madison, USA), Septembre 2005,
- Université de Carnegie Mellon (Pittsburgh, USA), Août 2005, Avril 2006, et Juin 2007

Carole Delporte a été invitée 3 mois au laboratoire LPD dirigé par Rachid Guerraoui par l’EPFL en 2005.

Carole Delporte et **Hugues Fauconnier** ont été invités 15 jours à l’Université de Toronto par S. Toueg en 2004 et une semaine en 2007.

Ahmed Bouajjani a été invité à donner des exposés à :

- VISSAS 2005, NATO Advanced Research Workshop : Verification of infinite-state systems with applications to security, Timisoara (Roumanie), Mars 2005.
- CV 2006, Constraints and Verification workshop, Cambridge, Mai 2006.
- HAV 2007, Intern Workshop on Heap Analysis and Verification, Braga (Portugal), Mars 2007
- AHA 2007, Intern. Symp. on Automatic Heap Analysis, Berlin, Juillet 2007
- FCT 2007, Intern. Symp. on Fundamental in Computation Theory, Budapest, Août 2007
- M4M-5, 5th Intern. Workshop on Methods for Modalities, Cachan (France), Novembre 2007.

Eugène Asarin a donné un cours à l’école internationale :

- 4th International School on Formal Methods for the Design of Computer, Communication and Software Systems : Real Time. Bertinoro, Italie, en septembre 2004.

3.12 Publications

Articles publiés ou acceptés dans des revues internationales

- [1] Y. ABDEDDAÏM, E. ASARIN ET O. MALER, Scheduling with Timed Automata, *Theoret. Comput. Sci.* **354**,2 (2006), 272–300.
- [2] P. A. ABDULLA, A. BOUAJJANI ET J. D’ORSO, Monotonic and Downward Closed Games, *Journal of Logic and Computation*, 2007. À paraître.
- [3] P. A. ABDULLA, A. COLLOMB-ANNICHINI, A. BOUAJJANI ET B. JONSSON, Using Forward Reachability Analysis for Verification of Lossy Channel Systems, *Formal Methods in System Design* **25**,1 (2004), 39–65.
- [4] J. ALMEIDA, J. COSTA ET M. ZEITOUN, Tameness of pseudovariety joins involving R, *Monatshefte für Mathematik* **146**,2 (2005), 89–111.
- [5] E. ASARIN, T. DANG ET A. GIRARD, Hybridization methods for the analysis of nonlinear systems, *Acta Inform.* **43**,7 (2007), 451–476.
- [6] E. ASARIN, G. SCHNEIDER ET S. YOVINE, Algorithmic Analysis of Polygonal Hybrid Systems, Part I : Reachability, *Theoret. Comput. Sci.* **379**,1–2 (2007), 231–265.
- [7] J. BERSTEL, L. BOASSON, O. CARTON, B. PETAZZONI ET J.-E. PIN, Operations preserving recognizable languages, *Theoret. Comput. Sci.* **354**,3 (2006), 405–420.
- [8] J. BERSTEL, L. BOASSON ET M. LATTEUX, Mixed languages, *Theoret. Comput. Sci.* **332**,3 (2005), 179–198.

