

Projet RODEO

Réseaux à haut débit, Réseaux ouverts

Sophia Antipolis

THÈME 1B

R *apport*
d'Activité

1999

Table des matières

1	Composition de l'équipe	3
2	Présentation et objectifs généraux	4
3	Fondements scientifiques	5
3.1	Contrôle et allocation de ressources	5
3.2	Développement d'applications haute performance	6
3.3	Nouveaux supports de transmission	7
4	Domaines d'applications	7
4.1	Contrôle d'applications multimédias sur l'Internet	7
4.2	Contrôle d'applications temps réel sur l'Internet	8
4.3	Support de liens unidirectionnels dans l'Internet	9
5	Logiciels	10
5.1	Rendez-Vous	10
5.2	FreePhone	10
5.3	MiMaze	11
5.4	MiMaze3D	11
6	Résultats nouveaux	11
6.1	Evaluation quantitative des routeurs de type RED	11
6.2	Contrôle d'applications multimédias sur l'Internet	12
6.3	Partage équitable de la bande passante entre flôts point à point et flôts multipoints, réactifs et non réactifs	12
6.4	Architecture de communication pour applications interactives avec grand nombre de participants	13
6.5	Routage dynamique dans des réseaux avec liens unidirectionnels	14
6.6	Qualité de Service sur liaisons satellites	14
6.7	Transmission multipoint fiable par satellites	15
7	Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)	16
7.1	Detexis	16
7.2	Eutelsat	16
8	Actions régionales, nationales et internationales	16
8.1	Actions nationales	16
8.1.1	GDR/PRS et Action Réseau	16
8.1.2	AIRS	17
8.1.3	Constellations de satellite	17
8.1.4	Dipcast	18
8.1.5	Intradiff	18
8.2	Actions financées par la Commission Européenne	19

8.2.1	Projet COIAS	19
8.2.2	Projet MECCANO	19
8.2.3	Projet HIPPARCH	19
8.2.4	Projet VISI	20
8.2.5	Projet DESS	20
8.3	Réseaux et groupes de travail internationaux	20
8.4	Relations bilatérales internationales	21
8.4.1	NEC	21
8.5	Accueils de chercheurs étrangers	21
9	Diffusion de résultats	21
9.1	Animation de la communauté scientifique	21
9.2	Enseignement universitaire	21
9.3	Thèses et stages	21
9.3.1	Thèses soutenues en 1999	21
9.3.2	Thèses en cours	21
9.3.3	Stages effectués dans le projet	22
9.4	Participation à des colloques, séminaires, invitations	22
10	Bibliographie	22

1 Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Walid Dabbous [Directeur de recherche, Inria]

Responsable permanent

Thierry Turlatti [Chargé de recherche, Inria]

Assistante

Françoise Trucas [Technicien de recherche, Inria]

Maryse Renaud [CDD, du 13 octobre 1998 au 12 avril 1999]

Personnel Inria

Patrick Cipièrre [Ingénieur de recherche, Inria, jusqu'au 1^{er} septembre 1999]

Chercheurs extérieurs

Hossam Afifi [ENST Bretagne, depuis le 1^{er} janvier 1999]

Slim Gara [Ingénieur de recherche et de développement, CS Télécom]

Kavé Salamatian [ENST Bretagne, depuis le 1^{er} novembre 1999]

Chercheurs invités

Thomas Fuhrman [Maître assistant, université de Mannheim, du 1^{er} au 30 septembre 1999]

Ingénieurs experts

Emmanuel Duros

Stephane Réty [depuis le 15 octobre 1999]

Rafael Rizo [depuis le 1^{er} mars 1999]

Chercheurs doctorants

Laurențiu Barză [Boursier CNOUS, depuis le 1^{er} septembre 1999]

Antoine Clerget [France Télécom, CNET]

Fethi Filali [Boursier INRIA, depuis le 15 novembre 1999]

Sacha Fosse-Parisis [boursier MESR, jusqu'au 30 septembre 1999]

Emmanuel Léty [boursier MESR]

Martin May [Boursier Inria, jusqu'au 1^{er} novembre 1999]

Miguel A. Ruiz Sánchez [Boursier du gouvernement Mexicain, depuis le 1^{er} octobre 1999]

Rareș Șerban [Boursier CNOUS, depuis le 1^{er} septembre 1999]

Wang Ziyu [Boursier CNOUS, depuis le 1^{er} septembre 1999]

Stagiaires

- Ouissal Arbouche [Stagiaire EMI du 1^{er} mars au 31 mai 1999]
- Imed Ben Hmida [Stagiaire ENSI du 1^{er} mars au 30 juin 1999]
- Nadia Boutayeb [Stagiaire EMI du 1^{er} mars au 31 mai 1999]
- Cedric Degea [Stagiaire ESSI, depuis le 1^{er} novembre 1999]
- Fethi Filali [Stagiaire ENSI du 1^{er} mars au 15 avril 1999]
- Celine Raison [Stagiaire ESSI, depuis le 1^{er} novembre 1999]
- Youssef Saadali [Stagiaire EMI, du 1^{er} mars au 15 juin 1999]
- Wassim Soubra [stgiaire ENSEEIHT, jusqu'au 30 juin 1999]

2 Présentation et objectifs généraux

Le but du projet RODEO est de définir, implémenter et évaluer les mécanismes qui permettront de tirer parti de façon flexible et efficace des ressources des réseaux.

Pour réaliser cet objectif, nos thèmes de recherche s'articulent autour de trois axes.

- Le contrôle et l'allocation de ressources :
Nous étudions et mettons au point des protocoles et mécanismes de contrôle haute performance qui intègrent la gestion des services multipoint, le partage des ressources, le contrôle d'erreur, etc. Ces protocoles et mécanismes sont mis en œuvre dans des applications audio (FreePhone), vidéo (RendezVous), et de jeu distribué (MiMaze) pour l'Internet.
- Le développement d'applications haute performance :
Nous étudions et mettons au point des techniques de compilation pour le développement rapide, automatique et efficace de protocoles de communication adaptés aux besoins des applications.
- Le support de nouveaux liens de transmission :
Nous étudions l'impact des nouveaux liens de transmission tels que les liaisons satellite et les liaisons sans fils sur les performances des protocoles de communication. Nous proposons des mécanismes de contrôle de transmission et de routage adéquats permettant un fonctionnement performant des protocoles de communications et des applications.

Ces travaux se poursuivent en collaboration avec des projets français, européens et internationaux. Les travaux sur le contrôle de transmission ont donné lieu à plusieurs coopérations industrielles, notamment dans le cadre des projets européens MERCI/MECCANO, avec le CNET, et avec Dassault Electronique. Les travaux sur les architectures de protocoles hautes performances se poursuivent dans le projet européen HIPPARCH (avec UCL, SICS, UTS et Dassault Electronique) ainsi qu'avec Nortel. Les travaux sur les nouveaux supports de transmission s'effectuent en particulier dans le cadre d'une collaboration avec Eutelsat. Enfin, nous collaborons à des actions de standardisation des protocoles de réseau et des applications multimédias dans le cadre de l'IETF (Internet Engineering Task Force).

3 Fondements scientifiques

3.1 Contrôle et allocation de ressources

L'Internet actuel fournit un service de type « le réseau fait de son mieux mais sans garantie », qui revient en fait à proposer à une application un canal de transmission dont les caractéristiques (débit, délai, pertes) ne sont pas connues à l'avance et peuvent varier au cours de la durée de vie de l'application. Deux approches sont possibles pour obtenir une bonne qualité de transmission. La première approche est d'adapter ou contrôler le processus de transmission en fonction des caractéristiques du canal, le but étant de minimiser l'impact négatif de ces caractéristiques (par exemple un taux de pertes élevé) sur la qualité de la transmission. La deuxième approche est de modifier le service fourni par l'Internet, et en particulier de l'enrichir de nouvelles classes de service qui offrent des garanties de qualité, comme par exemple un taux de pertes maximal garanti. Nos travaux cette année ont porté sur les deux approches.

