

*Projet mistral**Modélisation en Informatique et Systèmes  
de Télécommunications : Recherche et  
Applications Logicielles**Sophia Antipolis*

THÈME 1B

  
*R*apport  
*d'Activité*

2002



# Table des matières

<b>1. Composition de l'équipe</b>	<b>1</b>
<b>2. Présentation et objectifs généraux</b>	<b>2</b>
<b>3. Fondements scientifiques</b>	<b>2</b>
<b>4. Domaines d'application</b>	<b>2</b>
<b>5. Logiciels</b>	<b>2</b>
5.1. Wagon++ : Un générateur de trafic multimédia	2
<b>6. Résultats nouveaux</b>	<b>3</b>
6.1. Analyse quantitative des protocoles	3
6.1.1. Protocole Tcp	3
6.1.1.1. Sessions Tcp de longue durée	3
6.1.1.2. Sessions Tcp de courte durée	3
6.1.2. Fec pour la voix sur Ip	4
6.1.3. Rejet sélectif dans les réseaux Atm	4
6.2. Qualité de service dans les réseaux	4
6.2.1. Allocation des ressources	4
6.2.2. Services différenciés	5
6.2.2.1. Le protocole Rio	5
6.2.2.2. Gestion de priorité et ordonnancement	5
6.2.3. Délais dans les applications multipoints	5
6.2.4. Estimation de la taille d'un groupe multipoint	5
6.3. Réseaux et applications mobiles	6
6.3.1. Réseaux mobiles	6
6.3.1.1. Contrôle de puissance	6
6.3.1.2. Tcp sur lien radio	6
6.3.1.3. Contrôle de débit dans l'Umts	6
6.3.1.4. Contrôle d'accès	6
6.3.2. Agents mobiles	7
6.4. Systèmes de distribution de contenus	7
6.4.1. Vidéo à la demande	7
6.4.2. Caches répartis	8
6.4.3. Réseaux peer-to-peer	8
6.4.3.1. Recherche de documents	8
6.4.3.2. Topologie des réseaux peer-to-peer	8
6.5. Optimisation multicritère dans les réseaux	8
6.5.1. Equilibres dans les réseaux	9
6.5.1.1. Propriétés des équilibres	9
6.5.1.2. Equilibres mixtes	9
6.5.1.3. Equilibres avec contraintes	9
6.5.1.4. Convergence à l'équilibre	9
6.5.1.5. Equilibres dans les réseaux à pertes	9
6.5.2. Routage avec une demande élastique	9
6.5.3. Paradoxe de Braess	10
6.6. Contrôle et théorie des jeux	10
6.6.1. Processus de décision markoviens	10
6.6.2. Jeux stochastiques	10
6.7. Résultats théoriques sur les files d'attente	10
6.7.1. Equations récursives stochastiques	10

6.7.2.	Contrôle d'admission dans les files d'attente	10
6.7.3.	Routage optimal dans les files d'attente	11
<b>7.</b>	<b>Contrats industriels</b>	<b>11</b>
7.1.	Conventions de recherche avec France Télécom R&D-Issy Les Moulineaux	11
7.1.1.	Optimisation multicritère	11
7.1.2.	Allocation de ressources dans l'Umts	11
7.2.	Convention de recherche avec Alcatel Space	11
7.3.	Rnrt « Esquimaux »	11
7.4.	Rnrt « Vthd++ »	12
<b>8.</b>	<b>Actions régionales, nationales et internationales</b>	<b>12</b>
8.1.	Actions nationales	12
8.1.1.	Arc « Tcp »	12
8.1.2.	Color « Discont »	13
8.2.	Relations bilatérales internationales	13
8.2.1.	Collaboration dans le cadre de l'Institut Lyapounov avec la Russie	13
8.2.2.	Pai Van Gogh avec les Pays-Bas	13
8.2.3.	Collaboration Arc-en-Ciel avec Israël	13
8.2.4.	Amérique du Nord	13
8.3.	Visites et invitations de chercheurs	13
8.3.1.	Europe	13
8.3.2.	Amérique	14
8.3.3.	Méditerranée, Maghreb et Proche-Orient	14
8.3.4.	Océanie	14
8.4.	Séjours scientifiques	14
<b>9.</b>	<b>Diffusion des résultats</b>	<b>14</b>
9.1.	Animation de la communauté scientifique	14
9.1.1.	Participation à des commissions	14
9.1.2.	Participation à des comités d'édition	14
9.1.3.	Participation à des comités de programme	15
9.1.4.	Organisation de colloques et d'écoles	15
9.1.5.	Participation à des jurys de thèse	15
9.2.	Enseignement universitaire	15
9.2.1.	Thèses	16
9.2.2.	Enseignements	16
9.3.	Participation à des colloques, séminaires, invitations	16
9.3.1.	Participation à des conférences	16
9.3.2.	Prix scientifiques	17
<b>10.</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>17</b>

# 1. Composition de l'équipe

**Responsable scientifique**

Philippe Nain [DR]

**Responsable permanent**

Konstantin Avratchenkov [CR]

**Assistante de projet**

Ephie Deriche [TR, à temps partiel avec le projet MASCOTTE]

**Personnel Inria**

Eitan Altman [DR]

**Ingénieurs Experts**

Rachid El Azouzi [CTI/FRANCE TÉLÉCOM R&D]

Eric Thibault [RNRT ESQUIMAUX]

**Ingénieur Associé**

Maria Ladoue [RNRT VTHD]

**Chercheur Post doctorant**

Nidhi Hegde [RNRT VTHD]

**Chercheurs doctorants**

Sara Alouf [Bourse MESR, 3ème année, thèse soutenue le 8 novembre 2002]

Urtzi Ayesta [Bourse FRANCE TÉLÉCOM R&D, 1ère année]

Florence Clévenot [Bourse MESR, 1ère année]

Parijat Dube [Bourse INRIA/Ambassade de France en Inde, jusqu'au 20/09/02, thèse soutenue le 20 septembre 2002]

Robin Groenevelt [1/2 bourse centre, 1/2 bourse RNRT VTHD, 2ème année]

Naceur Malouch [Bourse MESR, 3ème année]

Balakrishna Prabhu [Bourse INRIA/INTER, 1ère année depuis le 01/11/02]

Corinne Touati [Allocataire moniteur, 2ème année, en commun avec MASCOTTE]

**Chercheurs invités**

Tamer Başar [University of Illinois, USA, du 18/03/02 au 22/03/02]

Damien Clancy [University of Liverpool, UK, du 15/12/02 au 22/12/02]

Jersy Filar [University of South Australia, Australie, du 01/06/02 au 31/07/02]

Geert-Jan Franx [Vrije University of Amsterdam, Pays-Bas, du 12/12/02 au 02/01/03]

Ger Koole [Vrije University of Amsterdam, Pays-Bas, du 15/04/02 au 12/05/02 et du 17/09/02 au 21/09/02]

Armand Makowski [University of Maryland, USA, du 08/01/02 au 22/01/02]

Sven Ostring [University of Cambridge, UK, du 14/10/02 au 29/10/02]

Alexei Piunovsky [University of Liverpool, UK, du 26/07/02 au 02/08/02]

Uri Yechiali [University of Tel Aviv, Israël, du 29/03/02 au 14/04/02]

Don Towsley [University of Massachusetts, USA, du 07/11/02 au 10/11/02]

**Stagiaires**

Kartikeya Chandrayana [Rensselaer Polytechnic Institute, NY, USA, du 27/05/02 au 17/08/02]

Florence Clévenot [DEA RSD UNSA, du 01/03/02 au 31/07/02]

Mohamed Elkamili [Université Mohamed V, Rabat, Maroc, du 15/05/02 au 15/08/02]

Eeva Nyberg [Helsinki University of Technology, Finland, du 01/10/02 au 04/12/02]

Sujay Sanghavi [University of Illinois, USA, du 25/05/02 au 20/08/02]

Tuna Toker [DEA RSD UNSA, du 15/04/02 au 15/09/02]

## 2. Présentation et objectifs généraux

La modélisation, l'évaluation des performances et le contrôle des systèmes informatiques et de télécommunications connaissent actuellement de nombreux développements tant du point de vue théorique qu'applicatif. Plusieurs formalismes sont utilisés par le projet : les réseaux de files d'attente et plus généralement les processus stochastiques, ainsi que la théorie des jeux et les processus de décision markoviens.

Les actions de recherche en 2002 ont porté sur :

- la modélisation du trafic IP et des mécanismes de différenciation de services dans le cadre du projet RNRT ESQUIMAUX, d'une action ARC-EN-CIEL avec Israël et d'une coopération avec l'INSTITUT LYAPOUNOV,
- la génération de trafic multimédia dans le cadre du projet RNRT VTHD++,
- l'élaboration de politiques de contrôle optimal pour les réseaux notamment dans le cadre de conventions de recherche avec FRANCE TÉLÉCOM R&D et dans un PAI avec les Pays-Bas,
- l'optimisation et la planification des réseaux satellitaires dans le cadre d'une convention de recherche avec ALCATEL SPACE.

## 3. Fondements scientifiques

Les principaux outils mathématiques du projet sont :

- la théorie des processus aléatoires : processus de Markov, processus ponctuels et mesures de Palm, grandes déviations,
- la théorie des systèmes à événements discrets : réseaux de files d'attente, approximations fluides,
- la théorie du contrôle et de l'ordonnancement : programmation dynamique, contrôle stochastique, théorie des jeux, ordonnancement déterministe et stochastique, processus de décision markoviens,
- la théorie des perturbations singulières.

## 4. Domaines d'application

Le principal domaine d'applications du projet est celui des réseaux de communications. L'axe le plus développé est celui de la modélisation et de l'optimisation de protocoles et d'architectures de réseaux. Cela concerne :

- L'Internet : protocole TCP, voix sur IP, mécanismes de différenciation de services, applications multipoint, systèmes de distribution de contenus, génération de trafic multimédia ;
- Les réseaux mobiles : contrôle de puissance, contrôle d'accès au canal, contrôle du débit de transmission, contrôle de la redondance dans le codage ;
- Les réseaux satellitaires : IP sur liaisons satellites, planification et allocation des ressources.

