

*Projet Trec**Théorie des Réseaux et Communications**Rocquencourt*

THÈME 1B



*R*apport
d'Activité

2002

Table des matières

1. Composition de l'équipe	1
2. Présentation et objectifs généraux	1
3. Fondements scientifiques	1
4. Domaines d'application	2
5. Logiciels	2
5.1. Simulateur N2N	2
5.2. Logiciel K2	3
6. Résultats nouveaux	3
6.1. Analyse et optimisation de protocoles de contrôle de flux	3
6.1.1. Modélisation fluide de TCP et propriétés du trafic	3
6.1.2. Modélisation de RED par des méthodes de champ moyen	4
6.1.3. Formule analytique des performances de TCP	4
6.1.4. Optimisation du protocole TCP	4
6.1.5. Contrôle de flux multipoint	4
6.2. Analyse des processus de couverture et de la capacité spatiale	5
6.2.1. Modélisation, simulation et optimisation de processus de couverture CDMA	5
6.2.2. Simulation de processus de couverture CDMA	5
6.2.3. Capacité globale de la voie descendante dans le CDMA ; contrôle d'accès et de congestion	5
6.3. Théorie des réseaux	6
6.3.1. Calcul d'asymptotiques sous-exponentielles	6
6.3.1.1. Réseaux monotones-séparables	6
6.3.1.2. Calcul de l'asymptotique exacte dans différents réseaux	6
6.3.2. Les matrices aléatoires et les réseaux de files d'attente	7
6.4. Géométrie aléatoire et processus ponctuels	7
6.4.1. Propriétés des second ordre des champs aléatoires de processus ponctuels	7
6.4.2. Décomposition approchée de mosaïques de Voronoï associées à des processus de Poisson	7
modulés	7
6.4.3. Stationarité ponctuelle	8
6.4.4. Communication multipoint et processus de branchement	8
6.5. RNRT Georges	8
6.6. Opération Stratégique Conjointe avec Alcatel Bell	9
8. Actions régionales, nationales et internationales	10
8.1. Réseaux et groupes de travail internationaux	10
8.2. Visites et invitations de chercheurs	10
8.2.1. France	10
8.2.2. Europe	10
8.2.3. Amérique	10
8.2.4. Australie	10
9. Diffusion des résultats	10
9.1. Animation de la communauté scientifique	10
9.2. Enseignement universitaire	11
9.3. Participation à des colloques, séminaires, invitations	11
10. Bibliographie	14

1. Composition de l'équipe

TREC est un projet commun INRIA-ENS

Responsable scientifique

François Baccelli [DR]

Responsable permanent

Dohy Hong [CR]

Personnel Inria

Bartłomiej (Bartek) Błaszczyszyn [CR]

Conseiller Scientifique

Pierre Brémaud [à partir de janvier 2002]

Ingénieurs experts

Augustin Chaintreau [jusqu'en octobre 2002]

Julien Reynier [jusqu'en octobre 2002]

Doctorants

Augustin Chaintreau [ENS et Corps des Télécoms, à partir d'octobre 2002]

Marc Lelarge [École polytechnique]

Julien Reynier [ENS, à partir d'octobre 2002]

Emmanuel Roy [Université Pierre et Marie Curie, à partir d'octobre 2002]

Florent Tournois [ENS & Corps des Télécoms, jusqu'en octobre 2002]

Chercheur invité

Neil O'Connell [Université de Warwick, membre de TREC de janvier à mai 2002]

Collaborateur extérieur

Jean Mairesse [Liafa]

Assistantes de projet

Danielle Croisy [TR, jusqu'en avril 2002]

Florence Barbara [d'avril 2002 jusqu'en septembre 2002]

Léonor Lemée [à partir de septembre 2002]

Stagiaire

Emmanuel Roy [stagiaire de DEA de juin à septembre 2002]

2. Présentation et objectifs généraux

TREC est un projet commun INRIA-ENS. Ce projet se concentre sur la modélisation et le contrôle des réseaux de communication. Les activités de nature méthodologique se conjuguent avec des travaux fondés sur les relations industrielles, notamment avec Alcatel et France Télécom. Quatre axes principaux sont étudiés :

- Le contrôle des réseaux à commutation de paquets : contrôle d'admission, régulation des flux et contrôle de congestion, analyse du trafic des réseaux contrôlés.
- La modélisation des réseaux sans fil : analyse de la couverture, contrôle de puissance, évaluation de la capacité.
- L'étude de la dynamique des réseaux stochastiques, tout particulièrement par des méthodes algébriques.
- Le développement d'outils de géométrie aléatoire et de processus ponctuels dans le plan ou l'espace : mosaïques et processus de couverture.

3. Fondements scientifiques

Voici les grandes lignes des questions étudiées dans chacun des quatre axes principaux :

- **Contrôle des réseaux de communication à commutation de paquets.** Par contrôle, nous entendons ici les notions d'admission et de régulation de flux et surtout de contrôle en boucle fermée du type de TCP, dont l'analyse et l'amélioration sont des défis majeurs. Il s'agit de donner des représentations de la dynamique des protocoles les plus utilisés, à partir desquels on puisse analyser le partage de la bande passante ; voir [6]. On cherche aussi à construire des simulateurs utilisables pour des réseaux de grandes dimensions.
- **Couverture et contrôle de puissance dans les réseaux sans fil.** Nous nous concentrons sur l'analyse des propriétés des réseaux CDMA. L'analyse mathématique des interférences et de la couverture dans le contexte des algorithmes de contrôle de puissance utilisés dans ces réseaux conduit à la définition de nouvelles classes de contrôle d'admission et de congestion. Le but est d'augmenter la capacité de ces réseaux.
- **Théorie des réseaux.** Nous nous intéressons principalement au *network calculus*, qui concerne l'analyse des réseaux par des méthodes algébriques. Les outils mathématiques sont ceux propres aux systèmes dynamiques à événements discrets : semi-anneaux (max, plus) et inf-convolutions, ainsi que leurs extensions non-linéaires (fonction topicales et cadre monotone séparable) ; les principaux outils mathématiques dans ce cadre sont la théorie ergodique, les méthodes de contraction, le calcul des exposants de Lyapunov, la caractérisation des lois limites, les grandes déviations etc.
- **Géométrie aléatoire et théorie des processus ponctuels.** La théorie des processus ponctuels sur la droite réelle joue un rôle central dans la théorie du télétrafic. Les principaux outils mathématiques étudiés dans ce cadre sont les mesures de Palm et les champs de Gibbs. La géométrie aléatoire apporte beaucoup à tout domaine des communications où la composante planaire ou spatiale est présente : réseau d'accès, boucle locale, multipoint, jeux distribués, architecture hiérarchique, sans fil, etc. On pourra consulter la page web suivante sur ce sujet : <http://www.di.ens.fr/~trec/sg/>. Les travaux de l'équipe portent sur les mosaïques de Voronoi, les processus de couverture et les problèmes de percolation.

