

*Projet PLANETE**Protocoles et Applications pour l'Internet**Sophia Antipolis - Rhône-Alpes*

THÈME 1B



*R*apport
d'Activité

2002

Table des matières

1. Composition de l'équipe	1
2. Présentation et objectifs généraux	2
2.1. Présentation générale	2
3. Fondements scientifiques	2
3.1. Méthodologie	2
3.2. Vers un Internet cellulaire	3
3.3. Optimisation de protocoles de transmission multimédia vers des récepteurs hétérogènes et mobiles	4
3.4. Impact des nouveaux supports de transmission sur les protocoles	4
3.5. Evolution des services de l'Internet	5
3.6. Applications interactives multi-utilisateurs	6
4. Domaines d'application	6
4.1. Architecture de gestion hiérarchique de la mobilité	6
4.2. Internet paging	7
4.3. Gestion de la mobilité des réseaux	7
4.4. Impact des nouveaux supports sur le routage	7
4.5. Impact des nouveaux support sur le transport	8
4.6. Support de la qualité de service dans l'Internet	9
4.7. Evolution du multipoint	10
4.8. Les environnements virtuels à grande échelle	11
4.9. La sécurité dans les réseaux sans fil	11
5. Logiciels	12
5.1. V-EYE	12
5.2. MultiCast Library	12
5.3. HMIPv6	12
6. Résultats nouveaux	12
6.1. Sécurité des Réseaux	12
6.2. Qualité de service dans les réseaux locaux sans-fil	12
6.3. La Pagination IP	13
6.4. Support des Réseaux Mobiles dans IPv6	13
6.5. Comportement de TCP sur réseaux hybrides filaire/sans-fil	13
6.6. Contrôle de transmission pour applications multimédias sur l'Internet sans fil	14
6.7. Mise en œuvre d'applications radio logicielles en logiciel	14
6.8. Support de la qualité de service dans un réseau Piconet Bluetooth	14
6.9. L'évolution de la voix sur IP	14
6.10. V-Eye : un monde virtuel 3D avec grand nombre de participants	15
6.11. Optimisation de la transmission de flots multimédia sur un réseau hybride	15
6.12. Analyse de trafic dans les dorsales de l'Internet	16
6.13. Estimation du nombre de récepteurs dans une session multipoint	16
6.14. Etude des mécanismes de correction d'erreurs pour les réseaux sans fil	17
6.15. Mécanismes adaptatifs pour le choix du délai de bufferisation pour les applications audio sur Internet	17
6.16. Un protocole au niveau session pour collecter des informations dans une session multipoint	17
6.17. Etude de l'impact de l'asymétrie des liens sur les performances de TCP	17
6.18. Passage à l'échelle d'UDLR	18
6.19. Le support du multicast par les satellites régénératifs	18
6.20. Partage de la bande passante entre les flux multicast	19

6.21.	Partage de la bande passante entre flux unicast et multicast	20
6.22.	Calcul de nombre de membres dans les communications multicast	20
6.23.	Un mécanisme de commutation entre les deux modes de PIM-SM	21
6.24.	La Gestion de l'authentification par Diameter	21
6.25.	Mise en œuvre de la qualité de service diff-serv dans un réseau intranet	21
6.26.	Gestion dynamique de la qualité de service dans l'Internet	22
6.27.	Contrôle du trafic best effort dans les routeurs IP	22
6.28.	Streaming Multipoint de Présentation MPEG-4	22
6.29.	Communications multicast en couches multiples	23
6.30.	FEC hautes performances	23
6.31.	Solutions de sécurité adaptées aux transmissions multipoints	23
6.32.	Techniques de communication de groupe alternatives	24
7.	Contrats industriels	24
7.1.	Hitachi	24
7.2.	Alcatel	24
8.	Actions régionales, nationales et internationales	24
8.1.	Actions nationales	24
8.1.1.	Projet VIP	24
8.1.2.	Projet VTHD++	25
8.1.3.	ARC Radio Logicielle pour les réseaux locaux	25
8.1.4.	Projet @IRS++	25
8.1.5.	Projet Dipcast	25
8.1.6.	Projet Intradiff	26
8.1.7.	Projet ARCADE	26
8.1.8.	ARC TCP	26
8.2.	Actions financées par la Commission Européenne	27
8.2.1.	Projet DESS	27
9.	Diffusion des résultats	27
9.1.	Animation de la communauté scientifique	27
9.2.	Enseignement universitaire	27
9.3.	Thèses et stages	27
9.3.1.	Thèses soutenues en 2002	27
9.3.2.	Thèses en cours	27
9.3.3.	Stages effectués dans le projet	28
9.4.	Participation à des colloques, séminaires, invitations	28
10.	Bibliographie	28

1. Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Walid Dabbous [Directeur de recherche, Inria]

Responsable permanent à Grenoble

Claude Castelluccia [Chargé de recherche, Inria]

Responsable permanent à Sophia

Thierry Turlitti [Chargé de recherche, Inria]

Assistante à Sophia

Aurélie Richard [Technicien de recherche, Inria]

Assistante à Grenoble

Valérie Gardès [Adjoint Technique de recherche, Inria]

Personnel Inria

Vincent Roca [Chargé de recherche, Inria]

Chadi Barakat [Chargé de recherche, Inria]

Chercheur extérieur

Hossam Afifi [MdC INT Evry]

Ingénieurs spécialistes

Hitoshi Asaeda

Thierry Parmentelat [à partir du 1^{er} septembre 2002]

Ingénieurs experts

Ali Boudani [jusqu'au 30 novembre 2002]

Alexis Gourdon

Hahnsang Kim

Julien Labouré

Ni Qiang

Chercheur post doc

Taghrid Asfour [du 1^{er} janvier au 30 juin 2002]

Chercheurs doctorants

Imad Aad [Boursier INRIA, jusqu'au 31 octobre 2002]

Lina Al-Chaal [Boursière Cifre Netcelo S.A.]

Vijay Arya [Boursier INRIA]

Laurentiu Barza [Boursier INRIA]

Ayman El-Sayed [Boursier du gouvernement Egyptien]

Fethi Filali [Boursier INRIA, jusqu'au 30 novembre 2002]

Fatma Louati [Boursière MENSUR]

Hossein Manshaei [Boursier INRIA, à partir du 1^{er} octobre 2002]

Pars Moutaf [Boursier du gouvernement Français]

Miguel Á. Ruiz Sánchez [Boursier du gouvernement Mexicain]

Rares Serban [Boursier INRIA]

Stagiaires

Ghassane Aniba [Stagiaire INPT, du 18 février au 15 juin 2002]

Jack Ballesteros [Stagiaire DESS GI, du 8 janvier au 31 août]

Rémi Blanc [Stagiaire DESS GI, du 8 janvier au 31 août]

Abdrahmane Diallo [Stagiaire INPT, du 18 février au 15 juin 2002]

Ousmane Diouf [Stagiaire DEA RO, du 1^{er} mars au 31 juillet]

Gabriel Constantin [Stagiaire Ecole Polytechnique, du 8 avril au 8 juillet 2002]

Renaud Guerin [Stagiaire UTT, du 21 février au 31 août 2002]
Laurent Fazio [Stagiaire DEA RSD, du 1^{er} mars au 31 août 2002]
Abdelbasset Trad [Stagiaire DEA RSD, du 1^{er} mars au 31 août 2002]
Lamia Romdhani [Stagiaire DEA RSD, du 1^{er} mars au 31 septembre 2002]
Roger Yerbanga [Stagiaire ENSIAS, du 4 février au 31 mai 2002]
Jean-Baptiste Lapeyrie [Stagiaire Ecole Polytechnique, du 8 avril au 31 juillet 2002]
Medhi El Badri [Stagiaire ENSI, du 7 mars au 6 juillet 2002]
Alaeddine El Fawal [Stagiaire DEA Réseaux Université Libanaise - Université Saint Joseph, Liban, du 22 août au 13 décembre 2002]

2. Présentation et objectifs généraux

2.1. Présentation générale

Mots clés : *Réseaux hétérogènes, mobilité, environnement virtuel partagés à grande échelle, protocoles de communication, sécurité, communication de groupe, contrôle de transmission.*

Les activités du projet PLANÈTE bilocalisé à l'INRIA Sophia Antipolis et à l'INRIA Rhône-Alpes, sont centrées sur la conception, la mise en œuvre et l'évaluation des protocoles et des applications Internet. L'objectif principal du projet est de proposer de nouvelles architectures, services et protocoles pour un Internet dans lequel les mobiles seront supportés de façon transparente, un certain niveau de qualité de service sera disponible et les communications de groupes deviendront une réalité.