## 5. Logiciels

### 5.1. Wagon++ : Un générateur de trafic multimédia

**Participants :** Maria Ladoue, Philippe Nain.

**Mots clés :** *Modèles de trafic voix et vidéo, générateur de trafic UDP.*

En 2002 M. Ladoue a commencé le développement du logiciel WAGON++ en langage JAVA, destiné à générer à la demande un trafic de fond simulant des applications de type téléphonie, radio et vidéo à la demande, sur la plate-forme expérimentale VTHD++. WAGON++ est composé de deux principaux modules indépendants : un calculateur de scénario qui, à partir du modèle et des paramètres choisis, détermine notamment l'instant

d'émission des paquets et leur taille, et un générateur de trafic UDP qui émet à proprement parler les paquets définis par le scénario. Les modèles utilisés pour la voix sont des modèles type ON-OFF pour des flux unitaires, MMPP-N (Markov Moduled Poisson Process) pour des flux agrégés (homogènes ou hétérogènes), et pour la vidéo des modèles de type  $M/G/\infty$  qui permettent de caractériser aussi bien des flux unitaires que des flux agrégés. A ces modèles s'ajoutent la définition de codecs qui permettent de réduire la bande passante nécessaire aux différentes applications. Le trafic UDP/IP ainsi généré est représentatif de celui que l'on peut trouver à l'heure actuelle dans l'Internet. A ce jour, les modèles ON-OFF, MMPP-N et  $M/G/\infty$  ont été codés et validés en collaboration avec E. Thibault, Ingénieur Expert (MISTRAL), et le générateur de trafic est en cours de développement.

Ces travaux sont menés dans le cadre de la participation de MISTRAL au projet RNRT VTHD++ (cf. Section 7.4).

## 6. Résultats nouveaux

### 6.1. Analyse quantitative des protocoles

**Participants :** Eitan Altman, Konstantin Avratchenkov, Urtzi Ayesta, Parijat Dube, Philippe Nain.

**Mots clés :** TCP, FEC, *prévention et contrôle de la congestion*.

#### 6.1.1. Protocole Tcp

##### 6.1.1.1. Sessions Tcp de longue durée

On distingue deux approches pour modéliser le comportement du protocole TCP. La première approche, à laquelle le projet MISTRAL a fortement contribué (cf. rapports d'activités 2000 et 2001), est de type « bout en bout ». Connaissant le taux de pertes et le délai moyen de transmission (RTT), elle consiste à déterminer le débit moyen d'une session TCP. Dans la deuxième approche, qualifiée d'« approche réseau » (*networking based approach*), le taux de pertes des packets, ainsi que d'autres caractéristiques, sont calculés à partir de la topologie du réseau et la capacité des routeurs. Dans les deux approches il est supposé que les sessions TCP ont une durée de vie arbitrairement grande (ce qui correspond à des fichiers à transmettre de taille infinie). Dans [31], E. Altman et K. Avratchenkov, en collaboration avec C. Barakat (projet PLANETE) ont utilisé l'« approche réseau » et montré que les quantités cherchées pouvaient s'obtenir comme solution d'une équation de point fixe. Ils ont également observé que le problème de point fixe pouvait se formuler comme un problème d'optimisation. Ces travaux ont ensuite été utilisés par K. Avratchenkov, E. Altman, U. Ayesta, P. Nain et C. Barakat afin d'étudier l'influence de la taille des *buffers* sur les performances d'un réseau TCP/IP [37].

Dans le cas d'un petit nombre de connexions qui se partagent un goulot d'étranglement, l'hypothèse classique que le processus d'indication des pertes est un processus de Poisson n'est plus valide. Dans [18] E. Altman, en collaboration avec T. Jimenez (université de Merida, Venezuela) et R. Núñez Queija (CWI/université de Eindhoven, Pays-Bas), a étudié le scénario où deux connexions TCP se partagent un même goulot d'étranglement. Une description fine du processus de pertes a été obtenue ainsi qu'un calcul explicite de la distribution des débits des connexions.

##### 6.1.1.2. Sessions Tcp de courte durée

Environ 80% des connexions TCP dans l'Internet sont ouvertes pour transmettre des documents de petite taille (typiquement inférieure à 10Ko). La durée moyenne de ces sessions est inférieure à la seconde. Sur le plan de la modélisation cela signifie que ces connexions évoluent dans un mode transitoire. Or, la plupart des travaux réalisés ces dernières années autour du protocole TCP supposent que les sessions ont une durée de vie infinie, ce qui a conduit à des modèles stationnaires. Dans [56], U. Ayesta, K. Avratchenkov, E. Altman, P. Dube, en collaboration avec C. Barakat (projet PLANETE) ont proposé une approche pour modéliser les sessions TCP de courte durée. Celle-ci permet notamment de calculer la durée moyenne d'une session TCP conditionnellement au nombre de pertes, et de montrer que cette quantité est une fonction non-monotone de la taille du fichier

à transmettre [38]. Ces travaux ont conduit U. Ayesta et K. Avratchenkov à proposer des modifications du protocole TCP visant à diminuer le temps de transmission des petits fichiers [51].

### 6.1.2. Fec pour la voix sur Ip

Les travaux sur les mécanismes de FEC (Forward Error Correction) ont été poursuivis [14]. Rappelons que la FEC consiste à ajouter de la redondance dans les applications de transmission de la voix afin de pallier les pertes de paquets. Ces mécanismes doivent être simples à mettre en œuvre et les processus de codage et de décodage ne doivent pas introduire une surcharge qui diminuerait l'interactivité. Dans [42] P. Dube et E. Altman ont considéré des flux multiplexés et quantifié le gain apporté par l'ajout de redondance. Dans [39] P. Dube et E. Altman, en collaboration avec O. Ait-Hellal (Xbind Inc., USA), ont étudié des méthodes plus classiques de type Reed-Solomon, où  $k$  paquets redondants sont ajoutés à un groupe de  $n$  paquets ; les  $n$  paquets peuvent être reconstitués dès lors qu'il n'y a pas plus de  $k$  paquets perdus parmi les  $n + k$  paquets transmis. Les performances de ces méthodes ont été quantifiées, en prenant en compte la charge générée par l'ajout de paquets redondants, ainsi que les dégradations du canal de transmission. Cet article a obtenu le prix du meilleur article étudiant à *Networking 2002* (mai 2002, Pisa, Italie).

### 6.1.3. Rejet sélectif dans les réseaux Atm

Souvent dans les réseaux un groupe de paquets contigus constituent une trame, et la perte d'un seul paquet de la trame entraîne la perte de la trame entière. Par exemple, dans les réseaux ATM, c'est la couche transport (couche AAL) qui est responsable de ce regroupement. Il est avantageux dans ce cas de rejeter tous les paquets de la trame qui suivent le paquet perdu. Mais il peut être également avantageux de rejeter les paquets d'une trame avant l'apparition d'une congestion (politique EMD pour *Early Message Discard*). Une étude quantitative de la politique EMD (calcul du débit efficace - *goodput*) a été menée par E. Altman et P. Dube, à l'aide de modèles de files d'attente fluides [40] ou discrets [41]. Les résultats obtenus s'appliquent au dimensionnement des tampons dans les réseaux et permettent de garantir une borne sur le taux de pertes.

## 6.2. Qualité de service dans les réseaux

**Participants :** Sara Alouf, Eitan Altman, Konstantin Avratchenkov, Nidhi Hegde, Naceur Malouch, Philippe Nain, Tuna Toker, Corinne Touati.

**Mots clés :** *Services différenciés, RED, RIO, allocation de la bande passante, modèles d'inférences, estimation, filtrage, théorie des jeux, équilibre de Nash.*

### 6.2.1. Allocation des ressources

L'allocation des ressources dans le contexte satellitaire a été étudiée par C. Touati (dans le cadre de sa thèse) et E. Altman, en collaboration avec J. Galtier (projet MASCOTTE et FRANCE TÉLÉCOM R&D) dans le cadre d'une convention de recherche avec ALCATEL SPACE (cf. Section 7.2). Les deux problèmes suivants nous ont été posés par ALCATEL SPACE :

- (1) comment planifier la quantité et les types de porteuses à allouer à différents opérateurs dans des cellules (ou *spots*) et des zones (un *spot* est constitué de plusieurs zones) différentes de façon à garantir l'équité du débit alloué à chaque opérateur ;
- (2) une fois l'allocation des ressources réalisée, comment allouer des tranches de temps (*slots*) pour une méthode d'accès AMRT (Accès Multiple à Répartition en Temps) où, pour une bande de fréquences donnée et une porteuse donnée, un *slot* ne peut être alloué qu'à une seule zone contenue dans un *spot*. De plus, l'allocation des *slots* doit prendre en compte des contraintes d'interférences radio.

Pour le premier problème, un algorithme combinatoire polynomial a été proposé et testé numériquement [50], [60]. Les résultats de cet algorithme fournissent les données d'entrée du deuxième problème. A l'aide de la théorie de coloriage des graphes, il a été montré que le deuxième problème est NP-complet. Une résolution approchée, basée sur le recuit simulé [49], [59] a été proposée et testée.

## 6.2.2. Services différenciés

### 6.2.2.1. Le protocole Rio

Dans la cadre de sa thèse, N. Malouch a développé une approche pour l'analyse des performances d'un grand nombre de sessions TCP en interaction avec un routeur du cœur de réseau qui utilise le mécanisme RED (Random Early Detection) avec deux seuils de rejet (indifféremment appelé multi-RED ou RIO). RIO permet d'implanter une classe « Assured Forwarding » (AF) qui a été définie par l'IETF. Plus précisément, les paquets sont marqués *In* ou *Out* à l'entrée du réseau (on utilise pour cela un *token bucket*) selon leur degré de priorité ; en cas de congestion les paquets *Out* sont rejetés en premier, puis les paquets *In* le sont à leur tour dès lors que la congestion s'amplifie. N. Malouch a montré que les performances de RIO (débit, probabilité de pertes, ect.) peuvent raisonnablement être caractérisées à partir de la solution d'une équation de point fixe « améliorée » (pour éviter les oscillations). Les résultats montrent notamment que le seuil caractérisant la fonction de probabilité des paquets *Out* a un impact significatif sur le débit des connexions TCP, ainsi que sur la charge moyenne du routeur RIO. Pour fixer ce paramètre, il faut trouver un bon compromis entre l'utilisation du réseau et l'équité entre les connexions TCP, ce que le modèle permet de réaliser. Les résultats montrent également que le mécanisme de rejet *tail drop*, appliqué aux paquets *In*, est particulièrement bien adapté pour satisfaire les contraintes de qualité de service. Ce modèle permet de configurer une classe AF dans laquelle on agrège plusieurs flux TCP homogènes ou hétérogènes [45].

### 6.2.2.2. Gestion de priorité et ordonnancement

Dans [44], N. Hegde et K. Avratchenkov ont étudié et comparé les performances de différents algorithmes de gestion de tampon (*complete partitioning*, *complete sharing*, *push-out with threshold*), ainsi que plusieurs disciplines d'ordonnancement (*strict priority*, *weighted fair queueing*) dans un contexte de services différenciés (classe AF et élastique). Ce travail permet, par exemple, d'identifier les paramètres du système offrant des « garanties stochastiques » au trafic élastique.