4. Domaines d'application

Nous interagissons avec plusieurs industriels et opérateurs : France Télécom, Alcatel et Sprint.

- Les travaux avec FT se concentrent sur deux types d'applications : l'économie des réseaux qui est importante dans le contexte de la compétition entre les opérateurs, et l'analyse des protocoles ayant une composante spatiale.
Les travaux en cours portent notamment sur les couverture et capacité CDMA.
- Les travaux avec Alcatel portent sur l'analyse de l'interaction d'un grand nombre de connexions TCP dans le contexte de réseaux comportant plusieurs routeurs avec des caractéristiques variées : WFQ, FIFO, priorités, RED etc. (voir la section sur les relations industrielles).
- Les travaux avec Sprint portent sur l'analyse de mécanismes de contrôle de flux dans le contexte multipoint, et notamment sur l'influence de la taille du groupe multipoint et de la forme de l'arbre multipoint sur le débit.

5. Logiciels

5.1. Simulateur N2N

Participants : François Baccelli, Dohy Hong.

Mots clés : *simulation, TCP, réseau d'accès, trafic HTTP, qualité de service.*

Plusieurs nouvelles méthodes de simulation de l'interaction entre un grand nombre de connexions TCP se partageant un ou plusieurs routeurs ont été développées par TREC. Plusieurs prototypes ont été développés en

C. Ils permettent d'étudier le débit obtenu par chaque connexion (moyenne en temps long du débit, fluctuations du débit instantané) sous des hypothèses réalistes de trafic (HTTP, voix, mail etc.) et avec une description détaillée des routeurs Internet. L'idée de base est décrite dans les articles [18] et [17] ; ceci permet notamment de simuler le partage des ressources d'un très grand nombre de routeurs et de liens par des connexions ayant des caractéristiques et des routes différentes. Des brevets ont été déposés sur ces simulateurs.

5.2. Logiciel K2

Participant : Florent Tournois.

Mots clés : *simulation, CDMA, qualité de service, capacité, couverture.*

Dans le cadre de sa thèse [5], Florent Tournois a conçu et développé le logiciel K2. Ce logiciel offre un cadre unifié pour les méthodes d'analyse de systèmes CDMA par la géométrie aléatoire proposées dans [28][29] et [15][26][7]. Ce logiciel est très modulaire et peut s'apparenter à un langage visuel tel que Open Music. Chaque élément visuel représente un objet qui contient des données et une fonction. Les éléments visuels peuvent être assemblés afin d'obtenir un programme. Chacun de ces éléments représente un morceau de programme élémentaire.

6. Résultats nouveaux

6.1. Analyse et optimisation de protocoles de contrôle de flux

Mots clés : *TCP/IP, prévention/contrôle de la congestion, algorithme des accroissements additifs et de la décroissance multiplicative, sporadicité, régulation, multipoint, algèbre (max, plus), système dynamique, simulation, modèle aimd, ondelette, fractale, synchronisation, équité.*

Participants : François Baccelli, Augustin Chaintreau, Dohy Hong, Julien Reynier.

Une méthodologie d'analyse du trafic et des mécanismes de contrôle de congestion utilisés est indispensable pour garantir une qualité de service (QoS) de bout en bout dans les couches application et transport, et pour aboutir à des règles d'ingénierie des performances qui permettront :

- de concevoir des architectures de réseau et des contrôles d'accès garantissant certaines bornes prédéfinies de QoS de bout en bout, dans différentes conditions de fonctionnement et différentes configurations ;
- d'aider les opérateurs à planifier des réseaux ayant des ressources (capacité des mémoires tampons et bande passante) suffisantes pour prendre en charge n'importe quel panachage de trafic (voix, vidéo et données) avec des exigences variables en matière de QoS.

6.1.1. Modélisation fluide de TCP et propriétés du trafic

Le protocole TCP/IP qui transporte la majorité des données de l'Internet (et qui est utilisé notamment dans les protocoles FTP et HTTP) utilise un mécanisme de fenêtre glissante et une adaptation dynamique de la fenêtre aux conditions de congestion du réseau. La phase d'évitement de congestion de ce protocole suit le principe AIMD (Additive Increase, Multiplicative Decrease), où la fenêtre de chaque source augmente linéairement tant qu'il n'y a pas de perte et est divisée par 2 en cas de perte. Dans [18], nous étudions l'évolution jointe des débits de plusieurs flux TCP en compétition pour un lien ou un routeur. Lorsque le temps aller-retour RTT de chaque flux est supposé constant dans le temps, nous montrons que cette évolution est décrite par un produit de matrices aléatoires dont un paramètre fondamental est le taux de synchronisation. Les modèles fluides classiques supposent ce taux égal à 1 ou très proche de 0.

Même sous des hypothèses très simplificatrices (trafic homogène, RTT constant, perte indépendante du débit), l'analyse statistique par ondelettes du trafic agrégé généré par un tel modèle montre un comportement non-trivial de type multi-fractal. Ces résultats, qui ont été présentés à la conférence INFOCOM'02, suggèrent

une explication physique concrète de l'apparition du caractère multi-fractal des flux TCP aux petites échelles de temps.

Plus récemment, nous avons étudié les propriétés statistiques du trafic et la quantification du partage des ressources d'un très grand nombre de liens et routeurs par des connexions ayant des caractéristiques et des routes différentes. Une extension de la modélisation AIMD à ce cas a été proposée dans [17]. Ceci conduit à une dynamique affine par morceau, aléatoire en général, déterministe dans le cas où la population est infinie. Cette approche permet également de simuler l'interaction d'un grand nombre de flux TCP sur un grand réseau IP. Ceci permet d'étudier le débit obtenu par chaque connexion (moyenne en temps long du débit, fluctuations du débit instantané) sous des hypothèses réalistes de trafic (HTTP, voix, mail etc.) et avec une description détaillée des routeurs (WFQ, FIFO, priorités, RED etc.).

6.1.2. *Modélisation de RED par des méthodes de champ moyen*

Parallèlement au modèle AIMD, nous avons utilisé la méthode du champ moyen pour établir des équations différentielles sur TCP. Cette approche développée en collaboration avec D. Mc Donald, de l'université d'Ottawa, permet en particulier d'analyser RED. Pour l'instant cette méthode nous a permis de trouver une équation différentielle pour le cas de connexions TCP persistantes à travers un routeur ([9]). Ceci permet d'améliorer la bande passante utilisée par les routeurs d'accès lorsqu'ils sont saturés.

