

1 Le thème *Systèmes à Événements Discrets*

1.1 Composition

- Responsable : Jean Mairesse, Chargé de Recherche CNRS
- Membres permanents :
 - Ines Klimann, Maître de conférence PARIS 7
 - Sylvain Lombardy, Maître de conférence PARIS 7
 - James Martin, Chargé de Recherche CNRS
 - Christophe Prieur, Maître de conférence PARIS 7
- Doctorants :
 - Anne Bouillard, Doctorant PARIS 7
 - Moez Draïef, Doctorant PARIS 7
 - Gwenaël Regnié, Doctorat soutenu le 17 décembre 2002

1.2 Présentation générale

Depuis septembre 2003, s'est constitué au LIAFA, un *thème émergent* Systèmes à Événements Discrets (SED). D'un point de vue structurel, il s'agit d'un sous-ensemble de l'équipe Automates, tous les membres du thème étant également membres à part entière de l'équipe Automates. D'un point de vue thématique, les liens avec l'équipe Automates sont naturels et évidents, avec néanmoins une orientation propre et une certaine autonomie due à la spécificité de l'objet étudié. Enfin, de par son fonctionnement, ce *thème* est à mi-chemin entre un groupe de travail et une équipe en cours de constitution.

Les activités qui fondent le thème SED ont une histoire ancienne au sein de notre laboratoire. Il faut d'abord signaler que de nombreux chercheurs du LIAFA travaillent depuis longtemps sur les automates à multiplicités dans le semi-anneau tropical (i.e. $(\mathbb{N}, \min, +)$) qui est l'un des objets sur lequel repose l'étude des systèmes à événements discrets. On peut ainsi mentionner les travaux de C. Choffrut, D. Krob ou J.E. Pin. Toutes ces recherches étaient cependant principalement motivées par des problèmes internes à la théorie des langages formels ou à la théorie des automates usuels. C'est de 1994, à l'occasion du workshop "Idempotency" organisé à l'initiative des laboratoires Hewlett-Packard à Bristol, que date la prise de conscience de l'intérêt des outils de l'informatique théorique (langages et séries formelles, automates, semi-anneaux exotiques, combinatoire, algorithmique) dans l'étude des systèmes à événements discrets. Ce workshop a en effet permis de réunir des communautés qui se caractérisaient par leur utilisation de méthodes et d'outils communs dans des contextes applicatifs très différents. Les membres actuels du LIAFA présents à ce workshop étaient J.-E. Pin (dont l'exposé portait sur l'utilisation du semi-anneau tropical en théorie des langages) et J. Mairesse, à l'époque doctorant du projet Mistral de l'INRIA Sophia (dont l'exposé portait sur la modélisation des réseaux de Petri et la théorie spectrale max-plus).

Début 1997 commence le projet européen TMR ALAPEDES (acronyme pour 'The Algebraic Approach To Performance Evaluation of Discrete Event Systems'). Huit équipes de recherche dont le LIAFA participent au projet ALAPEDES. À cette occasion se constitue un *axe transversal* au LIAFA autour de cette thématique. Il s'agissait d'une structure souple, sous la responsabilité de J. Mairesse, dont les activités se concrétisaient par l'organisation d'un groupe de

travail régulier, et l'encadrement de post-doctorants (M. Kanta (Allemagne), S. Mantaci (Italie) et I. Michos (Grèce)). L'axe transversal est resté actif pendant 4 ans, durée du projet Alapedes. Avec la fin d'ALAPEDES, s'est trouvée posée la question de la pérennité des activités de recherche autour des SED au LIAFA. Le recrutement simultané de J. Martin (CR CNRS) et S. Lombardy (MdC Paris 7) en septembre 2003 dont les sujets de recherche sont à la fois proches et complémentaires de celui des SED a tout naturellement suggéré de faire ressortir cette thématique dans l'organigramme du laboratoire. D'où l'émergence du *thème émergent* SED...

1.3 Thèmes de recherche

Le thème général de nos activités concerne l'étude des systèmes à événements discrets. De tels systèmes peuvent se définir de façon négative par opposition aux systèmes classiques étudiés par la théorie du contrôle et dont l'évolution est continue et décrite par des équations différentielles. 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, 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 l'introduction d'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.

1.4 Résultats obtenus

Voici un descriptif de plusieurs problèmes de recherche abordés par les chercheurs du thème.

1.4.1 Applications max-plus et applications topicales

Modèles d'empilement de pièces

Les modèles d'empilement de pièces forment un exemple simple mais riche de systèmes tâches-ressources. Ces modèles sont constitués par un ensemble fini de pièces de forme polyominales. Les pièces sont soumises à la gravité et s'empilent suivant le principe du jeu de TETRIS, voir

la figure ci-dessous. Chaque colonne, ou slot, doit être interprétée comme une ressource et les pièces correspondent à des tâches, chaque tâche réquisitionnant un sous-ensemble des ressources pendant une durée déterminée pour être exécutée. La hauteur d'un empilement correspond alors à la durée totale d'exécution des tâches qui le constitue.

Figure 1: Modèle d'empilements de pièces.

Rappelons qu'une application max-plus linéaire est une application $f : \mathbb{R}^k \rightarrow \mathbb{R}^k$ de la forme $f(x)_i = \max_j [a_{ij} + x_j]$ où $(a_{i,j})_{i,j}$ est une famille d'éléments de $\mathbb{R} \cup \{-\infty\}$ telle que $\forall i, \exists j, a_{i,j} \in \mathbb{R}$.

La dynamique des modèles d'empilement de pièces peut se représenter à l'aide d'un système itéré de fonctions max-plus linéaires d'une forme particulière. À chaque pièce correspond une application max-plus, et la hauteur d'un empilement est obtenue en composant les applications correspondantes.

J. Mairesse a montré avec L. Vuillon que dans le cas d'un modèle constitué de deux pièces de forme quelconque, les empilements les plus denses sont obtenus en alternant les pièces suivant une suite sturmienne [24].