La première approche revient donc à adapter le processus de transmission, et plus généralement le comportement des applications, en fonction des caractéristiques du canal de transmission, c'est-à-dire du réseau. Il faut pour la mettre en œuvre d'abord estimer en temps réel ces caractéristiques, ensuite identifier lesquelles sont importantes pour l'application en question, enfin concevoir des mécanismes de contrôle qui permettent d'obtenir une qualité de transmission adéquate. Nos travaux portent sur chacune de ces étapes, et particulièrement sur 1) l'étude des caractéristiques (délai, pertes, gigue) des connexions Internet (à la fois point à point et multipoint) et de leur impact sur la conception de mécanismes de contrôle efficaces, et 2) le développement de mécanismes spécifiques pour applications interactives (audio/vidéo/jeux). Les méthodes mises en jeu sont l'instrumentation et la mesure, l'identification de paramètres, la modélisation analytique, et les théories de l'information et des files d'attente.

La deuxième approche pour obtenir une bonne qualité de transmission sur l'Internet cherche à modifier le service fourni par le réseau afin d'être à même d'offrir aux applications des garanties de performance. Ces garanties peuvent être soit déterministes (par exemple : le délai de transit à travers le réseau sera inférieur à 150 ms pour *tous* les paquets) soit stochastiques (par exemple : la probabilité que le délai dépasse 150 ms est inférieure à 1%). Nos travaux cette année ont porté sur la fourniture de garanties stochastiques. Le but est toujours d'obtenir des mécanismes simples (qui pourront donc être déployés dans l'Internet relativement rapidement) et robustes.

Nous avons donc développé des mécanismes simples, basés sur l'ajout d'un seul bit spécial dans l'en-tête des paquets. Ce bit permet d'identifier les paquets ayant droit à un service de meilleure qualité que le service habituel. Il reste encore à identifier la sémantique de ce bit (qui peut identifier des paquets nécessitant un délai faible, ou un débit élevé, etc), à définir des algorithmes d'ordonnancement dans les routeurs (pour allouer des ressources aux paquets prioritaires), à définir une politique de tarification (pour empêcher tous les utilisateurs d'identifier tous leurs paquets comme étant prioritaires), et à quantifier le service fourni aux paquets prioritaires et aux autres.

Nous avons également développé des mécanismes de contrôle d'admission. Ces mécanismes ont pour but de limiter le nombre de connexions admises dans le réseau afin d'être sûr qu'un niveau suffisant de ressources est alloué aux connexions déjà admises, et donc d'offrir à ces

connexions des garanties de performance. Les travaux ont porté cette année sur la robustesse de tels mécanismes en face d'erreurs d'estimation sur les caractéristiques de trafic des nouvelles connexions, ou sur leur durée de vie, etc.

3.2 Développement d'applications haute performance

Avec l'apparition des réseaux à haut débit, la bande passante de la couche d'accès au milieu ne représente plus un goulot d'étranglement. Ce sont plutôt les mécanismes de traitement de données au niveau transport et présentation qui nécessitent une charge de calcul importante au niveau des processeurs. D'autre part, des applications multimédias distribuées sont en cours d'introduction. Ces applications ont des besoins variés qui ne correspondent pas nécessairement aux services offerts par les protocoles de communication standards ou du moins pas à la qualité de service fournie par ces protocoles. En même temps, les performances des stations de travail ont augmenté avec l'apparition des architectures à jeu d'instructions réduit (RISC), mais pas à la même cadence que les bandes passantes des réseaux dans les dernières années. L'accès mémoire est devenu coûteux par rapport au cache et aux registres, et cette différence devrait s'accroître dans les années à venir. Outre les fonctions de contrôle, le traitement d'un protocole renferme aussi des fonctions de manipulation de données où les données sont lues en mémoire, traitées ou « manipulées » et sauvegardées de nouveau en mémoire éventuellement (par exemple le codage de présentation, le calcul du total de contrôle au niveau transport, le chiffrement, la compression). Nos propres observations, confirmées par des mesures de performances publiées par ailleurs, montrent qu'il est possible d'obtenir des gains de performance en intégrant les opérations de manipulation de données afin de minimiser les accès mémoires. Cette technique appelée ILP (Integrated Layer Processing ou traitement en couche intégrée) devrait être complétée par un mécanisme visant plus de flexibilité : l'application devrait être impliquée dans le contrôle de transmission en effectuant une mise en unités de données « Application » (Application Level Framing ou ALF) permettant d'appliquer tous les mécanismes de manipulation sur ces trames de façon intégrée par exemple en une seule fois si possible. La mise en œuvre de ces concepts pour des applications différentes nécessite qu'on puisse générer pour chaque application une implémentation intégrée des mécanismes de protocoles fournissant le service requis par l'application. Afin d'automatiser ce processus, il est nécessaire d'avoir un langage de spécification qui permettra de décrire les besoins de l'application.

Notre approche s'appuie sur la spécification des besoins des applications en Esterel et sur un « compilateur de protocoles » appelé ALFred basé sur les concepts ALF/ILP et qui va générer automatiquement le protocole de communication adapté à l'application à partir de sa spécification.

L'idée de base d'Application Level Framing (ALF) est de faire en sorte que ce soit le protocole qui s'adapte aux besoins de l'application et non l'inverse. L'application est considérée comme la plus apte à déterminer les stratégies à adopter lorsque des données sont perdues ou arrivent hors séquence. Cette conception d'une architecture intégrée et flexible nécessite, d'une part, que le système de communication ait accès à la sémantique de l'application, et, d'autre part, que l'application ait aussi un moyen d'agir sur le contrôle et la synchronisation du système de communication.

3.3 Nouveaux supports de transmission

De plus en plus de types de liaisons telles que les liaisons satellites géostationnaires, les constellations de satellites en orbite basse et les liaisons terrestres sans fils sont utilisées comme support de transmission dans l'Internet. Ces liaisons ont des caractéristiques spécifiques en ce qui concerne le délai, la gigue, le taux d'erreur, mais aussi en terme de symétrie de la liaison et même de sa bi-directionnalité.

Les liaisons satellites géostationnaires supportent la diffusion de services multimédia à haut débit mais présentent un manque de voie de retour à coût faible. Or, de nombreuses applications distribuées peuvent bénéficier d'un accès asymétrique à haut débit vers l'Internet sans pour autant passer par des solutions très onéreuses (ATM, etc). Il convient donc de pallier ce problème en proposant des mécanismes simples qui permettent un accès transparent à haut débit à l'Internet à des utilisateurs ayant une mauvaise connectivité terrestre.

D'autre part, les constellations de satellites sont des réseaux dont la spécificité rend le problème du routage différent des réseaux terrestres. L'architecture du système est ici fortement dynamique, et, contrairement à ce qui se passe pour les réseaux mobiles au sol, ce sont les noeuds intermédiaires et non les noeuds terminaux qui se déplacent. Ensuite, la répartition du trafic dans la constellation est un problème délicat. Le trafic va varier fortement sur plusieurs échelles de temps : celle de l'heure, qui correspond à la période de rotation d'un satellite, et celle de la journée, qui correspond à la période d'activité humaine. Il va également énormément varier géographiquement : les zones densément peuplées et fortement industrialisées vont accéder à la constellation beaucoup plus fréquemment que les zones désertiques ou océaniques. Malheureusement, ces répartitions du trafic ne correspondront pas nécessairement à celle des satellites : dans des constellations comme Teledesic, la plus grande densité de satellites est sur les pôles. Ces réseaux sont très mobiles puisque les satellites se déplacent à des vitesses de plus de 50.000 km/h, mais les trajectoires sont prévisibles et une grosse partie du routage peut être précalculé.