6.1.3. *Formule analytique des performances de TCP*

Une étude analytique du modèle fluide AIMD de partage de la bande passante, basé sur le formalisme de Laplace-Stieltjes, permet la prédiction des performances de TCP, dans le cas de sources TCP persistantes, homogènes en RTT et partageant toutes le même lien goulot d'étranglement. Une formule close permet d'exprimer la loi de distribution du débit instantané observé par une source de ce modèle, directement en fonction des caractéristiques physiques générales du réseau (nombre de connexions, capacité et taille de la mémoire tampon dans le routeur).

Un soin particulier a été porté pour prendre en compte l'impact de la taille de la mémoire tampon dans l'estimation des paramètres du modèle. Comme nous l'avons observé et vérifié par d'autres méthodes de simulation, l'effet de cette mémoire peut être paradoxal. Ainsi l'augmentation de la taille de tampon peut entraîner des synchronisations plus élevées et par là-même dégrader le débit moyen.

Plus généralement en fonction du taux de synchronisation obtenu, plusieurs comportements de TCP sont identifiés et amènent à des scénarios de performances différents. Ainsi l'efficacité, ou le meilleur débit moyen, reste le privilège des petits taux de synchronisation. Au contraire, une méthode de dimensionnement pour garantir une performance probabiliste offerte à toutes les connexions TCP, déduite des précédents résultats, nous a montré que de petits taux de synchronisations ne sont pas toujours souhaitables.

Tous ces résultats ont fait l'objet d'une publication commune [12] avec le Network Strategy Group d'Alcatel Bell. Dans le cadre de la suite de notre collaboration avec cette équipe, nous construisons en ce moment une extension de cet outil de dimensionnement au cas de trafics dynamiques (interaction de connexions HTTP/TCP non persistantes).

6.1.4. *Optimisation du protocole TCP*

L'idée de l'amélioration de TCP par une technique d'espacement des paquets a été étudiée dans les années 90. Le draft IETF [25] a introduit la notion de contrôle MPPN pour remédier aux défauts des méthodes d'espacement déjà proposées pour TCP. La difficulté du problème vient de la grande richesse des différents scénarios. L'étude est en cours cf. [34].

6.1.5. *Contrôle de flux multipoint*

Une version étendue de l'étude du multipoint fiable sous l'effet d'un contrôle de flux de type TCP a fait l'objet d'une publication dans *IEEE Transactions on Networking* [11]. Une architecture multipoint alternative, basée sur un arbre de relais reliés entre eux par des connexions TCP autonomes est en cours d'élaboration. Nous nous proposons dans un avenir proche d'étudier analytiquement son comportement face au passage à l'échelle du groupe d'utilisateurs.

6.2. Analyse des processus de couverture et de la capacité spatiale

Mots clés : CDMA/UMTS, rapport signal sur bruit, couverture, capacité, contrôle d'accès et de congestion, flot multipoint, modélisation spatiale, géométrie stochastique, processus ponctuel, shot-noise, modèle booléen, mosaïque de Voronoi, calcul de Palm, matrice aléatoire.

Participants : François Baccelli, Bartek Błaszczyszyn, Florent Tournois.

Cet axe concerne l'analyse de modèles stochastiques issus de problèmes de communications dans les réseaux sans fil, en particulier de protocoles tels que le CDMA et l'UMTS. Nous nous intéressons principalement à des modèles macroscopiques, qui sont particulièrement importants dans le cadre des questions de planification économique. L'outil commun est la géométrie stochastique, combinée avec d'autres domaines des processus stochastiques comme par exemple les processus ponctuels ou les processus de branchement.

6.2.1. Modélisation, simulation et optimisation de processus de couverture CDMA

Dans [28], nous avons proposé un modèle mathématique générique de couverture aléatoire sur le plan pour le CDMA. L'idée générale consiste en une représentation de la localisation des antennes comme réalisations de processus ponctuels aléatoires dans le plan (ou bien l'espace). Le domaine où une antenne donnée peut être reçue est celui où le rapport signal sur interférence est plus grand qu'un certain seuil. Cette interférence, qui est l'effet cumulé de toutes les antennes, est définie comme le processus de *shot noise* associé au processus ponctuel des antennes.

Ce modèle générique permet d'analyser des questions de couverture dans les réseaux sans fil où plusieurs antennes utilisent les mêmes canaux de fréquences, en particulier la couverture de réseaux CDMA. Il permet notamment de prendre en compte les irrégularités et les aléas présents dans les localisations des antennes et d'étudier plusieurs propriétés fondamentales de processus de couverture comme la probabilité de couverture d'un point ou d'une paire de points par une cellule typique, ou encore la distribution du nombre de cellules qui couvrent un point donné.

Dans [15] et [7], nous montrons que cette approche conduit aussi à de nouvelles formules et à de nouveaux schémas de simulation permettant de calculer ou d'estimer les moyennes spatiales de ces caractéristiques en fonction des paramètres du modèle (densité des antennes et des mobiles, loi de la puissance d'émission et de l'évanouissement etc.) et de mettre en oeuvre diverses optimisations paramétriques, notamment celle de la probabilité de connexion ou encore celle de la loi du nombre de cellules couvrant un point donné.

6.2.2. Simulation de processus de couverture CDMA

Pour analyser les caractéristiques géométriques du modèle qui ne peuvent pas être calculées de manière analytique, F. Tournois ([26] et [5]) a développé une méthode et un logiciel de simulation conditionnelle du modèle de couverture CDMA inspirés par l'algorithme de W. Kendall sur les simulations conditionnelles du schéma booléen. Un procédé de remontée dans le temps et des méthodes d'encadrement sont utilisés pour obtenir la simulation conditionnelle. Une nouvelle fonction de transition est proposée, qui permet de prendre en compte des conditions du type suivant : les points x_i sont couverts au plus n_i fois et les points y_i sont couverts au moins m_i fois. Une implémentation de cet algorithme a été effectuée, et on sait donc construire par simulation des réalisations de configurations vérifiant ces conditions, à partir desquelles on peut obtenir des statistiques sur certaines caractéristiques géométriques, comme par exemple les distributions de contact des régions.

6.2.3. Capacité globale de la voie descendante dans le CDMA ; contrôle d'accès et de congestion

Dans une deuxième étape d'analyse du CDMA, nous nous sommes concentrés sur la construction détaillée de la capacité de la voie descendante. Traditionnellement cette capacité est définie par le nombre maximal d'utilisateurs qui peuvent être servis de manière fiable en présence du contrôle de puissance.