Avec Thierry Bousch (Labo. Math., Orsay), J. Mairesse a obtenu une preuve totalement différente et plus générique de ce résultat [3]. Un problème d'algèbre linéaire relié à ce résultat (bien que le lien soit loin d'être immédiat) est le suivant. Etant donné un ensemble fini \mathcal{A} de matrices carrées à coefficients réels, on définit le *rayon spectral joint* comme suit

$$\rho(\mathcal{A}) = \limsup_n (\max(\rho(\text{produits de } n \text{ matrices})^{1/n}),$$

où $\rho(\cdot)$ est le rayon spectral de la matrice. Cette notion introduite par Rota et Strang dans les années 60, s'avère particulièrement pertinente dans de nombreux domaines tels que l'automatique ou la construction de fonctions d'échelle pour les ondelettes. Il a été conjecturé au début des années 90 par Lagarias et Wang, ainsi que par Gurvits, que le rayon spectral joint était atteint, c'est-à-dire qu'il existe toujours un produit fini $A_{i_1} \cdots A_{i_k}$ de matrices de \mathcal{A} tel que $\rho(\mathcal{A}) = \rho(A_{i_1} \cdots A_{i_k})^{1/k}$. Cette conjecture, connue sous le nom de *conjecture de finitude*, a été activement étudiée ces dernières années (un 'survey' écrit en 2001 par Gil Strang sur le sujet contient une bibliographie de 125 références). Dans [3], T. Bousch et J. Mairesse démontrent que la conjecture est fautive. Un contre-exemple constitué de deux matrices positives de dimension 2 est proposé. L'une des deux matrices dépend d'un paramètre et pour certaines valeurs du paramètre, le rayon spectral joint n'est atteint que pour les produits infinis donnés par une suite sturmienne à paramètre irrationnel. Ce contre-exemple est obtenu comme une 'déformation' d'un modèle de Tetris à deux pièces.

Fonctions topicales à portée finie et fonctions uniformément topicales

Une *application topicale* est une application f de \mathbb{R}^k dans \mathbb{R}^k croissante (pour l'ordre partiel de \mathbb{R}^k) et vérifiant $f(x + (\lambda, \dots, \lambda)) = f(x) + (\lambda, \dots, \lambda)$ (homogénéité additive). Une application max-plus est un exemple d'application topicale. Considérer des applications topicales est naturel dans le contexte de l'étude des SED. En effet, la croissance correspond à supposer que retarder les instants de début d'exécution des tâches retarde également les instants de fin d'exécution. Quant à l'homogénéité additive, elle correspond à l'invariance de la dynamique par translation dans le temps.

T. Bousch et J. Mairesse introduisent une sous-classe remarquable de la classe des fonctions topicales, celle des fonctions *uniformément topicales*, dont ils étudient les propriétés dynamiques. Toute fonction de \mathbb{R}^k dans \mathbb{R}^k uniformément topicale admet un vecteur spectral, interprétable en termes de points fixes (éventuellement à l'infini), et pour lequel on établit diverses propriétés. Dans le cas stochastique, ils démontrent un théorème ergodique multiplicatif, affirmant l'existence du vecteur spectral stochastique dans tous les cas. 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. Ces résultats sont exposés dans [4].

1.4.2 Automates à multiplicités et séries

Déterminisation des automates max-plus

De nombreuses extensions existent à la notion classique d'automates. Dans tous les champs d'application de la théorie des automates, l'étude de ces extensions est motivée par la volonté d'enrichir ce modèle afin de mieux approcher le comportement réel des systèmes modélisés.

On cherche à mener une étude systématique d'une extension particulière: les automates à multiplicités sur le semi-anneau max-plus, c'est-à-dire $\mathbb{R}_{\max} = (\mathbb{R} \cup \{-\infty\}, \max, +)$. La motivation première est la pertinence de cet objet pour la modélisation des SED. Par exemple, un modèle d'empilement de pièces (voir ci-dessus) est un cas particulier d'automate max-plus. Observons qu'au delà des applications à la modélisation des SED, les automates max-plus apparaissent dans le contexte de la reconnaissance automatique de la parole (e.g. M. Mohri, *Comput. Linguist.*, vol. 23, n.2, p. 269-311, 1997). Il s'agit d'un modèle d'automate à deux bandes: une bande d'entrée étiquetée par un alphabet fini A , et une bande de sortie valuée dans le semi-anneau \mathbb{R}_{\max} . Le poids d'un mot de A^* est le maximum sur tous les chemins réussis de la somme des poids le long du chemin. Un tel automate définit une série rationnelle sur le semi-anneau \mathbb{R}_{\max} (théorème de Kleene-Schützenberger). Deux automates sont *équivalents* s'ils définissent la même série, c'est-à-dire s'ils ont le même comportement d'entrée-sortie. L'équivalence de deux automates max-plus est un problème indécidable (D. Kroh, *Int. J. Algebra Comput.*, vol. 4, n. 3, p. 405-425, 1994). En revanche, ce même problème devient décidable pour la sous-classe des automates finiment ambiguës.

J. Mairesse, S. Lombardy, I. Klimann et C. Prieur se sont intéressés à une autre question fondamentale : la *séquentialité* des automates max-plus. Plus précisément, étant donné un automate max-plus, existe-t-il un automate déterministe en entrée et reconnaissant la même série. Cette question est naturelle en vue de la modélisation des SED, en effet dans le cas séquentiel, on peut optimiser ou calculer le comportement moyen de l'automate, et donc du système modélisé. S'intéresser à cette question amène à étudier la hiérarchie des séries en ces sous-classes : infiniment ambigu, finiment ambigu, non ambigu, et enfin séquentiel. Le principal

résultat démontré est le suivant : étant donné un automate finiment ambigu, l'appartenance de la série sous-jacente à la classe *non ambigu*, ainsi que son appartenance à la classe *séquentiel*, sont des problèmes décidables. En revanche, étant donné un automate infiniment ambigu, le problème de l'appartenance de la série à la classe *finiment ambigu* est ouvert. Ainsi le problème de la séquentialité pour un automate max-plus général est également ouvert. Ce travail a été accepté à DLT'03 [20].

(A, B) -invariance

Ines Klimann a travaillé pendant sa thèse (soutenue fin juin 1999) sur un problème lié à l'automatique dit (A, B) -invariance. Il s'agit de contrôler des systèmes grâce à des méthodes de rétroaction. Les automaticiens s'intéressent depuis longtemps à ces problèmes, sur lesquels ils ont des résultats quand ils considèrent des variables dans des anneaux, mais les mêmes questions se posent avec des variables dans des semi-anneaux idempotents en particulier les semi-anneaux de type $(\mathbb{R}, \max, +)$. Ines Klimann a pu étendre les résultats au semi-anneau booléen (c'est-à-dire en considérant des langages) et les étendre partiellement au semi-anneau $(\mathbb{N}, \min, +)$ (en considérant des séries à coefficients dans $(\mathbb{N}, \min, +)$).

Ines Klimann a travaillé, à la suite de son étude sur l' (A, B) -invariance étendue aux séries, sur la représentation de séries à coefficients dans des semi-anneaux idempotents. En effet, pour résoudre le premier problème, elle avait été amenée à introduire une nouvelle notion de représentabilité pour les séries. Elle s'est donc attachée à comparer cette notion avec celles existantes : la notion classique de régularité et la notion de représentabilité introduite par Jean-Eric Pin et Jacques Sakarovitch.

Ces travaux ont fait l'objet de plusieurs publications dans [16, 18, 17, 19].