Dans [48], K. Avratchenkov, en collaboration avec N. Vilchevsky et G. Shevlyakov (université de St Peterbourg) a proposé et évalué les performances d'un schéma de gestion de tampon permettant le contrôle efficace de la perte des paquets prioritaires. Dans ce mécanisme, un paquet prioritaire trouvant le tampon plein et au moins un paquet non-prioritaire dans la file d'attente, prendra la place d'un paquet non-prioritaire avec une probabilité  $\alpha$ . Dans le cas particulier où  $\alpha = 1$ , les probabilités de pertes sont obtenues de façon explicite à l'aide d'une approche utilisant les fonctions génératrices.

## 6.2.3. Délais dans les applications multipoints

Les travaux de N. Malouch visant à garantir les délais de bout en bout dans les applications multipoints [46] ont été étendus au cas de plusieurs sessions multipoints (plusieurs arbres multipoints). Dans ce contexte, l'objectif est de trouver une politique d'affectation de la bande passante aux sessions qui maximise le nombre de sessions qui peuvent être actives simultanément. En collaboration avec Z. Liu, S. Sahu (tous deux de IBM, T. J. Watson Research Center), V. Misra et D. Rubenstein (tous deux de l'université de Columbia), N. Malouch a conçu deux algorithmes qui garantissent les contraintes de délais imposées par chaque application. Un simulateur ad-hoc a été développé pour cette étude. Il permet notamment de traiter des sessions à population variable [58].

## 6.2.4. Estimation de la taille d'un groupe multipoint

Dans [27] S. Alouf, E. Altman et P. Nain ont proposé une méthode pour l'estimation en ligne de la taille d'un groupe multipoint dynamique. L'estimateur est obtenu à l'aide d'un filtre de Kalman, sous une hypothèse de trafic fort. En collaboration avec C. Barakat (projet PLANETE), S. Alouf, E. Altman et P. Nain ont pu lever cette hypothèse en utilisant un filtre de Wiener. Un troisième estimateur a également été proposé à base d'un filtre linéaire d'ordre un. Bien que non nécessairement optimal parmi l'ensemble des filtres linéaires, ce dernier estimateur à l'avantage d'avoir été obtenu sous l'hypothèse où les participants restent connectés pendant une durée aléatoire de distribution hyper-exponentielle, alors que les deux premiers l'avaient été pour des temps de connexions exponentiellement distribués. Le comportement de ces trois estimateurs (précision, robustesse) a été testé sur des traces réelles. Dans tous les cas, leurs performances sont apparues très proches

et très satisfaisantes [55]. Une synthèse des trois approches suivies a été réalisée dans [47]. Des extensions en cours visent à estimer simultanément la taille instantanée du groupe, sa taille moyenne et l'intensité d'arrivée des participants. Ces recherches ont été réalisées dans le cadre de la thèse de S. Alouf [9].

## 6.3. Réseaux et applications mobiles

### 6.3.1. Réseaux mobiles

**Participants :** Eitan Altman, Corinne Touati.

**Mots clés :** *Réseaux mobiles*, UMTS.

MISTRAL a récemment entrepris plusieurs travaux de recherche sur l'allocation des ressources dans les réseaux mobiles : contrôle de puissance, TCP sur lien radio, contrôle de débit de transmission, contrôle d'accès au canal pour la transmission de paquets, contrôle de la redondance dans le codage.

#### 6.3.1.1. Contrôle de puissance

Dans [12] un problème de contrôle de puissance est considéré par E. Altman, en collaboration avec T. Alpcan, T. Başar et R. Srikant (tous trois de l'université de l'Illinois, USA). Le contrôle de la puissance est réalisé de manière distribuée par chaque mobile sur le lien montant. La puissance de transmission de chaque mobile se présente comme un bruit qui gêne les autres mobiles. Chaque mobile détermine sa puissance de façon à maximiser la qualité du signal (qui est fonction du rapport de sa puissance de transmission à l'interférence), choisie comme étant la capacité de Shannon et à minimiser la puissance de transmission. E. Altman et ses collègues ont identifié l'équilibre unique de ce problème en utilisant la théorie des jeux non-coopératifs. Ils ont également proposé de nouvelles méthodes de tarification.

#### 6.3.1.2. Tcp sur lien radio

Dans [21] E. Altman, en collaboration avec C. Barakat (projet PLANETE) ont étudié le comportement du protocole TCP en présence de liens bruités. Ils se sont intéressés à l'impact, sur les performances de TCP, de solutions de rajout de redondance au niveau de la couche liaison. Ils ont obtenu des expressions pour le débit en fonction de la quantité de redondance ajoutée et des caractéristiques du processus de pertes. Ces résultats ont été obtenus à la fois dans le cas où les pertes sont indépendantes et dans le cas où elles sont modélisées par un processus dont l'intensité est modulée par une chaîne de Markov à deux états (MMPP).

#### 6.3.1.3. Contrôle de débit dans l'Umts

Dans [34][29] E. Altman et C. Touati, en collaboration avec J. Galtier (projet MASCOTTE et FRANCE TÉLÉCOM R&D) ont abordé le contrôle du débit de transmission dans l'UMTS. L'UMTS, qui est le standard européen pour la troisième génération de mobiles, offrira des services radio-cellulaires multimédia. Les palettes de débits offertes à des connexions sont larges et variées allant jusqu'à 2 Mbps. L'UMTS permet d'offrir des débits variables non seulement à des applications de données, mais aussi à des communications interactives de voix et de vidéo. Dans [34] le partage optimal et équitable des débits d'applications temps-réel a été considéré. Une approche basée sur l'optimisation convexe a été proposée. Ce travail s'effectue en collaboration avec FRANCE TÉLÉCOM R&D (cf. Section 7.1.2) et l'algorithme d'optimisation proposé est en test chez FRANCE TÉLÉCOM R&D.

Dans [29] l'impact du choix des débits des applications de données (trafic non temps-réel) sur la capacité du réseau mobile a également été étudié. Ces travaux prennent en compte à la fois les aspects dynamiques et statistiques des processus d'arrivées et la durée des appels. Les conséquences pour le réseau d'une réduction de débit est plus importante pour les applications de données que pour les applications temps-réel. En effet, en réduisant le débit présent on ne fait qu'accumuler de l'information qui devra de toute façon être transmise. Ce phénomène, ainsi que le contrôle d'admission de connexion, ont été modélisés à l'aide d'un réseau de files d'attente à pertes, et la capacité du système a été étudiée en fonction des choix de débits.

#### 6.3.1.4. Contrôle d'accès

E. Altman, en collaboration avec H. Kushner (Brown University, USA) a étudié dans [20] un problème de contrôle d'accès à un canal dans un environnement de communication mobile. La station de base, connaissant

le nombre de paquets à transmettre par les mobiles, doit décider à chaque instant quel mobile aura accès au canal. Une approximation à l'aide d'un processus de diffusion a été développée, qui permet notamment de prendre en compte des coupures aléatoires des connexions.

### 6.3.2. Agents mobiles

**Participants :** Sara Alouf, Philippe Nain.

**Mots clés :** *Agent/code mobile, chaînes de Markov.*

S. Alouf et P. Nain, en collaboration avec F. Huet (projet OASIS) ont poursuivi et achevé l'évaluation et la comparaison, entamées en 2000, de deux mécanismes de communications entre agents mobiles. Le premier mécanisme, distribué, crée dynamiquement une chaîne de répéteurs, alors que le deuxième mécanisme, centralisé, s'appuie sur un unique serveur de localisation. La modélisation de ces approches est réalisée à l'aide de chaînes de Markov ce qui permet de quantifier le temps moyen de communication d'un message à destination de l'agent mobile dans chaque cas, et le nombre moyen de répéteurs dans le cas de l'approche distribuée. F. Huet a mis en place des expériences de mobilité à l'INRIA (réseau local) ainsi qu'entre l'INRIA et l'École Supérieure en Sciences Informatiques de l'université de Nice - Sophia Antipolis (réseau régional). Les premiers résultats expérimentaux, présentés dans [28], valident les modèles proposés. Toutefois, dans certaines expérimentations, une dérive des résultats théoriques relatifs au mécanisme centralisé est observée. Ceci a conduit à affiner le modèle markovien de ce mécanisme.

Les modèles élaborés se basent sur des hypothèses statistiques qui peuvent ne pas être vérifiées en pratique. F. Huet a donc développé deux simulateurs, un pour chacun des mécanismes afin d'étudier la robustesse des modèles, dans le cas où des conditions réelles (et non idéalisées) prédominent. Une deuxième série d'expérimentations a été réalisée, validant les modèles et montrant que le mécanisme à base de répéteurs est le plus performant dans un réseau régional (MAN) alors que le mécanisme utilisant un serveur centralisé est préférable dans un réseau local (LAN). Une comparaison théorique entre les temps de réponse moyens des deux mécanismes permet d'identifier des configurations de réseaux (topologie, congestion, etc.) où ceci n'est pas vrai et permet également de choisir le mécanisme à utiliser selon l'état du réseau observé par une application [9][11].

## 6.4. Systèmes de distribution de contenus

**Participants :** Florence Clevenot, Robin Groenevelt, Philippe Nain.

**Mots clés :** *Caches Web, réseaux peer-to-peer, vidéo à la demande, modèles fluides.*

### 6.4.1. Vidéo à la demande

En collaboration avec E. Biersack (INSTITUT EURÉCOM) et A. Jean-Marie (LIRMM), P. Nain a proposé et évalué les performances d'un mécanisme en boucle fermée (interactif) de distribution de vidéo à la demande. La vidéo à transmettre est découpée en  $N$  segments de même taille, qui sont numérotés de 1 à  $N$ . Au début de la transmission, tous les segments sont transmis simultanément sur des canaux différents et à des débits différents. Une fois la transmission d'un segment achevée, celui-ci est immédiatement retransmis par la source sur le même canal et au même débit. Dans le mécanisme proposé, le débit d'émission du segment numéro  $i$  est  $\theta/i$ , où  $\theta$  est un paramètre de l'algorithme, typiquement supérieur au débit de « consommation » de la vidéo dans le mode normal (mode *play*). De plus, il est supposé que la consommation d'un segment ne peut pas commencer avant qu'il ait été entièrement reçu. Ainsi, dans le cas d'une lecture rapide (mode *fast-forward*), il peut arriver que le lecteur ait à attendre l'arrivée du prochain segment, ce qui rompt la continuité de la lecture de la vidéo. Dans [22], P. Nain et ses co-auteurs ont proposé un modèle stochastique de ce système et ont calculé une borne inférieure sur la probabilité qu'une lecture en mode rapide soit un succès. Ce calcul utilise la théorie des processus d'accumulation semi-markoviens. Cette borne peut servir à choisir le paramètre  $\theta$ , en fonction de critères de qualité de service. Une extension de ce travail visant à prendre en compte d'autres fonctionnalités usuelles des magnétoscopes et vidéoscopes (pause, rembobinage rapide, etc.) est en cours.