Dans l'article [29], la localisation des antennes et celle des mobiles sont représentées par des processus ponctuels aléatoires dans le plan. La condition nécessaire et suffisante pour la faisabilité de la voie descendante, globalement dans le réseau, est liée au rayon spectral d'une matrice aléatoire infinie, la matrice des

atténuations, qui fait intervenir les localisations relatives des points des deux processus. Dans [29], nous avons proposé une condition suffisante de faisabilité basée sur la sous-stochasticité de la matrice des atténuations. Cette approche permet d'analyser la capacité de chaque cellule du réseau de manière décentralisée en ne considérant que ses propres utilisateurs et les localisations des autres antennes. Dans certains cas, par exemple pour des processus de Poisson d'antennes et de mobiles, cette approche permet d'exprimer la capacité globale du réseau de manière explicite. Notamment, étant donnée une intensité d'antennes, on trouve l'intensité de mobiles maximale gérable par ces antennes.

Notre approche conduit aussi à des algorithmes décentralisés du contrôle d'accès et de congestion (dans le cas du trafic élastique). Un brevet d'innovation a été déposé à ce sujet.

Pour analyser les caractéristiques du modèle qui ne peuvent pas être calculées de manière analytique, comme par exemple la capacité stochastique ou la distribution stationnaire du nombre des mobiles acceptés par le protocole de contrôle d'accès, la technique de simulation parfaite peut être utilisée ; voir [5].

6.3. Théorie des réseaux

Mots clés : *algèbre (max, plus), exposant de Lyapounov, cadre monotone-séparable, fonction topicale, distribution sous-exponentielle, sous-additivité, queue épaisse, distribution d'excès, théorème de Veraverbeke, réseau de Jackson.*

Participants : François Baccelli, Dohy Hong, Marc Lelarge, Neil O'Connell.

Cet axe concerne l'étude des systèmes à événements discrets temporisés, notamment dans le cas stochastique. Il est à la fois lié à l'informatique théorique, tout particulièrement pour ce qui concerne les méthodes algébriques, et à la théorie des probabilités. C'est notamment le cas pour les questions de stabilité et pour le calcul des propriétés asymptotiques, qui utilisent un certain nombre de techniques probabilistes (processus markoviens, processus ponctuels et théorie ergodique). Les domaines d'application sont nombreux : communications, productique [8], calcul parallèle etc.

6.3.1. Calcul d'asymptotiques sous-exponentielles

6.3.1.1. Réseaux monotones-séparables

Un réseau ouvert appartient à la classe monotone-séparable si ses variables d'état sont des fonctions homogènes et monotones des dates d'arrivées dans le réseau. Ce cadre, qui a initialement été introduit pour analyser la région de stabilité de réseaux stochastiques sous des hypothèses stationnaires ergodiques, contient plusieurs modèles classiques comme les réseaux de Jackson généralisés, les réseaux (max,plus) linéaires, les files multiserveurs et diverses classes de réseaux de Petri stochastiques. Dans [31], nous étendons le théorème de Veraverbeke sur le comportement asymptotique de la queue de la distribution du temps d'attente stationnaire dans la file $GI/GI/1/\infty$. Sous des hypothèses sous-exponentielles sur les temps de service, le dateur maximal stationnaire de tout réseau de cette classe a une distribution dont la queue peut être asymptotiquement majorée et minorée par des multiples de la queue de la distribution d'excès des services. En général, ces deux bornes ne coïncident pas. Néanmoins, des asymptotiques exactes peuvent être obtenues dans la lignée des résultats précédents pour divers cas particulier de réseaux. En particulier le théorème de Veraverbeke est étendu à des files d'attente en série (dateur maximal et délais dans les stations) ainsi qu'à des files multiserveurs. Cette méthode pour obtenir les asymptotiques se généralise à d'autres classes de réseaux monotones-séparables comme les réseaux (max,plus) linéaires généraux (irréductibles ou non) ou encore les réseaux de Jackson généralisés.

6.3.1.2. Calcul de l'asymptotique exacte dans différents réseaux

Un premier travail a consisté à calculer l'asymptotique des queues de distribution du délai de bout en bout d'un réseau modélisé par un graphe d'événements sous des hypothèses sous-exponentielles. Le cas d'un graphe irréductible avait déjà été traité et des bornes ont été trouvées dans le cas d'un graphe réductible. Dans un travail commun avec S. Foss de l'université Heriot-Watt [16], nous donnons la formule sur la queue des distributions dans un cadre général.

Nous nous concentrons actuellement sur l'étude d'une classe de réseaux stochastiques : les réseaux de Jackson généralisés. L'objectif est de calculer la queue des distributions stationnaires des variables d'état de ces réseaux. Les méthodes employées sont celles de la représentation algébrique des états stationnaires de tels réseaux.

6.3.2. Les matrices aléatoires et les réseaux de files d'attente

Pendant son séjour au sein du projet TREC de l'INRIA, Neil O'Connell a continué sa recherche sur les liens entre les matrices aléatoires et les réseaux de file d'attente et a écrit deux articles à ce sujet.

Le premier, [13], avait pour but de démontrer qu'une transformation des trajectoires, qu'il avait précédemment obtenue, est en fait étroitement liée à la correspondance « RS ». Lorsqu'elle est appliquée à un mouvement brownien multidimensionnel, cette transformation donne une représentation des valeurs propres du mouvement brownien hermitien. L'application de ce lien a permis d'obtenir une formule pour la distribution des transitoires d'un réseau de files d'attente M/M/1 en série. Ce sujet est en rapport étroit avec des travaux antérieurs de F. Baccelli et W. Massey sur les transitoires de ces réseaux.

Le second article, [14], prolonge la même recherche et étudie l'évolution des tableaux obtenus par l'application de l'algorithme RSK à des entrées aléatoires.

6.4. Géométrie aléatoire et processus ponctuels

Mots clés : *mesure spectrale de Bartlett, processus de Hawks, mosaïque de Voronoï, processus ponctuel spatial, stationnarité, non-homogène, processus de Poisson ponctuel doublement stochastique, modèle booléen, approximations, décomposabilité.*

Participants : Pierre Brémaud, Bartek Błaszczyszyn, Emmanuel Roy, René Schott, Andréa Ridolfi, Laurent Massoulié.

6.4.1. Propriétés des second ordre des champs aléatoires de processus ponctuels

Cet axe de recherches concerne l'analyse spectrale des processus dérivés des processus ponctuels : processus échantillonnés à des instants aléatoires (random sampling), processus ponctuels filtrés (shot noise), et des processus ponctuels eux-mêmes, par exemple processus de Hawkes ou processus ponctuels avec cluster. Dans [33], [19][20], nous avons obtenu les formules générales des mesures spectrales de puissance de Cramer, ou de Bartlett (pour les processus ponctuels), dans le cas spatial, avec un processus ponctuel de base qui n'est pas restreint à être de Poisson, ou de renouvellement, ou de Cox, mais un processus ponctuel stationnaire dont on connaît le spectre de Bartlett. Cette généralité est indispensable dans de nombreuses circonstances (neurophysiologie par exemple). Ces travaux, pour l'instant théoriques, sont susceptibles d'être utiles dans la modélisation et l'identification de trafic internet basée sur leur analyse spectrale.

