

Programme jeunes chercheuses et jeunes chercheurs 2005

APPEL A PROJETS DE RECHERCHE

A - FICHE D'IDENTITE DU PROJET

N°dossier : :JC05_56601:Rivano:Herve:

Secteur disciplinaire principal : Sciences et technologies de l'information et de la communication
Autre secteur disciplinaire facultatif : Non

Titre du projet (*maximum 120 caractères*)

Optimisation et Simulation pour l'Etude des Réseaux Ambiants

Acronyme ou titre court : OSERA

Mots-clés (la liste des mots-clés sera donnée sur le logiciel de soumission)

Réseaux systèmes architecture, Modélisation – Simulation

Responsable du projet :

- M Prénom : Hervé

Nom : Rivano

- Date de naissance : 12 octobre 1977

- Emploi actuel : Chargé de recherches de deuxième classe, CNRS

- Date de nomination dans cet emploi : 01 octobre 2004

- Section CNU ou CNRS ou Inserm ou équivalent : 7

- Téléphone : 04 92 38 78 99

- Télécopie : 04 92 38 79 71

- Adresse électronique : Herve.Rivano@sophia.inria.fr

Laboratoire : I3S

- N° Unité : 6070

- Laboratoire ou équipe (nom complet) : Informatique, Signaux et Systèmes – Sophia Antipolis

- Directeur : Jean-Marc Fédou

- Adresse complète : I3S – les algorithmes bat. Euclide B– 2000 route des lucioles – BP 121 – 06903
Sophia Antipolis Cedex

Durée du projet : 36 mois

Montant total de l'aide demandée : 120 848 €

Estimation (pour information) du coût complet de la demande : 393 640 €

Résumé du projet (*maximum 3000 caractères*)

(objectifs, résultats attendus, méthodologie)

Ce projet, d'une durée de 36 mois, porte sur l'étude des problématiques issues de l'optimisation des systèmes de télécommunications mobiles ambiants, notamment les réseaux maillés en milieu urbain. Nous entendons répondre au besoin d'outils théoriques et pratiques pour l'étude des problématiques dynamiques dans ce type de réseaux, dont la propriété (et difficulté) remarquable est d'être très instable.

Ses objectifs sont

- (i) au niveau théorique, de rechercher des solutions algorithmiques et combinatoires pour dimensionner et exploiter au mieux ce type de réseau dont la propriété (et difficulté) remarquable est d'être très instable,
- (ii) au niveau méthodologique, de chercher à combiner différentes techniques d'analyse et validation informatiques de telles solutions. En particulier, nous nous intéresserons à l'intégration et l'exploitation combinées des techniques de programmation linéaire et de simulation à événements discrets.

Les résultats attendus sont

- (i) fournir des solutions optimale en termes de coûts pour les opérateurs désirant mettre en place de telles architectures (problème de dimensionnement),
- (ii) fournir des protocoles et algorithmes de façon à répondre aux contraintes de Qualité de Service,
- (iii) fournir des méthodes et outils logiciels génériques pour résoudre ces problèmes.

Pour construire ces solutions, l'équipe s'appuiera sur des techniques et outils déjà existants issus de l'équipe d'origine, soit dans le cadre de développements internes (bibliothèque d'optimisation MascOpt), soit dans le cadre de partenariats avec d'autres équipes et organismes (atelier de simulation ASIMUT, issu d'un partenariat RNRT avec le CNES).

Abstract (*Not exceed 3000 car.*)

(objectives, expected results, methodology)

This 36 months project aims at studying problems arising from the optimization of ambient mobile telecommunications systems, and more specifically meshed radio networks in urban areas. We intend to cope with the need for theoretical and practical tools for studying dynamic problems in such network, which are noticeably unstable.

Its objectives are

- (i) at a theoretical level, to search for algorithmic and combinatoric solutions to dimension and operate as efficiently as possible this kind of networks whose the most remarkable property (and difficulty) is to be very instable,
- (ii) at a methodological level, to investigate how to combine several computing techniques to analyze and validate such solutions.

In particular, we will focus on one hand on techniques based on linear programming tools, and on the other hand, on techniques based on tools for discrete events simulations.

The project expected outputs are

- (i) to provide cost-optimal solutions for operators willing to set up such network architectures (dimensioning problem),
- (ii) to provide protocols and algorithms to be able to cope with Quality of Service constraints in such networks,
- (iii) to provide generic methods and tools to allow a third party to solve such problems.

In order to build such solutions, the team will reuse existing tools and techniques developed in its native team, either internally (eg. the MascOpt optimization library), or in partnership with other teams or organisations (eg. the ASIMUT simulation workshop, which is the outcome of a RNRT partnership with CNES, the french space agency).

Programme jeunes chercheuses et jeunes chercheurs 2005

Participants au projet

Nom	Prénom	Laboratoire ou équipe de rattachement	Emploi actuel	Date de nomination dans le poste	Age au 1/1/05	% du temps de recherche consacré au projet
RIVANO	Hervé	Projet Mascotte I3S/INRIA	CR2 CNRS	1/10/2004	27 ans	75%
COUDERT	David	Projet Mascotte I3S/INRIA	CR2 INRIA	1/9/2002	31 ans	60%
DALLE	Olivier	Projet Mascotte I3S/INRIA	MdC	1/09/2000	35 ans	75%
Goussevskaia	Olga	Projet Mascotte I3S/INRIA	Doctorante	1/10/2005	23 ans	100 %

Signature du responsable du projet :

Cursus

- depuis 10/2004 **Chargé de recherches (CR2) CNRS**
11/2003 - **Post-doc.** à l'Université de Gènes, à l'IUT Génie Télécommunication et Réseau de
09/2004 Sophia Antipolis, et à l'INRIA Sophia Antipolis (projet Mascotte).
2000 -2003 **Thèse de doctorat** en Sciences Informatiques à l'Université de Nice-Sophia
Antipolis (UNSA) dans le projet commun CNRS-INRIA-UNSA MASCOTTE et à
France Télécom R&D (FTRD) : «*Algorithmique et télécommunications : Coloration
et multiflot approchés et applications aux réseaux d'infrastructure*», sous la direction
d'Afonso Ferreira et Jérôme Galtier.
1997 -2000 **Magistère d'Informatique et de Modélisation**, Ecole Normale Supérieure de Lyon
(ENS Lyon), DEA Réseau et Système Distribué à l'Université de Nice - Sophia
Antipolis.