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

- la conception et l'évaluation de protocoles et applications multimédia pour mobiles sur Internet ;
- l'évolution des services de l'Internet ;
- la communication de groupe

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, RNRT et à des conventions de recherche avec des partenaires académiques (UCL, MIT, UMass, Université de Berne, ENS, LIP6, Eurecom, CEA-LETI, etc.) et industriels (6wind, Thomson CSF et Multimédia, FT R&D, Alcatel, CS Télécom, Bull, Motorola, Hitachi, etc.).

3. Fondements scientifiques

3.1. Méthodologie

Les services fournis par l'Internet sont en cours d'évolution. Ces évolutions ont porté entre autres sur le support de la mobilité avec l'introduction de `mobile IP`, le support du routage multipoint inter domaine ainsi que sur le support de la qualité de service dans le réseau.

Parallèlement à cela, les besoins des utilisateurs et les progrès technologiques amènent de plus en plus d'hétérogénéité dans l'infrastructure du réseau et des machines.

- *hétérogénéité du réseau* : la prédominance du principe "IP par dessus tout" a abouti à une très grande hétérogénéité des liens et sous-réseaux constituant l'Internet. On retrouve ainsi des liaisons ATM, satellite, des réseaux locaux haut débit (avec ou sans fil), le câble, des liaisons téléphoniques, GSM, etc. Ces différents "sous-réseaux" utilisent différentes technologies et fournissent des services de niveau liaison très différents en terme de qualité de service, coût et disponibilité. Cette hétérogénéité est motivée par des raisons techniques mais également par des raisons économiques et politiques.

- *hétérogénéité des machines* : Les machines connectées sur Internet sont également de plus en plus diverses. Certaines sont fixes d'autres sont mobiles, certaines ont des puissances de calcul très importantes, d'autres ont des ressources CPU très limitées, certaines sont connectées au réseau électrique, d'autres fonctionnent sur batteries. Cette hétérogénéité a également plusieurs raisons et motivations : commerciale (les machines de l'Internet proviennent de différents vendeurs), économique (les utilisateurs de l'Internet ont des budgets très différents), et technique (les utilisateurs ont des besoins différents).

Cette hétérogénéité accrue engendre de nouveaux problèmes de recherche. Dans ce contexte, le projet Planète s'intéresse particulièrement aux problèmes générés au niveau des protocoles de communication et des applications. Notre domaine est donc celui de *l'ingénierie de protocoles*. Notre approche consiste à définir de nouveaux protocoles de communication, les mettre en œuvre et les évaluer soit par expérimentation, soit par simulation. Nous procédons à l'utilisation de modèles (élaborés en collaboration avec le projet Mistral) afin d'évaluer les performances des protocoles et mécanismes étudiés. Nous appliquons des techniques de la théorie de l'information et des files d'attente aux problèmes étudiés. Les applications que nous développons intègrent ces mécanismes et servent d'outils d'expérimentation et de démonstration.

Nous travaillons aussi sur la définition de nouveaux services et de nouvelles architectures de réseaux. La démarche entreprise est basée souvent dans ce cas sur l'expérimentation et nos travaux comprennent une partie technologique afin de mettre en œuvre nos mécanismes dans des systèmes opérationnels.

Le choix de nos axes de recherche se base, d'une part sur le pari d'un déploiement universel de la technologie IP ("IP par dessus tout") et d'autre part sur une prévision concernant l'évolution des services et protocoles (support de la mobilité, du multipoint, de la qualité de service, etc.).

Les approches suivies par les groupes de recherche industriels sont souvent ciblées sur des technologies particulières dictées par le marché de la consommation et par la concurrence. Ils donnent lieu à des solutions ad-hoc pas forcément optimales (e.g. GPRS). Ceci dit, il y a un grand potentiel de recherche et de développement dans les équipes industrielles (cisco, AT&T, etc.) et nous travaillons en collaboration étroite avec certaines d'entre elles (Thomson, Alcatel, CS Télécom, NEC, Motorola 6wind et Hitachi)

Pour réaliser notre approche au mieux, il est essentiel de maintenir une participation à l'IETF afin de proposer et discuter nos idées dans les groupes de travail relatifs à nos thèmes d'intérêts.

3.2. Vers un Internet cellulaire

Des prévisions suggèrent que dans quelques années le nombre de téléphones mobiles connectés à l'Internet sera largement supérieur à celui des ordinateurs. Le téléphone sera l'appareil privilégié pour se connecter à l'Internet alors qu'aujourd'hui son utilisation sur l'Internet est très marginale. Les raisons du développement des téléphones portables comme moyen d'accès à l'Internet sont multiples : sa simplicité, son coût relativement peu élevé, ses petites dimensions et son taux de pénétration croissant. La convergence des réseaux cellulaires sans fil et de l'Internet représente un enjeu stratégique et économique évident. Cette convergence est d'autant plus importante qu'elle représente pour l'Europe une opportunité de rattraper le retard qu'elle a accumulé sur les technologies de l'information par rapport aux Etats Unis. En effet bien que les Etats-Unis soient les leaders incontestables dans les domaines de l'Internet, il est reconnu que l'Europe occupe une place de premier plan dans les domaines liés aux technologies sans-fil et plus particulièrement aux technologies de téléphonie cellulaire. Cette convergence réseaux cellulaires et Internet constitue un défi technologique et scientifique très important et prendra certainement plusieurs années. Les difficultés résultent à la fois de la multitude des problèmes à traiter et de la diversité des domaines à considérer. En effet les problèmes à traiter sont des problèmes réseaux, des problèmes de terminaux, d'interface homme-machine, de tarification et bien d'autres. Notre objectif ici est de concevoir une architecture réseau permettant cette convergence. Les industriels qui travaillent dans ce domaine ont des contraintes commerciales et économiques très importantes qui les poussent à réutiliser leurs technologies et réseaux existants. Cette approche incrémentale conduit à des architectures qui ne peuvent être optimales à la fois pour la voix et pour les données. L'exemple du GPRS (General Packet Radio Service) développé par les opérateurs de téléphonie et basé sur le réseau GSM est très significatif. Le GPRS

est un réseau de données possédant ses propres protocoles greffés au dessus du réseau GSM. L'intégration voix-données y est quasi inexistante et les fonctionnalités sont dupliquées. L'architecture envisagée devra permettre à la fois d'accéder à des services temps-réels tel que la téléphonie avec une qualité meilleure que les réseaux cellulaires actuels, tout en permettant d'accéder à l'Internet à des débits importants et à faibles coûts. Nous pensons qu'une architecture basée sur le protocole IP est souhaitable. En effet le modèle « Internet » a fait ses preuves et son succès est incontestable. Un protocole de gestion de la mobilité est nécessaire pour permettre aux mobiles de se déplacer tout en gardant la connectivité IP. Bien que cette gestion puisse se faire au niveau physique (GSM, WLAN,...), une solution IP semble plus efficace car elle permet d'aboutir à un système homogène et elle autorise la mobilité dite orthogonale (vertical handoff) c'est à dire le passage d'une technologie réseau à une autre (par exemple le passage d'un réseau WLAN à un réseau GSM). D'autre part les perspectives qu'ouvrent la radio logicielle en termes de flexibilité de l'architecture de la couche physique vont dans le sens d'une intégration de cette couche et de la couche réseau. La solution IETF de gestion de la mobilité (Mobile IP) n'a pas été développée dans un contexte dans lequel un mobile pourrait être équipé de plusieurs interfaces et où les mobiles seraient majoritaires par rapport aux machines fixes. Cette solution est peu efficace et n'est pas adaptée à ce type d'environnement. Il est donc important d'étendre le protocole Mobile IP pour des réseaux cellulaires IP.