- [9] A. BOUAJJANI, J. ESPARZA ET T. TOUILI, Reachability Analysis of Synchronized PA-Systems, *Electronic Notes in Theoretical Computer Science* **138**,3 (2005), 153–178.
- [10] A. BOUAJJANI, A. LEGAY ET P. WOLPER, Handling Liveness Properties in (*mega*-)Regular Model Checking, *Electr. Notes Theor. Comput. Sci.* **138**,3 (2005), 101–115.
- [11] A. BOUAJJANI ET A. MERCERON, Parametric Verification of a Group Membership Algorithm, *Theory and Practice of Logic Programming* **6**,3 (2006), 321–353. Special Issue on Specification Analysis and Verification of Reactive Systems.
- [12] A. BOUAJJANI, A. MUSCHOLL ET T. TOUILI, Permutation Rewriting and Algorithmic Verification, *Information and Computation* **205**,2 (2007), 199–224.
- [13] A. BOUAJJANI, J. STREJCEK ET T. TOUILI, On Symbolic Verification of Weakly Extended PAD, *Electr. Notes Theor. Comput. Sci.* **175**,3 (2007), 47–64.
- [14] A. CARAYOL ET A. MEYER, Context-Sensitive Languages, Rational Graphs and Determinism, *Logical Methods in Comput. Sci.* **2**,2 (2006), 2 :6, 24.
- [15] A. CARAYOL ET A. MEYER, Linearly bounded infinite graphs, *Acta Inform.* **43**,4 (2006), 265–292.
- [16] C. DELPORTE-GALLET, H. FAUCONNIER, R. GUERRAOUI ET P. KOUZNETSOV, Mutual exclusion in asynchronous systems with failure detectors., *J. Parallel Distrib. Comput.* **65**,4 (2005), 492–505.
- [17] C. DELPORTE-GALLET, H. FAUCONNIER, R. GUERRAOUI ET B. POCHON, The Perfectly-Synchronized round-based Model of Distributed Computing, *Information and Control* **205**,5 (mai 2007).
- [18] C. DELPORTE-GALLET, H. FAUCONNIER, J.-M. HÉLARY ET M. RAYNAL, Early Stopping in Global Data Computation., *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.* **14**,9 (2003), 909–921.
- [19] B. GENEST, D. KUSKE ET A. MUSCHOLL, A Kleene Theorem and Model Checking for a Class of Communicating Automata., *Information and Computation* **204**,6 (2006), 920–956.
- [20] B. GENEST, A. MUSCHOLL, H. SEIDL ET M. ZEITOUN, Infinite-State High-Level MSCs : Model-Checking and Realizability., *J. Computer and System Science (JCSS)* **72**,4 (2006), 617–647.
- [21] E. GODARD, Y. MÉTIVIER ET A. MUSCHOLL, Characterizations of Classes of Graphs Recognizable by Local Computations., *Theory Comput. Syst.* **37**,2 (2004), 249–293.
- [22] I. GUESSARIAN, P. CEGIELSKI ET Y. MATIYASEVICH, Multiple serial episodes matching, *Inform. Proc. Letters* **98**,6 (2006), 211–218.
- [23] I. GUESSARIAN ET E. FOUSTOUCOS, Inf-Datalog, Modal Logic and Complexities, *RAIRO Inform. Théor.*, 2007. À paraître.
- [24] I. GUESSARIAN, E. FOUSTOUCOS, T. ANDRONIKOS ET F. AFRATI, On Temporal Logic versus Datalog, *Theoret. Comput. Sci.* **303**,1 (2003), 103–133.
- [25] E. L. GUNTER, A. MUSCHOLL ET D. PELED, Compositional message sequence charts, *STTT - Int. Journal on Software Tools for Technology Transfer* **5**,1 (2003), 78–89.
- [26] F. HORN, Dicing on the Streett, *Information Processing Letters* **104**,1 (september 2007), 1–9.
- [27] F. HORN, Dicing on the Streett, *Information Processing Letters* **104**,1 (2007), 1–9.
- [28] M. LOHREY ET A. MUSCHOLL, Bounded MSC communication., *Inf. Comput.* **189**,2 (2004), 160–181.

- [29] A. MUSCHOLL, M. SAMUELIDES ET L. SEGOUFIN, Complementing deterministic tree-walking automata., *Inf. Process. Lett.* **99**,1 (2006), 33–39.
- [30] A. MUSCHOLL, T. SCHWENTICK ET L. SEGOUFIN, Active Context-Free Games., *Theory Comput. Syst.* **39**,1 (2006), 237–276.
- [31] A. MUSCHOLL ET I. WALUKIEWICZ, An NP-complete fragment of LTL., *Int. J. Found. Comput. Sci.* **16**,4 (2005), 743–753.
- [32] S. TRIPAKIS, S. YOVINE ET A. BOUAJJANI, Checking Timed Büchi Automata Emptiness Efficiently, *Formal Methods In System Design* **26**,3 (2005), 267–292.
- [33] G. YORSH, A. RABINOVICH, M. SAGIV, A. MEYER ET A. BOUAJJANI, A logic of reachable patterns in linked data-structures, *J. Log. Algebr. Program.* **73**,1-2 (2007), 111–142.