Monoïdes de trace

Un monoïde de trace, ou monoïde partiellement commutatif libre, est une généralisation naturelle du monoïde libre et du monoïde commutatif libre. Dans un monoïde de trace, certaines lettres commutent et d'autres non. Les monoïdes de traces interviennent naturellement pour modéliser le parallélisme dans les systèmes à événements discrets. Chaque lettre correspond à une tâche et deux lettres commutent si les tâches correspondantes peuvent être exécutées en parallèle. Un monoïde de trace peut être visualisé à l'aide d'un modèle d'empilement de pièces ayant la particularité que toutes les pièces sont rectangulaires et de hauteur un (Viennot, Lect. Notes in Math. 1234, p. 321-350, Springer, 1986).

La *longueur* d'une trace est la longueur (nombre de lettres) d'un quelconque de ses représentants. La *hauteur* d'une trace est la hauteur de l'empilement associé. Dans le contexte des SED, la longueur correspond au temps d'exécution séquentiel d'une suite de tâches, et la hauteur au temps d'exécution parallèle. Le ratio longueur/hauteur a été étudié sous le nom de *speedup* (Cérin et Petit, LNCS 711, p. 332-341, Springer, 1993). La *hauteur moyenne* (si elle existe) est la limite de $n^{-1}E[h(t_n)]$ où t_n est une trace de longueur n , où $h(\cdot)$ est la fonction hauteur et où $E[\cdot]$ est l'espérance par rapport à une certaine distribution sur les traces de longueur n .

Jean Mairesse, Daniel Krob et Ioannis Michos, ont montré que pour la distribution uniforme sur les traces de même longueur, la hauteur moyenne existe et est un nombre algébrique [21, 22]. Pour ce faire, on montre que la série génératrice bivariée de la hauteur et de la longueur est rationnelle et explicitement calculable.

Groupes de trace

En introduisant un inverse pour chacun des générateurs, on associe de façon naturelle un groupe de traces à un monoïde de traces. Les éléments du groupe de traces peuvent être visualisés à l'aide d'empilements colorés. Les groupes de traces apparaissent dans divers contextes. En particulier, ils permettent d'approximer les groupes de tresses (A. Vershik, S. Nechaev et R. Bikbov, *Commun. Math. Phys.*, vol. 212, n. 2, p. 469-501, 2000). J. Mairesse et A. Bouillard ont obtenu un analogue pour le groupe de traces de la formule d'inversion de Möbius pour le monoïde de trace (Cartier et Foata, *Lect. Notes in Math.* 85, Springer, 1969). Cela fournit une formule combinatoire simple permettant de dénombrer selon leur longueur les éléments d'un groupe de traces. Cette formule peut ensuite être utilisée pour généraliser les résultats cités plus haut et relatifs à la hauteur moyenne. Ces résultats sont à paraître dans [2].

1.4.3 Files d'attente markoviennes

Période d'activité et chemins de Dyck

On considère la file $M/M/1/\infty$. Précisons la signification des 4 symboles dans $M/M/1/\infty$. Le système est constitué d'un unique serveur (1) muni d'une salle d'attente infinie (∞), les clients étant servis dans l'ordre de leur arrivée (Premier Arrivé Premier Servi). Le processus d'arrivée des clients est un processus de Poisson (M pour 'Memoryless' !) et les services sont i.i.d. de loi exponentielle (M pour 'Memoryless' !). Dans [8], 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. En effet, en définissant une famille $(P_n)_{n \in \mathbb{Z}}$ de polynômes codant les statistiques de ces chemins, ils montrent que si la période d'activité comporte $n + 1$ clients alors la densité conditionnelle du vecteur (s_0, \dots, s_n) est donnée par :

$$D(y_0, \dots, y_n) = \frac{(\lambda + \mu)^{2n+1}}{C_n} \exp\{-(\lambda + \mu)(y_0 + \dots + y_{n-1})\} P_n(y_0, \dots, y_{n-1}) e^{-(\lambda + \mu)y_n} .$$

où λ est l'intensité des arrivées, où μ est le paramètre des durées exponentielles de servive et où C_n est le n -ième nombre de Catalan. Une conséquence est que le processus ponctuel des débuts de service, pour la file à l'équilibre, n'est pas un processus de Poisson, contrairement à celui des fins de services (processus des départs) qui est Poisson d'après le Théorème de Burke.

Théorème de Burke et algorithme RSK

Soit la file d'attente simple $M/M/1/\infty$ ou $\text{Geom}/\text{Geom}/1/\infty$. On note \mathcal{A} le processus ponctuel des instants d'arrivées et s la suite des durées (aléatoires) de service des clients. On suppose que la condition de stabilité est vérifiée et que le système est à l'équilibre. On définit \mathcal{D} le processus ponctuel des instants de départ à l'équilibre et on définit r le temps passé par un client en fin de file. En fait, cette variable r s'interprète plus naturellement dans le contexte d'un *modèle de stock* opérant en temps discret : il s'agit des quantités de produits fournies par le stock aux instants successifs. En collaboration avec N. O'Connell (Warwick University), M. Draief et J. Mairesse proposent une étude systématique des liens entre la file d'attente simple et le modèle de stock [9]. Ils démontrent dans un premier temps que le couple (\mathcal{D}, r) a la même loi que le couple (\mathcal{A}, s) . Ceci fournit une extension au classique théorème de Burke, 1956. Une deuxième facette de la dualité entre les files d'attente et les modèles de stock apparaît lors de

l'étude du régime transient d'un modèle de files (resp. de stocks) en tandem (on suppose ici que les services et inter-arrivées sont à valeurs entières, mais sans autre restriction quant à leur loi). On considère un nombre fini de clients traversant un nombre fini de files (resp. un nombre fini de stocks) opérant pendant un nombre fini d'instants). Soit $(u(i, j))_{i, j}$ la matrice correspondante ($u(i, j)$ est le service du client i à la file j pour le modèle de files en tandem). On applique l'algorithme de Robinson-Schensted-Knuth (RSK) à cette matrice. Soit P le tableau de Young semi-standard résultant. Si D est l'instant de départ du dernier client de la dernière file et R est la quantité totale de produit fournie par le dernier stock jusqu'au dernier instant, alors il existe des familles de chemins Π et $\tilde{\Pi}$ telles que

$$\lambda_1 = D = \max_{\pi \in \Pi} \sum_{(i, j) \in \pi} u(i, j), \quad \lambda_K = R = \min_{\pi \in \tilde{\Pi}} \sum_{(i, j) \in \pi} u(i, j),$$

où λ_1 est la longueur de la plus longue ligne de P et λ_K est la longueur de la plus courte.