Thèmes de recherches

- Algorithmes combinatoires d'approximation du multiflot entier pour le routage dans les réseaux
- Routage de trafic dynamique
- Optimisation de la capacité dans les réseaux radio
- Surveillance de trafic dans l'Internet

Responsabilités

- Co-président du comité de programme de l'école thématique RésoCom sur la sécurité des réseaux, juin 2006.
- Co-président du comité d'organisation des 7èmes rencontres francophones sur les aspects algorithmiques des télécommunications (AlgoTel'05), Presqu'île de Giens, 11 - 13 mai 2005.
- Membre du C.O. d'Intersense 2006, Nice, 29 - 31 mai 2006.
- Organisateur des journées RésoCom (Recap et Tarot), Nice, 8 - 10 novembre 2005.

Publications majeures

- [1] H. Rivano, F. Théoleyre and F. Valois. About capacity of flat and self-organized ad-hoc and hybrid networks. Soumis à *MAAS'05*, version courte en français à AlgoTel'05, Presqu'île de Giens, mai 2005.
- [2] I. Caragiannis, A. Ferreira, C. Kaklamanis, S. Pérennes, P. Persiano, et H. Rivano. Approximate constrained bipartite edge coloring. A paraître dans *Discrete Applied Mathematics*.
- [3] A. Ferreira, S. Pérennes, A. W. Richa, H. Rivano, et N. Stier Moses. Models, Complexity and Algorithms for the Design of Multifiber WDM Networks. *Telecommunication Systems*, 24(2) :23–138, octobre-décembre 2003.
- [4] D. Coudert and H. Rivano. Lightpath assignment for multifibers WDM optical networks with wavelength translators. In *IEEE Globecom*, Taiwan, November 2002.
- [5] A. Ferreira, J. Galtier, J.N. Petit, et H. Rivano. Re-routing algorithms in a meshed satellite constellation. *Annals of Telecommunications*, 56(3-4) :169–174, mars-avril 2001.

Cursus

- depuis 09/2002 **Chargé de recherches** (CR2) INRIA
- 04-08/2002 **Post-doc.** à l'Université Polytechnique de Catalogne (UPC) à Barcelone, Espagne.
- 1998 -2001 **Thèse de doctorat** en Sciences Informatiques à l'Université de Nice-Sophia Antipolis (UNSA) : *Algorithmique et optimisation de réseaux de communications optiques*, sous la direction d'Afonso Ferreira.
- 1997 -1998 Service National Actif
- 1994 -1997 Magistère d'Informatique à l'ENS Lyon

Thèmes de recherches

- Algorithmes combinatoires d'approximation du multiflot entier pour le routage dans les réseaux
- Groupage de trafic
- Sécurisation par protection dans les réseaux en cas de panne de liens
- Reconfiguration de routage suite à des variations de trafic

Responsabilités

- Représentant français au comité de gestion de l'action COST 293, 2004-2008.
- Responsable pour le projet Mascotte de l'ACI sécurité informatique PRESTO, 2003-2006.
- Co-président du comité de programme de l'école thématique RésoCom sur la sécurité des réseaux, juin 2006.
- Président du comité d'organisation de l'Ecole d'hiver des Télécommunications (EcoTel), décembre 2004.

Publications majeures

[1] J-C. Bermond, C. Colbourn, D. Coudert, G. Ge, A. Ling, and X. Muñoz. Traffic grooming in unidirectional WDM rings with grooming ratio $C = 6$. *SIAM Journal on Discrete Mathematics*, to appear.

[2] J-C. Bermond and D. Coudert. Traffic grooming in unidirectional WDM ring networks using design theory. In *IEEE ICC*, Anchorage, Alaska, May 2003.

[3] D. Coudert, A. Ferreira, and X. Muñoz. A multihop-multi-ops optical interconnection network. *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology*, 18(12) :2076–2085, 2000.

[4] D. Coudert, A. Ferreira, and S. Pérennes. Isomorphisms of the de bruijn digraph and free-space optical networks. *Networks* (Wiley-Interscience), 40(3) :155–164, October 2002.

[5] D. Coudert and H. Rivano. Lightpath assignment for multifibers WDM optical networks with wavelength translators. In *IEEE Globecom*, Taiwan, November 2002.

Olivier Dalle – 35 ans

Maître de Conférences (27e section CNU)

Université de Nice – Sophia Antipolis (UNSA) – UFR Sciences

Cursus

- depuis **Maître de Conférences**, à l'UNSA
09/2000
- 01/1999 - **Post-doc.** CNES au Centre Spatial de Toulouse.
08/2000
- 1997 -1998 **A.T.E.R.** à l'Université de Nice (UFR E.S.S.I.)
- 1994 -1998 **Thèse de doctorat** en Sciences Informatiques à l'UNSA : *Techniques et outils pour les communications et la répartition dynamique de charge dans les réseaux de stations de travail*, sous la direction de J.-C. Bermond et M. Syska.
- 1993 -1994 Service National Actif (scientifique du contingent)
- 1992 -1993 **DEA Informatique**, UNSA
- 1990 -1992 **Licence et Maîtrise d'Informatique**, U. Bordeaux 1.

Thèmes de recherches

- Simulation informatique de systèmes de télécommunications complexes
- Communications multi-points
- Systèmes de communication multi-média par satellite
- Répartition dynamique de charge

Responsabilités

- Membre de la Commission de Spécialistes 27e section de l'UNSA, 2002-2008.
- Co-président du comité de programme de l'École d'hiver des Télécommunications (EcoTel) 2002 (sur le thème des Logiciels pour les Télécommunications).
- Responsable du Parcours Informatique de la première année du Master STIC de l'UNSA (Maîtrise d'Informatique) depuis 2003.