Articles parus dans des actes de conférences internationales

- [34] Y. ABDEDDAÏM, E. ASARIN, M. GALLIEN, F. INGRAND, C. LESIRE ET M. SIGHIREANU, Planning Robust Temporal Plans : a Comparison Between CBTP and TGA Approaches, in *ICAPS'07*, AAAI, septembre 2007. À paraître.
- [35] M. K. AGUILERA, C. DELPORTE-GALLET, H. FAUCONNIER ET S. TOUEG, Communication-efficient leader election and consensus with limited link synchrony., in *Proceedings of the Twenty-Third Annual ACM Symposium on Principles of Distributed Computing, PODC 2004, St. John's, Newfoundland, Canada, July 25-28, 2004*, S. Chaudhuri et S. Kutten (éd.), pp. 328–337, ACM, 2004.
- [36] M. K. AGUILERA, C. DELPORTE-GALLET, H. FAUCONNIER ET S. TOUEG, Consensus with Byzantine Failures and Little System Synchrony, in *2006 International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN 2006), 25-28 June 2006, Philadelphia, Pennsylvania, USA, Proceedings*, IEEE (éd.), pp. 147–155, IEEE Computer Society, 2006.
- [37] J. ALMEIDA, J. COSTA ET M. ZEITOUN, Complete reducibility of pseudovarieties, in *Proceedings of the Conference on Semigroups and Languages (Lisbon, 2005)*, pp. 9–25, 2007.
- [38] J. ALMEIDA ET M. ZEITOUN, The equational theory of ω -terms for finite \mathcal{R} -trivial semigroups, in *Proc. of Semigroups and Languages*, M. Branco et G. Gomes (éd.), Singapore, 2004, pp. 1–23, World Scientific.
- [39] C. ANCEAUME, EMMANUELLE DELPORTE-GALLET, H. FAUCONNIER, M. HURFIN ET G. LE LANN, Designing Modular Services in the Scattered Byzantine Failure Model., in *3rd International Symposium on Parallel and Distributed Computing (ISPDC 2004), 3rd International Workshop on Algorithms, Models and Tools for Parallel Computing on Heterogenous Networks (HeteroPar 2004), 5-7 July 2004, Cork, Ireland*, pp. 262–269, 2004.
- [40] E. ASARIN, T. CACHAT, A. SELIVERSTOV, T. TOULI ET V. LYUBETSKY, Attenuation Regulation as a Term Rewriting System, in *Second International Conference on Algebraic Biology, AB'07*, pp. 81–94, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 4545, Springer-Verlag, 2007.
- [41] E. ASARIN ET P. COLLINS, Noisy Turing Machines, in *Proceedings of the International Conference ICALP'05*, L. Caires, G. Italiano, L. Monteiro, C. Palamidessi et M. Yung (éd.), pp. 1031–1042, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3580, Springer-Verlag, 2005.
- [42] E. ASARIN ET T. DANG, Abstraction by Projection and Application to Multi-affine Systems, in *Hybrid Systems : Computation and Control*, pp. 32–47, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 2993, Springer-Verlag, 2004.

- [43] J. BERSTEL, L. BOASSON, O. CARTON ET I. FAGNOT, A first investigation of sturmian trees., in *STACS'2007*, W. Thomas et P. Weil (éd.), pp. 73–84, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 4393, Springer-Verlag, 2007.
- [44] M. BOJANCZYK, C. DAVID, A. MUSCHOLL, T. SCHWENTICK ET L. SEGOUFIN, Two-variable logic on data trees and XML reasoning, in *Proceedings of the twenty-fifth ACM SIGMOD-SIGACT-SIGART symposium on principles of database system*, pp. 10–19, ACM Press, 2006.
- [45] M. BOJANCZYK, A. MUSCHOLL, T. SCHWENTICK, L. SEGOUFIN ET C. DAVID, Two-Variable Logic on Words with Data, in *21st Annual IEEE Symposium on Logic in Computer Science, LICS'06*, pp. 7–16, IEEE Computer Society, 2006.
- [46] M. BOJANCZYK, M. SAMUELIDES, T. SCHWENTICK ET L. SEGOUFIN, Expressive Power of Pebble Automata, in *Automata, Languages and Programming, 33rd International Colloquium, ICALP 2006, Venice, Italy, July 10-14, 2006, Proceedings, Part I*, M. Bugliesi, B. Preneel, V. Sassone et I. Wegener (éd.), vol. 4051, pp. 157–168, 2006.
- [47] A. BOUAJJANI, M. BOZGA, P. HABERMEHL, R. IOSIF, P. MORO ET T. VOJNAR, Programs with Lists Are Counter Automata, in *Proceedings of the 18th International Conference on Computer Aided Verification (CAV'06)*, Th. Ball et R. B. Jones (éd.), Seattle, Washington, USA, août 2006, pp. 517–531, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 4144, Springer-Verlag.
- [48] A. BOUAJJANI ET J. ESPARZA, Term Rewriting and Applications, 17th International Conference, RTA 2006, Seattle, WA, USA, August 12-14, 2006, Proceedings, in *RTA*, F. Pfenning (éd.), pp. 136–150, *Lect. Notes Comp. Sci.*, Springer, 2006.
- [49] A. BOUAJJANI, J. ESPARZA, S. SCHWOON ET J. STREJCEK, Reachability Analysis of Multithreaded Software with Asynchronous Communication, in *FSTTCS*, pp. 348–359, 2005.
- [50] A. BOUAJJANI, J. ESPARZA ET T. TOULI, Reachability Analysis of Synchronised PA systems, in *Proceedings of the International Workshop on Verification of Infinite-State Systems (Infinity'04)*, pp. 153–178, *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 2004.
- [51] A. BOUAJJANI, S. FRATANI ET S. QADEER, Context-Bounded Analysis of Multithreaded Programs with Dynamic Linked Structures, in *Proceedings of the Int. Conf. CAV'07 (Berlin, Germany)*, W. Damm et H. Hermans (éd.), pp. 230–245, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 4590, Springer-Verlag, 2007.
- [52] A. BOUAJJANI, P. HABERMEHL, Y. JURSKI ET M. SIGHIREANU, Rewriting Systems with Data, in *Proceedings of the 16th International Symposium on Fundamentals of Computation Theory (FCT'07)*, E. Csuhaĵ Varĵ et Z. Esik (éd.), Berlin, 2007, pp. 1–22, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 4639, Springer-Verlag.
- [53] A. BOUAJJANI, P. HABERMEHL, P. MORO ET T. VOJNAR, Verifying Programs with Dynamic 1-Selector-Linked Structures in Regular Model Checking, in *Proceedings of the 11th International Conference on Tools and Algorithms for Construction and Analysis of Systems (TACAS'05)*, N. Halbwachs et L. D. Zuck (éd.), Edinburgh, UK, 2005, pp. 13–29, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3440, Springer-Verlag.
- [54] A. BOUAJJANI, P. HABERMEHL, A. ROGALEWICZ ET T. VOJNAR, Abstract Regular Tree Model Checking, in *Proceedings of the 7th International Workshop on Verification of Infinite State Systems (INFINITY'05)*, J. Srba et S. A. Smolka (éd.), San Francisco, CA,