1.4.4 Réseaux de files d'attente et réseaux de Petri généraux

Files d'attente en tandem

Soit une infinité de files d'attente en tandem, les files étant identiques, de type $\cdot/GI/1/\infty/FIFO$ avec des lois de temps de service quelconques. On s'intéresse à la convergence du processus des inter-départs. Des résultats au premier ordre de type loi forte des grands nombres ont été obtenus par J. Mairesse, A. Borovkov (Univ. Novossibirsk), et F. Baccelli (Inria, ENS) [1]. Ces résultats ont été étendus par J. Martin au cas de files d'attente avec blocage (J. Martin, *Queueing Syst.*, vol. 41, n. 1-2, p. 45-72, 2002). J. Mairesse et B. Prabhakar (Stanford Univ.) se sont intéressés au problème de l'existence de points fixes, c'est-à-dire à l'existence de processus d'arrivées tels que le processus des départs soit identique en loi. Les résultats obtenus sont à paraître [23].

Percolation orientée

J. Martin travaille sur les liens entre percolation dirigée, modèles de croissance, réseaux max-plus et systèmes de particules en interaction.

Les *réseaux max-plus* sont des réseaux avec synchronisation dont la dynamique peut se représenter à l'aide de récurrences sur le semi-anneau max-plus. Un exemple simple est le réseau infini de files d'attente en tandem décrit ci-dessus. Ce modèle correspond aussi à certains systèmes *totalemt asymétriques* de la théorie des systèmes de particules en interaction. Ces réseaux peuvent être représentés par certains problèmes de *percolation orientée* (chemins de poids maximal dans l'orthant \mathbb{Z}_+^d avec des poids aléatoires sur les sommets, voir aussi le paragraphe *Théorème de Burke et algorithme RSK* ci-dessus). Des tels réseaux peuvent enfin être représentés par certains *modèles de croissance* (partie du quadrant croissant aléatoirement sous l'effet d'interactions locales à la frontière). Il s'agit d'un domaine de recherche qui est à l'intersection entre les mathématiques, l'informatique et la physique.

Dans l'article [26], J. Martin a étudié une "fonction de croissance" qui détermine, par exemple, la forme asymptotique pour un modèle de croissance dans l'orthant \mathbb{R}_+^d . Il a résolu une ancienne conjecture en démontrant la continuité de cette fonction à la frontière de l'orthant.

Grandes déviations

On considère une file d'attente de type $GI/GI/1/\infty$. Dans [7], M. Draief montre qu'étant donnée une suite $(s_n)_n$ de services vérifiant un *principe de grandes déviations* avec la fonctionnelle d'action Λ_S^* , c'est à dire que pour tout borélien $A \subset \mathbb{R}$

$$-\inf_{x \in A} \Lambda_S^*(x) \leq \liminf_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \log(P(\sum_{k=0}^n s_k \in A)) \leq \limsup_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \log(P(\sum_{k=0}^n s_k \in A)) \leq -\inf_{x \in \bar{A}} \Lambda_S^*(x),$$

alors il existe une classe de fonctionnelles d'action Λ_A^* associée à la suite des inter-arrivées telle que les suites $(d_n)_{n \in \mathbb{Z}}$ d'inter-départs et $(r_n)_{n \in \mathbb{Z}}$, la suite des temps passés par les clients en fin de file, vérifient des principes de grandes déviations avec les fonctionnelles d'action $\Lambda_D^* = \Lambda_A^*$ et $\Lambda_R^* = \Lambda_S^*$. Ces résultats complètent ceux démontrés dans [23] (voir plus haut).

Réseaux de Petri à choix libres

En présence d'un réseau stochastique, la question première est celle de la stabilité : quelles sont les conditions sur les paramètres pour que le réseau admette un fonctionnement stationnaire. Les réseaux de Petri temporisés permettent de modéliser une large classe de systèmes à événements discrets. Les réseaux de Petri 1-bornés constituent une classe bien comprise. On essaie d'étendre notre compréhension aux réseaux à choix libres vivants bornés.

Dans ce cadre général, des travaux ont été effectués par Jean Mairesse en collaboration avec Bruno Gaujal (INRIA, ENS Lyon) et Stefan Haar (IRISA). Dans un réseau de Petri à choix libre vivant et borné, sélectionnons une transition non-conflictuelle. Alors on montre qu'il existe un unique marquage atteignable dans lequel la transition sélectionnée est la seule à être habilitée. Dans le cas d'un réseau à choix libre routé, vivant et borné, la propriété est vérifiée pour toute transition du réseau. 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 des résultats connus pour la classe des réseaux de Jackson. Ces résultats sont parus dans [12].

1.4.5 Autres modèles

“Broadcasting” sur un arbre

Dans le modèle de “broadcasting sur un arbre”, chaque arête de l'arbre représente un canal d'information, qui propage (éventuellement avec modification) une valeur émise originellement de la racine. Des motivations pour ce modèle existent aussi bien en informatique, qu'en génétique ou en physique statistique. On dit que *la reconstruction est possible* si les valeurs aux sites à une distance d de la racine donnent une information sur la valeur à la racine qui ne disparaît pas lorsque $d \rightarrow \infty$.

Dans l'article [28], J. Martin donne des conditions nouvelles sous lesquelles la reconstruction est impossible, pour le cas d'un arbre régulier et d'un canal binaire. Les résultats donnent également de l'information sur certains modèles de la physique statistique, tels que le modèle d'Ising ou le modèle d'interaction “hard-core” sur un arbre, en localisant une certaine *transition de phase*.

Allocation de ressources dans les réseaux WDM

Un travail de J. Martin porte sur le routage et l'allocation de longueurs d'onde dans les réseaux tout-optiques. Dans [25] et [27], il quantifie les améliorations de qualité de service offertes par l'introduction de certaines formes de *reconfigurabilité* dans un tel réseau. Ce travail représente l'étape finale d'une collaboration avec les laboratoires Marconi à Cambridge.

Équations Récurrentes Uniformes

Avec B. Gaujal (INRIA, ENS Lyon), J. Mairesse démontre qu'un graphe périodique bi-infini et causal admet un flot maximal périodique et une coupe minimale consécutive [14]. En considérant un tel graphe comme le dépliage des dépendances dans un circuit digital, on montre également comment cela peut être utilisé pour minimiser le nombre de registres en conception de circuits. Ces résultats étendent ceux obtenus dans [13].

1.5 Projets de recherche

Un des thèmes centraux de l'étude des SED est la représentation de leur dynamique comme la composition d'opérateurs. L'approche algébrique consiste à se centrer sur ces opérateurs, leurs propriétés et leur pouvoir de modélisation. Ceci entraîne de façon naturelle un travail de classification des SED en fonction des caractéristiques des opérateurs qui les décrivent. Cet objectif a été mené à bien pour les classes les plus simples d'opérateurs. Pour les classes d'opérateurs plus générales, il s'agit d'un projet d'envergure largement ouvert.