6.4.2. Décomposition approchée de mosaïques de Voronoï associées à des processus de Poisson modulés

La « décomposabilité » permet d'estimer les moyennes du cas inhomogène à partir de celles de modèles homogènes. Une telle méthodologie nécessite des estimations rigoureuses des erreurs d'approximation.

Dans [21] nous considérons la mosaïque de Voronoï dans l'espace euclidien, générée par un processus de Poisson non-homogène, dont l'intensité prend différentes valeurs constantes sur les ensembles d'une certaine partition finie de l'espace. Considérant les cellules de Voronoï comme des marques associées à des points du processus ponctuel, nous montrons que la mesure intensité (mesure moyenne) du processus de Poisson ponctuel marqué admet une représentation par une formule de décomposition. La valeur exacte est approximée par un mélange de mesures d'intensité correspondant à des modèles homogènes, tandis que la borne supérieure explicite du reste peut être calculée numériquement pour une large classe d'exemples pratiques. Des approximations du même type sont obtenues pour les distributions de Palm grâce à la formule de Campbell. L'analyse d'une large classe de mosaïques de Voronoï correspondant à des processus de Poisson ponctuels non-homogènes est possible grâce à des formules et des estimations déjà établies pour le cas homogène. Notre analyse s'applique aussi au processus de Poisson modulé par une partition aléatoire

indépendante et stationnaire. Dans ce cas le terme d'erreur dépend de certaines formes intégrales définies sur les bords des éléments de la partition.

6.4.3. Stationnarité ponctuelle

Pour son mémoire de DEA [27], le travail d'Emmanuel Roy a porté sur un article de H. Thorisson [35] sur la stationnarité ponctuelle d'un processus ponctuel simple sur \mathbb{R}^d , notion nouvelle introduite par l'auteur. Il s'agit de donner ici une définition rigoureuse à l'invariance de la loi d'un processus ponctuel par déplacement de l'origine sur les propres points du processus. Après avoir en avoir donné une définition abstraite et à première vue peu maniable, H. Thorisson réussit à faire le lien entre la stationnarité classique et cette stationnarité ponctuelle dans le cadre de deux dualités appelées « dualités de Palm ». Dans la première dualité, la loi de Palm d'un processus stationnaire est en fait la loi d'un processus ponctuellement stationnaire. La deuxième dualité établit un autre lien entre les lois d'un processus stationnaire et d'un processus ponctuellement stationnaire, elle coïncide avec la première dans le cas où le processus stationnaire est ergodique, offrant par là-même une nouvelle approche de cette notion. Enfin, ces deux dualités ont des interprétations plus intuitives illustrées par des considérations asymptotiques.

6.4.4. Communication multipoint et processus de branchement

Dans [22], nous considérons un flux de paquets de données d'une source vers plusieurs destinations dans un réseau de télécommunication représenté par un arbre orienté aléatoire. Dans le mode de transmission multipoint, certains sommets de l'arbre peuvent répliquer les paquets reçus de l'amont vers plusieurs destinations en aval. Nous sommes intéressés par le coût de la transmission d'un paquet et par d'autres métriques de performance pour deux types d'arbres aléatoires : des arbres générés par un processus de Galton-Watson et ceux générés par des agrégats d'un processus ponctuel de Poisson. De telles hypothèses stochastiques apparaissent naturellement dans les arbres multipoint de l'Internet et des réseaux ad hoc.

Le résultat principal dans le cas de processus de branchement est l'équation de la fonction génératrice du volume des transmissions. On fournit une condition d'existence et d'unicité de la solution de cette équation et une méthode de calcul par des itérations de Picard. Dans le cas de processus ponctuel, nous obtenons des bornes sur les fonctions de coût en utilisant des techniques de comparaison stochastique développées dans la théorie de la percolation pour les modèles booléens. Ces résultats nous permettent de dériver certaines caractéristiques d'arbres aléatoires et d'évaluer analytiquement les coûts et les charges induits sur un réseau par une session multipoint.

6.5. RNRT Georges

Participants : François Baccelli, Bartek Błaszczyszyn, Florent Tournois.

Une convention de recherche et coopération entre l'INRIA, l'ENST et France Télécom démarrée en 1999 dans le cadre du RNRT intitulé *Georges* se termine en 2002. Ce projet fédérait l'étude des réseaux de télécommunications par la géométrie stochastique. Les principaux résultats du projet ont été présentés à la revue finale qui a eu lieu le 29 novembre 2002 [24]. Voici une liste des principaux sujets de recherche de TREC dans ce cadre :

- Modélisation, simulation et optimisation de processus de couverture CDMA ([28] et [15][7][5][26]).
- Modélisation et optimisation de communications multipoint ([32],[22]).
- Décomposition approchée de mosaïques de Voronoï ([21]).

Dans un but de diffusion des méthodes développées au sein du projet *Georges*, F. Tournois a conçu le logiciel K2 qui intègre diverses méthodes d'analyse de systèmes CDMA par la géométrie aléatoire (voir section 5.2). C'est aussi dans le cadre de *Georges* que F. Tournois a réalisé sa thèse [5].

6.6. Opération Stratégique Conjointe avec Alcatel Bell

Participants : François Baccelli, Augustin Chaintreau, Dohy Hong, Julien Reynier.

L'avènement de réseaux transportant la voix, la vidéo, les données et la signalisation sur une même infrastructure de transport pose aux concepteurs de réseaux des problèmes difficiles de dimensionnement.

L'équipe de recherche Trafic, Qualité de Service & Routage, du Groupe Stratégies de Réseau (NSG) d'Alcatel Bell à Anvers, et le projet TREC, se sont associés dans une Opération Stratégique Conjointe portant sur l'analyse des performances de bout en bout dans les réseaux à commutation de paquets [30].

L'objectif est à la fois de contribuer conjointement à l'effort de recherche international sur ces sujets et de fournir aux équipes R & D d'Alcatel les outils, les connaissances et les compétences leur permettant de concevoir des solutions de bout en bout dont la qualité de service satisfasse les exigences des applications.

Les travaux de recherche se concentrent tant sur l'analyse du trafic de type *streaming* (voix et vidéo) que sur celle du trafic contrôlé par le protocole TCP ; l'une des principales difficultés est d'unifier l'analyse de tous ces types de trafic dans des modèles globaux permettant de discerner leurs relations et de prédire leurs performances conjointes, notamment en terme de qualité de service (QoS).