- USA, février 2006, pp. 37–48, *Electronic Notes in Theoretical Computer Science* vol. 149, Elsevier Science Publishers.
- [55] A. BOUAJJANI, P. HABERMEHL, A. ROGALEWICZ ET T. VOJNAR, Abstract Regular Tree Model Checking of Complex Dynamic Data Structures, in *Proceedings of the 13th International Symposium Static Analysis (SAS'06)*, K. Yi (éd.), Seoul, Korea, août 2006, pp. 52–70, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 4134, Springer-Verlag.
- [56] A. BOUAJJANI, P. HABERMEHL ET T. VOJNAR, Abstract Regular Model Checking, in *Proceedings of the 16th International Conference on Computer Aided Verification (CAV'04)*, R. Alur et D. A. Peled (éd.), Boston, Massachusetts, USA, juillet 2004, pp. 372–386, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3114, Springer-Verlag.
- [57] A. BOUAJJANI, Y. JURSKI ET M. SIGHIREANU, A Generic Framework for Reasoning about Dynamic Networks of Infinite-State Processes, in *Proceedings of the 13rd Intern. Conf. on Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems (TACAS'07)*, O. Grumberg et M. Huth (éd.), pp. 690–705, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 4424, Springer-Verlag, mars 2007.
- [58] A. BOUAJJANI ET A. MEYER, Symbolic Reachability Analysis of Higher-Order Context-Free Processes, in *Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science*, pp. 135–147, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3328, Springer-Verlag, 2004.
- [59] A. BOUAJJANI, M. MÜLLER-OLM ET T. TOULI, Regular Symbolic Analysis of Dynamic Networks of Pushdown Systems, in *Proceedings of the 16th International Conference on Concurrency Theory (CONCUR'05)*, pp. 473–487, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3653, Springer-Verlag, 2005.
- [60] A. BOUAJJANI, J. STREJČEK ET T. TOULI, Symbolic Reachability Analysis of Weakly Extended Process Rewrite Systems, in *Proceedings of the 13th International Workshop on Expressiveness in Concurrency (EXPRESS'06)*, pp. 47–64, *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 2006.
- [61] A. BOUAJJANI ET T. TOULI, Reachability Analysis of Process Rewrite Systems, in *Proceedings of the 23rd Conference on Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science (FSTTCS'03)*, pp. 73–87, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 2914, 2003.
- [62] A. BOUAJJANI ET T. TOULI, On Computing Reachability Sets of Process Rewrite Systems, in *Proceedings of the 16th International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA'05)*, pp. 484–499, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3467, Springer-Verlag, 2005.
- [63] T. CACHAT, Controller Synthesis and Ordinal Automata., in *Proceedings of the 4th International Symposium on Automated Technology for Verification and Analysis, ATVA'06*, pp. 215–228, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 4218, Springer-Verlag, 2006.
- [64] T. CACHAT, Tree Automata Make Ordinal Theory Easy, in *Proceedings of the 26th International Conference on Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science, FSTTCS'06*, pp. 285–296, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 4337, Springer-Verlag, 2006.
- [65] A. CARAYOL ET A. MEYER, Linearly Bounded Infinite Graphs, in *Mathematical Foundations of Computer Science*, pp. 180–191, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3618, Springer-Verlag, 2005.
- [66] S. CHAKI, E. CLARKE, O. GRUMBERG, J. OUAKNINE, N. SHARYGINA, T. TOULI ET H. VEITH, State/Event Software Verification for Branching-Time Specifications., in