Ces travaux ont été menés dans le cadre de la COLOR « DISCONT » (cf. Section 8.1.2).

### 6.4.2. Caches répartis

En collaboration avec K. W. Ross (INSTITUT EURÉCOM), F. Clévenot et P. Nain ont développé un modèle stochastique fluide pour un système de caches répartis (*cache clusters*)[57]. Les caches subissent des pannes et installations selon un processus d'Engset. En modélisant les documents stockés par une quantité de fluide augmentant avec les requêtes insatisfaites, une formule explicite du taux de *hit* a été obtenue, sous l'hypothèse d'une capacité de stockage infinie. Une méthode d'estimation rapide a également été proposée pour le cas de capacité finie. Un simulateur du système de caches a été réalisé et des campagnes de simulations ont permis de valider l'approche par modèle fluide. Ces simulations ont montré que la précision de l'estimation du taux de hit est très satisfaisante. Elles ont également montré que le modèle fluide est capable de mettre en évidence des paramètres clés du système.

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de la COLOR « DISCONT » (cf. Section 8.1.2).

### 6.4.3. Réseaux peer-to-peer

Les réseaux *peer-to-peer* décentralisés (Freenet, Gnutella, etc.) sont caractérisés par un mode de fonctionnement symétrique des participants, chacun d'entre eux pouvant jouer le rôle de serveur et de client. Ils se caractérisent également par le caractère éphémère de leur structure, les participants pouvant à n'importe quel moment refuser de coopérer à la recherche/transmission de documents ou se désabonner. Enfin, ils mettent en jeu un nombre considérables d'utilisateurs (plusieurs centaines de milliers comme dans Gnutella). Dans le cadre de sa thèse, R. Groenevelt s'intéresse à deux aspects de ces réseaux. Le premier porte sur l'analyse des performances de divers algorithmes de recherche de documents (recherche par inondation ou *flooding*, recherche aléatoire avec ou sans mémoire, etc.) qui dépendent de façon directe de l'architecture du réseau *peer-to-peer* (réseau « en loi de puissance », réseau complètement connecté, etc.). Le second porte sur la recherche de modèles mathématiques permettant de comprendre et de reproduire (par exemple pour les simuler) les architectures des réseaux qui s'auto-organisent, dont les réseaux *peer-to-peer* sont un exemple.

#### 6.4.3.1. Recherche de documents

Une manière de localiser l'information (document) dans un réseau *peer-to-peer* est la diffusion (*broadcast*). De cette manière, le réseau est inondé par une requête et chaque nœud ne possédant pas le document cherché transmet la demande à ses voisins. La vitesse avec laquelle se propage la requête dépend notamment de la structure du réseau et de la façon dont les nœuds sont interconnectés. R. Groenevelt a montré que pour certaines topologies de réseaux *peer-to-peer*, il était possible de construire un modèle fluide du réseau et de caractériser le nombre d'étapes nécessaires pour trouver un document.

#### 6.4.3.2. Topologie des réseaux peer-to-peer

Dans nombre de « réseaux » (graphe de l'Internet, réseaux *peer-to-peer*, Web, co-auteurs, contacts sociaux, etc.) pouvant croître sans contrainte (*scale-free networks*), le nombre de voisins (ou degré) d'un nœud suit une loi de puissance. R. Groenevelt a construit un algorithme qui permet de générer un réseau en loi de puissance avec un exposant, un degré et un coefficient de connectivité entre voisins (*clustering coefficient*) donnés.

## 6.5. Optimisation multicritère dans les réseaux

**Participants :** Eitan Altman, Rachid El Azouzi.

**Mots clés :** *Théorie des jeux, équilibre de Nash, équilibre de Wardrop, paradoxe de Braess.*

Nous nous intéressons à deux problèmes d'optimisation dans les réseaux. Le premier concerne le routage : plusieurs agents (fournisseurs de services ou usagers) ont le choix des liens à utiliser pour distribuer leur trafic. Chaque agent souhaite minimiser ses coûts et optimiser ses qualités de service (minimiser les délais et les probabilités de pertes). Le deuxième problème porte sur les politiques de tarification et de qualité de service que les fournisseurs de services doivent mettre en œuvre. Leur objectif est de maximiser leurs gains, en prenant en compte le contexte compétitif entre fournisseurs et le comportement des usagers dans ce contexte compétitif.

Cette activité, initialisée dans le cadre de la coopération INRIA-NSF avec l'université de l'Illinois (Urbana Champaign, USA), s'est étendue dans le cadre d'une convention de recherche avec FRANCE TÉLÉCOM

R&D qui a débuté fin 2000, en partenariat avec le projet MIAOU (O. Pourtallier). Des collaborations (non-contractuelles) sont également en cours avec plusieurs collègues de l'université de Tsukuba au Japon, notamment avec H. Kameda.

En 2002 notre effort a essentiellement porté sur le premier problème. Les résultats obtenus sont décrits ci-après.

### **6.5.1. Equilibres dans les réseaux**

La notion d'« équilibre » pour l'étude du routage dans les réseaux de télécommunications est apparue au début des années 90. Elle est née de la dérégulation des grands réseaux et de l'introduction de la compétition entre opérateurs, qui ont rendu inadéquats les modèles de routage classiques basés sur la programmation convexe.

#### *6.5.1.1. Propriétés des équilibres*

E. Altman, en collaboration avec T. Jimenez (université de Merida, Venezuela), T. Başar (université de l'Illinois, USA) et N. Shimkin (Technion, Israël), a étudié l'existence et l'unicité d'équilibres de type Nash dans des réseaux à topologies générales. Rappelons qu'à l'équilibre de Nash aucune déviation unilatérale n'est profitable : chaque usager qui dévie de cet équilibre ne pourra améliorer ses performances. Il a été montré dans [15] que pour des coûts des liens polynomiaux, l'équilibre de Nash est unique.

Le cas de coûts plus généraux a été considéré par E. Altman, en collaboration avec H. Kameda et Y. Hosokawa (tous deux de l'université de Tsukuba au Japon) [19]. L'unicité de l'équilibre a été obtenue pour une topologie spécifique, liée au calcul réparti.

#### *6.5.1.2. Equilibres mixtes*

Dans [24] E. Altman, en collaboration avec T. Boulogne (université Paris 6), O. Pourtallier et H. Kameda, a introduit un nouveau concept d'équilibre pour permettre de modéliser à la fois des usagers non-atomiques (dont le nombre est infini mais qui ont chacun un impact négligeable sur les performances des autres usagers) et des usagers atomiques (qui ont une grande quantité de flux à transmettre et dont les actions ont un fort impact sur les performances des autres usagers).

#### *6.5.1.3. Equilibres avec contraintes*

Dans [32] E. Altman et R. El Azouzi, en collaboration avec T. Başar et R. Skrikant (université de l'Illinois, USA), ont découvert qu'en présence de contraintes de qualité de service, il n'y avait plus unicité de l'équilibre de Nash, même pour des topologies simples de liens parallèles (où l'unicité avait été établie en l'absence de contraintes). Néanmoins, sous certaines conditions, il est possible d'obtenir l'unicité de l'utilisation des liens. Ils ont également montré qu'en présence de plusieurs équilibres, un équilibre particulier, unique, pouvait être sélectionné, puis atteint d'une manière décentralisée, en mettant en œuvre une politique simple de tarification.

#### *6.5.1.4. Convergence à l'équilibre*

Une question importante qui se pose est de savoir si l'équilibre est atteint lorsque le réseau n'est pas à l'équilibre à l'instant initial. Cette question a été abordée dans [23] par E. Altman, en collaboration avec T. Boulogne et O. Pourtallier. Des résultats de convergence asymptotique ont été obtenus dans un problème de partage de charge dans un réseau d'ordinateurs.

#### *6.5.1.5. Equilibres dans les réseaux à pertes*

E. Altman, R. El Azouzi, en collaboration avec V. Abramov, ont étudié l'équilibre dans les réseaux à pertes [17]. Dans ce contexte, plusieurs agents choisissent des routes dans le réseau, chacun souhaitant minimiser la probabilité de rejet de ses paquets. Il a été montré que l'équilibre n'est pas unique, ni même l'utilisation des liens dans un équilibre donné, et cela pour la topologie la plus simple constituée de liens parallèles. L'unicité de l'équilibre pour la topologie des liens parallèles a été prouvée sous l'hypothèse que toutes les connexions demandent la même bande passante. Dans ce cas particulier, une méthode de calcul de l'équilibre a été proposée. Une méthode de tarification de nature « sociale » a également été introduite ; elle a pour conséquence de minimiser la probabilité globale de rejet, à l'équilibre.

### **6.5.2. Routage avec une demande élastique**

Dans tous les problèmes mentionnés jusqu'à présent, seules des décisions de routage pour des demandes fixes par usager ont été considérées. Le cas où les usagers doivent déterminer à la fois la quantité de flux et le

routage a été abordé dans [16] par E. Altman en collaboration avec T. Basar et R. Srikant. Plusieurs équilibres ont été identifiés en régime asymptotique, quand le nombre d'utilisateurs devient grand ; une approche numérique a été proposée pour les calculer.

### 6.5.3. Paradoxe de Braess

Des paradoxes intéressants se produisent dans les réseaux à cause du caractère non-coopératif des utilisateurs. Les paradoxes les plus frappants sont ceux de type Braess : en ajoutant un lien au réseau ou en augmentant la capacité d'un lien, les performances de tous les utilisateurs se dégradent. De tels scénarios ont été examinés en détail dans [33][43] par E. Altman, R. El Azouzi et O. Pourtallier (projet MIAOU).

## 6.6. Contrôle et théorie des jeux

**Participants :** Eitan Altman, Konstantin Avrachenkov.

**Mots clés :** *Processus markoviens contrôlés, jeux stochastiques.*

### 6.6.1. Processus de décision markoviens

Dans [25][30] E. Altman et K. Avrachenkov ont étudié, en collaboration avec J. Filar (université de South Australia), la sensibilité des solutions (politiques optimales et valeurs optimales) des MDPs (*Markov Decision Processes*) et des jeux stochastiques aux paramètres du problème : les coûts instantanés, le facteur d'actualisation et les probabilités de transition. Une méthode innovante (basée sur la méthode du Simplex asymptotique) a été développée pour obtenir les valeurs et les politiques optimales sous forme de séries de Laurent en les paramètres du problème.