S'il est largement admis que la QoS est nécessaire pour les communications téléphoniques et vidéo, de nombreuses applications élastiques ou adaptatives en débit, contrôlées par TCP, exigent également un niveau minimum de garantie de QoS pour fonctionner efficacement. Dans les réseaux IP actuels, plus de 90% de toutes les applications sont contrôlées par TCP. Il importe donc de comprendre les propriétés statistiques d'applications contrôlées par TCP et de prévoir comment elles fonctionnent avec d'autres applications tant TCP qu'UDP, dans de grands réseaux IP utilisant des fonctions de gestion de trafic évoluées. Il faut notamment des règles de dimensionnement permettant d'évaluer la QoS obtenue par des sources individuelles en fonction de leur nombre, du trafic offert, de la topologie du réseau et des caractéristiques des routeurs d'accès et des routeurs du coeur du réseau. Ceci permettra notamment de contrôler le nombre des utilisateurs accédant à une boucle locale pour préserver à chacun d'entre eux une QoS prédéfinie.

Comme indicateur naturel de la QoS, on retient usuellement une mesure des fluctuations du débit utile instantané obtenu par un usager lors du téléchargement d'un fichier utilisant le protocole de transfert d'hypertexte (HTTP), sous l'hypothèse que N usagers partagent le même routeur considéré comme un goulet d'étranglement. Ce débit utile instantané est une moyenne locale du débit utile instantané obtenu par une source.

Cette collaboration a pour but principal d'évaluer les performances individuelles obtenues par des applications UDP et TCP interagissant avec un grand nombre de sources TCP et UDP (voix, vidéo) sur différents types de réseaux d'accès filaires et sans fil (xDSL, LMDS, GPRS, UMTS, satellite, etc.) et de réseaux d'infrastructure IP à haut débit ayant leurs propres fonctions de gestion de trafic et leurs propres profils de trafic.

Il s'agit donc d'un projet de recherche ambitieux qui comprend trois volets :

- La recherche fondamentale pour améliorer les modèles mathématiques et la méthodologie employées pour décrire avec plus de précision la dynamique des réseaux contrôlés par TCP/UDP dans des environnements d'accès et d'infrastructure hétérogènes.
- La recherche appliquée pour d'une part, effectuer une analyse statistique du comportement des usagers de certaines applications importantes et une identification des exigences de QoS de ces applications et, d'autre part, élaborer une méthodologie d'ingénierie des performances de réseaux réclamant des méthodes heuristiques utilisables pour les activités de planification et de dimensionnement.
- Le rôle de conseil vis-à-vis des équipes de R&D qui sont confrontées à des problèmes spécifiques de performances et d'exploitation des réseaux durant les expérimentations. L'interaction directe avec ces équipes peut être cruciale pour tester et valider l'applicabilité des méthodologies d'ingénierie des performances de réseau proposées.

Le groupe de recherche Trafic, QoS et routage de NSG d'Alcatel se concentre sur la modélisation et l'ingénierie des performances des réseaux d'accès et d'infrastructure à large bande, notamment sur l'analyse :

- des paramètres de performances des réseaux influant sur la qualité subjective des communications téléphoniques et vidéo en mode paquets dans divers types de réseaux comme les réseaux d'accès, les réseaux mobiles, les réseaux d'entreprise et satellitaires etc ;
- des fonctions de gestion de trafic IP pour les réseaux compatibles avec les protocoles IntServ et DiffServ ;
- des architectures d'administration de bande passante IP et des spécifications de niveau de service ;
- de l'ingénierie du trafic IP et des algorithmes de protection et de rétablissement.

8. Actions régionales, nationales et internationales

8.1. Réseaux et groupes de travail internationaux

F. Baccelli est membre du groupe de travail IFIP W.G. 7.3. et membre du comité scientifique du département « Stochastic Networks » du centre Eurandom à Eindhoven.

8.2. Visites et invitations de chercheurs

8.2.1. France

- Alexandre Proutière (France Télécom R&D), mars 2002,
- Bert Zwart (INRIA, projet RAP), avril 2002,
- Moez Draief (LIAFA, Paris VII), novembre 2002,

8.2.2. Europe

- Sergei Foss (Université Heriot-Watt), janvier 2002,
- Neil O'Connell (Université de Warwick, UK), de janvier à mai 2002,
- Laurent Massoulié (Microsoft Research, UK), avril 2002,
- Ayalvadi Ganesh (Microsoft Research, UK), avril 2002,
- Radu Stoica (CWI, Pays Bas), avril 2002,
- Zbigniew Palmowski (EURANDOM / Université de Wrocław), avril 2002.

8.2.3. Amérique

- Armand Makowski (Université du Maryland), janvier 2002,
- Erol Gelenbe (University of Central Florida, Orlando), juin 2002,
- Ravi Mazumdar (Purdue University), juin 2002,
- Nina Taft (Sprintlabs), août 2002.
- David Mc Donald (Université d'Ottawa), septembre 2002,
- Zhen Liu (IBM Research), octobre 2002.

8.2.4. Australie

- Darryl Veitch et Nicolas Hohn (University of Melbourne), novembre 2002

9. Diffusion des résultats

9.1. Animation de la communauté scientifique

- D. Hong anime le séminaire du projet :
<http://www.di.ens.fr/~trec/seminaire.html>

- F. Baccelli maintient une page web sur la géométrie aléatoire pour les communications : <http://www.di.ens.fr/~trec/sg>
- P. Brémaud est membre des comités de lecture des journaux suivants : *Journal of Applied Probability*, *Advances Applied Probability*, *Queueing Systems*, *Journal of Applied Mathematics and Stochastic Analysis* ;
- F. Baccelli est membre des comités de lecture des journaux suivants : *QUESTA*, *Annals of Applied Probability*, *Markov Chains*, *Mathematics of Operations Research* et *Journal of Discrete Event Dynamical Systems*. Il a été membre du comité de programme des conférences suivantes : Infocom 02, Performance 02 et Globecom 02.

9.2. Enseignement universitaire

DEA Algorithmique Filière sur les réseaux comportant trois cours sur les aspects algébriques et les aspects probabilistes (F. Baccelli, B. Gaujal, D. Hong et J. Mairesse, 90h).

DEA Probabilités, Paris 6 Cours sur les processus ponctuels, la stabilité et les grandes déviations des réseaux (F. Baccelli, J. Mairesse et L. Massoulié, 32H).

Scuola Matematica Interuniversitaria, Cortona, Italie Cours sur les martingales, les chaînes de Markov et la simulation (P. Baldi, P. Brémaud, 126H, 21 Juillet-11 Août 2002).

Ecole Normale Supérieure Cours sur l'analyse des performances en deuxième année du magistère MMFAI (F. Baccelli et M. Lelarge 36H).

Ecole Polytechnique Cours sur la simulation et la modélisation des réseaux de communication, commun aux deux majeures de deuxième année : Mathématiques Appliquées et Algèbre, Informatique et Applications (F. Baccelli et C. Graham 36H).