Un autre problème concerne les protocoles de contrôle de transmission tels que TCP au dessus des liaisons géostationnaires (à cause du délai important) ou bien au dessus des constellations en orbite basse (à cause de la gigue).

Nous étudions ces problèmes dans le but de proposer des mécanismes de efficace pour le routage et le contrôle de transmission permettant un support performant des communications de bout en bout au dessus de réseaux intégrant ces nouveaux supports de transmission.

4 Domaines d'applications

4.1 Contrôle d'applications multimédias sur l'Internet

Nous avons étudié, évalué et implémenté les mécanismes de contrôle de transmission décrits plus haut dans des applications multimédias pour l'Internet. Le travail a porté sur une application audio (FreePhone) et une application vidéo (RendezVous). L'application de jeu distribuée (MiMaze) est décrite dans une section suivante. Les applications audio et vidéo utilisent des mécanismes de contrôle pour fournir la meilleure qualité possible aux récepteurs, quel que soit l'état (plus ou moins congestionné) du réseau. La qualité de telles applications multimédias

dépend essentiellement des caractéristiques de délai, des variations de délai, et des pertes entre la source et les récepteurs. Nous avons donc développé des mécanismes pour minimiser l'impact de chacune de ces caractéristiques. Les résultats les plus visibles ont été obtenus avec les mécanismes de contrôle de pertes, qui utilisent de l'information de redondance envoyée par la source, en plus de l'information « normale », pour reconstruire à l'arrivée les paquets perdus lors de la traversée du réseau. Ces mécanismes permettent maintenant d'obtenir une qualité audio/vidéo acceptable même sur un réseau très chargé.

Nous avons aussi étudié les problèmes de la vidéoconférence sur l'Internet vers des hôtes mobiles. En effet, les solutions de vidéoconférence reposant sur IP multicast, RTP et un codage vidéo au standard H.261 tels qu'implémentées dans le logiciel Inria Vide Conferencing System ne sont pas directement applicables. L'inclusion d'hôtes mobiles dans un tel schéma pose en effet des problèmes à deux niveaux : protocolaire et applicatif.

Les problèmes du niveau protocolaire concernent le support du multipoint sur les réseaux de type Mobile IP ainsi que le support de la mobilité dans le protocole RTP. Nous ne nous impliquons pas dans la conception du support du multipoint sur Mobile IP. Nous suivons les travaux de l'IETF dans ce domaine. Cependant, nous prévoyons de participer activement au travail de l'IETF concernant l'extension de RTP pour le support de la mobilité.

Les problèmes au niveau applicatif sont engendrés par la nature du médium physique utilisé par les réseaux mobiles. Les liens sans fil ont en effet des caractéristiques très différentes des liens classiques pour ce qui concerne les erreurs au niveau bit et la bande passante. Ceci nous a amené à étudier de nouvelles méthodes de transmission et de codage vidéo. Ces nouvelles méthodes mettent en jeu l'utilisation de redondance du signal transmis, de codage hiérarchique de la vidéo, associé à une transmission efficace tirant parti des travaux de l'IETF sur le protocole de routage multicast de l'Internet.

Ces nouvelles méthodes de transmission / codage ont été implantées dans le logiciel de vidéoconférence RendezVous.

4.2 Contrôle d'applications temps réel sur l'Internet

Une application est dite temps-réel si elle exécute ses tâches et actions dans un délai défini. On peut distinguer deux familles d'applications temps-réel :

- Les applications multimédias (transmission de séquences vidéo et de son) sont caractérisées par une sensibilité plus importante à la variation sur le délai, encore appelée gigue. On utilise d'ailleurs un accroissement du délai pour réduire la gigue.
- Les applications réactives. Ces applications de type contrôle/commande ou action/ réaction peuvent subir des contraintes de délai très importantes. On y retrouve les jeux distribués et la simulation distribuée.

D'autre part, une application est temps-réel si elle subit des contraintes temporelles. Une contrainte temporelle limite la validité d'une action ou d'une information dans le temps. Toute action temps-réel doit être faite dans un intervalle de temps défini. Avant ou après cet intervalle, l'action ne doit pas se réaliser, ou l'information ne doit pas être délivrée.

Dans le cas d'une application distribuée, la notion de délai est difficilement quantifiable. Elle dépend à la fois de l'application, des techniques de codage de l'information, et des propriétés du réseau et du système de communication. Les variations de délai sont généralement dues à

des changements de route, ou à des congestions entraînant soit la bufferisation des données, soit la perte des données (et la retransmission). Nous chercherons donc à concevoir un système de communication se rapprochant du système parfait qui permettrait de transmettre toutes les données avec le délai minimum, ou encore avec une gigue nulle. Ceci fait du délai le paramètre le plus important dans la transmission temps-réel, alors que dans les applications classiques, il s'agissait d'accroître le débit.

Nous avons étudié différentes applications temps-réel, et en particulier une application de jeux distribués sur Internet. Nous avons ainsi étudié les différents types de trafic qu'elle génère. Après une analyse des contraintes temps-réel associées à la transmission de ces types de trafic sur le réseau, nous avons mis en évidence les problèmes à résoudre, et proposé des solutions.

En fait, pour ce genre d'application (à contraintes temporelles fortes), le système de communication doit garantir que :

- les délais d'interaction sont acceptables : le réseau offre des conditions de transmission (en termes de délai minimum et de taux d'erreur par exemple) qui permettent à l'application de fonctionner en mode distribué ;
- l'entité réceptrice est capable de restituer puis délivrer l'information reçue : les variations du délai entre les paquets peuvent être corrigées sans accroître le délai de transmission global dans une proportion inacceptable pour l'application.

Ces deux paramètres se ramènent finalement à la notion de « délai acceptable » (puisque la gigue est transformée en délai), qui est subjective, car elle dépend de l'application et de l'utilisateur. Elle nécessite le contrôle de plusieurs paramètres : le débit de communication, le taux de perte, le délai, et la variation du délai. En outre, le fait qu'une application temps-réel soit multipoint renforce les contraintes temporelles. Ce type d'application pose des problèmes supplémentaires à ceux cités ci-dessus : l'information transmise doit être délivrée en différents points du réseau dans des conditions identiques, ce qui nécessite la synchronisation éventuelle des divers membres du groupe préalablement à la remise des informations. Les informations collectées par un point doivent être traitées dans un ordre défini par l'application afin que chaque point ait la même interprétation de l'information.

Ces études nous ont permis de montrer :

- la nécessité d'avoir une horloge globale précise indépendante de l'application,
- la nécessité d'anticiper les collisions à la source,
- le besoin du Dead Reckoning.

Les techniques utilisées permettront de bâtir un système de communication plus efficace que ceux qui sont classiquement utilisés pour assurer l'ordre et la fiabilité dans les systèmes distribués.

4.3 Support de liens unidirectionnels dans l'Internet

Une solution pour l'accès asymétrique à l'Internet à faible coût peut être réalisée en utilisant des réseaux satellitaires qui peuvent couvrir de larges zones géographiques. La connexion est unidirectionnelle, car les récepteurs ne peuvent transmettre de données sur le réseau satellitaire. Les protocoles de routage dans l'Internet ne supportant pas les liens unidirectionnels, il est important de proposer des modifications à ces protocoles pour intégrer les liens satellitaires unidirectionnels.