En parallèle avec cet effort de classification et de modélisation, l'objectif est bien sûr de savoir analyser les SED, et donc les opérateurs les représentant. Pour les opérateurs déterministes, les problèmes centraux sont le comportement asymptotique des itérés et leur comportement spectral. Dans le cas des opérateurs aléatoires, on s'intéresse à des problèmes de stabilité (existence et unicité de régimes stationnaires, convergence vers ces régimes) et de calcul du comportement asymptotique (calcul exact, bornes, grandes déviations). Des progrès importants ont été faits dans ce domaine, voir le paragraphe *Fonctions topicales à portée finie et fonctions uniformément topicales*. De nombreuses questions restent néanmoins en suspens.

Dernier problème générique important, celui de l'optimisation des SED. Voici un contexte possible où le problème est bien posé. Soit un système itéré de fonctions topicales, c'est-à-dire une famille finie $(U_i)_{i \in I}$ d'applications définies sur le même espace et que l'on va composer entre-elles. Le choix de la fonction U_i peut être vu comme un contrôle et l'objectif est alors de choisir la suite des contrôles de façon à optimiser un critère. Au niveau du SED, ce critère est en général le débit du système ou le temps de réponse. Un autre contexte d'optimisation est décrit ci-dessous (*Stabilité des réseaux de Petri stochastiques*).

Un autre domaine d'étude concerne le lien entre les modèles décrits précédemment et ceux de la théorie des jeux et des processus de décisions markoviens. Parmi les points communs, mentionnons l'utilisation d'opérateurs monotones-homogènes, ainsi que les techniques de point fixe. Comprendre les relations entre ces deux domaines, et déterminer ce qu'ils peuvent s'apporter mutuellement, est un travail stimulant pour les années à venir. On peut mentionner ici un problème ouvert intrigant, qui intéresse également les participants au projet Games du LIAFA (voir par ailleurs) : quelle est la complexité du calcul du vecteur spectral d'une application min-max-plus, ou encore de façon équivalente du calcul de la fonction valeur pour le gain moyen dans un jeu à deux joueurs à somme nulle et en horizon infini.

On a décrit ci-dessus, au paragraphe *Percolation orientée*, les liens entre les réseaux max-plus, certains modèles de percolation, ou encore des modèles de croissance. Des connections profondes et fascinantes ont été trouvées récemment entre ces modèles, la théorie des matrices aléatoires, et certains systèmes de particules. Ceci a entraîné une explosion de recherches embrassant les mathématiques, l'informatique et la physique. Par exemple, pour certaines distributions des poids, le modèle de percolation se résout exactement et la distribution limite des temps de passage renormalisés a la même distribution que le rayon spectral d'une grande matrice GUE aléatoire. Un projet global, de long terme, et que nous partageons avec de nombreux chercheurs, est de comprendre plus profondément ces connections émergentes, en utilisant en particulier notre expertise sur les modèles de files d'attente.

Les points esquissés ci-dessus constituent autant d'axes de recherche à long terme. Mentionnons maintenant divers problèmes concrets qui constituent autant d'objectifs de recherche à moyen (ou court) terme.

Percolation orientée

Un objectif de recherche de J. Martin est d'établir des propriétés d'*universalité* dans le contexte de la percolation et des modèles de croissance. Les résultats les plus complets ne s'obtiennent que dans le cas où les poids ont une distribution géométrique ou exponentielle. On voudrait montrer des résultats aussi forts que possible sous des conditions beaucoup plus faibles sur la distributions des poids. Les résultats contenus dans l'article récent [26] constituent un pas dans cette direction. J. Martin démontre en effet que la forme limite au voisinage de la frontière du quadrant ne dépend essentiellement que de la moyenne et de la variance de la distribution. Un objectif raisonnable et de moyen terme, serait d'établir l'existence d'un petit nombre de *paramètres caractéristiques* influant sur le comportement des fluctuations autour de la forme asymptotique.

Un autre objectif est d'analyser différents modèles de percolation ayant une application en téléphonie mobile. Ainsi, un modèle de percolation continue a été récemment proposé pour modéliser la phase d'initialisation dans les protocoles de réseaux mobiles ad-hoc tels AODV. L'étude de la fiabilité de ces protocoles dépend de l'établissement de lois limites pour les modèles de percolation.

Dans un travail en cours et en commun entre J. Martin et Thierry Bodineau (Équipe de Probabilités, Paris 7), sont examinées les fluctuations du temps de passage pour un modèle de percolation dirigée en deux dimensions, surtout au voisinage de la frontière.

Un dernier sujet de recherche actuel dans ce domaine est l'étude de systèmes de récurrences associés au modèle de percolation dirigée en deux dimensions, dans un cas "sans conditions de frontière", et ses liens avec la construction de systèmes de particules en interaction "non-Markoviens".

Marches aléatoires sur les groupes finiment engendrés

Une collaboration en cours entre J. Mairesse et F. Mathéus (Univ. Bretagne-Sud) concerne le comportement asymptotique de marches aléatoires simples (i.e. au plus proche voisin, et symétrique) sur les groupes finiment engendrés. On s'intéresse en particulier au problème du calcul effectif de la vitesse de fuite vers l'infini. Dans le cas des produits libres de groupes finis, une autre question plus précise est de déterminer des conditions sous lesquelles la mesure

harmonique (qui indique en quelque sorte la direction prise par la marche dans sa fuite vers l'infini) est markovienne. Un premier travail, en cours de rédaction, a consisté à s'intéresser au cas du produit libre $\mathbb{Z}/k\mathbb{Z} \star \mathbb{Z}/k\mathbb{Z}$ de deux groupes cycliques. Ce cas est entièrement résoluble. La mesure harmonique est markovienne et explicitement calculable. En dehors du cas bien connu du groupe libre, il s'agit a priori de la première fois qu'est exhibée une mesure harmonique markovienne. On sait également traiter le cas des groupes d'Artin à deux générateurs, en se ramenant à celui de $\mathbb{Z}/k\mathbb{Z} \star \mathbb{Z}/k\mathbb{Z}$.

Parmi les objectifs de long terme, on souhaite pouvoir utiliser ces outils pour mieux comprendre le cas difficile des marches aléatoires sur les groupes de tresses et les groupes de traces (voir plus haut).

Rayon spectral joint

Le contexte est celui décrit plus haut au paragraphe *Modèles d'empilement de pièces*. Malgré ou en raison de l'existence d'un contre-exemple à la conjecture de finitude, de nombreuses questions demeurent. Par exemple: est-il possible de trouver des contre-exemples plus 'effectifs' à la conjecture ? Étant donné un ensemble fini de matrices sait-on décider si on est en présence d'un contre-exemple ? Sait-on caractériser les mesures susceptibles d'être des mesures maximisantes, outre les mesures périodiques et les mesures sturmiennes ? Mentionnons enfin un problème ouvert qui intrigue les automaticiens : la propriété 'le rayon spectral joint est < 1 ' est-elle décidable ? (On suppose ici que les matrices sont à coefficients rationnels). La conjecture de finitude, si elle avait été vraie, aurait entraîné la décidabilité.