### 6.6.2. Jeux stochastiques

En collaboration avec A. Nowak (université de Wrocław, Pologne), E. Altman a abordé le problème d'existence d'équilibre de Nash dans les jeux stochastiques à espace d'état infini (non dénombrable). L'existence d'un  $\epsilon$ -équilibre a été démontré à la fois pour des coûts actualisés et moyens, sans supposer que les coûts instantanés sont bornés [26]. L'analyse est basée sur une approximation du problème par un autre avec un espace d'état dénombrable, en conjonction avec des techniques de Lyapunov.

## 6.7. Résultats théoriques sur les files d'attente

**Participant :** Eitan Altman.

**Mots clés :** *Files d'attente, processus stationnaires ergodiques, contrôle d'admission, routage.*

### 6.7.1. Equations récursives stochastiques

Dans [13], E. Altman a développé une théorie générale pour des équations de récurrence stochastiques de la forme  $X_{n+1} = A_n(X_n) + B_n$ . Sous les hypothèses où la suite  $\{A_n(\cdot), B_n\}$  est stationnaire, ergodique et où  $\{A_n(\cdot)\}$  est un processus de Lévy (infiniment divisible), l'existence et l'unicité d'un processus stationnaire et ergodique solution de cette équation est démontrée ; de plus, sa distribution stationnaire est calculée. Cette théorie a ensuite été appliquée à l'analyse de files d'attente avec vacances du serveur ainsi que pour des systèmes de type *polling*. A chaque fois un calcul explicite des temps de réponse moyen et de l'occupation moyenne a pu être réalisé.

### 6.7.2. Contrôle d'admission dans les files d'attente

Une littérature très riche existe sur la structure des politiques optimales de contrôle des admissions dans les files d'attente. Sous des conditions variées, on essaye de montrer l'optimalité de politiques à seuil. Cette démarche a été suivie à la fois dans un contexte de contrôle centralisé et réparti (chaque client décide de rentrer ou non dans la file d'attente). Dans [35] E. Altman, en collaboration avec R. Hassin (université de Tel Aviv, Israël), a montré qu'une politique à seuil n'est en général plus optimale quand les temps de service ne sont pas exponentiellement distribués ; ils en ont en outre identifié la raison. A l'aide d'une approximation fluide, ils ont trouvé une politique d'admission qui est  $\epsilon$ -optimale à forte charge.

### 6.7.3. Routage optimal dans les files d'attente

En collaboration avec T. Jimenez (université de Merida, Venezuela), R. Núñez-Queija (CWI/université de Eindhoven, Pays-Bas) et U. Yechiali (université de Tel-Aviv, Israël), E. Altman a analysé dans [36] un problème de routage optimal pour un système composé de deux files d'attente, où seul l'état d'une file est connu. L'objectif est de minimiser le temps de réponse moyen du système. Les performances des politiques à seuil ont été calculées à l'aide des processus de naissance et mort. Des conditions ont été identifiées pour lesquelles les politiques à seuil sont optimales ; un exemple est fourni où une politique à seuil n'est pas optimale.

## 7. Contrats industriels

### 7.1. Conventions de recherche avec France Télécom R&D-Issy Les Moulineaux

#### 7.1.1. Optimisation multicritère

**Participants :** Eitan Altman, Rachid El Azouzi.

Ces travaux sont réalisés dans le cadre d'une CTI (signature du contrat en 2000 ; durée 3 ans). Il s'agit d'appliquer des outils de la théorie des jeux à des problèmes de routage noncoopératif dans les réseaux. R. El Azouzi est ingénieur expert sur ce projet et les responsables scientifiques de cette convention sont E. Altman et O. Pourtallier (du projet MIAOU).

#### 7.1.2. Allocation de ressources dans l'Umts

**Participants :** Eitan Altman, Konstantin Avratchenkov, Rachid El Azouzi, Nidhi Hegde, Balakrishna Prabhu.

Une nouvelle convention de recherche entre MISTRAL et FRANCE TÉLÉCOM R&D, d'une durée de 3 ans, vient de débuter. Elle porte sur l'étude de stratégies d'allocation de ressources dans l'UMTS. L'accent sera notamment mis sur le contrôle de débit, le contrôle d'allocation du canal de transmission et le contrôle d'accès. Des modèles à la fois statiques et dynamiques seront proposés.

### 7.2. Convention de recherche avec Alcatel Space

**Participants :** Sara Alouf, Eitan Altman, Corinne Touati, Tuna Toker.

Cette convention, d'une durée de deux ans, entre MISTRAL et MASCOTTE (participant : J. Galtier) d'une part, et ALCATEL SPACE d'autre part, a débuté en avril 2001. Elle porte sur la planification et l'optimisation des communications par satellites. Les résultats obtenus à ce jour concernent la définition d'algorithmes d'optimisation et de partage équitable de ressources radio (allocations de porteuses) et l'allocation de *slots* dans l'accès AMRT à l'aide d'une approche heuristique (le recuit simulé). Ce dernier travail a été réalisé dans le cadre du stage de DEA RSD (UNSA) de Tuna Toker [49]. D'autres méthodes pour l'allocation de *slots* sont actuellement à l'étude.

### 7.3. Rnrt « Esquimaux »

**Participants :** Philippe Nain, Eric Thibault.

Le projet RNRT ESQUIMAUX a pour objectif la réalisation d'un environnement de modélisation pour l'évaluation des performances des flux, notamment audio-visuels, dans un réseau de type IP/MPLS. Outre le projet MISTRAL, il regroupe CEGETEL, CS-SI, DELTA-PARTNERS, l'ENST et le LAAS. MISTRAL est chargé d'enrichir le logiciel NETQUAD (développé et commercialisé par ANITE (ex DELTA-PARTNERS), qui servira de noyau à l'environnement de modélisation, de modèles de trafic (en particulier IP).

Après avoir proposé et développé des modèles de trafic pour les différentes sources multimédia (voir rapport d'activités 2001), nous nous sommes intéressés à la caractérisation de sources réelles (Vidéos MPEG4, Vidéos Real player, Vidéos H263 et Netmeeting Audio) au niveau applicatif et Ethernet. Cette étude [54] nous a

permis notamment de valider et de compléter la paramétrisation des différents modèles de trafic précédemment développés pour NETQUAD.

Nous avons aussi complété notre étude sur TCP, en proposant des modèles en boucle fermée pour les flux TCP [52]. Dans ce travail, nous tenons compte des interactions entre l'état du réseau (pertes et délais d'acquittement d'un paquet) et le débit des flux TCP.

Les mesures de performance d'un réseau IP/MPLS à services différenciés sont bien sûr liées aux différentes sources de trafic mais aussi aux différents mécanismes associés à la qualité de service qui peuvent être implantés dans les routeurs. Dans notre étude liée à la configuration du réseau de CEGETEL, les mécanismes de QoS sont tout d'abord configurés au niveau du Customer Edge (CE) qui est un router Cisco2600. En parallèle à notre travail sur la modélisation du trafic, nous avons participé à la caractérisation et à la validation des différents mécanismes de QoS identifiés tels que CBWFQ (mécanisme d'ordonnancement des paquets), WRED (mécanisme de gestion de la congestion dans une file d'attente), CAR (policing) et Shaping qui ont été implantés par le LAAS dans NETQUAD [53].

Ces différents mécanismes influencent à leur tour le comportement des différents flux à la sortie du router. Nous avons donc réalisé une analyse et une estimation des flux inter-classes et agrégé à la sortie du Customer Edge. Cette étude, présentée dans [53], nous a permis d'identifier et de préconiser une modélisation analytique des flux et des nœuds à la sortie du CE dans Netquad.

## 7.4. Rnrt « Vthd++ »

**Participants :** Maria Ladoue, Philippe Nain.

La tâche de MISTRAL dans le projet VTHD++ (suite du projet VTHD, voir rapports d'activité 2000 et 2001) est de développer et de déployer le logiciel WAGON++ de génération de trafic voix et vidéo (voir section Logiciels) sur VTHD++ dans le but de créer à la demande un trafic de fond significatif. Pour ce faire, il a été commandé (septembre 2002) 45 PC (PIII, bi-processeurs : 1.2Ghz, RAM : 512Mo), qui viendront s'ajouter aux 61 PC déjà déployés, dont 40 clients et 5 serveurs, situés en majorité sur le site de l'INRIA Rocquencourt (30 clients) et pour le reste à l'INRIA Sophia Antipolis, afin d'équilibrer la charge du réseau, qui était jusqu'à maintenant uniquement dirigée dans le sens « nord->sud ». Les machines sont en cours de déploiement et devraient être opérationnelles fin 2002.

Parallèlement à cela, a été réalisée une campagne de tests en vue d'étudier l'efficacité de la politique de qualité de service mise en place sur la plateforme VTHD ainsi que d'autres tests qui ont été réalisés ponctuellement en collaboration avec des partenaires du projet sur les caches répartis (avec l'INSTITUT EURÉCOM) et sur le comportement de TCP dans un réseau haut-débit (avec le projet PLANETE).

Des outils (Cricket, Smokeping) de surveillance (*monitoring*) du réseau ont été mis en place, sur plusieurs « sites WAGON », pour répondre à l'hétérogénéité du réseau VTHD (différents OS : Linux, FreeBSD), toujours en collaboration avec N. Sayer, Ingénieur Expert INRIA sur le projet VTHD++. Ils permettent d'acquérir des informations temps-réel (débit, pertes, ect.) des machines WAGON, mais aussi de réaliser des statistiques sur de plus longues périodes (mois, année). De plus, nous disposons à présent d'informations sur l'état des nœuds principaux du réseau (routeurs du backbone et nœuds d'accès).

## 8. Actions régionales, nationales et internationales

### 8.1. Actions nationales

#### 8.1.1. Arc « Tcp »

Depuis février 2002 MISTRAL coordonne une Action de Recherche Coopérative (ARC) intitulée « Modèles et algorithmes pour les réseaux TCP/IP »<sup>1</sup>. Cette ARC, d'une durée de deux ans, outre MISTRAL rassemble

<sup>1</sup>[http://www-sop.inria.fr/mistral/personnel/K.Avrachenkov/WebPage/ARC\\_TCP.html](http://www-sop.inria.fr/mistral/personnel/K.Avrachenkov/WebPage/ARC_TCP.html)

les projets INRIA ARMOR, HIPERCOM, PLANETE, TREC ainsi que l'avant-projet RAP, le LIRMM (A. Jean-Marie), FRANCE TÉLÉCOM R&D (T. Bonald, P. Brown, D. Collange, F. Guillemin, A. Proutière, J. Roberts) et l'EPFL (J.-Y. Le Boudec, P. Thiran). Elle a pour double objectif de faire le point sur ce domaine de recherche très actif et d'initialiser de nouvelles collaborations entre les partenaires du projet. Des échanges de stagiaires, doctorants et post-doctorants sont favorisés ainsi bien entendu que des coopérations directes entre les membres de cette ARC. Le premier workshop a eu lieu à Sophia Antipolis les 16 et 17 mai 2002<sup>2</sup> et a rassemblé une trentaine de participants.