Publications majeures

[1] O. Dalle and P. Mussi. Cooperative Software Development and Computational Resource Sharing. In *NMSC System Simulation Workshop*, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, march 2003. E.S.A.

[2] O. Dalle, J. Radzik, C. Rigal, F. Rodière, C. Saroléa. ASIMUT : An Environment for the Simulation of Multi-Media Satellite Telecommunication Networks. In *19th AIAA International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC)*, Toulouse, France, 17-20 april 2001.

[3] O. Dalle et al. The ASIMUT Simulation Workshop. *Networking and Information Systems Journal*, Vol. 3, No 2/2000, p. 335-348, Hermès.

[4] O. Dalle. MPCFS : Un exemple d'intégration transparente de mécanismes de communication multipoints fiables dans les systèmes UNIX. In *10th Rencontres Francophones du Parallélisme (RENPAP'10)*, Strasbourg, june 1998.

[5] O. Dalle. LoadBuilder : A tool for generating and modeling workloads in distributed workstations environments. In *Proc. of ISCA Parallel and Distributed Computing Systems (PDCS'96)*, Dijon, september 1996.

Cursus

- 10/2005 **Doctorante**, à l'UNSA
2003 - **Master degree**, informatique. Université fédérale du Minas Gerais, Belo Horizonte, Brésil
1999 -2003 **Bachelor degree**, informatique. Université fédérale du Minas Gerais, Belo Horizonte, Brésil

Thèmes de recherches

- Systèmes de télécommunication mobiles
- Réseaux de senseurs
- Optimisation
- Systèmes distribués

Publications majeures

[1] Goussevskaia, O. N., Machado, M. V., Mini, R. A., Loureiro A. A., Mateus, G. R. and Nogueira, J. M. Data Dissemination Based on the Energy Map. *IEEE Communications Magazine. Ad Hoc and Sensor Networks Series*. (To appear.)

[2] Mateus, G. R., Goussevskaia, O. N. and Loureiro A. A. Demand-Driven Server and Service Location in Third Generation. *Wireless Communication and Mobile Computing*. (To appear.)

[3] Goussevskaia, O. N., Machado, M. V., Mini, R. A., Loureiro A. A., Mateus, G. R., and Nogueira, J. M. Data dissemination in autonomic wireless sensor networks. *J-SAC issue on autonomic communication systems*. (Conditional acceptance.)

[4] Machado, M. V., Goussevskaia, O. N., Mini, R. A., Loureiro A. A. and Mateus, G. R. Data Dissemination Using the Energy Map In: *Wireless On demand Network Systems and Services*, 2005, St. Moritz, Switzerland. (To appear.)

[5] Goussevskaia, O. N. and Mateus, G. R. Problema de Localização de Serviços e Servidores em Sistemas de Comunicação Móvel de Terceira Geração In: *XXXIII SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 2001, Campos do Jordão, Brazil, p.1633 - 1641.

Prix et récompenses

- Best Paper Award at XXXIII Brazilian Symposium on Operational Research
- First prize at *Olimpíada Mineira de Matemática* (Mathematical Olympiad of State of Minas Gerais)

Programme jeunes chercheuses et jeunes chercheurs 2005

B - Description du projet

N°dossier : :JC05_56601:Rivano:Herve:

OSERA

B-1 – Equipe :

D. Coudert, O. Dalle et H. Rivano sont tous trois membres permanents de l'équipe Mascotte, équipe commune du CNRS, de l'INRIA et de l'UNSA. D. Coudert est CR2 INRIA depuis 2002, O. Dalle est Maître de Conférences à l'UNSA depuis 2000, et H. Rivano est CR2 CNRS depuis 2004.

Notre projet porte sur l'étude des problématiques issues de l'optimisation des systèmes de télécommunications mobiles ambiants, notamment les réseaux maillés en milieu urbain. Nous entendons répondre au besoin d'outils théoriques et pratiques pour l'étude des problématiques dynamiques dans ce type de réseaux, dont la propriété (et difficulté) remarquable est d'être très instable.

Notre approche se fonde sur l'étude combinée des structures combinatoires dynamiques, de la conception d'algorithmes d'optimisation performants, et de l'intégration des techniques d'optimisation et de simulation à événements discrets. Exploiter la complémentarité entre ces trois directions de recherche est nécessaire au développement d'outils à la fois efficaces en pratique et à la fiabilité prouvée. Notre objectif est de permettre la réalisation de simulations précises et reproductibles de réseaux dynamiques de grande échelle.

Pour mettre en place cette approche, il nous faudra combiner nos compétences et expériences complémentaires du point de vue des méthodes d'analyse et validation: H. Rivano et D. Coudert maîtrisent des techniques d'optimisation qui permettent d'étudier les propriétés statiques (structurelles) des réseaux, et O. Dalle les techniques de simulation, qui permettent d'en étudier les propriétés dynamiques (comportement des protocoles). Notre ambition est en particulier d'arriver à faire converger ces deux techniques l'une vers l'autre, en essayant d'appliquer des techniques d'optimisation à la dynamique des réseaux radio, en ayant pour cela recours aux techniques de simulation.

En effet, ces deux techniques, la simulation et l'optimisation, ont été utilisées avec succès à différentes reprises dans le projet Mascotte. L'idée de les combiner pour résoudre de façon plus efficace certains problèmes s'est donc peu à peu imposée. Le problème de l'optimisation des réseaux mobiles ambiants, outre son aspect innovant, nous semble être une excellente opportunité pour explorer les possibilités de telles méthodes.

Notre équipe s'appuiera dans un premier temps sur l'expérience et les conditions matérielles offertes par le projet Mascotte, dans lequel notre objectif scientifique s'est construit. A terme, la constitution d'une équipe autonome est envisagée.