9.3. Participation à des colloques, séminaires, invitations

F. Baccelli

– Présentations aux conférences et workshops suivants :

- * AS sur l'automatique des réseaux, Paris, janvier 2002,
- * Conférence IPAM 2002, Los Angeles, Etats-Unis, mars, 2002,
- * *Applied Probability Day*, CAP, mai 2002 (conférence invitée),
- * INFOCOM 2002, New York, Etats-Unis, mai 2002,
<http://www.ieee-infocom.org/2002/>
- * ARC TCP, INRIA Sophia Antipolis, mai 2002,
- * Collège de France, Paris, Colloque à la mémoire de J.L. Lions, juillet 2002 (conférence invitée),
- * IFORS, Edinburgh, UK, juillet 2002,
- * Modern Problems in Applied Probability, Heriot-Watt University, Edinburgh, août 2002,
<http://www.ma.hw.ac.uk/icms/meetings/2002/prob/>
- * Table ronde de la conférence IFIP *Performance 02*, Rome, septembre 2002,
<http://perf2002.uniroma2.it/>
- * AS systèmes dynamiques, ENST, Paris, novembre 2002,
- * Conférence d'hiver de la société mathématique canadienne, Ottawa, décembre 2002.

– Présentation aux séminaires suivants :

- * Séminaire du *Visiting Committee* de l'INRIA, Paris, janvier 2002,

- * Séminaire du département de mathématiques, ETH, Zürich, mai 2002,
- * IBM research, centre T.J. Watson, USA, décembre 2002
<http://www.research.ibm.com/compsci/performance/seminar.html>
- Jurys de thèses :
 - * S. Elmerzouki, Université de Rouen (rapporteur) septembre 2002,
 - * P. Calka, Université de Lyon, décembre 2002,
 - * G. Reynier, Université Paris 7, décembre 2002,
 - * A. Busson, ENST, décembre 2002 (rapporteur)

B. Błaszczyszyn

- Présentations aux conférences et workshops suivants :
 - * German Open Conference on Probability and Statistics, Magdebourg, mars 2002,
 - * AIR&D Meeting, Princeton / Briarcliff Manor, NJ, septembre 2002,
- Présentation aux séminaires suivants :
 - * Séminaire de Probabilités à l'Institut de Mathématiques, Nancy, octobre 2002,
 - * Séminaire du projet INRIA TRIO Nancy, octobre 2002
 - * Revue finale du projet RNRT Georges, FT R&D Issy Moulineaux, décembre 2002

P. Brémaud

- Présentations aux conférences et workshops suivants :
 - * IMA workshop on Point process modeling and seismological applications of statistics, U. of Minnesota at Minneapolis, juin, 2002,
 - * IEEE IEEE International Symposium on Information Theory, Lausanne, Switzerland, juin/juillet 2002,
 - * IEEE Information Theory Workshop, Bangalore, Inde, octobre 2002,

A. Chaintreau

- Présentations aux conférences et workshops suivants :
 - * Performance 2002, Rome, septembre 2002,
<http://perf2002.uniroma2.it/>
- Participations aux conférences et workshops suivants :
 - * IEEE Infocom, New York, juin, 2002,
<http://www.ieee-infocom.org/2002/>
- Présentation aux séminaires suivants :
 - * IBM Watson research center, New York, juin, 2002,
<http://www.research.ibm.com/compsci/performance/seminar.html>

D. Hong

- Présentations aux conférences et workshops suivants :

- * Workshop ARC TCP, INRIA Sophia-Antipolis, mai 2002,
- * Conférence INFOCOM 2002, New York, Etats-Unis, mai 2002,
<http://www.ieee-infocom.org/2002/>
- * Conférence d'Allerton 2002, Urbana Champaign, Etats-Unis, novembre 2002,
<http://www.csl.uiuc.edu/allerton/>
- Participations aux conférences et workshops suivants :
 - * Conférence IPAM 2002, Los Angeles, Etats-Unis, mars, 2002
- Présentation aux séminaires suivants :
 - * Netlab, CS, Caltech, Etats-Unis, août 2002.

M. Lelarge

- Présentations aux conférences et workshops suivants :
 - * Modern Problems in Applied Probability, Heriot-Watt University, Edinburgh, août 2002 ; <http://www.ma.hw.ac.uk/icms/meetings/2002/prob/>
- Participations aux conférences et workshops suivants :
 - * Analysis and optimisation of stochastic networks, EURANDOM, Eindhoven, Pays-Bas, novembre, 2002 ; <http://www.eurandom.tue.nl/>
 - * Journée Dépendance Faible et Longue Mémoire, INSA, Toulouse 22 novembre 2002.

N. O'Connell

- Présentations aux conférences et workshops suivants :
 - * Probability and Statistics on Algebraic Structures, Oberwolfach, mars 2002,
 - * Brownian Functionals, Kyoto, juin 2002,
 - * Stochastic Networks, Stanford, juin 2002,
 - * Modern Problems in Applied Probability, Heriot-Watt University, Edinburgh, août 2002 ; <http://www.ma.hw.ac.uk/icms/meetings/2002/prob/>
- Présentation aux séminaires suivants :
 - * University of Warwick, janvier 2002,
 - * ENS, séminaire du TREC, série des présentation en janvier - février 2002
 - * LIAFA, Paris 7, mai 2002.

J. Reynier

- Présentations aux conférences et workshops suivants :
 - * IEEE Performance Evaluation, Rome, septembre, 2002.
- Participations aux conférences et workshops suivants :
 - * Conférence IPAM 2002, Los Angeles, Etats-Unis, mars, 2002.

F. Tournois

- Participations aux conférences et workshops suivants :
 - * Conférence INFOCOM 2002, New York, Etats-Unis, mai 2002, <http://www.ieee-infocom.org/2002/>
 - * Revue finale du projet RNRT Georges, FT R&D Issy Moulineaux, décembre 2002

10. Bibliographie

Bibliographie de référence

- [1] F. BACCELLI, P. BRÉMAUD. *Elements of Queueing Theory*. série Série : Applications of Mathematics, Springer Verlag, 2002, deuxième édition.
- [2] F. BACCELLI, P. BRÉMAUD. *Modélisation et Simulation des Réseaux de Communication*. Ecole Polytechnique, 2002.
- [3] F. BACCELLI, G. COHEN, G. OSLDER, J. QUADRAT. *Synchronization and Linearity an Algebra for Discrete Event Systems*. Wiley, 1992, <http://www-rocq.inria.fr/scilab/cohen/SED/book-online.html>.
- [4] P. BRÉMAUD. *Mathematical Principles of Signal Processing*. Springer-Verlag, 2002.

Thèses et habilitations à diriger des recherche

- [5] F. TOURNOIS. *Modélisation et simulation de réseaux CDMA par la géométrie aléatoire*. thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, octobre, 2002.