### 8.1.2. *Color « Discont »*

En 2002 MISTRAL a coordonné une COopérations LOcales de Recherche (action COLOR) avec l'Institut Eurécom (E. Biersack, K. W. Ross) et le LIRMM (A. Jean-Marie). Le thème des recherches est l'évaluation des systèmes de distribution de contenus (Web, vidéo à la demande, etc.) - voir la description des travaux réalisés dans les sections 6.4.1 et 6.4.2.

## 8.2. Relations bilatérales internationales

### 8.2.1. *Collaboration dans le cadre de l'Institut Lyapounov avec la Russie*

Dans le cadre de l'INSTITUT LYAPOUNOV, MISTRAL vient d'entamer une collaboration scientifique avec le département de mathématiques appliquée de l'université de St Petersburg. Nos interlocuteurs russes sont les professeurs N. Vilchevsky et G. Shevlyakov. Cette collaboration porte sur l'analyse de mécanismes de différenciation de service et notamment l'étude de politiques de gestion de tampons avec priorités.

### 8.2.2. *Pai Van Gogh avec les Pays-Bas*

MISTRAL est partenaire de l'université libre d'Amsterdam (Prof. Ger Koole) dans le cadre d'un Programme d'Actions Intégrées (PAI) VAN GOGH qui porte sur l'application de la programmation neuro-dynamique au contrôle de certains systèmes à événements discrets. Ce PAI a débuté en janvier 2001, puis a été prolongé d'une année à la fin de 2001.

Un nouveau PAI VAN GOGH entre MISTRAL, le CWI à Amsterdam (S. Borst, M. Mandjes), l'université de Eindhoven (O. J. Boxma, R. Núñez Queija, B. Zwart) et l'université de Twente (W. Scheinhardt) vient d'être accepté ; il a pour thème l'analyse du protocole TCP.

### 8.2.3. *Collaboration Arc-en-Ciel avec Israël*

MISTRAL participe à une collaboration ARC-EN-CIEL avec le département de statistique et de recherche opérationnelle de l'université de Tel-Aviv (Prof. U. Yechiali). D'une durée de deux ans, ce projet qui a débuté au cours de l'été 2001, porte sur le développement de techniques de routage optimal dans les réseaux en présence d'informations retardées ou partielles.

### 8.2.4. *Amérique du Nord*

Le projet MISTRAL est associé à un projet NSF ITR (Information Technology Research) intitulé « Qualité de service dans le futur Internet » qui regroupe R. Guérin (univ. of Pennsylvanie), J. Kurose et D. Towsley (univ. of Massachusetts) et Z.-L. Zhang (univ. of Minnesota). Ce projet, d'une durée de 5 ans, a débuté en 2001. Il finance des séjours des membres de MISTRAL chez les partenaires américains.

## 8.3. Visites et invitations de chercheurs

### 8.3.1. *Europe*

D. Clancy (University of Liverpool, UK, du 15/12/02 au 22/12/02), G.-J. Franx (Vrije University of Amsterdam, Pays-Bas, du 11/12/02 au 02/01/03), G. Koole (Vrije University of Amsterdam, Pays-Bas, du 15/04/02 au 01/05/02), S. Ostring (University of Cambridge, UK, du 14/10/02 au 29/10/02), A. Piunovsky (University of Liverpool, UK du 26/07/02 au 02/08/02).

<sup>2</sup>[http://www-sop.inria.fr/mistral/personnel/K.Avrachenkov/WebPage/ARC\\_TCP\\_workshop.html](http://www-sop.inria.fr/mistral/personnel/K.Avrachenkov/WebPage/ARC_TCP_workshop.html)

### 8.3.2. Amérique

T. Başar (University of Illinois at Urbana Champaign, USA, du 18/03/02 au 22/03/02) A. M. Makowski (University of Maryland, USA, du 08/01/02 au 22/01/02), D. Towsley (University of Massachusetts, USA, du 04/11/02 au 10/11/02).

### 8.3.3. Méditerranée, Maghreb et Proche-Orient

U. Yechiali (université de Tel Aviv, Israël, du 29/03/02 au 14/04/02).

### 8.3.4. Océanie

J. Filar (University of South Australia, Australie, du 01/06/02 au 31/07/02).

## 8.4. Séjours scientifiques

S. Alouf a été invitée à l'université Vrije d'Amsterdam (22/10/02-24/10/02) par le Prof. G. Koole dans le cadre d'un PAI VAN GOGH.

E. Altman a séjourné 7 mois à l'université de Los Andes à Merida (Venezuela).

K. Avratchenkov a rendu visite au Prof. K. Galkowski (22/04/02-27/04/02, Zielona Gora University, Pologne) et au Prof. B. Sikdar (25/11/02-15/12/02, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, USA).

P. Dube a rendu visite au Prof. V. Borkar au Tata Institute à Mumbai, Inde, du 14/02/02 au 19/03/02. Il a également été invité du 01/07/02 au 05/07/02 par F. Guillemin à FRANCE TÉLÉCOM R&D à Lannion dans le cadre de l'ARC TCP. Depuis le 1/10/2002, P. Dube est post-doctorant chez IBM T.J. Watson Research Center, USA.

R. El Azouzi a été invité à l'INRIA de Rocquencourt par Laura Wynter du 01/02/02-01/03/02.

N. Hegde a séjourné un mois (septembre 2002) chez FRANCE TÉLÉCOM R&D à Issy-Les-Moulineaux (groupe de J. Roberts) dans le cadre de l'ARC TCP.

P. Nain a séjourné à l'université Libre d'Amsterdam (1 semaine en juin) invité par le Prof. G. Koole dans le cadre d'un PAI VAN GOGH.

C. Touati a été invité par le Prof. Kameda à l'université de Tsukuba au Japon du 28/9/02 au 16/11/02.

## 9. Diffusion des résultats

### 9.1. Animation de la communauté scientifique

#### 9.1.1. Participation à des commissions

E. Altman est membre du groupe de travail IFIP W.G. 7.3.

K. Avratchenkov est membre du CUMI.

P. Nain est membre de la Commission des Spécialistes de la 27ème section de l'UNSA. Il est membre du bureau du comité des projets de l'UR INRIA de Sophia Antipolis et préside la Commission Locale des Postes d'Accueil. Il est responsable du « DEA Réseaux et Systèmes Distribués » (RSD) de l'université de Nice-Sophia Antipolis, membre du conseil scientifique de ALCATEL SPACE (octobre 2000 à octobre 2002) et membre et trésorier du groupe de travail IFIP W.G. 7.3.

#### 9.1.2. Participation à des comités d'édition

E. Altman est éditeur associé des revues *Journal of Economics, Dynamics and Control* (JEDC) et *Stochastic Models*.

P. Nain est éditeur associé des revues *Operations Research Letters* et *Performance Evaluation*.

### 9.1.3. Participation à des comités de programme

- E. Altman a été membre du comité de programme des conférences suivantes : « IEEE Infocom 2003 » (23-27 juin 2003, San Francisco, Californie), « IEEE Infocom 2002 » (23-27 juin 2002, New-York City, New York), « Networking 2002 » (19-24 mai 2002, Pise, Italie), « Conférence Internationale Francophone d'Automatique » (CIFA ; 8-10 juillet 2002, Nantes), « Game Theory and Applications » (14-17 août 2002, Qingdao, Chine ; partie de International Congress of Mathematicians ICM2002, Beijing, 2002), « 10th International Symposium on Dynamic Games and Applications » (08-12 juillet 2002, Saint-Petersbourg, Russie), « IASTED International Conference Networks, Parallel and Distributed Processing, and Applications » (NPDP ; 1-4 octobre 2002, Tsukuba, Japon), « 2002 IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference » (VTC-2002 Fall Conf. ; 24-29 septembre 2002, Vancouver, Canada). Il a été co-président du comité de programme du workshop « Networking Games and Resource Allocation » (12-15 juillet 2002, Petrozavodsk, Russie).
- K. Avrachenkov est membre du comité d'organisation du « Workshop on Modeling and Optimization in Mobile Ad Hoc and Wireless Networks » (3-5 mars 2003, Sophia Antipolis) et organisateur du mini-symposium du « 5th International Congress on Industrial and Applied Mathematics » (ICIAM ; 7-11 juillet 2003, Sydney, Australie).
- P. Nain a été membre du comité de programme des conférences suivantes : « ACM SIGMETRICS 2002 » (15-19 juin 2002, Marina Del Rey, Californie), « IEEE Infocom 2003 » (23-27 juin 2003, San Francisco, Californie), « IFIP WG 7.3 Performance 2002 » (23-27 septembre, Rome, Italie), « 17th International Symposium on Computer and Information Sciences » (ISCIS XVII, 28-30 octobre 2002, Orlando, Floride).

### 9.1.4. Organisation de colloques et d'écoles

- Le projet MISTRAL a organisé un séminaire le 7 novembre 2002 sur le thème « Evaluation des performances des systèmes à événements discrets », dans le cadre du club INTECH SOPHIA (<http://www-sop.inria.fr/intech/index.html>). Le programme était composé de deux exposés de chercheurs (A. Jean-Marie du LIRMM et P. Nain) et de deux exposés d'industriels (F. Manchon de LUCENT TECHNOLOGIES et Günther Siegel de SIMULOG). Une cinquantaine de personnes a participé à cette manifestation.
- MISTRAL co-organise avec l'université de Cambridge (Grande-Bretagne) un workshop international sur les réseaux mobiles intitulé « Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks »<sup>3</sup>. Les conférenciers plénières sont V. Anantharam (univ. Berkeley), P. R. Kumar (univ. Illinois) et D. Tse (univ. Berkeley). Cette manifestation qui est organisée dans le cadre du 20ème anniversaire de la création de l'UR INRIA de Sophia Antipolis, se déroulera du 3 au 5 mars 2003 à Sophia Antipolis.

### 9.1.5. Participation à des jurys de thèse

- E. Altman a été rapporteur des thèses de J. A. Menade (septembre 2002, univ. Mexico) et A. Pirovano (ENST, juillet 2002) et a participé au jury de thèse de P. Dube (20/9/02, UNSA) en tant que directeur de thèse.
- P. Nain a participé aux jurys de thèse de R. Casellas (25/11/02, ENST) en tant que rapporteur, de S. Alouf (8/11/02, UNSA) en tant que directeur de thèse, de S. Bhulai (11/06/02, université d'Amsterdam), P. Dube (20/9/02, UNSA) et J. Kangasharju (26/4/04, INSTITUT EURÉCOM) en tant qu'examinateur, et a présidé le jury de soutenance de F. Huet (11/12/02, UNSA).