Un réseau satellitaire fournit des services à haut débit indépendants de la position des utilisateurs dans de larges secteurs géographiques. Il comprend deux types d'équipement : des stations montantes qui transmettent des données et des récepteurs qui ne peuvent que recevoir des données. Un récepteur est composé d'une antenne satellitaire orientée vers un satellite géostationnaire, connectée à une station utilisateur ou à un routeur. Une station utilisateur a une autre interface, et un routeur une ou plusieurs autres connectées à l'Internet. Les informations sont envoyées des stations montantes à un satellite qui les renvoie à un ensemble de récepteurs qui appartiennent à la couverture satellitaire.

Les problèmes associés à cette configuration sont liés aux protocoles de routages. Chaque routeur dans l'Internet doit régulièrement annoncer à ses voisins quels réseaux il est capable d'atteindre, afin que chaque routeur ait une vue globale de l'Internet. Ce mécanisme est nécessaire pour qu'un routeur qui doit acheminer un paquet IP vers une destination donnée sache vers quel routeur voisin l'envoyer. Dans le cas de réseaux satellitaires de type *broadcast*, un récepteur ne peut annoncer directement aux stations montantes les réseaux qu'il peut atteindre. Ces dernières croiront alors qu'aucun réseau n'est atteignable par l'intermédiaire du réseau satellitaire et n'enverront donc aucun paquet IP sur leur liaison satellitaire.

Pour remédier à cela, un mécanisme de "tunneling" au niveau liaisons a été implémenté. Ce mécanisme permet de masquer l'unidirectionnalité de la liaison en utilisant la voie de retour terrestre.

Une caractéristique importante du mécanisme de *tunneling* est qu'un récepteur peut être abonné à un fournisseur d'accès terrestre quelconque. Cette connectivité est requise pour qu'un utilisateur puisse envoyer des requêtes par le réseau terrestre et recevoir le trafic en retour par le satellite. Il n'est pas nécessaire d'établir d'accord entre le fournisseur d'accès terrestre et le fournisseur d'accès satellite.

L'utilisation d'un réseau de PC nous a permis de simuler des liens unidirectionnels et de vérifier le bon fonctionnement des algorithmes. Nous avons effectué des démonstrations en local ainsi que sur des liaisons satellitaires, en transmettant de la vidéo au dessus de IP en multipoint à plusieurs reprises dans le cadre de manifestations nationales et internationales.

5 Logiciels

5.1 Rendez-Vous

Rendez-Vous est un outil de vidéoconférence sur l'Internet développé par Frank Lyonnet. Rendez-Vous permet des conférences en point à point et en multipoint. Il utilise le codec H.261 d'IVS (un ancien logiciel de vidéoconférence, également développé dans le projet), ainsi que des codeurs hiérarchiques expérimentaux. Rendez-Vous permet aussi la lecture de fichiers MPEG1 et MPEG2. La partie audio de Rendez-Vous est basée sur le logiciel FreePhone. Voir <http://www.inria.fr/rodeo/rv>

5.2 FreePhone

FreePhone est un outil audio pour l'Internet développé par Sacha Fosse Parisi et Andrés Vega García. Il permet de gérer plusieurs conversations point à point et multipoints en parallèle.

Il possède également un certains nombre de mécanismes avancés de codage (son stéréo, son 3D utilisé dans Mimaze pour restituer un environnement virtuel réaliste) et de contrôle (contrôle de débit pour l'adaptation à la bande passante disponible dans le réseau, contrôle de redondance pour l'adaptation aux pertes, etc).

Voir <http://www-sop.inria.fr/rodeo/fphone/>

5.3 MiMaze

MiMaze est le premier jeu utilisant une architecture complètement distribuée sur le Mbone. C'est un jeu interactif dans lequel les joueurs, représentés par des entités de type PacMan, se combattent dans un labyrinthe virtuel.

Voir <http://www-sop.inria.fr/rodeo/MiMaze/>

5.4 MiMaze3D

MiMaze3D est la version 3D du logiciel MiMaze. L'architecture de MiMaze a été modifiée pour utiliser VRML comme langage de description de scène 3D. Une couche supplémentaire a été rajoutée au dessus de la couche de communication. Cette nouvelle couche peut-être découpée en 2 modules : une applet Java et un navigateur VRML, tous deux embarqués dans une même page HTML. L'applet Java utilise les classes de l'EAI (External Authoring Interface) fournies par le navigateur VRML, afin d'instancier, de modifier et de supprimer les noeuds VRML de la scène 3D. Voir <http://www-sop.inria.fr/rodeo/MiMaze/MiMaze3D>

6 Résultats nouveaux

6.1 Evaluation quantitative des routeurs de type RED

Participants : Jean-Chrysostome Bolot, Thomas Bonald, Martin May.

La gestion des files d'attente est un composant très important des réseaux à commutation de paquets puisqu'elle permet d'absorber les rafales, et donc de réduire les pertes de paquets. Une mémoire tampon énorme permet aussi d'absorber les rafales de grande taille, mais au prix d'une augmentation des délais de transmission. La technique traditionnelle consiste donc à limiter la taille de la mémoire tampon.

En 1993, Sally Flood et Van Jacobson ont introduit RED ("Random Early Detection"). RED est supposé éviter l'effondrement du réseau suite à une congestion ("congestion collapse") en jetant aléatoirement des paquets appartenant à des flux arbitraires. Le but principal est d'éviter les situations où le routeur est forcé de jeter des paquets à cause d'un manque d'espace dans la file d'attente entrante.

Nous présentons le modèle que nous avons conçu pour quantifier le niveau de service que l'on peut obtenir avec une technique de gestion active de queue telle que RED. Nous examinons en particulier comment RED maîtrise les pertes multiples pour les flux en rafales. Contrairement à RED, un système de type Tail Drop (jeter en queue) a tendance à détruire plus de paquets dans les flux qui arrivent en rafales. Nous avons prouvé avec notre modèle analytique, ainsi qu'avec

des simulations et des expérimentations que RED réduit les performances de bout-en-bout par rapport à Tail Drop [3, 7, 6].

6.2 Contrôle d'applications multimédias sur l'Internet

Participants : Jean-Chrysostome Bolot, Sacha Fosse-Parisis.

Nous avons poursuivi cette année les travaux sur les mécanismes de contrôle de pertes. Nous avons ces dernières années étudié des mécanismes de type FEC (Forward Error Correction), dans lesquels la source d'information ajoute aux informations "de base" des informations redondantes qui permettront de reconstruire (plus ou moins fidèlement) à la destination les informations qui auront été perdues dans le réseau. Bien sûr, plus on ajoute de redondance, plus la destination pourra reconstruire un grand nombre de paquets perdus ; mais plus la source envoie de données, et donc plus la congestion dans le réseau augmente, et plus le nombre de paquets perdus augmente aussi. On voit donc apparaître un point optimal entre la qualité du canal de transmission (taux de pertes) et le taux de redondance à ajouter. Notre résultat majeur, cette année, a été de formuler ce problème d'optimalité (en pratique optimalité avec contraintes), de le résoudre, d'obtenir à partir de la solution optimale un algorithme pratique et de mettre en oeuvre cet algorithme dans une application spécifique. L'application choisie a été la transmission de la voix sur l'Internet, et notre algorithme permet maintenant d'offrir une qualité auditive quasi-constante et de très bonne qualité même lorsque l'Internet est congestionné (sans exagérer tout de même...). Nous allons étendre l'an prochain notre approche à beaucoup de types de redondance et à de nouvelles applications (jeux distribués et transmission vidéo).

6.3 Partage équitable de la bande passante entre flôts point à point et flôts multipoints, réactifs et non réactifs

Participants : Antoine Clerget, Walid Dabbous.