Vis-à-vis du laboratoire I3S, notre équipe aura aussi des synergies évidentes avec l'équipe RECIF du laboratoire I3S pour les aspects algorithmiques et combinatoires. Par ailleurs, les équipes RAINBOW et OASIS du laboratoire I3S seront nos premiers interlocuteurs sur les systèmes et applications distribuées qui pourraient être déployés au-dessus de tels réseaux.

B-2 – Description du projet et résultats attendus :

Notre projet entend répondre au besoin d'outils théoriques et pratiques pour l'étude des problématiques dynamiques dans les réseaux de télécommunication.

Notre approche se fonde sur l'étude combinée des structures combinatoires dynamiques, de la conception d'algorithmes d'optimisation performants, et de l'intégration des techniques d'optimisation et de simulation à événements discrets. Exploiter la complémentarité entre ces trois directions de recherche est nécessaire au développement d'outils à la fois efficaces en pratique et à la fiabilité prouvée. Notre objectif est de permettre la réalisation de simulations précises et reproductibles de réseaux dynamiques de grande échelle.

Nous souhaitons par ailleurs valider notre approche en l'appliquant principalement à l'optimisation des réseaux radio maillés en milieu urbain. Cette application est en effet une évolution pertinente et innovante de l'infrastructure des réseaux d'accès à l'Internet qui illustre pleinement l'utilité de notre programme de recherche.

Motivation

La Commission Européenne a récemment lancé un appel proactif IST-FET pour l'étude des communications autonomes et localisées, considérant que ce type de communications est l'avenir de l'Internet. En effet, la tendance de l'évolution des réseaux de télécommunication est à l'accroissement de la dynamique dans tous ses aspects, et notamment les deux suivants.

- L'accès au réseau est de plus en plus volatile, de par la prépondérance des technologies radio, avec une couverture quasi-totale à moyen débit (systèmes cellulaires), et des îlots discontinus à haut ou très haut débit (WiFi, WiMax, ...).
- L'autonomie des systèmes communicants augmente pour passer de modèles d'architecture des réseaux essentiellement centralisés à des négociations locales (entre périphériques Bluetooth par exemple), à la découverte de services, voire à des exploitations applicatives de la proximité géographique.

Cette évolution pose des problématiques nouvelles, notamment d'optimisation dynamique et distribuée. En effet, les marges de manœuvres d'un opérateur sur l'optimisation centralisée de son réseau se réduisent à mesure qu'augmente l'autonomie des systèmes utilisant ses ressources. De plus, la dynamique des flux de communication entraîne une complexité croissante des mécanismes de gestion de réseaux et l'obsolescence des techniques d'optimisation centralisées classiques.

Les connaissances théoriques et fondamentales sur les réseaux dynamiques sont faibles, éclatées sur plusieurs domaines scientifiques (informatique, mathématiques, ingénierie, traitement du signal, ...), et finalement d'une portée limitée quant à leurs capacités à prendre en compte la réalité des réseaux. Ce manque est si problématique que, récemment, un groupe de travail sur la recherche fondamentale sur les réseaux de la " *National Science Foundation* " américaine a recommandé " *le développement de modèles de référence ou de bancs d'essais pour faciliter le développement d'expériences reproductibles* ". Ce groupe a aussi identifié le besoin qu'ont les applications émergentes d'une " *compréhension fondamentale de la façon de concevoir et contrôler les réseaux à une bien plus grande échelle qu'auparavant.* "

Prenant en compte ces remarques, notre objectif scientifique principal est de contribuer au développement d'un cadre théorique et expérimental permettant d'étudier efficacement l'optimisation et le contrôle des interactions entre des entités distribuées et évolutives, caractérisées par leur nature dynamique. Nous privilégions une approche fondée conjointement sur l'étude des structures combinatoires adaptées aux problématiques dynamiques, la conception d'algorithmes d'optimisation performants, et le développement d'outils de simulation à la fois efficaces en pratique et à la fiabilité prouvée.

Nous souhaitons par ailleurs valider la complémentarité entre ces trois directions de recherche en l'appliquant principalement à l'optimisation des réseaux radio maillés en milieu urbain. Cette application est en effet une évolution pertinente de l'infrastructure des réseaux d'accès à l'Internet qui illustre pleinement l'utilité de notre programme de recherche.

Contexte technologique

Quelque 150 villes américaines ont déjà choisi les réseaux sans fil maillés, ou "Mesh Networks", pour équiper leurs services d'urgences ou leurs systèmes de communications mobiles [1]. A Paris, se développe le réseau " Ozone " sur un principe mélangeant la participation volontaire de personnes disposant d'un accès Internet et d'un équipement Wi-Fi, et la mise à disposition de bornes relais, le tout mis en cohérence par des techniques d'auto-organisation du réseau [2].

Le principe général de ces réseaux Wi-Fi consiste en une infrastructure de bornes sans-fil fixes acheminant les communications d'usagers potentiellement mobiles vers des points d'accès à l'Internet. Les usagers peuvent éventuellement faire office de maillon pour étendre la couverture de l'infrastructure à d'autres, hors de portée des relais fixes. Destiné surtout à équiper les zones urbaines, ce type de solution est censé favoriser un déploiement très rapide et à moindre coût d'un réseau d'accès ambiant à l'Internet.

Notre projet de recherche est l'approfondissement de travaux menés dans le cadre d'un contrat de recherche collaborative avec France Télécom R&D [3]. Un contexte proche est étudié dans le cadre de ce contrat puisqu'il s'agissait d'étudier les problèmes issus du déploiement d'un réseau d'accès à l'Internet haut débit pour des habitations situées en zone rurale, donc peu dense et loin des réseaux filaires. L'ensemble du réseau est alors statique et peut être centralisé, ce qui permet une étude combinatoire et algorithmique très détaillée avec les outils classiques. L'application que nous considérons peut se concevoir comme l'extension de cette situation à des réseaux de plus grande envergure, auto-organisés et dynamiques.