<sup>3</sup><http://www-sop.inria.fr/mistral/personnel/K.Avrachenkov/WiOpt/main.html>

## 9.2. Enseignement universitaire

### 9.2.1. Thèses

Les thèses suivantes ont été soutenues en 2002 dans le projet MISTRAL :

- S. Alouf « Estimation de Paramètres et Analyse des Performances de Diverses Applications Réseaux », soutenue le 8 novembre 2002 à l'université de Nice-Sophia Antipolis [9].
- P. Dube « Performance Evaluation of Congestion Phenomena in Communication Networks », soutenue le 20 septembre 2002 à l'université de Nice-Sophia Antipolis [10].

### 9.2.2. Enseignements

- Maîtrise MASS, UNSA Travaux dirigés en théorie des jeux (R. El Azouzi, 52H)
- DEA RSD, UNSA Cours de tronc commun (TC3) de Modélisation et d'évaluation des performances (P. Nain, 21H de cours). P. Nain est le responsable du DEA Réseaux et Systèmes Distribués (RSD). Cours d'option sur la Modélisation du trafic et services différenciés dans les réseaux (K. Avratchenkov 6H, P. Nain 12H, E. Thibault 3H)
- DEA IRO, Paris 6 Cours d'option sur le Contrôle stochastique des réseaux (P. Nain, 12H).
- INSTITUT EURÉCOM Cours de files d'attente (P. Nain, 12h). Travaux dirigés de files d'attente (S. Alouf, 5H ; R. El Azouzi, 3h).
- CIV (Classes préparatoires) Travaux pratiques de programmation mathématiques (R. El Azouzi, 40H).

E. Altman a enseigné un cours de master de 48 heures sur le simulateur NS-2 à l'université de Los Andes, Merida, Venezuela.

C. Touati et N. Malouch ont enseigné à l'UNSA dans le cadre respectivement de leurs fonctions de moniteur et d'ATER.

## 9.3. Participation à des colloques, séminaires, invitations

### 9.3.1. Participation à des conférences

- S. Alouf a présenté des communications lors des conférences suivantes : « ACM Sigmetrics 2002 » (15-19 juin 2002, Marina Del Rey, Californie) et « IEEE Infocom 2002 » (23-27 juin 2002, New York City, New York). Elle a également participé en tant que conférencière au « 1er workshop ARC TCP », organisé par l'INRIA (16-17 mai 2002, Sophia Antipolis, France). Elle a en outre assisté à la 6ème édition de l'école d'été Réseaux Haut Débit et Multimédia, RHDM 2002 (6-10 mai 2002, Autrans, France) et à « IFIP WG 7.3 Performance 2002 » (23-27 mai 2002, Rome, Italie).
- E. Altman a été conférencier invité lors de la conférence « 1st Madrid Conference on Queueing Theory » (2-5 juillet 2002), Il a participé comme conférencier à « IEEE ICC » (28 avril-5 mai 2002, New York City, New York), « IEEE Infocom 2002 » (23-27 juin 2002, New York City, New York), « 10th International Symposium on Dynamic Game and Applications » (08-12 juillet 2002, Saint-Petersbourg, Russie), « Networking Games and Resource Allocation Workshop » (13-15 juillet 2002, Petrozavodsk, Russie) et « ACM Mobicom 2002 » (23-28 septembre 2002, Atlanta, Georgia, USA).
- K. Avratchenkov a présenté des communications lors des conférences suivantes : « LONIIS Workshop on Telecommunication Networks and Teletraffic Theory » (janvier 2002, St. Petersburg, Russie), « Applied Probability Conference » en l'honneur du 90ième anniversaire de la naissance de B. V. Gnedenko (3-7 juin 2002, Kiev, Ukraine), « Analysis and Optimisation of Stochastic Networks with Application to Telecommunications and Manufacturing » (workshop Eurandom, 7-9 novembre 2002, Eindhoven, Pays-Bas).

- U. Ayesta a présenté des communications lors des conférences suivantes : « LONIIS Workshop on Telecommunication Networks and Teletraffic Theory » (janvier 2002, St. Petersburg, Russie), « 15th ITC Specialist Seminar on Internet Traffic Engineering and Traffic Management » (juillet 2002, Wurzburg, Allemagne), « 1er workshop ARC TCP », organisé par l'INRIA (16-17 mai 2002, Sophia Antipolis, France). Il a également donné un séminaire à l'université Libre d'Amsterdam (Vrije University ; novembre 2002) et a participé au workshop Eurandom « Analysis and Optimisation of Stochastic Networks with Application to Telecommunications and Manufacturing » (7-9 novembre 2002, Eindhoven, Pays-Bas).
- P. Dube a présenté une communication lors des conférences suivantes : « Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing » (2-4 octobre 2002, Allerton, Illinois), « Networking 2002 » (19-24 mai 2002, Pise, Italie), « 1er workshop ARC TCP », organisé par l'INRIA (16-17 mai 2002, Sophia Antipolis, France).
- R. El Azouzi a présenté des communications lors des conférences suivantes : « IFIP WG 7.3 Performance 2002 » (23-27 septembre 2002, Rome, Italie), « 10th International Symposium on Dynamic Game and Applications » (8-12 juillet 2002, Saint-Petersbourg, Russie), « Networking Games and Resource Allocation Workshop » (12-15 juillet 2002, Petrozavodsk, Russie).
- N. Hedge a présenté une communication lors de la conférence « Quality of Future Internet Services » (QofIS'02, 16-18 octobre 2002, Zürich, Suisse).
- N. Malouch a présenté des communications lors des conférences suivantes : « IEEE Globecom 2002 » (17-21 novembre 2002, Taipei, Taiwan), « 1er workshop ARC TCP », organisé par l'INRIA (16-17 mai 2002, Sophia Antipolis, France).
- P. Nain a participé à la conférence « IFIP WG 7.3 Performance 2002 » (23-27 septembre, Rome, Italie).
- C. Touati a présenté des communications aux conférences suivantes : « IEEE Globecom 2002 » (17-21 novembre 2002, Taipei, Taiwan), « IASTED International Conference Networks, Parallel and Distributed Processing, and Applications » (NPDPA ; 1-4 octobre 2002, Tsukuba, Japon), « Networking Games and Resource Allocation Workshop » (12-15 juillet 2002, Petrozavodsk, Russie).

### 9.3.2. Prix scientifiques

- P. Dube a reçu le prix du *meilleur article étudiant* à la conférence « Networking 2002 » (19-24 mai 2002, Pise, Italie) pour un travail réalisé en collaboration avec O. Ait-Hellal et E. Altman, intitulé « On Loss Probabilities in Presence of Redundant Packets with Random Drop » [39].

## 10. Bibliographie

### Bibliographie de référence

- [1] R. AGRAWAL, A. M. MAKOWSKI, P. NAIN. *On a reduced load equivalence for fluid queues under subexponentiality*. in « QUESTA », numéro 1-3, volume 33, 1999, pages 5-41, Numéro spécial sur « Queues with Heavy-Tailed Distributions », Ed. K. Sigman.
- [2] E. ALTMAN. *Constrained Markov Decision Processes*. Chapman and Hall/CRC, 1999.
- [3] E. ALTMAN, K. AVRACHENKOV, C. BARAKAT. *A stochastic model of TCP/IP with stationary random losses*. in « Proceedings of ACM Sigcomm 2000 Conference, Computer Communication Review », numéro 4, volume 30, pages 231-242, Stockholm, Suède, August, 2000.
- [4] E. ALTMAN, A. FERREIRA, J. GALTIER. *Réseaux Satellitaires de Télécommunications*. Dunod, 1999.

- [5] O. A. HELLAL, E. ALTMAN, A. JEAN-MARIE, I. KURKOVA. *On loss probabilities in presence of redundant packets and several traffic sources*. in « Performance Evaluation », volume 36-37, 1999, pages 486-518.
- [6] A. JEAN-MARIE, Z. LIU, P. NAIN, D. TOWSLEY. *Computational aspects of the workload distribution in the MMPP/G/1 queue*. in « IEEE Transactions on Selected Areas in Communications », numéro 5, volume 16, 1998, pages 640-652.
- [7] Z. LIU, P. NAIN, D. TOWSLEY. *Sample path methods in the control of queues*. in « QUESTA », volume 21, 1995, pages 293-335, Numéro spécial sur « Optimization of queueing systems », Ed. S. Stidham.
- [8] Z. LIU, P. NAIN, D. TOWSLEY. *Exponential bounds with applications to call admission*. in « Journal of the ACM », numéro 3, volume 44, May, 1997, pages 366-394.

## Thèses et habilitations à diriger des recherche

- [9] S. ALOUF. *Estimation de Paramètres et Analyse des Performances de Diverses Applications Réseaux*. thèse de doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, Novembre, 2002.
- [10] P. DUBE. *Performance Evaluation of Congestion Phenomena in Communication Networks*. thèse de doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, September, 2002.

## Articles et chapitres de livre

- [11] S. ALOUF, F. HUET, P. NAIN. *Forwarders vs. centralized server : An evaluation of two approaches for locating mobile agents*. in « Performance Evaluation », numéro 1-4, volume 49, September, 2002, pages 299-319, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4440.html>, Rapport de Recherche INRIA RR-4440.
- [12] T. ALPCAN, T. BASAR, R. SRIKANT, E. ALTMAN. *CDMA uplink power control as a non-cooperative game*. in « Wireless Networks », volume 8, 2002, pages 659-670.
- [13] E. ALTMAN. *Stochastic recursive equations with applications to queues with dependent vacations*. in « Annals of Operations Research », 2002.
- [14] E. ALTMAN, C. BARAKAT, V. RAMOS-RAMOS. *Queuing analysis of simple FEC schemes for voice over IP*. in « Communications Networks », numéro 2, volume 39, 2002, pages 185-206.
- [15] E. ALTMAN, T. BAŞAR, T. JIMÉNEZ, N. SHIMKIN. *Competitive routing in networks with polynomial cost*. in « IEEE Transactions on Automatic Control », volume 47, January, 2002, pages 92-96.
- [16] E. ALTMAN, T. BAŞAR, R. SRIKANT. *Nash equilibria for combined flow control and routing in networks : Asymptotic behavior for a large number of users*. in « IEEE Transactions on Automatic Control, Special Issue on Control Issues in Telecommunication Networks », numéro 6, volume 47, 2002, pages 917-930.
- [17] E. ALTMAN, R. EL-AZOUZI, V. ABRAMOV. *Non-cooperative routing in loss networks*. in « Performance Evaluation », numéro 1-4, volume 49, September, 2002, pages 257-272.