Détermination des automates max-plus

L'objectif des auteurs de [20] est de poursuivre le travail et d'étendre les résultats obtenus dans [20] et décrits plus haut. En effet, dans le cas infiniment ambigu, la décidabilité de la séquentialité, et à fortiori la séquentialisation effective, sont des problèmes ouverts auxquels on souhaite s'attaquer.

Stabilité des réseaux de Petri stochastiques

A. Bouillard travaille sur des extensions des travaux décrits au paragraphe *Réseaux de Petri à choix libres*. Dans un réseau de Petri à choix libre vivant et borné, l'objectif est maintenant de déterminer les routages optimaux. Le routage consiste pour chaque place où il y a conflit à choisir la transition qui devra être franchie. On s'intéresse aussi aux routages les pires, qui donnent ainsi une idée de la performance minimale du réseau. Un autre axe de recherche serait de généraliser ces résultats aux réseaux de Petri généraux. Il faut alors trouver une autre sémantique de résolution des conflits, qui ne fasse pas apparaître de blocage, et qui permette une analyse fine afin d'optimiser la dynamique des réseaux, et ce sous les hypothèses les plus générales possibles sur les temporisations.

1.6 Coopérations scientifiques

Les efforts de recherche du laboratoire s'appuient sur plusieurs projets de recherche consacrés entièrement ou en partie à l'étude des systèmes à événements discrets.

1.6.1 Projet MathSTIC Optimisation et théorèmes ergodiques pour les SED

Le projet MathSTIC *Optimisation et théorèmes ergodiques pour les SED* a été monté par J. Mairesse et T. Bousch (Labo. Math., Univ. Orsay). Il est constitué de 5 équipes (3 en mathématiques et 2 en informatique) : LIAFA (Paris 7), Laboratoire de Topologie et Dynamique (Orsay), Probabilités et Modèles Aléatoires (Paris 6), Institut de Recherche Mathématique de Rennes, LABRI (Bordeaux). Ce projet a débuté en septembre 2001 et a été renouvelé jusqu'à fin 2003.

Voici un extrait de la 'profession de foi' du projet : "Le cadre général du projet proposé se situe dans le domaine de l'analyse asymptotique et de l'optimisation de systèmes, éventuellement aléatoires. Sa problématique se situe à l'intersection entre informatique théorique et mathématique. Les motivations sont à la fois internes aux mathématiques (par exemple, obtenir des analogues des théorèmes ergodiques multiplicatifs classiques) et rattachées à des questions 'pratiques' propres à l'informatique ou à l'automatique (par exemple, comment évaluer le parallélisme dans un système concurrent, ou comment optimiser le débit dans un système de production). Les outils à mettre en oeuvre pour la résolution empruntent également aux deux communautés : systèmes dynamiques, théorie ergodique, mais aussi automates et langages formels. L'objectif du projet est de favoriser les fertilisations croisées entre mathématiciens et informaticiens dans ce domaine."

Les trois actions principales menées dans le cadre du projet MathSTIC ont été :

- 13-12-2001 et 14-12-2001 : participation à l'organisation des journées *Mesures de Gibbs à $T=0$ et mesures maximisantes* à Orléans. Orateurs: T. Roblin (Paris 6), Y. Coudène (ENS Ulm), B. Schapira (Orléans), J.-P. Conze (Rennes), J. Brémont (Rennes), J. Mairesse (Paris 7), T. Bousch (Orsay), N. Anantharam (ENS Lyon);
- 15-04-2002 : organisation d'une journée *Théorèmes ergodiques multiplicatifs* à Chevaleret. Orateurs: T. Bousch (Orsay), S. Brofferio (Paris 6), B. Gaujal (ENS Lyon), F. Ladrappier (Paris 6), N. O'Connell (ENS, Warwick);
- 26-02-2003 : organisation d'une journée thématique à l'IHP. Orateurs: T. Bousch (Orsay), F. Baccelli (ENS), S. Sorin (Paris 6), F. Mathéus (U. Bretagne-Sud), M. Jurdzinski (Varsovie).

Une page web relative au projet a été mise en place. On y retrouve toutes les informations sur les activités du projet. Son adresse :

<http://www.liafa.jussieu.fr/~mairesse/Mathstic>

1.6.2 AS Systèmes dynamiques et modélisation en algorithmique

L'AS (Action Spécifique) CNRS/STIC numéro 80 *Systèmes dynamiques et modélisation en algorithmique* a été montée par Brigitte Vallée (GREYC, Caen), Christiane Frougny (LIAFA, Paris 8) et Jean Mairesse. Elle a débuté en septembre 2002 et doit durer jusqu'à fin 2003. L'AS est un moyen de réunir les différentes équipes d'informaticiens qui utilisent la notion de système dynamique. Cette notion est souvent utilisée de manière très diverse, et les échanges et réunions liés à l'AS permettront chacun de comprendre ce que font les autres et de lancer des collaborations.

Les thèmes scientifiques sont les suivants : 1. Modélisation et analyse en moyenne des algorithmes par des systèmes dynamiques; 2. Dynamique discrète : aspects logiques et structurels;

3. Dynamique temporelle et probabiliste. Le point qui intéresse le plus directement les membres de SED est le troisième.

Les principales actions menées dans le cadre de l'AS ont été :

- Première édition des Journées de l'AS à l'ENST le 28/29 novembre 2002. Orateurs: Francois Baccelli (LIENS, Paris), Marie-Pierre Béal (IGM, Marne-la-Vallée), Christiane Frougny (LIAFA, Paris), Jean Mairesse (LIAFA, Paris), Michel Morvan (LIP, Lyon), Jacques Sakarovitch (ENST, Paris), Brigitte Vallée (Greyc, Caen).
- Seconde édition des Journées de l'AS à l'ENS le 19 mai 2003. Orateurs: Martine Quéffelec (Lille), Thierry Bousch (Orsay), Jean-Marc Gambaudo (Dijon), Serge Troubetzkoy (Marseille), Enrico Formenti (Marseille).

Une page web relative au projet a été mise en place par B. Daireaux. On y retrouve toutes les informations sur l'AS. Son adresse :

<http://users.info.unicaen.fr/~daireaux/SITEACTSPECIFIQUE/page2.html>

1.6.3 Projet ACI Nouvelles Interfaces des Mathématiques

Le groupe SED est partie prenante du projet *2003-129: Graphes, Algorithmes et Probabilités* monté dans le cadre de l'ACI Nouvelles Interfaces des Mathématiques et dont le coordinateur est Stéphane Boucheron (LRI, Orsay). Ce projet doit débuter en septembre 2003 pour une durée de 2 ans.