Les réseaux maillés reposent sur un principe proche des réseaux " ad-hoc ", tout en exploitant l'hétérogénéité des ressources disponibles. Dans ce contexte particulier, un ensemble de nœuds spécifiques forme une infrastructure distribuée qui collecte le trafic des utilisateurs. Chaque maillon de cette infrastructure est un terminal de communication sans fil, fixe et possédant des capacités de routage. Ceux-ci constituent un réseau ambiant qui achemine le trafic des terminaux utilisateurs, potentiellement mobiles, vers les points d'accès à l'Internet qui sont répartis sur le réseau.

Une borne radio met une bande passante donnée à la disposition des usagers placés dans une zone centrée autour d'elle, et dont la surface dépend de sa puissance d'émission. Dans un même temps, plus une borne émet fortement, plus son signal brouille les communications de bornes distantes. Si chaque borne fait aussi office de point d'accès à l'Internet, le problème consiste alors à déterminer un placement des bornes, ainsi que leurs puissances d'émission. Ceci afin que chaque usager puisse jouir de suffisamment de bande passante pour un coût global minimal. Pour autant, il n'est pas souhaitable que chaque borne soit un point d'accès, car les coûts induits par leur raccordement à l'Internet peuvent être prohibitif.

Il faut alors prendre en compte dans le déploiement la quantité de bande passante qui sera utilisée par les bornes pour transmettre le trafic émis par les usagers jusqu'à un point d'accès et, par conséquent, optimiser la répartition des points d'accès dans l'infrastructure. Par ailleurs, la conception intrinsèquement hybride de ce type de réseau motive l'étude de protocoles d'auto-organisation et de routage spécifiques, tirant avantage de l'infrastructure fixe des relais sans contrainte énergétique, pour mieux servir les besoins en bande passante des usagers, dynamiques et autonomes, épargner leurs ressources énergétiques, et leur offrir une connectivité robuste.

Ce contexte technologique se retrouve partiellement dans le projet européen IST FET AEOLUS (2005-2009) dans lequel est impliquée une partie de l'équipe. Les problématiques combinatoires et algorithmiques sont aussi au cœur de l'action COST 293. Une part de nos travaux participera donc à l'effort de recherche mené dans ces cadres européens.

Contexte international

Le projet Aeolus est établi dans le cadre de l'appel proactif " *Global Computing* " IST-FET (*Information Science and Technologies – Future and Emerging Technologies*) du 6^{ème} PCRD de la commission européenne. Ce projet se fonde sur le constat partagé de l'évolution d'Internet vers l'interconnexion d'entités communicantes autonomes. Le but d'Aeolus est de définir la notion de *calculateur virtuel* (" *Overlay Computer* ") permettant la coordination et l'optimisation de l'accès aux ressources disséminées sur le réseau. A cette fin, un des objectifs principaux dégagés dans Aeolus est " *l'identification et l'étude des problèmes fondamentaux ainsi que le développement des principes algorithmiques reliés* " à de tels systèmes.

L'enjeu du projet européen COST 293 Graal [4] (“ *Graphs & Algorithms in Communication Networks* ”) est de proposer des solutions efficaces et réalistes au déploiement et à l'utilisation de réseaux fiables nécessaires à l'émergence de nouveaux services : vidéo à la demande, réseaux multimédia et réseaux de données, accès immédiat à toute sorte d'information dans un environnement mobile. L'approche retenue se focalise sur l'étude et le développement d'outils combinatoires et algorithmiques adaptés à la prise en compte de la dynamique due aux évolutions du trafic et à l'apparition de pannes dans les réseaux dorsaux, les réseaux multicouches et les réseaux sans fils.

Bien que ne s'intéressant pas aux mêmes aspects de la problématique des réseaux dynamiques, Aeolus, GRAAL, et notre projet de recherche partagent les constats suivants :

- le manque crucial de notions combinatoires permettant une réelle prise en compte de la dynamique,
- la difficulté qui en découle de concevoir des algorithmes performants,
- la nécessité de développer des outils de simulation pertinents.

Comblés ces manques est indispensable à la compréhension des problématiques spécifiques aux réseaux de télécommunication futurs et, par voie de conséquence, à l'optimisation des interactions entre entités distribuées.

Objectifs scientifiques

L'approche que nous privilégions a ceci d'original qu'elle consiste en l'étude conjointe d'outils combinatoires dynamiques, de nouvelles techniques algorithmiques d'optimisation, et d'une méthodologie de simulation fondée sur le développement de composants hiérarchiques.

Notre objectif est d'exploiter la complémentarité entre ces trois approches. L'optimisation combinatoire permet d'obtenir des résultats fiables et reproductibles au prix de temps de calcul parfois prohibitifs (jours, mois, années). La simulation à événements discrets permet d'étudier avec une grande finesse de détail le comportement de chaque composant d'un système, mais l'étude du comportement global d'un grand système n'est pas réalisable. Combiner ces deux approches peut se faire sous deux angles. D'une part, de grands nombres d'étapes de simulation peuvent être remplacés par des calculs d'optimisation plus efficaces lorsque le système est stable et qu'une approche statistique est pertinente. D'autre part la simulation, plus adaptée aux systèmes dynamiques, peut contribuer à alléger et accélérer des modèles mathématiques en prenant en charge l'évaluation de sous problèmes coûteux à optimiser du fait d'une modélisation trop complexe (non linéarité, grandes symétries, etc.).

Dans cette synergie, les outils combinatoires forment le cadre théorique qui permet d'une part d'évaluer et prouver la fiabilité des résultats obtenus, et d'autre part d'étendre l'expressivité et l'efficacité des modèles d'optimisation mathématique.

Combinatoire pour la dynamique

Le contexte de ce projet est posé par l'évolution des réseaux de télécommunication vers des systèmes dynamiques complexes dans lesquels des équipements communicants mobiles et autonomes, utilisant des technologies d'accès volatiles, mettent en œuvre des applications de partage de ressources massivement distribuées. Le développement d'outils théoriques combinatoires est essentiel pour envisager des applications dynamiques concrètes comme l'optimisation de la répartition des ressources dans les réseaux radio et la conception de topologies virtuelles dynamiques dans les réseaux d'infrastructure. Ces deux problématiques étant cruciales pour l'optimisation des réseaux maillés.