3.3. Optimisation de protocoles de transmission multimédia vers des récepteurs hétérogènes et mobiles

Une partie de nos travaux antérieurs a porté sur les *applications adaptatives*, c'est-à-dire, des applications qui s'adaptent dynamiquement aux variations des conditions du réseau ainsi qu'à l'hétérogénéité des récepteurs. Les logiciels de vidéoconférence (*ivs*, *FreePhone*, *RendezVous*) adaptent leur codage (taux de compression, FEC) de manière dynamique aux caractéristiques du réseau (taux de perte, bande passante disponible, gigue). Cette adaptation a été possible grâce à la souplesse du logiciel (comparé aux circuits matériels spécialisés). On peut désormais obtenir davantage de flexibilité par le biais des applications radio logicielles : la couche physique, qui était jusque là figée devient elle aussi reconfigurable. En effet, grâce à l'évolution rapide des performances des processeurs et des convertisseurs Analogique/Numérique (A/N), on peut aujourd'hui implanter avec un matériel minimal (antenne, amplificateur, convertisseur A/N) toute une pile protocolaire de communication sans fil : (dé-)modulateur, (dé-)codeur de canal, (dé-)codeur source en logiciel. Le principal intérêt d'une solution logicielle est qu'elle offre beaucoup plus de flexibilité qu'une implantation matérielle (e.g., la possibilité de reconfiguration dynamique des protocoles utilisés). Son coût est aussi réduit, par exemple un terminal multi-protocoles (CDMA, GSM, Hiperlan, 3GPP) ne contiendra qu'une seule carte de DSPs reconfigurable à la demande plutôt qu'une carte d'ASICs spécifique par protocole de communication. De plus, une implantation logicielle rend possible l'adaptation des protocoles de transmission à tous les niveaux de l'application, y compris la couche physique : par exemple en adaptant le type de modulation dynamiquement aux caractéristiques du canal de transmission (évanouissement du signal, échos, erreurs). Ce gain en flexibilité ouvre le champ à de nouvelles investigations pour optimiser la transmission multimédia sur des réseaux hétérogènes et mobiles.

Cette flexibilité va nous permettre d'étudier des algorithmes encore plus adaptatifs pour optimiser la transmission des flots multimédia de manière dynamique au médium, tout en gérant la mobilité des récepteurs et les variations de caractéristiques du réseau : débit, taux de congestion, BER, nouveau médium, etc.)

3.4. Impact des nouveaux supports de transmission sur les protocoles

L'Internet se déploie de plus en plus largement en intégrant une multitude de supports de transmission (liens satellites, liaisons sans fil, câble HFC, liens ATM, etc.). Ce déploiement est facilité par un des principes de base de l'Internet : le principe de bout en bout (*end-to-end*) qui stipule que le réseau doit être le plus simple possible en effectuant "au mieux" l'acheminement des paquets et que les procédures liées au contrôle de transmission (contrôle d'erreur et de flux) doivent être effectuées à l'extérieur du réseau. Ce principe a permis la simplification des routeurs IP assurant l'interconnexion (en mode sans connexion) des différentes

technologies de réseaux. Les protocoles des couches réseau et transport de l'Internet ont été conçus en se basant sur ce principe, afin de supporter une large plage de technologies ayant des caractéristiques très variées. Pourtant, certaines liaisons ont des caractéristiques spécifiques qui ont un impact très important sur les performances des protocoles de l'Internet. Parmi ces spécificités au niveau physique ou au niveau liaison on trouve : un taux d'erreur de transmission élevé (liaisons sans fil), un délai de transmission élevé (liaisons satellite GEO), un délai de propagation variable (liaisons satellite LEO), l'asymétrie ou l'unidirectionnalité de la liaison (satellite ou câble), ainsi que le support de fonctionnalités redondantes avec les couches supérieures (GSM, ATM ou Frame Relay). L'application stricte du principe de bout en bout se heurte donc à l'existence de telles liaisons. Les problèmes qui en découlent sont multiples :

- le non fonctionnement de certains protocoles (comme par exemple ARP, DVMRP et autres sur liaison unidirectionnelle)
- la forte dégradation des performances de certains protocoles (tels que TCP et IGMP sur des liaisons à délai élevé ou variable, TCP sur HFC ou xDSL),
- la difficulté de concevoir des mécanismes d'adaptation de bout en bout (à cause de la grande variabilité des caractéristiques des liaisons),
- l'inter-dépendance des mécanismes de contrôle de congestion au niveau liaison et transport (TCP sur ATM)
- la mise en correspondance des mécanismes de support de la qualité de service au niveau IP et au niveau liaison (diff-serv sur ATM ou sur Frame Relay, IP sur satellite).

Les travaux de recherche de cet axe se focalisent autour de l'étude de l'impact des nouveaux supports de transmission sur le fonctionnement et les performances des protocoles de l'Internet et en particulier sur le routage unicast et multicast, les protocoles de transport et les mécanismes de support de la qualité de service.

3.5. Evolution des services de l'Internet

L'Internet sert de support de communication à un grand nombre d'applications dans le cadre des réseaux d'entreprise. Cependant, un certain nombre d'applications multimédia (e.g. téléphonie IP) ne fonctionnent pas "parfaitement" sur un service "best effort".

Une première approche pour le support d'applications multimédia se résume à l'intégration de mécanismes d'adaptation aux caractéristiques du réseau, au dessus d'un service "best effort". Ces mécanismes de contrôle permettent la mise en œuvre et l'utilisation satisfaisante de ce type d'applications sur un réseau qui ne leur était pas a priori destiné. Le mythe répandu qui consistait à dire que les applications multimédia de type vidéoconférence nécessitent absolument des réseaux offrant des garanties de performance est démenti par les multiples vidéoconférences et jeux distribués qui se tiennent régulièrement sur le Mbone.

Cependant, il est clair que pour des débits relativement faibles, le partage de la bande passante entre des applications adaptatives peut aboutir à de très mauvaises performances. Certaines applications ont des besoins très stricts de garanties de performance. Pour de telles applications, le service "best effort" de l'Internet n'est pas suffisant. Une première approche basée sur un ordonnancement globale des ressources réseau "par flot" a été discutée. Le protocole RSVP permettant de signaler des réservations pour chaque "flot" de bout en bout dans le réseau a alors été conçu. Mais le support généralisé de ce protocole se heurte à de sérieux problèmes de passage à l'échelle. L'IETF a donc lancé (dans le cadre du groupe diff-serv) des travaux sur des mécanismes ne nécessitant pas une signalisation de bout en bout pour chaque flot. L'idée de base est donc d'appliquer au niveau de chaque routeur le même "comportement local" à tous les flots appartenant à un agrégat de trafic. L'identification d'un tel agrégat peut se faire par l'intermédiaire du champ TOS dans l'entête du paquet par exemple, sans effectuer un traitement individualisé par flot. Cette approche revient à fournir des services différenciés dans le réseau, c'est à dire un service spécifique appliqué à chaque "classe" de trafic. Les études en cours dans le cadre du groupe diff-serv ont abouti à la définition de deux profils de "comportement local" EF (Explicit Forwarding) et AF (Assured Forwarding). Le premier permet de fournir un service de liaison louée virtuelle, le deuxième une séparation en plusieurs classes de service.

Nous nous intéressons à l'évaluation de ces mécanismes en général et dans un environnement dynamique en particulier.