Le partage des ressources entre les flôts best-effort de l'Internet repose aujourd'hui principalement sur l'utilisation de protocoles de contrôle de congestion de bout en bout. Avec les flôts point à point que sont les flôts TCP, ceci mène à un partage satisfaisant de la ressource critique car ils subissent tous le même taux de perte: celui observé au point de congestion. Toutefois, la conception de protocoles de contrôle de congestion de bout en bout est plus délicate avec des flôts dont les contraintes temporelles sont différentes de celles de TCP, avec des réseaux très dynamiques comme les constellations de satellites ou les flôts multipoints, où plusieurs ressources critiques sont partagées avec différents flôts. Ceci est d'autant plus délicat qu'il faut veiller à garder un comportement compatible ("amical") avec les flôts TCP existants. L'aide du réseau est alors nécessaire.

Nous avons développé des mécanismes d'étiquetage et de filtrage des paquets pour partager max-min équitablement les ressources au sein de chaque routeur. Combiné à des protocoles de contrôle de congestion de bout en bout, ceci permet d'obtenir un partage max-min global des ressources entre flôts et récepteurs.

- Les flôts sont étiquetés dans les routeurs situés à la bordure du réseau. L'étiquetage tient

compte d'un modèle du comportement du flôt en fonction du taux de perte.

- La valeur des étiquettes définit un niveau de priorité des paquets.
- En cas de congestion, un routeur au coeur du réseau se contente de perdre un des paquets les moins prioritaires. Les routeurs au coeur du réseau de maintiennent pas d'état par flôt.

Les propositions existantes utilisant les routeurs pour partager équitablement la bande passante utilisent presque toutes des mécanismes complexes de gestion de files d'attente et maintiennent un état par flôt dans les routeurs. Nous proposons ici de réaliser ce partage équitable sans introduire d'état dans les routeurs au coeur du réseau. Récemment, Stoica et al. ont proposé un mécanisme semblable : CSFQ (Core Stateless Fair Queueing). Nous avons comparé par simulation ces deux approches. Nous obtenons avec notre approche des performances semblables. Toutefois, en tenant compte de la nature des flots, notre mécanisme est plus robuste lorsque le trafic externe est très irrégulier [10].

6.4 Architecture de communication pour applications interactives avec grand nombre de participants

Participants : Emmanuel Léty, Thierry Turletti.

Les travaux de recherche ont essentiellement porté sur les applications de réalité virtuelle avec un grand nombre de participants. En effet, pour un très grand nombre de participants et lorsque l'ensemble des informations transmises sur le réseau transite sur un unique groupe multipoint, le trafic reçu par chaque participant devient trop important. Ceci peut entraîner de nombreuses pertes de paquets au niveau réseau et une saturation au niveau CPU. La répartition de l'information dans plusieurs groupes multipoints nous est apparue indispensable dans la résolution de ce problème. Pour cela, plusieurs politiques de filtrage et de gestion des centres d'intérêt des participants ont été étudiées.

Cette réflexion nous a conduits à proposer une approche au niveau de la couche transport, en s'appuyant sur l'utilisation d'agents multiples et sur un ensemble de groupes multipoints. Notre architecture implique un découpage dynamique en cellules de l'environnement virtuel, ainsi que l'association dynamique par les agents, de ces cellules avec des groupes multipoints. La particularité et l'atout majeur d'une telle architecture réside dans sa faculté d'adaptation avec un nombre limité de groupes multipoints. En effet, la situation actuelle d'IPv4 et la difficulté de déploiement du multipoint par les fournisseurs d'accès Internet au grand public nous ont amenés à proposer une architecture à la fois capable de répondre aux contraintes de ce type d'application, et également d'apparaître suffisamment réaliste afin d'envisager une utilisation réelle dans l'Internet de demain.

L'utilisation de plusieurs agents dans notre architecture nous a permis de proposer plusieurs mécanismes destinés à prendre en compte l'hétérogénéité des participants (de différentes capacités réseaux et CPU) dans l'environnement virtuel, afin de réaliser le meilleur découpage possible de l'environnement virtuel en cellules et l'association de ces cellules avec des groupes multipoints[4, 11].

6.5 Routage dynamique dans des réseaux avec liens unidirectionnels

Participants : Patrick Cipièrè, Walid Dabbous, Emmanuel Duros.

Pendant l'année écoulée, les activités concernant le mécanisme de *tunneling* se sont poursuivies autour des axes suivant : standardisation, validation et déploiement de services.

L'*Internet draft* "A Link Layer Tunneling Mechanism for Unidirectional Links" qui décrit le mécanisme permettant d'émuler une connectivité bidirectionnelle et broadcast sur un lien unidirectionnel a été soumis à l'IESG en tant que "proposed standard". Il a été lu et approuvé par l'ensemble des membres qui ont demandé que l'on apporte des modifications mineures à ce document. Une version finale ; sur laquelle des constructeurs tels que CISCO ont participé, devrait être disponible au début de l'an 2000 et ainsi être acceptée en tant que RFC.

Afin de valider le fonctionnement du mécanisme de *tunneling*, nous devons effectuer des tests d'interopérabilité avec une implementation autre que celle de l'INRIA. Il est à noter que ces tests étaient nécessaires pour que l'*Internet draft* puisse obtenir le statut de RFC "proposed standard". Le constructeur japonais SONY a développé des équipements de transmission et de réception supportant le mécanisme de *tunneling*. En juin 1999 sur le site de l'INRIA, les équipements SONY ont été connectés à notre réseau satellite et communiquaient avec nos propres équipements. Nous avons alors montré une complète interopérabilité entre nos implémentations.

Depuis cette année, nous pouvons émettre des paquets de type IPv6 sur notre liaison satellite. Cela a nécessité la mise à jour des drivers d'émission et de réception pour supporter cette version du protocole IP. Nous avons aussi validé le fonctionnement du mécanisme de *tunneling* en IPv6.

En juillet 1999, le département du Tarn s'est équipé d'une station d'émission utilisant la technologie satellite développé à l'INRIA. Le réseau satellite est maintenant composé de deux stations d'émission et d'un ensemble de points de réception pouvant recevoir le trafic IP simultanément de ces deux stations. Nous avons mis en place des politiques de routage multicast pour une architecture coopérative. Un site de réception peut s'abonner à un flux multicast provenant d'un site d'émission quelconque. Un site d'émission peut s'abonner à un flux multicast provenant de l'autre site d'émission.

Cette architecture permet de déployer des services telles que la video-conférence ou la réplication de cache web en multicast. Dans le premier cas, les sites de réceptions pourront suivre et participer à des conférences qui seraient retransmises par les stations d'émission. Dans le second cas, on utilisera l'aptitude de la liaison satellite à transmettre du multicast pour répliquer de manière optimale un ensemble de site web miroirs.

6.6 Qualité de Service sur liaisons satellites

Participants : Hossam Affi, Patrick Cipièrè, Rafael Rizo.

La station satellite montante à l'INRIA dispose d'un canal de capacité 2 Mbps connue à l'avance (qui est actuellement partagé avec une deuxième station montante).

Deux solutions pour la gestion de la qualité de service sont proposées : Dans la première solution, on gère la qualité de service au niveau IP. En effet, un paquet IP est transmis à la

couche liaison et doit ensuite être émis sur le canal en totalité avant de pouvoir transmettre un autre paquet venant éventuellement d'un autre flot.