Des travaux préliminaires ont été menés sur des modèles “ espace-temps ” [5] et de “ *graphes évolutifs* ” [6], tous les deux fondés sur les travaux de Ford et Fulkerson en 1962. Ces travaux demandent à être étendus et confrontés à la réalité des réseaux. Ces notions combinatoires et algorithmiques prennent structurellement en compte la dynamique déterministe d'une topologie. Elles s'appliquent notamment à la modélisation de réseaux dont la dynamique est effectivement déterministe, comme les réseaux de transports ferroviaires par exemple, ou bien à l'analyse compétitive de protocoles pour des réseaux dont la dynamique est aléatoire. Notre objectif dans ce projet est de s'intégrer à cet effort de recherche, au moins dans deux directions spécifiques qui seront l'occasion de collaboration avec des partenaires européens impliqués dans le projet Aeolus et l'action COST 293.

D'une part, nous voulons enrichir l'ensemble des outils disponibles et en rendre l'exploitation opérationnelle possible. Dans cette optique, il semble intéressant d'exploiter le formalisme des graphes évolutifs pour étudier, par exemple, les problèmes de flots et multiflots dynamiques. Les travaux menés précédemment

sur l'accélération des algorithmes combinatoires de multiflot ont permis de dégager des pistes pour une formalisation pertinente de ces problématiques et le développement d'algorithmes efficaces. Ces problématiques feront l'objet d'une collaboration avec Brigitte Jaumard (Chair du Canada, Université de Montréal).

D'autre part, nous comptons initier l'étude des structures combinatoires prenant en compte les dynamiques aléatoires, comme celle issue de la mobilité d'un utilisateur. Il s'agit là d'un objectif à plus long terme, pour lequel des compétences en algorithmique aléatoire forment une base nécessaire à approfondir en collaboration avec d'autres domaines scientifiques.

Optimisation dynamique

Le contexte technologique qui nous motive pose des problématiques d'optimisation nouvelles. Il faut notamment trouver un compromis entre le nombre de points d'accès au réseau dorsal haut débit (réseau optique) et le nombre de bornes Wi-Fi à installer pour relayer les connexions des usagers vers ces points d'accès. Dans un tel système, il faut choisir pour chaque borne relais son placement et sa zone de couverture en prenant en compte les contraintes de brouillages entre zone et la densité supposée d'utilisateurs. Il faut de plus assurer une bonne connectivité entre les bornes relais pour assurer une flexibilité suffisante à la gestion des pannes et des variations de trafic.

La zone de couverture de chaque borne relais est conditionnée par la densité et le type d'utilisateurs présents dans la zone géographique considérée. Par exemple, dans un quartier résidentiel la demande en bande passante sera individuellement forte, mais peu dense (certains résidents privilégiant une connexion personnelle haut débit (ADSL, câble,...) plus adaptée à leurs besoins puisque offrant des services complémentaires tels que la téléphonie ou la diffusion de télévision numérique) et régulièrement répartie. Dans ce cas, une borne relais pourra couvrir une large zone. Inversement, dans un quartier commerçant ou touristique, les utilisateurs sont intéressés par des connexions à débit plus faible, car à destination de terminaux mobiles, mais concentrés autour des zones attractives. Dans un quartier d'affaire, la demande pourra être concentrée et forte. Cette densité variant au cours d'une même journée, les routes devront elles aussi évoluer.

Le réseau doit également être robuste aux pannes d'équipements. En effet, un point d'accès peut subir une panne (incident technique, attaque,...) ou être déconnecté du reste du réseau dorsal suite à une rupture de câble. Il faut alors rediriger le trafic affecté à ce point d'accès vers les autres points d'accès du réseau. Ceci suppose que les bornes relais disposent d'une capacité suffisante pour acheminer ce trafic. Il faut aussi prévoir des mécanismes évitant un effondrement du réseau par saturation en chaîne, comme il a pu arriver aux réseaux de transport d'électricité ces dernières années.

De la même façon, une borne relais peut subir une panne. Il faut alors re-router le trafic qui était en transit dans cette borne et utiliser les bornes voisines pour assurer une connectivité minimum dans la zone de couverture correspondante. Il faut donc prévoir des mécanismes de contrôle de la puissance d'émission, à rapprocher des problématiques de gestion énergétique des réseaux. Une problématique proche concerne la gestion des situations d'urgences, où il faut assurer à certains utilisateurs du réseau (véhicules d'intervention de sécurité publique : pompiers, police, ambulances ...) une bande passante suffisante.

Les contraintes de robustesse du réseau conduisent à étudier de multiples scénarios de pannes qui peuvent être pertinents dans d'autres contextes technologiques (transport d'énergie, réseaux de télécommunication filaires, réseaux de capteurs, ...). Le nombre de relais radio étant très important, il est nécessaire d'étudier le cas de pannes multiples, scénario déjà complexe et peu étudié dans les réseaux filaires. Par ailleurs, la taille du système (plusieurs centaines voire milliers de relais radio) rend inconcevable un précalcul des tables de routage pour chaque scénario, ainsi qu'une gestion du réseau « à plat » comme le proposent les protocoles de routage classiques des réseaux *ad-hoc*. Il faudra donc étudier les solutions de routage dynamique s'appuyant sur une auto organisation hiérarchique et distribuée des nœuds.

Cela nécessite de concevoir de nouveaux algorithmes locaux permettant d'établir rapidement la connectivité entre un nœud et un point d'accès, tout en optimisant au mieux la capacité globale du réseau. Les performances de ces algorithmes seront évaluées au regard d'optimum théorique obtenu à partir de modèles mathématiques (en programmation linéaire par exemple), par une analyse compétitive grâce aux modèles combinatoires dynamiques que nous aurons obtenus, et par des simulations pertinentes et reproductibles.