- Proceedings of the 5th International Conference on Integrated Formal Methods (IFM'05)*, pp. 53–69, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3771, Springer-Verlag, 2005.
- [67] S. CHAKI, E. CLARKE, N. KIDD, T. REPS ET T. TOUILI, Verifying Concurrent Message-Passing C Programs with Recursive Calls, in *Proceedings of the 12th International Conference on Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems (TACAS'06)*, pp. 334–349, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3920, Springer-Verlag, 2006.
- [68] E. CLARKE, M. TALUPUR, T. TOUILI ET H. VEITH, Verification by Network Decomposition., in *Proceedings of the 15th International Conference on Concurrency Theory (CONCUR'04)*, pp. 276–291, *Lect. Notes Comp. Sci.*, Springer-Verlag, 2004.
- [69] S. COTTON, E. ASARIN, O. MALER ET P. NIEBERT, Some Progress in Satisfiability Checking for Difference Logic, in *Formal Techniques, Modelling and Analysis of Timed and Fault-Tolerant Systems*, Y. Lakhnech et S. Yovine (éd.), pp. 263–276, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3253, Springer-Verlag, 2004.
- [70] C. DELPORTE-GALLET, H. FAUCONNIER ET F. C. FREILING, Theoretical Aspects of Computing - ICTAC 2005, Second International Colloquium, Hanoi, Vietnam, October 17-21, 2005, Proceedings, in *ICTAC*, D. V. Hung et M. Wirsing (éd.), pp. 394–408, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3722, 2005.
- [71] C. DELPORTE-GALLET, H. FAUCONNIER ET R. GUERRAOU, (Almost) All Objects Are Universal in Message Passing Systems, in *Distributed Computing, 19th International Conference, DISC 2005, Cracow, Poland, September 26-29, 2005, Proceedings*, P. Fraigniaud (éd.), pp. 184–198, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3724, 2005.
- [72] C. DELPORTE-GALLET, H. FAUCONNIER ET R. GUERRAOU, What Dependability for Networks of Mobile Sensors?, in *2005 HotTopics in System Dependability, Workshop of International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN 2005), 28 June - 1 July 2005, Yokohama, Japan, Supplemental Volume*, pp. 284–287, IEEE Computer Society, 2005.
- [73] C. DELPORTE-GALLET, H. FAUCONNIER, R. GUERRAOU, V. HADZILACOS, P. KOUZNETSOV ET S. TOUEG, The weakest failure detectors to solve certain fundamental problems in distributed computing., in *Proceedings of the Twenty-Third Annual ACM Symposium on Principles of Distributed Computing, PODC 2004, St. John's, Newfoundland, Canada, July 25-28, 2004*, S. Chaudhuri et S. Kutten (éd.), pp. 338–346, ACM, 2004.
- [74] C. DELPORTE-GALLET, H. FAUCONNIER, R. GUERRAOU ET E. RUPPERT, When Birds Die : Making Population Protocols Fault-Tolerant., in *Distributed Computing in Sensor Systems, Second IEEE International Conference, DCOSS 2006, San Francisco, CA, USA, June 18-20, 2006, Proceedings*, P. B. Gibbons, T. F. Abdelzaher, J. Aspnes et R. Rao (éd.), pp. 51–66, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 4026, Springer-Verlag, 2006.
- [75] C. DELPORTE-GALLET, H. FAUCONNIER, S. L. HORN ET S. TOUEG, Fast fault-tolerant agreement algorithms., in *Proceedings of the Twenty-Fourth Annual ACM Symposium on Principles of Distributed Computing, PODC 2005, Las Vegas, NV, USA, July 17-20, 2005*, M. K. Aguilera et J. Aspnes (éd.), pp. 169–178, 2005.
- [76] J. D'ORSO ET T. TOUILI, Regular Hedge Model Checking, in *Proceedings of the 4th International Conference on Theoretical Computer Science (TCS'06)*, pp. 213–230, IFIP, Kluwer, 2006.
- [77] P. GASTIN, B. LERMAN ET M. ZEITOUN, Distributed games and distributed control for asynchronous systems, in *Proc. of the 6th Symposium Latin American Theoretical*