Par ailleurs, nous nous intéressons à l'évolution du service de routage et de contrôle de transmission multipoint. Les mécanismes proposés par Steve Deering il y a dix ans ne passent pas à l'échelle de tout l'Internet. Plusieurs possibilités d'évolution sont en cours d'études.

L'étude de l'évolution des services de l'Internet, nous amène aussi vers l'étude des architectures des routeurs pour un support efficace des mécanismes proposés. Il s'agit de définir les fonctions qui pourraient être supportées par le routeur ainsi qu'une façon optimale de les implémenter. Nous nous intéressons en particulier à la fonction de contrôle de congestion dans les routeurs.

3.6. Applications interactives multi-utilisateurs

Les applications interactives multi-utilisateurs sur Internet présentent de fortes contraintes temporelles. Une architecture distribuée, sans serveur, où chaque participant transmet ses informations en multipoint, permet de résoudre les problèmes de "scalabilité" liés au traitement centralisé et à la convergence du trafic vers un nœud du réseau.

Cependant, les temps de traitement de chaque participant et l'utilisation de la bande passante du réseau pour l'acheminement des paquets doivent être contrôlés afin de satisfaire aux besoins d'interaction temps-réel de ce type d'applications.

Nous nous intéressons particulièrement aux applications distribuées interactives où un grand nombre de participants sont impliqués (quelques milliers voire dizaines de milliers). L'utilisation d'un seul groupe multipoint n'est pas "scalable" pour ce type d'application. En effet, pour un très grand nombre de participants, lorsque l'ensemble des informations est transmis via un unique groupe multipoint, le trafic reçu par chaque participant devient très important. Ceci rend difficile le traitement temps-réel de l'intégralité des paquets reçus et augmente le risque de congestion sur la liaison réseau reliant le participant à l'Internet (cette liaison est souvent de faible capacité dans le cas d'une connexion capillaire). De plus, dans la pratique, chaque participant communique à un instant donné avec un nombre limité de participants (une dizaine au maximum). Par conséquent, une grande partie de l'information qu'il reçoit ne lui est d'aucune utilité. Cette information inutile entraîne un accroissement du temps de traitement et de la demande en CPU, ce qui peut affecter les performances de l'application. De plus, cette information inutile est transmise sur le réseau et représente un coût prohibitif en terme de bande passante.

La répartition de l'information dans plusieurs groupes multipoint apparaît donc indispensable dans la résolution de ce problème. Pour cela, l'architecture distribuée de ce type d'application doit être modifiée afin de supporter de nouveaux protocoles et des mécanismes plus adaptés à la gestion des grands groupes. Il est nécessaire d'étudier des politiques de gestion des centres d'intérêt, de regroupement dynamique de l'information au sein de groupes multipoint et de filtrage de l'information. Enfin, il serait souhaitable d'avoir une architecture de routage scalable dans le cas où le multipoint n'est pas disponible.

4. Domaines d'application

4.1. Architecture de gestion hiérarchique de la mobilité

Le protocole Mobile IP a un défaut majeur : il traite la micro et macro-mobilité de façon identique, ce qui pose des problèmes d'échelle et de sécurité. En effet, avec Mobile IP, une machine doit communiquer à ses correspondants sa nouvelle adresse temporaire à chacun de ses déplacements et ceci quel que soit l'amplitude et la localité de son mouvement. Partant du résultat d'une étude qui a montré que 69% des mouvements d'un utilisateur sont locaux, nous considérons qu'une solution de gestion de la mobilité hiérarchique est préférable pour les réseaux cellulaires. Nous avons proposé une solution qui sépare explicitement la gestion de la mobilité locale (à l'intérieur d'un site) de celle de la mobilité globale (entre sites de l'Internet) : lorsqu'un mobile se déplace à l'intérieur d'un site, ses mouvements sont gérés par un protocole interne et sont ainsi cachés de ses

correspondants. Les résultats de cette hiérarchisation est l'élimination de la signalisation due à la gestion de la mobilité sur l'Internet lors des mouvements locaux d'un mobile. La charge de l'Internet est ainsi réduite, et les risques d'attaque des mobiles par piratage des messages de signalisations sont minimisés. Il est à noter que différents niveaux de hiérarchie peuvent être définis à l'intérieur d'un site selon la taille et les besoins de celui-ci. Lorsqu'un mobile change de site, le déplacement inter-site est géré par un protocole global à l'Internet. Nous avons proposé l'utilisation de Mobile IP pour la gestion de la mobilité inter-site car cette solution nous paraît bien adaptée à la macro-mobilité d'un utilisateur. Notre solution est compatible avec le protocole Mobile IP de l'IETF. Elle peut être déployée à l'intérieur d'un site indépendamment des autres sites.

Parallèlement à notre proposition de Mobile IPv6 hiérarchique, d'autres propositions de gestion de la micro-mobilité tel que Cellular IP ou HAWAII ont été aussi proposées à l'IETF. La multiplication de propositions risque de créer des problèmes d'interopérabilité car un mobile devra connaître les protocoles des différents sites qu'il visite. C'est pourquoi nous avons travaillé à faire évoluer notre proposition de Mobile IPv6 hiérarchique vers une architecture hiérarchique qui permettrait le déploiement de différents protocoles de gestion de la micro-mobilité dans différentes parties de l'Internet de façon complètement transparente aux utilisateurs mobiles.

4.2. Internet paging

Dans les réseaux utilisant le protocole Mobile IP, un mobile doit à chaque changement de point d'attachement s'enregistrer auprès de son réseau d'appartenance et ceci même s'il est inactif. La signalisation générée est très importante notamment dans un contexte de réseau cellulaire IP dans lequel les mobiles sont majoritaires par rapport aux machines fixes. Dans le réseau de téléphonie cellulaire, un mobile ne s'enregistre auprès du réseau que s'il est actif ou s'il traverse une frontière virtuelle qui définit une zone de localisation. La taille de la zone de localisation est généralement unique et calculée statiquement par l'opérateur. Le réseau ne connaît pas de façon précise la localisation exacte du mobile mais connaît la zone dans laquelle il se déplace. Lorsque le réseau doit rentrer en contact avec le mobile, il diffuse un message de *paging* dans la zone courante du mobile qui répond en indiquant sa position exacte. L'objectif de ce travail est de développer un mécanisme de paging pour le réseau de type cellulaire IP. Le paging IP est potentiellement plus efficace que celui effectué par les réseaux de télécommunication. En effet dans les réseaux IP, l'intelligence étant dans les terminaux, on peut imaginer de développer des systèmes de paging adaptatifs et individuels dans lesquels chaque mobile calcule en permanence la taille optimale de sa zone de localisation. Une étude préliminaire montre que l'introduction de tels mécanismes de paging dans Mobile IP peut réduire la signalisation de façon très significative.

4.3. Gestion de la mobilité des réseaux

L'IETF travaille sur l'introduction des *terminaux mobiles* dans l'Internet mais ne considère pas encore les *réseaux mobiles*. Un *réseau mobile* est un réseau de routeurs et de nœuds qui se déplace et change son point d'attachement dans la topologie Internet. Les applications possibles de réseaux mobiles incluent entre autres les réseaux de capteurs déployés dans les avions, les trains ou les voitures ou encore les réseaux personnels (Personal Area Networks) très prisés par la recherche dans le milieu militaire. Les problématiques de la gestion des terminaux et réseaux mobiles sont relativement différentes. Par conséquent les solutions telles que Mobile IP qui ont été développées pour les terminaux mobiles ne sont pas adaptées aux réseaux mobiles car elles sont trop coûteuses en terme de signalisation. De nouveaux protocoles sont donc nécessaires. Nous travaillons actuellement à la conception de protocoles de gestion de la mobilité de réseaux mobiles qui utilisent le routage multicast. Ce travail est effectué en collaboration avec le centre de recherche de Motorola à Paris.