Articles et chapitres de livre

- [6] F. BACCELLI. *Modéliser le trafic pour mieux le gérer*. in « Publication SMF-SMAI », juillet, 2002, pages 75-79.
- [7] F. BACCELLI, B. BLASZCZYSZYN, F. TOURNOIS. *Spatial Averages of Coverage Characteristics in Large CDMA Networks*. in « ACM WINET (Wireless Networks) », numéro 8, Octobre, 2002, pages 569-586.
- [8] F. BACCELLI, B. GAUJAL, D. SIMON. *Analysis of Preemptive Periodic Real Time Systems using the (max,plus) Algebra*. in « IEEE transactions on Control Systems Technology (CST) », numéro 10-3, mai, 2002, pages 368-380.
- [9] F. BACCELLI, D. McDONALD, J. REYNIER. *A mean field model for multiple TCP connections through a buffer implementing RED*. in « Performance Evaluation », numéro 49, 2002, pages 77-97.
- [10] P. BRÉMAUD, L. MASSOULIÉ. *Power spectra of general shot noises and Hawkes point processes with a random excitation*. in « Adv. Appl. Prob. », numéro 34, 2002, pages 205-222.
- [11] A. CHAINTREAU, F. BACCELLI, C. DIOT. *Impact of TCP-Like Congestion Control on the Throughput of Multicast Group*. in « IEEE Transactions on Networking », numéro 10, 2002, pages 500-512.

- [12] A. CHAINTREAU, D. DE VLEESCHAUWER. *A Closed Form Formula for Long-lived TCP Connections Throughput*. in « Performance Evaluation », numéro 49, September 2002, pages 57-76.
- [13] N. O'CONNELL. *A path-transformation for random walks and the Robinson-Schensted correspondence*. in « Trans. Amer. Math. Soc. », à paraître.
- [14] N. O'CONNELL. *Conditioned random walks and the RSK correspondence*. in « J. Phys. A », article invité dans *Special Issue on Random Matrices*, à paraître.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [15] F. BACCELLI, B. BLASZCZYSZYN, F. TOURNOIS. *Spatial Averages of Downlink Overage Characteristics in CDMA Networks*. in « Proceedings of IEEE INFOCOM'02 », New York, Juin, 2002.
- [16] F. BACCELLI, S. FOSS, M. LELARGE. *Asymptotics of Subexponential Max Plus Networks the Stochastic Event Graph Case*. in « Proceedings of the Heriot-Watt University workshop on Stochastic Networks », Edinburg, UK, Août, 2002, soumis à Queueing Systems.
- [17] F. BACCELLI, D. HONG. *Interaction of TCP flows as Billiards*. in « Proceedings of the 40th Annual Allerton Conf. on Communication, Control and Computing », Urbana Champaign, Illinois, USA, October, 2002.
- [18] F. BACCELLI, D. HONG. *AIMD, Fairness and Fractal Scaling of TCP Traffic*. in « Proceedings of IEEE INFOCOM'02 », New York, Juin, 2002.
- [19] P. BRÉMAUD, L. MASSOULIÉ. *Spectra of shot noises and Hawkes branching point processes*. in « Proceedings of IEEE International Symposium on Information Theory », IEEE, Lausanne, Switzerland, June/July, 2002, <http://isit02.epfl.ch/>.
- [20] P. BRÉMAUD, L. MASSOULIÉ, A. RIDOLFI. *Power spectral measure and reconstruction error of randomly sampled signals*. in « Proceedings of IEEE Information Theory Workshop », IEEE, Bangalore, India, October, 2002, <http://ece.iisc.ernet.in/ieee-itw2002/>.

Rapports de recherche et publications internes

- [21] B. BLASZCZYSZYN, R. SCHOTT. *Approximate Decomposition of Some Modulated-Poisson Voronoi Tessellations*. RR, numéro 4585, INRIA, Rocquencourt, octobre, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4585.html>.
- [22] B. BLASZCZYSZYN, K. TCHOUMATCHENKO. *Performance Metrics for Multicast Flows on Random Trees*. RR, numéro 4388, INRIA, Rocquencourt, février, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4388.html>, soumis.
- [23] A. CHAINTREAU, D. DE VLEESCHAUWER. *A Closed Form Formula for Long-lived TCP Connections Throughput*. RR, numéro 4443, INRIA, Rocquencourt, avril, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4443.html>, à paraître dans *Performance Evaluation*.
- [24] C. GLOAGUEN, M. LEBOURGES, F. BACCELLI, D. KOFMAN. *Rapport final du projet GEORGES (Ingénierie, Economie et Optimisation des Réseaux par la Géométrie Stochastique)*. document interne, FT R&D, Issy les Moulineaux, novembre, 2002, <http://www.telecom.gouv.fr/rrrt>.

- [25] D. HONG. *FTCP Fluid Congestion Control*. internet draft, IEFT, march, 2002.
- [26] F. TOURNOIS. *Perfect Simulation of a Stochastic Model for CDMA Coverage*. RR, numéro 4348, INRIA, Rocquencourt, Janvier, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4348.html>.

Divers

- [27] E. ROY. *Stationnarité ponctuelle*. Mémoire de diplôme d'études approfondies, Université Pierre et Marie Curie, septembre, 2002.

Bibliographie générale

- [28] F. BACCELLI, B. BLASZCZYSZYN. *On a coverage process ranging from the Boolean model to the Poisson Voronoi tessellation, with applications to wireless communications*. in « Adv. in Appl.Prob. (SGSA) », numéro 33, 2001, pages 293-323.
- [29] F. BACCELLI, B. BLASZCZYSZYN, F. TOURNOIS. *Downlink Capacity and Admission/Congestion Control in CDMA Networks*. décembre, 2002, à paraître dans les actes d'INFOCOM'03.
- [30] F. BACCELLI, D. DE VLEESSCHAUWER, D. HONG, G. PETIT. *End to End Network Performance Modelling*. in « Alcatel Telecommunications Review, ATR », numéro 3, 2001, pages 223-227.
- [31] F. BACCELLI, S. FOSS. *Moments and Tails in Monotone-Separable Stochastic Networks*. in « Workshop on Max-Plus Algebras and Their Applications to Discrete-event Systems, Theoretical Computer Science, and Optimization », IFAC, Prague, 2001, to appear in AAP.
- [32] F. BACCELLI, D. KOFMAN, J.-L. ROUGIER. *Self-organising hierarchical multicast trees and their optimization*. in « Proceedings of IEEE INFOCOM'99 », 1999.
- [33] P. BRÉMAUD, L. MASSOULIÉ, A. RIDOLFI. *Power spectra of random spike fields and related processes*. décembre, 2002, soumis pour publication.
- [34] D. HONG. *Impact of the MPPN control on TCP*. en préparation.
- [35] H. THORISSON. *Point-stationarity in d dimensions and Palm theory*. in « Bernouilli », numéro 5, 1999, pages 797-831.