- INformatics, LATIN'04*, M. Farach-Colton (éd.), pp. 455–465, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 2976, Springer-Verlag, 2004.
- [78] P. GASTIN, B. LERMAN ET M. ZEITOUN, Distributed games with causal memory are decidable for series-parallel systems, in *Proc. of the 24th Conference on Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science, FSTTCS'04*, pp. 275–286, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3328, Springer-Verlag, 2004.
- [79] P. GASTIN ET P. MORO, Minimal counter-example generation for SPIN, in *Proceedings of the 14th International SPIN Workshop on Model Checking Software (SPIN'07)*, D. Bošnački et S. Edelkamp (éd.), Berlin, Germany, 2007, pp. 24–38, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 4595, Springer-Verlag.
- [80] P. GASTIN, P. MORO ET M. ZEITOUN, Minimization of Counterexamples in SPIN., in *SPIN*, vol. 2989, pp. 92–108, 2004.
- [81] P. GASTIN, P. MORO ET M. ZEITOUN, Minimization of counterexamples in SPIN, in *Model Checking Software : Proc. of the 11th International SPIN Workshop, SPIN'04*, pp. 92–108, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 2989, Springer-Verlag, 2004.
- [82] P. GASTIN, N. SZNAJDER ET M. ZEITOUN, Distributed synthesis for well-connected architectures, in *Proc. of the 26th Conference on Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science, FSTTCS'06*, N. Garg et S. Arun-Kumar (éd.), pp. 321–332, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 4337, Springer-Verlag, 2006.
- [83] B. GENEST, Compositional Message Sequence Charts (CMSCs) Are Better to Implement Than MSCs, in *Proceedings of the International Conference TACAS*, pp. 429–444, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3440, 2005.
- [84] B. GENEST, L. HÉLOUËT ET A. MUSCHOLL, High-Level Message Sequence Charts and Projections., in *CONCUR*, pp. 308–322, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 2761, 2003.
- [85] B. GENEST, D. KUSKE, A. MUSCHOLL ET D. PELED, Snapshot Verification., in *TACAS*, pp. 510–525, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3440, 2005.
- [86] B. GENEST, M. MINEA, A. MUSCHOLL ET D. PELED, Specifying and Verifying Partial Order Properties Using Template MSCs., in *FoSSaCS*, pp. 195–210, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 2987, 2004.
- [87] B. GENEST ET A. MUSCHOLL, Message Sequence Charts : A Survey, in *Proceedings of the International Conference ACSD*, pp. 2–4, IEEE Computer Society, 2005.
- [88] B. GENEST ET A. MUSCHOLL, Constructing Exponential-size Deterministic Zielonka Automata., in *ICALP*, pp. 565–576, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 4052, Springer-Verlag, 2006.
- [89] B. GENEST, A. MUSCHOLL ET D. KUSKE, A Kleene Theorem for a Class of Communicating Automata with Effective Algorithms., in *Developments in Language Theory*, pp. 30–48, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3340, 2004.
- [90] B. GENEST, A. MUSCHOLL ET D. PELED, Message Sequence Charts., in *Lectures on Concurrency and Petri Nets*, pp. 537–558, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3098, 2003.
- [91] I. GUESSARIAN, T. ANDRONIKOS, F. AFRATI, E. FOUSTOUCOS ET V. PAVLAKI, From CTL to Datalog, in *PCK50*, D. Q. Goldin, A. A. Shvartsman, S. A. Smolka, J. S. Vitter et S. B. Zdonik (éd.), pp. 72–85, ACM Press, 2003.
- [92] I. GUESSARIAN, P. CEGIELSKI, Y. LIFSHITS ET Y. MATIYASEVICH, Window subsequence problems for compressed texts, in *CSR'06*, pp. 90–99, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3697, Springer-Verlag, 2006.