4.4. Impact des nouveaux supports sur le routage

Nous nous intéressons au support du trafic IP sur des liaisons via des satellites géostationnaires (GEO). On peut en fait disposer à très faible coût du matériel de réception (antenne et carte de réception satellite). Ce type de liaison est donc intéressant pour une solution d'accès asymétrique à l'Internet : satellite pour la réception, liaison téléphonique (fixe ou GSM) pour l'émission. La spécificité de la liaison réside dans son aspect de

diffusion unidirectionnelle. Il est donc possible pour un utilisateur de recevoir des paquets IP d'un satellite avec une simple parabole, mais il est impossible de renvoyer des paquets directement vers le satellite. Or, la très grande majorité des applications (courrier électronique, web, audio et vidéoconférence, jeux) supposent un échange de données de façon bidirectionnelle entre les participants. D'autre part, les protocoles de routage dynamique (point à point et multipoint) ne fonctionnent pas dans le cas d'une liaison unidirectionnelle. En plus, le relais des données multipoint par RPF (Reverse Path Forwarding) ne pourra pas être assuré par le récepteur satellite qui reçoit les données sur une liaison différente de celle qu'il utilise pour joindre la source. Un mécanisme d'encapsulation que nous avons conçu et développé dans le cadre du groupe de travail udlr de l'IETF permet de masquer l'aspect unidirectionnel de la liaison. Le support de ce mécanisme permet à des routeurs placés au pied d'un récepteur de reconnaître les routeurs des antennes d'émission et d'établir des tunnels qui assureront un fonctionnement normal des protocoles de routage dynamique. Ce mécanisme, couplé à un service de multiplexage embarqué sur le satellite permet de couvrir une vaste région avec des dizaines d'émetteurs et de fournir une réception à haut débit à des milliers d'utilisateurs. Les travaux sur udlr ont permis d'avoir un RFC en cours de devenir un "proposed standard" à l'IETF. La technologie udlr est actuellement industrialisée par la start-up UDCast (<http://www.udcast.com>).

Les travaux précédents ont porté sur le fonctionnement des protocoles de routage dynamique sur liaison unidirectionnelles. Certaines études prédisent que les flux multicast représenteront à court terme 30% du trafic de l'Internet. Ceci soulève la question du choix d'un support optimal : le satellite géostationnaire par sa couverture étendue est le candidat idéal. En effet, contrairement aux liens terrestres où l'infrastructure nécessite une multiplication, même intelligente, des paquets pour chaque destinataire, la diffusion radio permet à différents récepteurs "d'écouter" le même paquet. Le satellite permet ainsi d'économiser la bande passante montante et descendante grâce à la diffusion radio puisque l'information ne monte et descend qu'une seule fois dans le faisceau. Nous nous intéressons donc à l'optimisation de la transmission multipoint sur liaisons satellite. Certains industriels travaillent sur la préparation de la nouvelle génération de processeurs de type DVB-S qui est le standard de facto pour la diffusion, et à l'adaptation des protocoles multicast au contexte satellite "multi-faisceaux". Le satellite permettra dans ces conditions, grâce à une extension des protocoles de multicast à bord du satellite, d'économiser la bande passante de façon plus fine en réalisant la duplication uniquement à bord. Nous étudions aussi les critères de choix du type d'arbre d'acheminement pour le multipoint au dessus des liaisons satellite. Des solutions basées sur un arbre partagé (PIM-SM) pourraient être plus efficaces que les solutions basées sur l'approche "inonder puis élaguer" de DVMRP.

Nous nous intéressons aussi au passage à l'échelle des protocoles de routage sur un lien satellite avec un grand nombre de récepteurs.

4.5. Impact des nouveaux support sur le transport

Considérons d'abord le transport point à point. Plusieurs algorithmes d'adaptation de bout en bout dont le *slow start* ont été intégrés dans le protocole TCP. Ces algorithmes ont pour but d'éviter la congestion dans le réseau. Cependant, avec la très grande hétérogénéité des supports de transmission (délai des liaisons satellitaires, taux d'erreur de bits élevé des liaisons sans fil, etc.), les contraintes pour l'adaptation de bout en bout sont de plus difficiles à respecter.

Nous nous sommes intéressés à cas du TCP sur liaison satellite géostationnaire. Le délai important de la liaison dégrade les performances de l'algorithme du *slow start*. Il n'est pourtant pas envisageable d'arrêter le support du *slow start* pour les connexions TCP qui traversent une liaison satellite : ceci aboutirait à une congestion sur les autres liaisons du réseau traversées par ces connexions. Il faudrait donc trouver des mécanismes permettant de régler le problème de bout en bout.

Nous avons aussi étudié les performances de TCP sur HFC (câble télévision). Nous avons montré que dans ce cas, la nature partagée du support rend les performances de TCP très critiques à cause de certains problèmes de famines et de rafales. Des adaptations portant à modifier l'ordonnancement de la couche MAC ont été proposées. Dans le cas de l'ADSL et du VDSL (supports point à point asymétriques), nous avons montré que

si le rapport d'asymétrie dépasse certaines limites le protocole souffrait d'une baisse de débit à cause d'une congestion dans la voie de retour. Des solutions ont été proposées pour les deux types de support.

Le support des protocoles de contrôle de transmission sur les constellations est aussi un domaine d'intérêt pour nous. Les délais de transmission variables dans le cas des constellations en orbite basse pourraient avoir un impact sur les performances du protocole TCP. En effet, une variabilité très grande aboutirait à une mauvaise estimation du RTT, qui déclencherait des retransmissions intempestives. On retrouve aussi le problème de la localisation des mécanismes de contrôle : une passerelle intermédiaire qui joue le rôle de "proxy" permettra d'obtenir de meilleures performances, mais sa gestion (téléchargement dans un routeur intermédiaire, configuration statique, etc.) nécessite des mécanismes appropriés non disponibles actuellement sur le réseau. Nous allons considérer en plus l'impact de la couche MAC et de la nature du réseau de la constellation sur les performances des protocoles de niveau transport (TCP en particulier).

Nous continuerons naturellement ces études concernant les performances de TCP sur divers supports (e.g. Satellite, GSM-CDMA et WDM). Le but étant toujours d'optimiser les performances du protocole en proposant les modifications algorithmiques adéquates aux mécanismes de contrôle d'erreurs et de congestion. L'approche adoptée est de proposer des nouveaux modèles confirmés par des simulations et ensuite de développer le code associé afin de le distribuer dans l'Internet.

La diffusion fiable est un autre problème assez complexe. Il s'agit de contrôler la congestion dans le cas d'émetteurs/récepteurs ayant des conditions hétérogènes, sans pourtant perdre une partie de l'information et en un temps minimal de préférence. Dans le cas des liaisons satellite unidirectionnelles, on devrait minimiser l'utilisation de la voie de retour terrestre. Pour cela, nous avons conçu un mécanisme de diffusion multipoint fiable basé sur la transmission de paquets de redondance (FEC) et permettant d'éviter l'envoi de demandes de retransmission par les récepteurs. Ce protocole a été testé par une expérimentation sur la liaison montante dont nous disposons à Sophia. Nous comptons continuer ces travaux afin de tester les performances de ce mécanisme dans un environnement hybride (avec des récepteurs munis de carte de réception satellite et d'autres connectés via le MBone), dans le cadre de la plate-forme d'expérimentation du projet COIAS. Ces travaux seront aussi utilisés par le W3C afin de mettre à jour par satellite les pages sur les sites miroirs.