Dans la seconde solution, on met en œuvre un mécanisme d'allocation du canal satellite au niveau liaison. Le numéro de PID permet donc d'identifier un canal au niveau MPEG-2. La couche de segmentation permet d'ajouter l'en-tête MPEG-2 et de transmettre le paquet IP sur une ou plusieurs cellules MPEG-2. Un long paquet IP peut donc être segmenté en plus d'une dizaine de cellules. La mise en œuvre d'un mécanisme d'allocation de ressources au niveau MPEG-2 permet de réduire les délais d'attente de certains paquets IP par la transmission simultanée de paquets IP appartenant à des flux différents. La couche de segmentation gère alors la mise en correspondance des flux IP et des sous-canaux MPEG-2. La transmission des cellules MPEG-2 sur la liaison n'étant pas soumise à des limitations à priori, on pourrait allouer la liaison aux sous canaux avec un algorithme *round robin*, avec par ailleurs, la possibilité de pondérer le nombre de cellules transmises par canal. L'étude comparative des deux solutions à l'aide du simulateur NS va permettre de comparer leurs performances. Le code principal qui permettra le support de la QoS a déjà été déployé. Des tests du mécanisme de contrôle de la QoS sont à l'étude.

6.7 Transmission multipoint fiable par satellites

Participants : Antoine Clerget, Walid Dabbous, Stéphane Réty, Rafael Rizo.

Étant intrinsèquement des liens de diffusion, les liaisons satellites nous permettent de transmettre en multipoint à moindre coût. Contrairement aux connexions multipoints routées sur des réseaux terrestres, les ressources réseaux consommées ne dépendent pas du nombre de récepteurs. Il y a de nombreuses applications à la transmission multipoint fiable par satellite : mise à jour de bases de données, diffusion de logiciels, informations météo, boursières, ... Toutefois, sur satellite géostationnaire, il faut être capable de gérer des délais importants (de l'ordre de 250 ms aller-retour vers le satellite) dus au temps de propagation du signal¹. De plus, comme pour tout lien radio, le taux d'erreur du lien (BER) est beaucoup plus important que pour des liens de type câble ou fibre optique. C'est souvent grâce à d'importants codes correcteurs d'erreur de bas niveau que l'on corrige ces erreurs, ce qui réduit de manière considérable le débit utile du lien. On souhaiterait pouvoir s'en affranchir, et faire gérer les pertes de paquets par la couche transport.

Par ailleurs, en visant un très grand nombre de destinataires, on se heurte à des problèmes d'hétérogénéité : certains reçoivent les données directement du satellite, pour d'autres, elles sont relayées par une antenne à travers le M-Bone². Les chemins menant à ces destinataires sont donc très hétérogènes en terme de bande passante et de taux d'erreur. L'objectif est d'assurer à chacun une transmission fiable tout en minimisant le temps de réception de chaque utilisateur.

Pour assurer la fiabilité tout en répondant aux contraintes mentionnées ci-dessus et pour supporter un grand nombre de participants, nous avons développé des solutions basés sur des techniques de FEC (Forward Error Correction). Pour transmettre un fichier, nous le sectionnons

1. $36000km * 2 / 300000km/s = 240ms$

2. Réseau expérimental, surcouche de l'Internet supportant le multipoint

en blocs sur lesquels nous calculons des paquets de redondance. Ces paquets de redondance sont transmis sur différents groupes multipoints de sorte que :

- chaque récepteur puisse ne s'abonner qu'à un sous ensemble de ces groupes multipoints afin d'adapter son débit à la réception tout en recevant l'intégralité du fichier,
- chaque récepteur puisse recevoir le fichier en temps optimal par rapport au débit demandé,
- ces propriétés soient encore vérifiées pour un récepteur qui commencerait à écouter en cours de session.

Le protocole multipoint fiable est actuellement en cours de finalisation et une librairie supportant le transfert de fichiers sera mise à disposition prochainement.

7 Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)

7.1 Detexis

La collaboration avec Thomson-CSF Detexis (anciennement Dassault Electronique) s'est poursuivie dans le cadre d'un contrat dont l'objet est le développement et l'évaluation de protocoles de niveau "réseau" et "transport" de nouvelle génération. Dans cette étude, nous avons proposé un schéma de nommage d'ADUs (*Application Data Units*) hiérarchique pour permettre aux applications ALF de contrôler plus efficacement la transmission de données. Nous avons aussi proposé une architecture de communication pour des applications LSVE (*Large Scale Virtual Environment*). Notre approche, qui se situe au niveau de la couche transport, utilise des agents pour diviser dynamiquement l'environnement virtuel en cellules associées à des adresses multicast. Les cellules sont choisies de manière dynamique en fonction de la distribution des participants dans le LSVE[4].

7.2 Eutelsat

Nous travaillons sur le support des liens unidirectionnels dans l'Internet dans le cadre d'un contrat de recherche avec Eutelsat. Nous avons mis en œuvre une solution basée sur un mécanisme d'encapsulation permettant le support des protocoles de routage au dessus de liens unidirectionnels. Ces travaux sont en cours de standardisation à l'IETF dans le cadre du groupe de travail UDLR. Les travaux en 1999 ont porté essentiellement sur le support d'antennes d'émission multiples.

8 Actions régionales, nationales et internationales

8.1 Actions nationales

8.1.1 GDR/PRS et Action Réseau

Au plan national, RODEO participe à deux projets nationaux (en collaboration avec le LAAS, le MASI, et l'IRISA) dans le cadre du GDR/PRC et de « l'Action Réseau » du CNRS. Ces deux projets concernent respectivement l'architecture de protocole haute performance et la transmission multipoint fiable.

8.1.2 AIRS

Nous participons au projet RNRT @IRS dont l'objectif est de développer et d'expérimenter les protocoles Internet de Nouvelle Génération ainsi que les fonctions associées qui permettront, d'une part, d'offrir aux usagers des services adaptés à leurs besoins quel que soit le point d'accès (fixe ou mobile) et, d'autre part, de tirer partie d'une infrastructure de télécommunication de plus en plus performante et hétérogène (ATM, Satellite, Réseaux sans fil, Réseaux Locaux...) Le projet @IRS cible plus particulièrement les mécanismes de gestion de la qualité de service et de la mobilité associés au protocole IPv6, nouvelle génération du protocole IP. Ces deux thèmes majeurs de recherche et de développement sont menés dans le contexte d'emploi d'applications interactives et multi-parties, ce qui implique le choix de solutions adaptées aux communications multipoints. L'étude de l'incidence de ces mécanismes sur les fonctions de routage fait également partie intégrante des travaux. Le projet s'inscrit sur une période de deux ans, au terme de laquelle les solutions étudiées et développées durant le projet auront été démontrées sur une plate-forme nationale, à l'aide d'applications innovantes représentatives des besoins technologiques futurs. Les résultats du projet conduiront à l'émergence de produits Internet Nouvelle Génération et à l'intégration progressive de la technologie IPv6 de façon cohérente dans les réseaux et les systèmes d'information. La technologie IPv6, qui est aujourd'hui expérimentale, devrait être intégrée dans les réseaux opérationnels dans un délai de trois à cinq ans. Le projet @IRS présente de ce fait un intérêt scientifique et industriel majeur pour l'industrie française des télécommunications et celle des applications. Les partenaires du projet sont Dassault Electronique, l'Aérospatiale, le LAAS, le LIP6, l'université de Strasbourg, et l'INRIA Rhône-Aples.

8.1.3 Constellations de satellite

Depuis quelques années, des progrès spectaculaires ont été effectués dans le domaine des réseaux, par l'accroissement des débits et la mise en place de qualité de service permettant d'acheminer des applications multimédias. Les recherches qui ont été faites commencent à déboucher sur des produits, que ce soit dans les domaines ATM ou Internet. Les questions qui se posent au niveau recherche sont maintenant assez radicalement différentes. Deux points vont encore complètement modifier l'environnement des réseaux : (1) l'arrivée des constellations de satellites et (2) le besoin de maîtriser l'environnement réseau qui ne fait qu'augmenter en complexité.

Nous participons au projet RNRT "constellations de satellites pour le multimédia", dans le cadre duquel nous souhaitons nous attaquer aux différents problèmes posés par les constellations de satellites pour le transport d'applications multimédias. Ce projet est découpé en cinq conventions complémentaires.