- [93] I. GUESSARIAN, P. CEGIELSKI ET Y. MATIYASEVICH, Multiple episode matching, in *CSIT'05*, pp. 26–38, The National Academy of Sciences of Armenia, 2005.
- [94] I. GUESSARIAN ET E. FOUSTOUCOS, Monadic inf-Datalog and temporal logic, in *Proceedings of CSIT'03*, Y. Shoukourian (éd.), pp. 90–99, The National Academy of Sciences of Armenia, 2003.
- [95] P. HABERMEHL, R. IOSIF ET T. VOJNAR, Automata-Based Verification of Programs with Tree Updates, in *Proceedings of the 12th International Conference on Tools and Algorithms for Construction and Analysis of Systems (TACAS'06)*, H. Hermans et J. Palsberg (éd.), Vienna, Austria, mars 2006, pp. 350–364, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3920, Springer-Verlag.
- [96] P. HABERMEHL ET T. VOJNAR, Regular Model Checking Using Inference of Regular Languages, in *Proceedings of the 6th International Workshop on Verification of Infinite State Systems (INFINITY'04)*, J. Bradfield et F. Moller (éd.), London, UK, décembre 2005, pp. 21–36, *Electronic Notes in Theoretical Computer Science* vol. 138, Elsevier Science Publishers.
- [97] L. HÉLOUËT, M. ZEITOUN ET A. DEGORRE, Scenarios and Covert channels, another game..., in *Proc. of Games in Design and Verification, GDV '04*, pp. 93–116, *Electronic Notes in Theoretical Computer Science* vol. 119, Elsevier, 2005.
- [98] F. HORN, Faster Algorithms for Finitary Games, in *Proceedings of the 13th International Conference on Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems*, O. Grumberg et M. Huth (éd.), pp. 472–484, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 4424, Springer-Verlag, 2007.
- [99] A. LAL, N. KIDD, T. REPS ET T. TOULI, Abstract Error Projection, in *Proceedings of the 14th International Static Analysis Symposium (SAS'07)*, pp. 200–217, *Lect. Notes Comp. Sci.*, Springer-Verlag, 2007.
- [100] A. MEYER, On Term Rewriting Systems Having a Rational Derivation, in *Foundations of Software Science and Computation Structures*, pp. 378–392, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 2987, Springer-Verlag, 2004.
- [101] A. MEYER, Traces of Term-automatic Graphs, in *Mathematical Foundations of Computer Science, Lect. Notes Comp. Sci.*, Springer-Verlag, 2007. À paraître.
- [102] A. MUSCHOLL ET D. PELED, Deciding Properties of Message Sequence Charts., in *Scenarios : Models, Transformations and Tools, International Workshop, Dagstuhl Castle, Germany*, pp. 43–65, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3466, 2005.
- [103] A. MUSCHOLL, T. SCHWENTICK ET L. SEGOUFIN, Active Context-Free Games., in *Proceedings of the International Conference STACS*, pp. 452–464, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 2996, 2004.
- [104] A. MUSCHOLL ET I. WALUKIEWICZ, An NP-Complete Fragment of LTL., in *Developments in Language Theory*, pp. 334–344, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3340, 2004.
- [105] G. PATIN, M. SIGHIREANU ET T. TOULI, Spade : Verification of Multithreaded Dynamic and Recursive Programs, in *Proceedings of the 19th International Conference on Computer Aided Verification CAV'07*, W. Damm et H. Hermans (éd.), pp. 254–258, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 4590, Springer-Verlag, août 2007.
- [106] M. SAMUELIDES ET L. SEGOUFIN, Complexity of Pebble Tree-Walking Automata, in *Fundamentals of Computation Theory, 16th International Symposium, FCT 2007, Budapest, Hungary, August 27-30, 2007, Proceedings*, E. Csuhaj-Varjú et Z. Ésik (éd.), vol. 4639, pp. 458–469, 2007.

- [107] H. SEIDL, T. SCHWENTICK ET A. MUSCHOLL, Numerical document queries., in *Proceedings of the International Conference PODS*, pp. 155–166, ACM Press, 2003.
- [108] H. SEIDL, T. SCHWENTICK, A. MUSCHOLL ET P. HABERMEHL, Counting in Trees for Free, in *Proceedings of the 31st International Colloquium on Automata, Languages and Programming (ICALP'04)*, J. Díaz, J. Karhumäki, A. Lepistö et D. Sannella (éd.), Turku, Finland, 2004, pp. 1136–1149, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3142, Springer-Verlag.
- [109] H. SEIDL, T. SCHWENTICK, A. MUSCHOLL ET P. HABERMEHL, Counting in Trees for Free., in *ICALP*, pp. 1136–1149, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3142, 2004.
- [110] M. SIGHIREANU ET T. TOULI, Bounded Communication Reachability Analysis of Process Rewrite Systems with Ordered Parallelism, in *Proceedings of the International Workshop on Verification of Infinite-State Systems (Infinity'06)*, A. Bouajjani (éd.), p. 16 pages, août 2006.
- [111] A. STEFANESCU, J. ESPARZA ET A. MUSCHOLL, Synthesis of Distributed Algorithms Using Asynchronous Automata., in *CONCUR*, pp. 27–41, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 2761, 2003.
- [112] T. TOULI, Dealing with communication for dynamic multithreaded recursive programs, in *Proceedings of the 1st NATO Advanced Research Workshop on Verification of Infinite State Systems with Applications to Security (VISSAS'05)*, IOS Press, 2005. Invited Paper.
- [113] T. TOULI, Computing Transitive Closures of Hedge Transformations., in *Proceedings of the 1st International Workshop on Verification and Evaluation of Computer and Communication Systems (VECOS'07)*, *eWIC*, British Computer Society, 2007. 15 pages.
- [114] G. YORSH, A. RABINOVICH, M. SAGIV, A. MEYER ET A. BOUAIJANI, A Logic of Reachable Patterns in Linked Data Structures, in *Foundations of Software Science and Computation Structures*, pp. 94–110, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 3921, Springer-Verlag, 2006.