1.6.4 Autres collaborations

Des collaborations régulières existent avec les laboratoires ou universités suivantes :

- En France : Projet TREC à l'ENS (F. Baccelli, D. Hong); Projet Trio à l'ENS Lyon (B. Gaujal); Laboratoire de Topologie et Dynamique, Orsay (T. Bousch); ENST (J. Sakarovitch); Univ. de Bretagne-Sud à Vannes (F. Mathéus); France Telecom R/D (J. Roberts, T. Bonald).
- À l'étranger : Herriot-Watt University (S. Foss); Statistical Laboratory, Cambridge Univ.; Marconi Research Laboratories; Microsoft Cambridge Lab (L. Massoulié); Univ. de Louvain-la-Neuve (V. Blondel); Univ. de Palerme (S.Mantaci); Warwick University (N. O'Connell); Stanford University (B. Prabhakar).

1.7 Visiteurs reçus

- octobre 2000 : visite de Balaji Prabhakar (Univ. de Stanford, USA).
- juin 2002 : visite de Vincent Blondel (Univ de Louvain-la-Neuve, Belgique).

1.8 Diffusion de l'information scientifique

J. Mairesse est membre du comité de pilotage du *Réseau Thématique Pluridisciplinaire : Mathématique de l'Informatique* du CNRS, membre du Comité Scientifique des Journées Doctorales d'Automatique (GdR Automatique). Il est évaluateur pour 'Mathematical Reviews'. Il a conçu et corrigé plusieurs sujets du concours d'entrée aux Écoles Normales Supérieures : sujet d'Informatique 1999 sur les automates cellulaires avec B. Durand [10], sujet d'Informatique 2000 sur les transducteurs avec J. Cassaigne [5], sujet de Mathématique-Informatique 2002 sur les carrés latins avec A. Darté [6], sujet de Mathématique-Informatique 2003 sur les tableaux de Young avec J. Goubault-Larrecq [15].

I. Klimann est interrogatrice d'oral de Mathématiques au concours d'entrée à l'École de l'Air (Salon de Provence) depuis 2002. J. Mairesse est interrogateur d'oral (épreuve des TIPE d'Informatique) au concours d'entrée des ENS Ulm, Lyon et Cachan pour les années 2002 et 2003.

1.8.1 Groupe de travail

Un groupe de travail interne au LIAFA et organisé par le thème SED s'est tenu en 2003. L'objectif était de présenter des exposés de synthèse sur les modèles de base des SED. Les exposés ont portés entre autres sur les sujets suivants : Moez Draief : La file M/M/1; Jean Mairesse : Le monoïde de traces; James Martin : Percolation, modèles de croissance et files en tandem; Sylvain Lombardy : Théorie spectrale (max,+).

1.8.2 Numéro spécial TCS

La 26-ième édition de l'École de Printemps d'Informatique Théorique a été organisée autour du thème "*l'Algèbre Max-Plus et ses applications en informatique et en automatique*". L'école s'est déroulée du 4 au 7 mai 1998 à Noirmoutier.

Suite au succès de cette école de printemps, les éditeurs de la revue internationale *Theoretical Computer Science* (TCS), nous ont suggéré de préparer un numéro spécial de TCS sur les algèbres Max-Plus. Ce numéro est paru en 2003 [11]. Les membres du comité de rédaction de ce numéro spécial sont : Stéphane Gaubert, Jean-Jacques Loiseau, Jean Mairesse et Jean-Eric Pin. Voici la liste des 11 articles publiés dans ce numéro spécial :

P. Butkovic and R. Cuninghame-Green, The equation $Ax = By$ over $(\mathbb{R}, \max, +)$.

Subiono and J. van der Woude, Conditions for the structural existence of an eigenvalue of a bipartite (min, max, +)-system

P. Bernhard, Minimax, or feared value, L_1, L_∞ control

K. Zimmermann, Disjunctive optimization, Max-Separable Problems, Extremal Algebras

F. d'Alessandro and J. Sakarovitch, The finite power property in free group

N. Kobayashi, Some Properties of Recognizable \mathbb{Z} -subsets

L. Aceto, Z. Esik and A. Ingolfsdottir, The Max-Sum Algebra of the Natural Numbers has no Finite Equational Basis

B. Ducourthial and S. Tixeuil, Self-stabilization with Path Algebra

I. Klimann, A solution to the problem of (A, B) -invariance for series

J.-P. Comet, Application of Max-Plus algebra to biological sequence comparisons

J. Gunawardena, From Max-Plus algebra to nonexpansive mappings: a nonlinear theory for discrete event systems.

1.8.3 Principales visites à l'étranger

Voici une liste des principales visites effectuées à l'étranger par les membres du thème SED.

1. A. Bouillard : séjour à Chennai (Inde) dans le cadre de l'échange entre l'ENS et le CMI (Chennai mathematical institute) en Janvier-Février 2003.
2. J. Mairesse : séjour au Département de Mathématiques de l'Université de Milan, (Italie, juin 2000).
3. J. Mairesse : séjour au Département de Mathématiques de l'Université de Palerme (Palerme, Italie, mai 01).
4. J. Mairesse : séjour au Laboratoire de Mathématiques de l'Université de Warwick (Royaume-Uni, mai 2003).
5. J. Martin : participation au programme *Random models* à Cambridge (Royaume-Uni, août 2003).

1.9 DEA et thèses encadrés

1.9.1 DEA encadrés

Depuis 1999/2000, J. Mairesse participe au DEA Algorithmique (ENS/X/Paris 6-7-11/ENST) sur le thème des *réseaux et systèmes à événements discrets*. D'autre part, depuis 1998, Jean Mairesse enseigne avec F. Baccelli (INRIA Sophia) au sein du DEA de Probabilités de Paris VI un cours intitulé *Processus ponctuels et systèmes à événements discrets*. Depuis 2000, ils ont été rejoints par Laurent Massoulié (Microsoft, Cambridge, UK).

Dans le cadre de ces enseignements, les stages de DEA suivants ont été encadrés sur le thème des SED :

- A. Bouillard, ENS, stagiaire du DEA Algorithmique, "Marches aléatoires sur le groupe partiellement commutatif libre", avril-juillet 2002.
- M. Draief, École Polytechnique, stagiaire du DEA Proba, "Existence de points fixes pour des opérateurs monotones-séparables sur les mesures de comptage", juin-septembre 2001.