1. La première convention concerne les problèmes posés par les constellations de satellites du point de vue de la qualité de la transmission sur l'interface radio.
2. La seconde convention se préoccupe de la gestion des ressources disponibles (fréquence, mémoire, capacité), la gestion des handover, le routage en tenant compte de la dynamique des satellites. Cette gestion des ressources demande une signalisation importante qui sera également étudiée dans cette convention.

3. La troisième convention concerne l'utilisation des protocoles ATM et IP dans le cas de communication avec un système satellitaire, toujours en regardant le problème de l'utilisation efficace des ressources (taux d'erreur, codage) et dans le but d'obtenir un contrôle de la qualité de service (maintien de la qualité de transport de bout en bout...).
4. La quatrième convention se propose de concevoir et de réaliser un nouvel environnement capable de contrôler la complexité et de maîtriser les paramètres d'une constellation de satellites.
5. La cinquième convention concerne le développement d'un atelier contenant un environnement de simulation pour dimensionner, tester, évaluer les performances de systèmes (ou sous-systèmes) de télécommunications basés sur des constellations de satellites.

8.1.4 Dipcast

Nous participons au projet RNRT Dipcast dont l'objectif principal est de proposer un réseau satellitaire géostationnaire qui réponde aux évolutions du trafic sur l'Internet, qui s'oriente de plus en plus vers la diffusion. Pour répondre à l'augmentation exponentielle des flux dans l'Internet, il apparaît fondamental d'utiliser les protocoles d'IP multicast, dont le satellite géostationnaire est aujourd'hui un excellent vecteur. Mais pour répondre à la demande de bande passante et de souplesse, ces satellites évoluent vers des configurations multifaisceaux en montée et en descente pour lesquelles les réponses transparentes traditionnelles ou régénératives monofaisceaux ne sont pas suffisantes. Il faut donc envisager une seconde génération de processeur DVB et de duplication bord. Cette duplication doit être compatible avec les générations précédentes et suivre l'évolution des protocoles multicast terrestres". Le projet Dipcast vise donc à la réalisation d'une double plateforme matérielle et logicielle permettant de définir cette nouvelle génération de processeurs. Il se répartit en trois sous-projets: système, plate-forme matérielle (le DVB routeur) et plate-forme logicielle (protocoles et applications).

Les partenaires du projet sont Alcatel Space Industries, le CNES, le LAAS, CRIL Ingénierie, l'ENSICA, l'ENSEEIH, l'INRIA, ISIS et POLYCOM.

8.1.5 Intradiff

Nous participons au projet RNRT Intradiff dont l'objectif est d'étudier aux limites les mécanismes de gestion statique des ressources proposés par l'approche "Diff-Serv" et de proposer des solutions de gestion dynamique des ressources pour optimiser l'utilisation des ressources du réseau. En effet, dans les prochaines années, le réseau Intranet de l'entreprise se construira autour d'une offre opérateur intégrant directement le service IP. Cette approche suppose d'offrir une qualité de service IP native pour, d'une part, fournir les services dits "legacy" et, d'autre part, supporter les nouvelles applications multimédia (téléphonie, visioconférence, ?). A partir d'une définition de différents scénarios de profils de trafic de réseaux d'entreprise, le projet Intradiff a pour but d'étudier l'implémentation optimale de la qualité de service IP selon deux axes complémentaires. Le premier vise à étudier le comportement aux limites de l'approche "services différenciés" proposée par l'IETF, qui repose sur un dimensionnement statique des ressources du réseau. La méthodologie retenue consiste à déployer une plate forme expérimentale puis à extrapoler les résultats obtenus sur de grands réseaux au moyen de simulations. Le

second axe propose de compléter l'approche "services différenciés" par l'étude de protocoles de signalisation permettant une gestion plus fine des ressources, de façon à garantir un niveau de qualité de service constant quand le réseau approche de ses limites et à optimiser l'utilisation des ressources. Les protocoles seront définis en lien étroit avec le groupe de travail "Diff-serv" de l'IETF, implémentés sur la plate forme puis modélisés de façon à comparer les deux modes de gestion des ressources. La plate forme utilisée dans le projet INTRADIFF s'appuie sur un accès à un réseau opérateur et intègre des équipements de bordure IP ainsi que des routeurs d'accès.

Les partenaires du projet sont CS Télécom, Thomson CSF Detexis, Cégétel et l'INRIA.

8.2 Actions financées par la Commission Européenne

8.2.1 Projet COIAS

Nous participons au projet ACTS COIAS dont l'objectif est de permettre un fonctionnement efficace des protocoles Internet dans un environnement ATM et satellite, avec une focalisation sur les aspects de convergence IP sur ATM et sur satellite. Le projet étudie en particulier les aspects concernant le multipoint fiable, la mobilité et la sécurité.

8.2.2 Projet MECCANO

Le projet MECCANO qui succède au projet MERCI reprend une partie des buts de MERCI (outils d'audio et vidéoconférence sur réseaux hétérogènes), mais il met l'accent sur de nouvelles techniques (mécanisme de FEC adaptative mentionné plus haut) et de nouveaux supports de transmission (liaisons mobiles, liaisons satellite, IPv6) qui sont au cœur des travaux récents du projet. Beaucoup des partenaires de MERCI se retrouvent dans MECCANO. On note cependant le départ de GMD et de KTH, et l'arrivée de New Learning (startup norvégienne issue du projet MERCI) et de l'université de Brème.

8.2.3 Projet HIPPARCH

Extension du projet Européen Hipparch avec les partenaires Dassault Electronique, Uppsala University, SICS et University College London. Le but de cette extension est de consolider les résultats et de développer le thème de la scalabilité des applications qui utilisent un grand nombre de participants sur Internet. C'est sur ce thème particulier que nos travaux ont porté. Trois approches ont été étudiées pour distribuer les données à ce type d'applications: le filtrage, l'adressage, et un schéma hybride. Nous avons montré par simulation que ces applications peuvent congestionner le réseau ainsi que les ressources des machines si elles reçoivent toutes les données de la session. Nous avons montré que l'adressage permettait de manière plus scalable que le filtrage d'éliminer la plupart des données *superflues* reçues par les participants pour des applications transactionnelles, tandis que le filtrage reste une approche efficace pour des applications à flot continu.

8.2.4 Projet VISI

Participation au projet RNRT VISI (Vidéo Interactive sur Internet) avec les partenaires Thomson Multimedia, Eurecom, Edixia, France Telecom et le projet TEMICS à l'IRISA. L'objectif du projet est de faciliter et d'améliorer la transmission de contenus vidéos sur l'Internet, c'est-à-dire de réduire l'écart de qualité existant avec la diffusion conventionnelle de type hertzien ou câble. Les applications ciblées sont la consultation de documents vidéo pré-enregistrés (VOD) et temps réel (visioconférence, téléenseignement, et ventes aux enchères). Nous nous occupons principalement du contrôle de congestion et du contrôle d'erreur pour ces types d'applications. En particulier, nous étudions des mécanismes de coordination source/réseau/client ainsi que des mécanismes FEC à base de canaux de redondance.

8.2.5 Projet DESS

Participation au projet européen ITEA DESS (*Software Development Process for Real Time Embedded Software Systems*). Les partenaires principaux sont Barco, Bull Italia, Daimler-Chrysler, Philips, Siemens AG, Thomson CSF et multimedia, GMD-FIRST, INRIA, IRISA, et K.U.Leuven. Le but du projet est de définir une méthodologie pour implanter de manière efficace des systèmes temps-réel embarqués.