De nouveaux concepts de simulation

La simulation de réseaux mobiles interconnectant un grand nombre d'entités hétérogènes soulève des problématiques complexes et novatrices. Deux pistes nous intéressent plus particulièrement. D'une part l'étude de la sémantique du développement de simulation par composants hiérarchiques, d'autre part l'intégration forte entre simulation et optimisation. Nous souhaitons par ailleurs implémenter nos résultats théoriques dans ASIMUT [7], projet en développement par des membres de l'équipe depuis plusieurs années en collaboration, notamment, avec le CNES et Dassault.

ASIMUT est autant un outil de simulation qu'un outil d'études de nouvelles techniques de simulation. Les concepts de généricité mis en oeuvre, en particulier, sont assez originaux dans le domaine de la modélisation, et ouvrent des perspectives de recherches intéressantes. ASIMUT permet notamment de concevoir des modèles de systèmes dont la granularité (précision du modèle) est variable, y compris en cours de simulation. Ces techniques ont été appliquées au contexte des réseaux satellitaires [8]. Dans le contexte d'un réseau maillé, cette granularité dynamique donne la possibilité de simuler finement les protocoles de routage et de gestion de la hiérarchie du réseau au niveau d'un terminal dont l'état dans le réseau change, alors que, simultanément, un terminal dans un état stable ne verrait simuler que grossièrement mais plus efficacement l'envoi de données sur le réseau.

Les conséquences du recours à cette possibilité sur la qualité et la fiabilité des résultats obtenus sont encore méconnues et doivent être étudiées en détail. En effet, les enjeux sont particulièrement importants, puisqu'une telle technique, une fois maîtrisée et validée, permettra de simuler des systèmes d'une complexité bien supérieure à celle des systèmes que l'on sait étudier aujourd'hui par simulation. Par ailleurs, l'étendue des domaines d'application de l'outil, et la fiabilité et la reproductibilité des expériences que nous espérons démontrer permettront d'en faire un outil de référence dans les études par simulation.

L'intégration entre simulation et optimisation est une double ambition que l'approche par composants hiérarchiques permet d'envisager en pratique.

D'une part, la masse et la diversité des paramètres à intégrer dans une optimisation rendent très complexes et coûteux à résoudre les modèles mathématiques sous-jacents, les temps de calcul se chiffrent en jours, mois, voire années. Il arrive même qu'on atteigne les limites d'expressivité des méthodes d'optimisation mathématique et combinatoire quand les composantes non linéaires des systèmes se multiplient. La simulation, si l'on peut quantifier la fiabilité des résultats obtenus, peut alors considérablement simplifier ces modèles en prenant en charge le calcul d'une partie des variables. L'efficacité et la pertinence de ces techniques dans un processus de génération de colonnes ou de branchement doivent être étudiées et développées.

D'autre part, une vision agrégée ou statistique de certains sous-systèmes d'une simulation peut être exprimée en termes mathématiques et combinatoires. Dans ce cas, un calcul d'optimisation peut permettre d'épargner un grand nombre de pas de simulation, et donc un temps de calcul significatif. Des travaux préliminaires ont été menés dans le cadre des réseaux *ad-hoc* et hybrides en collaboration avec Fabrice Valois (CITI, INRIA Rhône-Alpes/INSA de Lyon) [9]. Ces travaux ne consistent qu'en une première phase de simulation fournissant des variables à une seconde phase d'optimisation dont l'équivalent en nombre d'étapes de simulation serait prohibitif. Ils demandent à être poursuivis et élargis à une interaction plus abouties entre simulation et optimisation.

Originalité par rapport aux thématiques du laboratoire

Les thématiques abordées dans ce projet ne sont l'objet d'aucun travail dans le cadre du laboratoire I3S, sont originales dans la communauté française, et sont innovantes par rapport aux travaux menés au sein du projet CNRS/INRIA/UNSA Mascotte dont les membre de l'équipe font partie.

Pour autant, notre équipe aura des synergies évidentes avec le projet Mascotte (commun CNRS/INRIA/UNSA), dont nous serions en quelque sorte une "start-up" spécialisée dans les nouvelles technologies, mais aussi avec l'équipe RECIF du laboratoire I3S pour les aspects algorithmiques et combinatoire, et à plus haut niveau, avec les équipes RAINBOW et OASIS du laboratoire I3S pour les aspects systèmes et applications distribuées, qui pourraient être déployés au-dessus de tels réseaux.

Plan de travail

Année 1 :

- Conception de structures combinatoires dynamiques, problématiques d'optimisation.
 - Olga Goussevskaia, doctorante, commence sa thèse sur les thématiques issues des réseaux radio (bourse franco-brésilienne CNPq, octobre 2005 – septembre 2008).
 - Travail mené sur les flots et multiflots dynamiques en collaboration avec Brigitte Jaumard (Chair du Canada, Université de Montréal).
- Aspects combinatoire de la tolérance aux pannes multiples
 - Un post-doctorant est embauché sur les problématiques de scénarios de pannes multiples (financement INRIA).
- Modélisation des réseaux radio en optimisation mathématique
 - Poursuite de la collaboration avec Fabrice Valois (CITI, INRIA Rhône-Alpes/INSA Lyon).
 - Le projet CNRS/INRIA/UNSA Mascotte finance un stagiaire de DEA sur le sujet.
- Etudes sur la simulation par composant hiérarchique
 - Propriétés sémantiques et fiabilité des résultats.
 - Un ingénieur associé financé par l'INRIA travaillera sur la conception d'un module d'assistance au développement de modèles dans l'atelier ASIMUT.