4.6. Support de la qualité de service dans l'Internet

Les groupes de travaux `int-serv`, `issll` et `rsvp` ont défini un ensemble de protocoles et de mécanismes pour l'amélioration de la qualité de service dans l'Internet. Une différence entre les approches `int-serv` et `diff-serv` réside dans la possibilité d'analyse possible dans le cas `int-serv` (du moins dans le cas des services garanti et à charge contrôlée). Les travaux de Parekh et d'autres montrent comment calculer les bornes sur les délais. Il est par contre difficile de mettre en œuvre ce modèle de façon "scalable". Pour cela, il y eu des travaux sur l'agrégation d'états dans RSVP, les mécanismes de classification rapide, ainsi que sur les structures de données pour l'insertion et le retrait efficaces des paquets (WF2Q et SFQ). Avec le modèle `diff-serv`, la différence est qu'il n'y a pas une théorie analytique évidente. Un chemin peut être constitué d'une séquence de routeurs ayant chacun son propre comportement local (PHB) et un contrat de service (SLA) associé. Pourtant, le service fourni, ainsi que le dimensionnement de ce service dépendent de la topologie réelle du réseau et du trafic effectif. Ceci est un aspect positif de `diff-serv` car il permet aux fournisseurs (et aux constructeurs de routeurs) une marge de flexibilité en ce qui concerne le déploiement des services et les structures tarifaires. Cependant, l'évaluation des comportements locaux `diff-serv` est une tâche difficile et nécessite des travaux de mesures et de simulation. Nous nous proposons d'étudier en détail les blocs de base permettant de fournir la qualité de service (QoS) dans l'Internet. La qualité de service de bout en bout obtenue par chaque classe de trafic dépendra des mécanismes d'ordonnement de paquets (WFQ, CBQ) ainsi que des mécanismes de gestion active des files d'attente (RED, WRED). Notre objectif ici est d'évaluer la complexité d'implanter ces mécanismes ainsi que les performances globales attendues en terme de délai, de gigue et de disponibilité de la bande passante.

D'autre part, le dimensionnement (*provisioning*) et la configuration du réseau sont deux problèmes particulièrement intéressants cités dans les documents du groupe `diff-serv`. Le "dimensionnement" consiste à

déterminer et à allouer (physiquement ou logiquement) les ressources requises aux différents points dans le réseau. La "configuration" consiste à distribuer les bons paramètres aux équipements réseaux afin de réaliser les objectifs de dimensionnement. Le dimensionnement et la configuration seront notés sous l'appellation gestion de la qualité de service. Cette gestion peut être statique ou dynamique. Dans le cas statique, la gestion de la QoS dans le réseau peut être effectuée "manuellement" par l'administrateur de réseau en fonction de la topologie et de la matrice de trafic, ou bien "automatiquement" via un mécanisme de signalisation invoqué uniquement au moment de l'établissement des contrats avec les clients (TCA). La gestion dynamique est basée soit sur une signalisation soit sur des mesures. Elle est très importante pour les services qualitatifs (services sans garanties fermes au dessus de AF), car on ne peut pas prédire le trafic de façon précise, mais aussi pour les services quantitatifs (services avec garanties fermes au dessus de EF) si on veut fournir un dimensionnement flexible, ou bien des TCA dynamiques. Il est vraisemblable dans un premier temps d'arriver à construire un réseau basé uniquement sur un dimensionnement statique dès lors que l'on considère une répartition équilibrée et relativement stable des trafics. Cependant, ce mode de dimensionnement ne tenant pas compte des routes, la saturation d'un nœud liée à la convergence de multiples trafics, peut entraîner une dégradation notable de la qualité. Ceci se produit en particulier si l'on s'adresse à des clients ayant des capacités d'accès très différentes, ou si l'on considère que certaines passerelles vers d'autres réseaux ou vers des sites de serveurs sont des nœuds de congestion possibles. Notre objectif ici est de proposer des protocoles de signalisation qui permettent de compléter l'approche "services différenciés" pour d'une part, continuer à garantir un niveau de qualité de service constant quand le réseau approche de ses limites et d'autre part optimiser l'utilisation des ressources du réseau. Ces protocoles ne devront pas induire de temps de traitement prohibitifs dans les équipements de routage ni engendrer un surcharge protocolaire importante afin de ne pas retomber dans les travers de solutions de type "services intégrés".

4.7. Evolution du multipoint

La "scalabilité" des protocoles de routage multipoint est loin d'être évidente. Le routage intra-domaine est assuré par l'un des protocoles DVMRP, MOSPF, PIM-DM ou PIM-SM. Mais l'extension au routage inter-domaine (HPIM, MSDP, BGMP, MBGP) et les travaux associés sur l'allocation dynamique des adresses (MADCAP, AAP, MASC) ont abouti à une complexité assez importante qui va à l'encontre de la simplicité du modèle de base.

De nouvelles propositions remettent en cause la définition du service multipoint, soit en imposant un modèle de transmission 1 vers N uniquement (le groupe sera indentifié par le couple [Source, adresse de groupe] comme dans *Express* soit en définissant un groupe par une adresse de classe D et une adresse d'un point de rendez-vous (le groupe sera indentifié par le couple [RP, G] comme dans *Simple Multicast*).

Nous nous proposons d'étudier l'évolution du service multipoint et de proposer des mécanismes de contrôle de congestion adaptés, ainsi que des mécanismes de support de la qualité de service en multipoint.

Nous nous intéresserons d'autre part, au support de la transmission multipoint au niveau applicatif. Nous regardons en particulier les approches de type « arbre autoconfigurable » grâce auxquelles l'ensemble des récepteurs s'auto-organise, éventuellement en s'aidant d'un point de rendez-vous, pour créer un arbre de diffusion multipoint. Cette approche permet de s'affranchir du mécanisme de routage multipoint du réseau, qui peut se révéler inefficace dans le cas de nœuds mobiles par exemple. Elle permet aussi l'utilisation aisée de tunnels pour atteindre un nœud mobile. Ces tunnels seront généralement de niveau transport. Utiliser TCP (ou tout autre protocole qui serait plus adapté à une situation donnée, par exemple TCP avec acquittements sélectifs), a l'avantage de permettre de fiabiliser les transmissions avec le nœud suivant, si l'application l'exige, et d'assurer un contrôle de flux tout à la fois. UDP est également envisageable, par exemple si l'application désire garder un maximum de contrôle. Plusieurs initiatives reposant sur des arbres autoconfigurables existent. On peut citer *AMRoute* qui propose un mécanisme de construction d'arbres bien adapté au cas des réseaux ad-hoc, et *Yallcast*, qui vise un déploiement sur Internet. Nos travaux se situent entre ces deux propositions puisque nous reprenons certains mécanismes et concepts de chacun. Plutôt que de nous focaliser sur les

algorithmes de construction d'arbre, un domaine à part entière, nous nous intéresserons davantage aux diverses conséquences que l'utilisation de ces techniques va induire.

4.8. Les environnements virtuels à grande échelle

MiMaze est un jeu distribué sur Internet, basé sur le système de simulation distribuée interactive (DIS). Il utilise des mécanismes de transmission multipoint ainsi que des mécanismes de synchronisation distribuée, permettant d'améliorer la cohérence du jeu. L'architecture de MiMaze a été modifiée pour rajouter une composante 3D à l'application, dans le but d'étudier un exemple de monde virtuel partagé sur Internet. Une couche supplémentaire a été rajoutée à l'application MiMaze au dessus de la couche de communication et comprend deux modules : une applet Java et un navigateur VRML, tous deux embarqués dans une même page HTML. Le jeu distribué 3D MiMaze a ensuite été évalué, aussi bien au niveau CPU qu'au niveau du trafic multipoint généré. La "scalabilité" de ce type d'application ainsi que la complexité des algorithmes implantés dans MiMaze en fonction du nombre de participants ont été évaluées.

Un des premiers problèmes qui restent à résoudre consiste à permettre une mise en correspondance efficace, dynamique et "scalable", entre les centres d'intérêts des participants et les groupes multipoint alloués pour l'application. Le protocole de mise en correspondance doit permettre de regrouper en cours de session plusieurs centres d'intérêts dans un même groupe multipoint, ou, au contraire, d'en dissocier une partie dans de nouveaux groupes. La correspondance entre les centres d'intérêt regroupant un nombre de participants qui varie plus ou moins vite, et les groupes multipoint doit être annoncée, transmise avec fiabilité, et mise à jour de façon synchronisée entre les participants.

Nous travaillons actuellement sur 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 amené 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.