- [18] E. ALTMAN, T. JIMENEZ, R. NÚÑEZ QUEIJA. *Analysis of two competing TCP/IP connections*. in « Performance Evaluation », numéro 1-4, volume 49, September, 2002.
- [19] E. ALTMAN, H. KAMEDA, Y. HOSOKAWA. *Nash equilibria in load balancing in distributed computer systems*. in « International Game Theory Review (IGTR) », numéro 2, volume 4, June, 2002, pages 91-100.
- [20] E. ALTMAN, H. J. KUSHNER. *Control of polling in presence of vacations in heavy traffic with applications to satellite and mobile radio systems*. in « SIAM J. Control and Optimization », numéro 1, volume 41, 2002, pages 217-252.
- [21] C. BARAKAT, E. ALTMAN. *Bandwidth tradeoff between TCP and link-level FEC*. in « Communication Networks », volume 39, June, 2002, pages 133-150.
- [22] E. BIERSACK, A. JEAN-MARIE, P. NAIN. *Open-loop video distribution with support of VCR functionality*. in « Performance Evaluation », numéro 1-4, volume 49, September, 2002, pages 411-427.
- [23] T. BOULOGNE, E. ALTMAN, O. POURTALLIER. *On the convergence to Nash equilibrium in problems of distributed computing*. in « The Annals of Operations Research, special volume on Applications of Game Theory », volume 109, January, 2002, pages 279-291.
- [24] T. BOULOGNE, E. ALTMAN, O. POURTALLIER, H. KAMEDA. *Mixed equilibrium for multiclass routing games*. in « IEEE Transactions on Automatic Control, Special Issue on Control Issues in Telecommunication Networks », numéro 6, volume 47, 2002, pages 903-916.
- [25] J. FILAR, E. ALTMAN, K. AVRACHENKOV. *An asymptotic simplex method for singularly perturbed linear programs*. in « Operations Research Letters », volume 30, October, 2002, pages 295-307.
- [26] A. NOWAK, E. ALTMAN. *Epsilon-Nash equilibria in stochastic games with uncountable state-space and unbounded cost*. in « SIAM J. Control and Optimization », numéro 6, volume 40, 2002, pages 1821-1839.

### **Communications à des congrès, colloques, etc.**

- [27] S. ALOUF, E. ALTMAN, P. NAIN. *Optimal on-line estimation of the size of a dynamic multicast group*. in « Proceedings of IEEE Infocom 2002 Conference », volume 2, pages 1109-1118, New York City, New York, June, 2002.
- [28] S. ALOUF, F. HUET, P. NAIN. *Forwarders vs. centralized server : An evaluation of two approaches for locating mobile agents (extended abstract)*. in « Performance Evaluation Review, Proceedings of ACM Sigmetrics 2002 Conference », numéro 1, volume 30, pages 278-279, June, 2002.
- [29] E. ALTMAN. *Capacity of multi-service CDMA cellular networks with best-effort applications*. in « Proceedings of ACM Mobicom 2002 Conference », Atlanta, Georgia, USA, September, 2002.
- [30] E. ALTMAN, K. AVRACHENKOV, J. FILAR. *An asymptotic simplex method and Markov decision processes*. in « Proceedings of 10th International Symposium on Dynamic Game and Applications », Saint-Petersburg, Russia, July, 2002.

- [31] E. ALTMAN, K. AVRATCHENKOV, C. BARAKAT. *TCP network calculus : The case of large delay-bandwidth product*. in « Proceedings of IEEE Infocom 2002 Conference », New-York, USA, June, 2002.
- [32] E. ALTMAN, R. EL-AZOUZI, T. BASAR, R. SRIKANT. *Combined competitive flow control and routing games*. in « Proceedings of Workshop on Networking Games and Resource Allocation », Petrozavodsk, Russia, July 12-15, 2002.
- [33] E. ALTMAN, R. EL-AZOUZI, O. POURTALLIER. *Properties of equilibria in competitive routing with several user types*. in « Proceedings of 41th IEEE CDC Conference », USA, December, 2002.
- [34] E. ALTMAN, J. GALTIER, C. TOUATI. *Fair power and transmission rate control in wireless networks*. in « Proceedings of IEEE Globecom 2002 Conference », Taipei, Taiwan, November, 2002.
- [35] E. ALTMAN, R. HASSIN. *Non-threshold equilibrium for customers joining an M/G/1 queue*. in « Proceedings of 10th International Symposium on Dynamic Game and Applications », Saint-Petersburg, Russia, July, 2002.
- [36] E. ALTMAN, T. JIMENEZ, R. NÚÑEZ QUEIJA, U. YECHIALI. *Optimal routing among  $M/M/1$  queues with partial information*. in « Proceedings of Workshop on Networking Games and Resource Allocation », Petrozavodsk, Russia, July 12-15, 2002.
- [37] K. AVRACHENKOV, U. AYESTA, E. ALTMAN, P. NAIN, C. BARAKAT. *The effect of router buffer size on TCP performance*. in « Proceedings of LONIIS Workshop on Telecommunication Networks and Teletraffic Theory », pages 116-121, Saint-Petersburg, Russia, July, 2002.
- [38] U. AYESTA, K. AVRACHENKOV. *The effect of the initial window size and limited transmit algorithm on the transient behaviour of TCP transfers*. in « Proceedings of 15th ITC Specialist Seminar on Internet Traffic Engineering and Traffic Management », Wurzburg, Germany, July, 2002.
- [39] P. DUBE, O. AIT-HELLAL, E. ALTMAN. *On loss probabilities in presence of redundant packets with random drop*. in « Proceedings of IFIP Networking 2002 Conference », Pisa, Italy, May 19-24, 2002.
- [40] P. DUBE, E. ALTMAN. *Fluid analysis of early message discarding policy under heavy traffic*. in « Proceedings of IEEE Infocom 2002 Conference », New-York, USA, June, 2002.
- [41] P. DUBE, E. ALTMAN. *Queueing analysis of early message discarding policy*. in « Proceedings of IEEE ICC 2002 Conference », New York City, USA, April, 2002.
- [42] P. DUBE, E. ALTMAN. *Utility analysis of simple FEC schemes for voice over IP*. in « Proceedings of IFIP Networking 2002 Conference », Pisa, Italy, May 19-24, 2002.
- [43] R. EL-AZOUZI. *Avoiding paradox in routing games in networks when travel demand is elastic*. in « Proceedings of 10th International Symposium on Dynamic Game and Applications », Saint-Petersburg, Russia, July, 2002.
- [44] N. HEGDE, K. AVRACHENKOV. *Service differentiation and guarantees for TCP-based elastic traffic*. in « Lecture Notes in Computer Science », volume 2511, éditeurs B. STILLER, M. SMIRNOW, M. KARSTEN,

P. REICHL., pages 159-168, October, 2002.

- [45] N. MALOUCH, Z. LIU. *Performance analysis of TCP with RIO routers*. in « Proceedings of IEEE Globecom 2002 Conference », Taipei, Taiwan, November, 2002.
- [46] N. MALOUCH, Z. LIU, D. RUBENSTEIN, S. SAHU. *A graph theoretic approach to bounding delay in proxy-assisted, end-system multicast*. in « Proceedings of 10th International Workshop on Quality of Service (IWQoS'02) », Miami Beach, FL, mai, 2002.

## Rapports de recherche et publications internes

- [47] S. ALOUF, E. ALTMAN, C. BARAKAT, P. NAIN. *Estimating membership in a multicast session*. Rapport de Recherche, numéro 4391, INRIA, Sophia Antipolis, février, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4391>, soumis à la conférence ACM Sigmetrics 2003.
- [48] K. AVRACHENKOV, N. O., VILCHEVSKY, G. SHEVLYAKOV. *Priority queueing with finite buffer size and randomized push-out mechanism*. Rapport de Recherche, numéro 4434, INRIA, Sophia Antipolis, avril, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4434.html>.
- [49] T. TOKER. *Allocation optimale des ressources pour les communications satellites*. rapport technique, Université de Nice-Sophia Antipolis, Septembre, 2002, Rapport de stage de DEA RSD.
- [50] C. TOUATI, E. ALTMAN, J. GALTIER. *Fair bandwidth allocation between providers in a geostationary satellite network*. Rapport de Recherche, numéro 4421, INRIA, Sophia Antipolis, mars, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4421.html>.

## Divers

- [51] U. AYESTA, K. AVRACHENKOV. *On reducing the number of timeouts for short-lived TCP connections*. 2002, Internet Draft.
- [52] P. NAIN, E. THIBAUT. *Modélisation des flux TCP en boucle fermée*. novembre, 2002, rapport du projet RNRT Esquimaux.
- [53] E. THIBAUT, Y. GIRAUD, N. DELATOCHE, D. GAUCHARD. *Analyse du router Cisco2600*. novembre, 2002, rapport du projet RNRT Esquimaux.
- [54] E. THIBAUT. *Analyse de flux réels*. novembre, 2002, rapport du projet RNRT Esquimaux.

## Bibliographie générale

- [55] S. ALOUF, E. ALTMAN, C. BARAKAT, P. NAIN. *Optimal estimation of multicast membership*. soumis à l'édition spéciale de la revue *IEEE Transactions on Signal Processing* sur le thème *Signal processing in networking*.
- [56] U. AYESTA, K. AVRACHENKOV, E. ALTMAN, C. BARAKAT, P. DUBE. *Multilevel approach for modeling TCP/IP*. article invité à « First International Workshop on Protocols for Fast Long-Distance Networks », 3-4

février 2003, CERN, Genève, Suisse.

- [57] F. CLÉVENOT, P. NAIN, K. ROSS. *Stochastic fluid models for cache clusters*. soumis à la conférence ACM Sigmetrics 2003 (San Diego, CA, juin 2003).
- [58] Z. LIU, N. MALOUCH, V. MISRA, D. RUBENSTEIN, S. SAHU. *Bandwidth sharing schemes for multiple multi-party sessions*. article en préparation.
- [59] T. TOKER, E. ALTMAN, J. GALTIER, C. TOUATI, I. BURET, B. FABRE, C. GUIRAUD. *Slot allocation in a TDMA satellite system : Simulated annealing approach*. à paraître dans les actes de ICSSC 2003 ( 21st AIAA International Communications Satellite System Conference, Yokohama, Japon, avril 2003).
- [60] C. TOUATI, E. ALTMAN, J. GALTIER, B. FABRE, I. BURET. *Radio planning in multibeam geostationary satellite networks*. à paraître dans les actes de ICSSC 2003 (21st AIAA International Communications Satellite System Conference, Yokohama, Japon, avril 2003).