Année 2 :

- Algorithmique de routage dynamique robuste
 - Adaptation des travaux menés dans le contexte des réseaux statiques.
 - Continuité de la collaboration avec Brigitte Jaumard.
- Optimisation de la répartition de points d'accès
 - *Un post-doctorant nous paraît requis pour accentuer l'effort sur cette thématique.*
- Conception d'un modèle de simulation intégrant les formulations en optimisation mathématique
 - Estimation de la fiabilité des résultats de simulation, cohérence avec le modèle sémantique.
 - Objectif d'efficacité pratique.
- Exploitation des résultats de simulation dans un processus d'optimisation
 - Etude de la pertinence dans un processus de branchement ou de génération de colonnes.
 - Evaluation stochastique des résultats d'un algorithme d'optimisation guidé par la simulation.
 - Collaboration avec Fabrice Valois sur les aspects modélisation et évaluations stochastiques.

Année 3 :

- Algorithmique distribuée pour l'optimisation dynamique des routes
 - Evaluation théorique des performances sur des structures combinatoires pertinentes.
 - Simulation dans des cas pratiques.
 - Spécification d'un protocole efficace.
- Développement de simulations fiables, efficaces et reproductibles
 - *Un ingénieur nous paraît requis pour le développement logiciel sous-jacent.*
 - Conception et implémentation de composants hiérarchiques simulant les protocoles en détails ou s'appuyant sur des algorithmes d'optimisation mathématique ou combinatoire.
- Validation des modèles combinatoires, algorithmiques et des outils de simulation
 - Etudes pratiques de cas concrets.
 - Confrontation à la réalité rencontrée par des opérateurs de tels réseaux.

Bibliographie

[1] www.muniwireless.com

[2] www.ozoneparis.net

[3] perso.rd.francetelecom.fr/galtier/corso

[4] www.cost293.org

[5] Kohler, Langkau et Skutella, **Time-Expanded Graphs for Flow-Dependent Transit Times**, ESA 2002

[6] Bin-Xuan, Ferreira et Jarry. **Computing shortest, fastest, and foremost journeys in dynamic networks**. *International Journal of Foundations of Computer Science*, 14(2):267--285, Avril 2003.

[7] Becker, Beylot, Dalle , Dhaou, Marot, Mussi, Rigal, et Sutter. **The ASIMUT Simulation Workshop.** *Networking and Information Systems Journal*, 3(2):335--348, 2000.

[8] Dalle, Mussi, Rigal, et Sutter. **ASIMUT: An Environment for the Simulation of Multi-Media Satellite Telecommunication Networks.** In *Proc. 6th ESA Workshop on Simulation in European Space Programs*, Noordwijk, NL, pages 285--288, Octobre 2000.

[9] Rivano, Théoleyre, Valois. . **Influence de l'auto-organisation sur la capacité des réseaux ad hoc.** In *Septièmes Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications (AlgoTel'05)*, Presqu'île de Giens, pages 53--56, Mai 2005.

Propositions d'experts

- **Eric Fleury**
CITI / ARES, INSA de Lyon
Bat. Léonard de Vinci
21 av. Jean Capelle
F-69621 Villeurbanne France.
Tel : 04 72 43 64 21. Fax : 04 72 43 62 27. Mail : Eric.Fleury@inria.fr
- **José Rolim**
Université de Genève
Département d'Informatique
24, rue du Général Dufour
1211 Genève, Suisse.
Tel : +41 22 705 7660. Fax : +41 22 705 7780. Mail : Jose.Rolim@cui.unige.ch
- **Norbert Giambiasi**
LSIS, université Aix marseille III
UMR CNRS 6168
Domaine universitaire de Saint Jérôme
Avenue Escadrille Normandie - Niemen
13397 Marseille cedex 20.
Tel : 04 91 05 60 08. Mail : norbert.giambiasi@lsis.org,.

Programme jeunes chercheuses et jeunes chercheurs 2005

C – Fiche de demande d'aide

N°dossier : :JC05_56601:Rivano:Herve:

OSERA

Responsable du projet (nom, prénom) : Rivano, Hervé

Estimation du coût marginal du projet pour le laboratoire :

	<i>Nbre h/m</i>	<i>Coût h/m</i>	<i>Coût total</i>	Total (Euros)
Dépenses de personnel (1) (catégorie 1)	12	3000	36 000	(P)
(catégorie 2)	12	4600	55 200	
...				
Equipements (2),(4)	10 000			(Q)
Achats de petits matériels, de consommables, etc (2)	0			(R)
Prestations de service(2),(3)	0			(S)
Frais de missions (2)	15 000			(T)
Frais généraux (4 % des dépenses)	4 648			(U)
Total (Euros)	120 848			(V)
Aide demandée (Euros)	120 848			(W)

Evaluation (pour information) du coût complet du projet pour le laboratoire

EQUIPEMENT (1) (2)	FONCTIONNEMENT				TOTAL Equipment + fonctionnement
	Dépenses de personnel	Prestations de service (1)	Autres dépenses de fonctionnement (1)	Total fonctionnement	
(a)	(b)	(c)	(d)	(e) = (b) + (c) + (d)	(f) = (a) + (e)
10 000	368 640	0	15 000	383 640	393 640

Contrats sur les trois dernières années (effectués et en cours) pour les membres des équipes dont l'implication dans le projet est supérieure à 25%

Nom du membre participant à cette demande	% d'implication	Intitulé de l'appel à projets Source de financement Montant attribué	Titre du projet	Nom du coordinateur	Date début - Date fin
David COUDERT	30%	ACI Sécurité Informatique 98 K€	PRESTO	D. Coudert	2003-2006
David COUDERT Hervé RIVANO	30% 30%	CRC France Télécom R&D	CORSO	J.-C. Bermond (Mascotte)	2002-2005
Olivier DALLE Hervé RIVANO	25% 25%	FP6 Global Computing IST-FET 350 K€	AEOLUS	C. Kaklamanis (Université de Patras, Grèce)	2005-2009
David COUDERT Hervé RIVANO	30% 30%	FP6 Global Computing IST-FET 350 K€	CRESCCO	C. Kaklamanis (Université de Patras, Grèce)	2001-2005

Demandes de contrats en cours d'évaluation pour les membres des équipes dont l'implication dans le projet est supérieure à 25%

Aucune demande de contrat en cours d'évaluation.