4.9. La sécurité dans les réseaux sans fil

Nous nous préoccupons des aspects liés à la sécurité dans un environnement hétérogène sans fil où la problématique est plus de fournir un service rapide que vraiment extrêmement sûr. Actuellement les protocoles d'authentification se basent sur deux tendances. La première est adoptée par les opérateurs et consiste à utiliser les cartes SIM avec une authentification centralisée. Un mécanisme d'authentification forte et une signature sont utilisés dans UMTS. La seconde option est dans les réseaux de l'internet dans lesquels on distingue une authentification découpée en deux parties. La première partie est entre le terminal et le réseau d'accès. La seconde est entre le réseau d'accès et le réseau d'attache du système. Notre contribution dans ce domaine a été de proposer un système hybride d'authentification basé sur un protocole unique entre le terminal et le réseau d'origine avec une sécurisation du terminal par l'introduction de l'aspect carte à puce virtuelle. Cette carte n'est pas un simple répertoire ou l'on garde des clés, mais elle participe activement dans les échanges de sécurité et de données. Elle génère par exemple un code MAC de signature des paquets émis. Si la carte est enlevée de son lecteur, la procédure de signature ne peut pas fonctionner correctement. Nous avons développé à cet effet un prototype basé sur le protocole DIAMETER (l'INRIA est l'une des rares institutions à avoir une souche logicielle de cette norme) sur IPv6. Nous fournissons une méthode propriétaire d'authentification basée sur le protocole PPP. Des lecteurs de cartes à puce sont en cours d'intégration dans le développement et le protocole EAP (ce protocole est le candidat envisagé pour sécuriser les réseaux WiFi). Du point de vue théorique, nous avons élaboré un modèle permettant d'évaluer les schémas d'authentification des mobiles. Nous sommes capables de déduire la meilleure architecture d'autorisation lorsqu'on nous fournit des statistiques sur le comportement typique de l'utilisateur mobile. Notre modèle dépend donc des coûts

estimés en temps de l'authentification et de la vitesse moyenne du terminal en nombre de cellules traversées. Un second travail théorique est mené en collaboration avec l'ENS sur l'usage des géométries stochastiques pour évaluer la sécurité et la mobilité d'un terminal.

5. Logiciels

5.1. V-EYE

V-eye est un monde virtuel 3D dans lequel un grand nombre de participants peuvent se déplacer et interagir les uns avec les autres (texte, audio...). Afin de limiter le trafic aux participants les plus proches, le monde virtuel est divisé en cellules dynamiques où chaque cellule correspond à un groupe multicast.

V-eye est développé en C et C++. La partie graphique est basée sur OpenGL ainsi que les bibliothèques portables Glut et Glui.

Voir <http://www-sop.inria.fr/planete/V-Eye/>

5.2. MultiCast Library

MCL est une bibliothèque offrant des services multicast évolués. Conforme à la version courante du protocole ALC (Asynchronous Layered Coding) (en cours d'élaboration), elle permet des communications multicast (semi) fiables prenant en compte l'hétérogénéité de chacun. La bibliothèque est livrée avec une application de transfert de fichiers récursif et un générateur de trafic. Débuté en 1998, ce logiciel arrive à maturité. Il est partiellement développé dans le cadre du projet européen DSE (Distributed Systems Engineering). Il fait aussi l'objet d'un support INRIA dans le cadre des « Opérations de Développement Logiciel » (ODL). Pour plus d'informations, voir : <http://www.inrialpes.fr/planete/people/roca/mcl/mcl.html>

5.3. HMIPv6

HMIPv6 est un protocole de gestion de la mobilité hiérarchique reposant sur le protocole Mobile IPv6. Ce protocole est en cours de standardisation à l'IETF.

Voir <http://www.inrialpes.fr/planete>

6. Résultats nouveaux

6.1. Sécurité des Réseaux

Participant : Claude Castelluccia.

En 2002 nous avons développé une activité de recherche en sécurité de Réseaux. Nous nous sommes plus particulièrement intéressés à la sécurité des réseaux mobiles, des réseaux adhoc, des mécanismes d'autoconfiguration d'IPv6 et des communications de groupe. Nos solutions, qui reposent sur l'utilisation d'adresses IPv6 cryptographiques, ont fait l'objet de plusieurs publications et drafts Internet.

6.2. Qualité de service dans les réseaux locaux sans-fil

Participants : Imad Aad, Claude Castelluccia.

En 2002 nous avons abordé l'amélioration de la performance du standard IEEE 802.11 dans les environnements congestionnés. Les mécanismes proposés sont prometteurs, puisqu'ils montrent des résultats de simulations pouvant améliorer considérablement le standard actuel dans diverses architectures. Ces travaux ont fait l'objet d'un article soumis à « Annales de télécom ».

Nous avons aussi introduit une nouvelle méthode de modélisations des réseaux ad-hoc multi-sauts, permettant, entre autres, d'estimer les délais aperçus par un paquet ainsi que les débits utiles dans ces réseaux. Ce travail sera accompli dans la cadre d'un post-doc à l'étranger par Imad Aad.

6.3. La Pagination IP

Participants : Pars Mutaf, Claude Castelluccia.

En 2002, nous avons travaillé sur l'identification des problèmes de sécurité reliés à l'utilisation de la pagination (qui était à l'origine conçue dans le contexte des réseaux orientés connection) dans l'Internet.

Pars a passé 3,5 mois de stage en Californie chez DoCoMo USA Labs., sous la direction de Docteur James Kempf. Il y a évalué la performance de l'utilisation des sous-réseaux IP comme "paging area". Le but de ce travail était de ne pas introduire une nouvelle entité qui s'appelle "Paging Agent" dans l'opération de l'Internet.

6.4. Support des Réseaux Mobiles dans IPv6

Participant : Thierry Ernst.

Les réseaux mobiles ont pour particularité d'être connectés à l'Internet via un ou plusieurs routeurs qui changent leur point d'ancrage dans la topologie. Leur support vise à permettre le déplacement en temps réel de pans entiers de l'Internet, tout en maintenant les sessions ouvertes. Quelques unes des applications potentielles sont le déploiement de réseaux d'accès pour les passagers d'un véhicule, le déploiement de réseaux de capteurs dans les véhicules, et les réseaux personnels (Personal Area Networks) qui nécessitent une connexion permanente et ininterrompue à Internet.

Ces travaux ont été entamés lors de la thèse CIFRE de Thierry Ernst financée par Motorola Labs Paris et soutenue en Octobre 2001. Ses travaux se poursuivent à présent dans le cadre d'une bourse INRIA de post-doctorat, au Japon, au sein de l'équipe InternetCAR du projet WIDE. Le projet WIDE regroupe un certain nombre de laboratoires industriels et académiques, généralement japonais. Les activités de WIDE se décomposent en plusieurs groupes, dont InternetCAR, sis à Keio University. InternetCAR développe une plate-forme IPv6 basée sur une automobile en vue de poursuivre et démontrer les recherches sur les protocoles de communications et la mobilité. L'équipe est composée d'un chercheur et d'une douzaine d'étudiants (de la licence jusqu'au doctorat).

Au cours de l'année écoulée, une des contributions de ce post-doctorat a été la création d'un nouveau groupe de travail à l'IETF. Ce groupe intitulé "NEMO" (acronyme de "NETwork MOBility") est présidé par Thierry Ernst et vise à standardiser une solution générique permettant de supporter toutes les configurations possibles de réseaux mobiles, et pour laquelle nous avons une solution [39]. Nous avons largement contribué à l'établissement de la charte du groupe et à la définition d'une terminologie [38] et des besoins auxquels les solutions devront subvenir [37].