Le but de nos travaux est d'expérimenter et d'évaluer le langage formel synchrone Esterel pour implanter la partie contrôle des applications *radio logicielles* <http://www.inria.fr/rodeo/swr.html>. Le terme de radio logicielle désigne une radio dont la plupart des fonctions de la couche physique sont implantées en logiciel. Aujourd'hui, l'élaboration des applications radio logicielles est très complexe et nécessite des compétences pluridisciplinaires : architecture logicielle, traitement du signal (modulation, codage, compression, contrôle d'erreurs), réseau (protocoles de transmission, algorithmes de contrôle de congestion), vérification et validation des algorithmes, etc. L'utilisation d'une approche formelle pour mettre en oeuvre ces applications pourrait faciliter l'implantation et la validation de ces applications. Nous nous proposons d'ajouter le langage formel Esterel à PSPECTRA (<http://www.tns.lcs.mit.edu/SpectrumWare/>) qui est un environnement de développement d'applications radio logicielles développé au LCS/MIT. L'environnement de programmation PSPECTRA permet d'implanter des applications modulaires temps-réel à fortes teneur en traitement du signal. Il a été utilisé pour implanter plusieurs sortes de radio logicielles comme des récepteurs radio, TV et téléphone cellulaire AMPS ainsi qu'un récepteur multi-bandes[2]. Nous nous proposons d'interfacer ce nouvel environnement de programmation avec le langage formel Esterel. On envisage d'évaluer l'ensemble avec la mise en oeuvre d'algorithmes MAC adaptatifs pour la troisième génération de systèmes mobiles (3GPP).

8.3 Réseaux et groupes de travail internationaux

Nous participons aux travaux menés dans un certain nombre de groupes de travaux de l'IETF. En particulier, nous participons aux travaux des groupes AVT (Audio-Vidéo Transport, où nous avons proposé une extension du protocole RTP pour obtenir une bonne qualité audio ou vidéo sur l'Internet), UDLR (UniDirectional Link Routing, que nous coprésidons, IPPM (IP Performance Metrics) et LSMA (Large Scale Multicast Applications).

8.4 Relations bilatérales internationales

8.4.1 NEC

Nous avons démarré des discussions avec NEC Allemagne (via Claude Castelluccia) afin de travailler sur le thème support de la qualité de service dans un environnement mobile. Cette collaboration sera réalisée dans le cadre du projet Planète.

8.5 Accueils de chercheurs étrangers

Nous avons accueilli Thomas Fuhrman pour une visite d'un mois. Ses travaux ont porté sur le support des protocoles de gestion de groupe multipoint sur liaison satellite unidirectionnelle. Cette visite a été effectuée dans le cadre du programme Européen COST 264.

9 Diffusion de résultats

9.1 Animation de la communauté scientifique

Le projet participe à l'organisation de la conférence ISCC'00 qui se tiendra à Antibes en juillet 2000.

9.2 Enseignement universitaire

Réseaux : cours de tronc commun du DEA Réseaux et Systèmes Distribués, université de Nice-Sophia Antipolis, par W. Dabbous (12h), J. Bolot (12h).

Transmission multipoint : cours d'option du nouveau DEA Réseaux et Systèmes Distribués (24h), université de Nice-Sophia Antipolis, par W. Dabbous, J. Bolot.

9.3 Thèses et stages

9.3.1 Thèses soutenues en 1999

1. Martin May a terminé sa thèse sur le sujet : "Évaluation Quantitative des Nouveaux Mécanismes de Gestion de la Qualité de Service dans l'Internet".

9.3.2 Thèses en cours

1. Antoine Clerget travaille sur le sujet : "routage et contrôle de transmission point à point et multipoint dans un réseau avec liaisons satellites".
2. Emmanuel Lety travaille sur le sujet : "architecture de communication pour les LSVE (Large Scale Virtual Environments)".
3. Fethi Filali travaille sur le sujet : "Support du routage multicast sur satellite régénératif".
4. Şerban Rareş travaille sur le sujet : "Gestion dynamique des ressources dans l'Internet".
5. Miguel Ruiz travaille sur le sujet : "Architecture de routeurs IP".
6. Wang Ziyu travaille sur le sujet : "Mécanismes pour le support de la qualité de service dans l'Internet".

7. Laurențiu Barză travaille sur le sujet :“Evolution du service IP multicast”.

9.3.3 Stages effectués dans le projet

1. Etude et élaboration d'applications radios logicielles, Youssef Saadali, EMI, Maroc.
2. Réalisation d'un monde virtuel 3D multi-utilisateurs sur IP multipoint, Cédric Dégéa et Céline Raisson, Projet ESSI-3/DESS, Sophia Antipolis.
3. Mécanismes de support de la qualité de service sur Internet, N. Boutayeb, EMI, Maroc.
4. Support de la qualité de service sur liaison satellite, O. Arbouche EMI, Maroc.
5. Optimisation de réseau avec liens satellites unidirectionnels, F. Filali, ENSI, Tunisie.
6. Support des applications audio sur IP sur Frame Relay, I. BenHmida, ENSI, Tunisie.
7. Routage IP dans les constellations de satellite, Wassim Soubra, ENSEEIHT, Toulouse.

9.4 Participation à des colloques, séminaires, invitations

Participation de Walid Dabbous au séminaire de l'ESA sur l'Intenet par Satellite, Nordwijk, janvier 1999. Au workshop de la commission européenne sur les communications par satellite, Bruxelles, mars 1999. A Globecom'99 à Rio, Décembre 1999.

Participation de Thierry Turletti au comité du Workshop Packet Video, avril 26-29, 1999, NY, USA.

10 Bibliographie

Articles et chapitres de livre

- [1] C. BARAKAT, E. ALTMAN, W. DABBOUS, « On TCP Performance in a Heterogeneous Network: A Survey », *IEEE Communication magazine*, 1999.
- [2] L. WOOD, A. CLERGET, I. ANDRIKOPOULOS, G. PAVLOU, W. DABBOUS, « IP routing issues in Satellite Constellation Networks », *International Journal of Satellite Communications*, 1999.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [3] T. BONALD, M. MAY, « Drop Behavior of RED for Bursty and Smooth Traffic », *in: Proceedings of IWQoS'99*, 1999.
- [4] E. LÉTY, T. TURLETTI, « Issues in Designing a Communication Architecture for Large-Scale Virtual Environments », *in: Proc. of the 1st International Workshop on Networked Group Communication*, Pisa, Italy, 17-19 November 1999.
- [5] F. LYONNET, W. DABBOUS, « Un ordonnanceur applicatif pour les systèmes de téléconférence », *in: Actes du CFIP'99*, 1999.
- [6] M. MAY, J. BOLOT, C. DIOT, B. LYLES, « Reasons not to deploy RED », *in: Proceedings of IWQoS'99*, 1999.
- [7] M. MAY, J.-C. BOLOT, A. JEAN-MARIE, C. DIOT, « Simple Performance Models of Differentiated Services Schemes for the Internet », *in: Proceedings of INFOCOM'99*, 1999.
- [8] T. TURLETTI, H. BENTZEN, D. TENNENHOUSE, « Towards the Software Realization of a GSM Base Station », *in: IEEE/JSAC, Special Issue on Software Radios*, 17, 4, p. 603–612, April 1999.

-
- [9] T. TURLETTI, D. TENNENHOUSE, « Complexity of a Software GSM Base Station », *in: IEEE Communication Magazine*, 37, 2, p. 113–117, February 1999.

Rapports de recherche et publications internes

- [10] A. CLERGET, W. DABBOUS, « Tag-based Fair Bandwidth Sharing for Responsive and Unresponsive flows », *Research Report n° 3846*, INRIA, December 1999.
- [11] E. LÉTY, T. TURLETTI, F. BACCELLI, « Cell-based Multicast Grouping in Large-Scale Virtual Environments », *Research Report n° 3729*, INRIA, July 1999.