Articles parus dans des actes de conférences d'audience nationale

- [115] M. ABOUD, C. DELPORTE-GALLET ET H. FAUCONNIER, Réseaux de capteurs avec détecteurs de collision, in *Actes de la 8ème journée doctorale en Informatique et Réseaux*, M.-L.-V. Polytechnicum (éd.), pp. 29–34, janvier 2007.
- [116] K. ALTISEN, P. BOUYER, T. CACHAT, F. CASSEZ ET G. GARDEY, Introduction au contrôle des systèmes temps-réel, in *Actes du 5ème Colloque sur la Modélisation des Systèmes Réactifs (MSR'05)*, H. Alla et É. Rutten (éd.), Autrans, France, octobre 2005, pp. 367–380, Hermès.
- [117] E. ASARIN, Does Church-Turing thesis apply outside computer science?, in *Transgressive Computing 2006, A conference in honor of Jean Della Dora*, pp. 15–18, 2006.

Livres publiés (comme auteur)

- [118] I. GUESSARIAN ET A. ARNOLD, *Mathématiques pour l'Informatique, Objectif Licence*, Édisciences, 2005. ISBN 2100492306.

Livres et journaux édités

- [119] E. ASARIN ET P. BOUYER (éd.), *Formal Modeling and Analysis of Timed Systems*, *Lect. Notes Comp. Sci.* vol. 4202, Springer, 2006.

Chapitres de livres

- [120] J. BERSTEL ET L. BOASSON, Modèles de machines., in *Encyclopédie de l'informatique et des systèmes d'informations.*, J. Akoka et I. Comyn-Wattiau (éd.), pp. 987–998, Vuibert, 2006.
- [121] K. TURNER ET M. SIGHIREANU, (E)-LOTOS, in *Software Specification Methods – An Overview Using a Case Study*, H. Habrias et M. Frappier (éd.), pp. 233–258, ISTE Hermes and Lavoisier, 2006.

Thèses et habilitations

- [122] A. MEYER, *Graphes infinis de présentation finie*, thèse de doctorat, Université de Rennes I, 2005.
- [123] T. TOUILI, *Analyse symbolique de systèmes infinis basée sur les automates : Application à la vérification de systèmes paramétrés et dynamiques*, thèse de doctorat, University of Paris 7, 2003.
- [124] M. ZEITOUN, *Concurrence et automates*, habilitation à diriger des recherches, Université Paris 7, 2005.

Rapports techniques

- [125] E. ANCEAUME, C. DELPORTE-GALLET, H. FAUCONNIER, M. HURFIN ET G. LE LANN, Architectures Génériques pour le Spacial(Rapport Final), rap. tech., CNES, 2004.
- [126] T. CACHAT ET I. WALUKIEWICZ, The Complexity of Games on Higher Order Push-down Automata. available at <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00144226> and <http://fr.arxiv.org/abs/0705.0262>, mai 2007.
- [127] C. DELPORTE-GALLET, H. FAUCONNIER, F. FREILING, L. B. PENSO ET A. THIELMANN, Transforming Asynchronous Systems with Crash-Stop failures and Failure Detectors to the General Omission Model, rap. tech. n°HAL-00130766, CNRS, 2007.
- [128] C. DELPORTE-GALLET, H. FAUCONNIER ET R. GUERRAOUI, Shared Memory vs Message Passing, rap. tech. n°2003777, EPFL, 2003.
- [129] A. GRIFFAULT, F. HERBRETEAU, G. POINT, G. SUTRE, A. VINCENT, M. SIGHIREANU, S. BARDIN, A. FINKEL ET D. NOWAK, Intégration des outils PERSÉE, deliverable RC1 of project PERSÉE of ACI Sécurité Informatique, LSV, 2005. 32 pages.