1.9.2 Doctorat de G. Régnié

J. Mairesse a dirigé (avec J. Roberts, CNET) la thèse de G. Régnié, Univ. Paris 6, "Écoulement de trafic et intégration de services dans l'Internet", début en octobre 1999 et soutenance le 17 décembre 2002 (Jury: F. Baccelli, D. Kofman, G. Hébuterne, J. Mairesse, P. Robert, J. Roberts).

Voici un résumé de la thèse. Cette thèse aborde la question de l'émergence de services réseaux différenciés dans l'Internet par le biais de l'étude de l'écoulement du trafic. Nous proposons des modèles d'écoulement du trafic sur un lien isolé de réseau en tenant compte de la nature stochastique de la demande de trafic. A partir d'hypothèses de modélisation, nous appliquons des résultats de la théorie mathématique des files d'attente et des réseaux de files d'attente. Un modèle de base est la file d'attente processeur partagé.

G. Regnié occupera un poste de PRAG à l'IUT de Castres à partir de la rentrée 2003.

1.9.3 Doctorat de M. Draief

J. Mairesse encadre (avec F. Baccelli, ENS) la thèse de M. Draief, Ecole Polytechnique, “Comportement asymptotique des grands réseaux aléatoires”, début en octobre 2001.

1.9.4 Doctorat de A. Bouillard

J. Mairesse encadre (avec B. Gaujal, ENS Lyon) la thèse de A. Bouillard, ENS, “Optimisation et analyse probabiliste de SED”, début en octobre 2002. En 2003, A. Bouillard était basée au LIAFA. A partir de septembre 2003, A. Bouillard poursuivra sa thèse en tant que monitrice à l’ENS Lyon.

References

- [1] F. Baccelli, A. Borovkov, and J. Mairesse. Asymptotic results on infinite tandem queueing networks. *Probab. Theory Relat. Fields*, 118(3):365–405, 2000.
- [2] A. Bouillard and J. Mairesse. Generating series of the trace group. In Z. Ésik and Z. Fülöp, editors, *Developments in Language Theory*, volume 2710 of *Lect. Notes Comp. Sci.*, pages 159–170. Springer-Verlag, 2003.
- [3] T. Bousch and J. Mairesse. Asymptotic height optimization for topological IFS, Tetris heaps, and the finiteness conjecture. *J. Amer. Math. Soc.*, 15(1):77–111, 2002.
- [4] T. Bousch and J. Mairesse. Fonctions topicales porte finie et fonctions uniformment topicales. Technical Report 02, LIAFA, Univ. Paris 7, 2003.
- [5] J. Cassaigne and J. Mairesse. Ens paris/lyon/cachan, corrigé de l’épreuve d’informatique, filière mpi. *RMS: Revue Math. Ens. Supérieur*, (8):858–876, 2001.
- [6] A. Darte and J. Mairesse. Ens paris/lyon, corrigé de l’épreuve de mathématiques-informatique. *RMS: Revue Math. Ens. Supérieur*, (2):47–83, 2003.
- [7] M. Draief. La file $././1$: Grandes déviations et points fixes. En préparation, 2003.
- [8] M. Draief and J. Mairesse. Services within a busy period of an $m/m/1$ queue and Dyck paths. In *INFORMS Applied Probability Conference*, 2003.
- [9] M. Draief, J. Mairesse, and N. O’Connell. Joint Burke’s theorem and RSK representation for a queue and a store. In C. Banderier and C. Krattenthaler, editors, *Discrete Random Walks 2003*, number 1893. DMTCS, 2003.
- [10] B. Durand, J. Mairesse, and Verhoeven Y. Ens paris/lyon, corrigé de l’épreuve d’informatique, groupe c/s . *RMS: Revue Math. Ens. Supérieur*, (6):642–657, 2000.
- [11] S. Gaubert, J. Loiseau, J.-J. and Mairesse, M. Nivat, and J.-E. Pin. Special issue on max-plus algebras and its applications in computer science and automatic control. *Theoret. Comput. Sci.*, 293(1), 2003.
- [12] B. Gaujal, S. Haar, and J. Mairesse. Blocking a transition in a free choice net and what it tells about its throughput. *J. Comput. System Sci.*, 66(3):515–548, 2003.

- [13] B. Gaujal, A. Jean-Marie, and J. Mairesse. Computations of uniform recurrence equations using minimal memory size. *SIAM J. Comput.*, 30(5):1701–1738, 2000.
- [14] B. Gaujal and J. Mairesse. Cuts and flows in infinite periodic graphs; application to the minimization of circuit registers. Technical Report RR-4144, INRIA, 2001.
- [15] Goubault-Larrecq J. and J. Mairesse. Ens paris/lyon, corrigé de l'épreuve de mathématiques-informatique. Soumis à la RMS, 2003.
- [16] I. Klimann. New types of automata to solve fixed point problems. *tcs*, 259(1-2):183–197, 2001.
- [17] I. Klimann. Several types of representations for series on idempotent semirings. In S. Gaubert and J.-J. Loiseau, editors, *Max-Plus algebras and their applications to discrete-event systems, theoretical computer science and optimization*. IFAC, 2001.
- [18] I. Klimann. A solution to the problem of (a, b) -invariance for series. *tcs*, 293(1):115–139, 2003.
- [19] I. Klimann. Some representations for series on idempotent semirings. *Kybernetika*, 39(2):177–192, 2003.
- [20] I. Klimann, S. Lombardy, J. Mairesse, and C. Prieur. Deciding the sequentiality of a finitely ambiguous max-plus automaton. In Z. Ésik and Z. Fülöp, editors, *Developments in Language Theory*, volume 2710 of *Lect. Notes Comp. Sci.*, pages 373–385. Springer-Verlag, 2003.
- [21] D. Krob, J. Mairesse, and I. Michos. On the average parallelism in trace monoids. In H. Alt and A. Ferreira, editors, *STACS '02*, *Lect. Notes Comp. Sci.*, pages 477–488. Springer-Verlag, 2002.
- [22] D. Krob, J. Mairesse, and I. Michos. Computing the average parallelism in trace monoids. *Discrete Math.*, 2003. À paraître.
- [23] J. Mairesse and B. Prabhakar. On the existence of fixed points for the $./GI/1/\infty$ queue. *Ann. Probab.*, 2003. À paraître.
- [24] J. Mairesse and L. Vuillon. Asymptotic behavior in a heap model with two pieces. *Theoret. Comput. Sci.*, 270:525–560, 2002.
- [25] James B. Martin. Benefits of partial reconfigurability in circuit-switched WDM networks. Soumis, 2003.
- [26] James B. Martin. Limiting shape for directed percolation models. Soumis, 2003.
- [27] James B. Martin. Partial reconfigurability in circuit-switched WDM networks with routing choice. Soumis, 2003.
- [28] James B. Martin. Reconstruction thresholds on regular trees. Soumis, 2003.