Une autre contribution de ce post-doctorat est le développement d'un certain nombre de contacts professionnels notamment avec Panasonic et Samsung. Une des applications évidentes de NEMO étant ITS (Intelligent Transportation System), et plus particulièrement l'industrie automobile, des contacts ont été aussi établis avec d'une part Toyota, et d'autre part avec le groupe de travail TC204 WG16 de l'ISO qui traite des problèmes de communications entre les véhicules et l'Internet. Nous avons participé à l'une de leurs réunions en vue d'établir un lien entre les travaux de l'IETF liés à la mobilité et l'ISO, deux organismes aux méthodes de travail différentes qui se connaissent mal et dont les travaux sont complémentaires. Dans cette optique, nous avons établi une liste de recommandations destinées à la communauté ITS [13].

6.5. Comportement de TCP sur réseaux hybrides filaire/sans-fil

Participants : Qiang Ni, Thierry Turletti.

Nous avons analysé le comportement du protocole TCP sur des liaisons IP sans fil par le biais du simulateur ns. En particulier, nous avons étudié différentes versions de TCP (Tahoe, Reno, NewReno et SACK) sur des réseaux hybrides filaire/sans-fil. Les résultats des simulations montrent que les débits obtenus par SACK et NewReno sont sensiblement meilleurs que ceux obtenus avec Tahoe et Reno et d'autre part qu'un schéma de différenciation de pertes filaires/sans-fil de bout-en-bout n'obtient pas de bonnes performances [24].

6.6. Contrôle de transmission pour applications multimédias sur l'Internet sans fil

Participants : Vijay Arya, Thierry Turletti.

Dans le cadre du projet RNRT VIP, nous intéressons à l'optimisation de la transmission multimédia sur un réseau IP hybride filaire/sans-fil où la partie sans fil est une liaison UMTS. Le projet VIP est le successeur du projet RNRT VISI dans lequel nous avons élaboré un mécanisme de contrôle de transmission multimédia en multipoint dans un réseau IP filaire [30]. Lorsqu'un protocole de contrôle de congestion comme TFRC est utilisé pour transmettre des flots multimédia dans un réseau hybride, il est important de pouvoir distinguer les pertes de paquets causées par la congestion dans le réseau de celles provoquées par les erreurs de transmission sur les liaisons sans fil. Plusieurs schémas de différenciation de bout-en-bout ont été proposés mais ils ne permettent pas de faire la différence de manière fiable entre les deux types de pertes sur le réseau. Nous avons élaboré un mécanisme de différenciation explicite [32]. Ce mécanisme utilise des agents placés à la frontière des réseaux sans fil.

6.7. Mise en œuvre d'applications radio logicielles en logiciel

Participants : Hahnsang Kim, Thierry Turletti.

Dans le cadre du projet Européen ITEA DESS, nous nous sommes intéressés à l'utilisation du langage formel synchrone Esterel pour implanter la partie contrôle des applications *radio logicielles*. En effet, aujourd'hui encore, l'élaboration de ce type d'applications reste très complexe. L'utilisation d'une approche formelle pour mettre en œuvre ces applications pourrait faciliter et accélérer leur implantation en permettant une vérification automatique des algorithmes implantés.

Dans cette optique, nous avons élaboré EPSPECTRA <http://www-sop.inria.fr/planete/hkim/epspectra/>, une extension Esterel de l'environnement de développement d'applications radio logicielles Pspectra <http://www.sds.lcs.mit.edu/SpectrumWare/>. Avec ce nouvel environnement, les développeurs d'applications ont la possibilité d'utiliser les outils de simulation *Xes* et de vérification *Xeve* disponibles avec le langage Esterel. Nous avons implanté deux algorithmes d'ordonnancement différents pour la partie contrôle de Pspectra : le premier est basé sur le modèle *Data-Pull* utilisé par l'environnement Pspectra original alors que le second utilise le modèle *Data-flow* traditionnel [20].

6.8. Support de la qualité de service dans un réseau Piconet Bluetooth

Participants : Jean-Baptiste Lapeyrie, Thierry Turletti.

Dans le cadre de l'action incitative *Radio Logicielle pour réseaux locaux* avec les partenaires ENST, ENST-Bretagne et INT, nous nous intéressons à l'optimisation de la transmission de flots multimédia sur réseaux Piconet Bluetooth. Bluetooth est un standard émergent en tant que technologie d'accès sans fil à courte portée, bas coût et faible puissance. Alors que la technologie Bluetooth commence juste à apparaître sur le marché, il y a un besoin urgent de permettre à de nouvelles applications avec des contraintes temps-réel de fonctionner sur des périphériques Bluetooth. La norme Bluetooth propose d'utiliser l'algorithme Round Robin comme solution d'ordonnancement des transmissions dans un Piconet. Comme cet algorithme a des performances médiocres avec un trafic asymétrique, plusieurs algorithmes de polling ont été proposés dans la littérature afin d'améliorer le support de transmissions asymétriques et d'apporter une certaine garantie de bande passante. Nous avons élaboré un nouvel algorithme FPQ [40] pour les réseaux Piconet de Bluetooth, qui offre des garanties de service en bande passante et délai maximum. Ces nouveaux services sont nécessaires pour les applications temps-réel et visent à rester efficaces et équitables même avec des débits asymétriques.

6.9. L'évolution de la voix sur IP

Participants : Hossam Afifi, AbdelBasset Trad.

15 ans après les premières tentatives de multimédia sur IP on peut dire que la technique de voix sur IP actuelle est un échec. On peut aussi remarquer que les réseaux téléphoniques continuent à fonctionner en mode circuit comme il y a une trentaine d'année. Notons que les protocoles de signalisation typiquement appelés plan SS7 sont eux forcés à migrer vers IP car les piles sous-jacentes ne sont plus supportées par les équipements des télécommunications. Nous avons étudié les performances de SIP par exemple dans un réseau UMTS et démontré qu'il n'était pas du tout adapté aux débits disponibles. En conclusion, nous pensons qu'il est nécessaire de re-visiter les contributions actuelles de voix sur IP pour le téléphone et de proposer de nouvelles idées moins bornées que précédemment. A ce titre, nous travaillons dans le cadre du projet VTHD++ sur le multiplexage de la voix sur IP. Notre étude a pour but de trouver des méthodes optimales de multiplexage de la voix sur IP afin de rendre cette technique plus attrayante et plus performante que les techniques classiques. Notre travail est parti de la base des propositions de multiplexage présentées à l'IETF et nous avons proposé un nouvel algorithme distribué permettant de multiplexer dynamiquement les flux de voix sur IP afin de réduire la surcharge due à la grande taille du paquet comparée au tout petit contenu de média transmis. Notre algorithme est une variante de OSPF. Nous avons aussi estimé quand il est utile de multiplexer et quand cela est plutôt moins performant. Logiquement cela dépend de la durée des communications et de leur distance en terme de routeurs traversés.

6.10. V-Eye : un monde virtuel 3D avec grand nombre de participants

Participants : Laurentiu Barzu, Walid Dabbous, Alexis Gourdon, Thierry Turletti.

Dans le cadre du projet RNRT VTHD++, nous élaborons une application LSVE (*Large Scale Virtual Environment*) représentant un monde virtuel 3D dans lequel un grand nombre de participants peuvent se déplacer et communiquer entre eux en échangeant texte, et flots multimédia (audio/vidéo). Cette application appelée V-Eye a pour but d'expérimenter des algorithmes de transmission multimédia ainsi que d'évaluer les performances de l'architecture de communication scalable SCORE. En fait, selon cette architecture et afin de limiter le trafic aux participants les plus proches, le monde virtuel est divisé en cellules dynamiques où chaque cellule correspond à un groupe multicast. SCORE fait l'hypothèse d'un seul type de flot émis par participant et utilise le modèle multipoint ASM. Nous travaillons sur l'extension de cette architecture, SCORE-SSM, pour gérer différents types de flots et utiliser le modèle Source Specific Multicast (SSM). SSM peut être utilisé pour aider les participants à mieux filtrer les informations qu'ils reçoivent. Avec SCORE, un participant reçoit toutes les données émises par les participants qui se trouvent dans son voisinage. SCORE-SSM permet aux participants de s'abonner uniquement aux flots de données qu'ils désirent recevoir et élimine donc toutes les données superflues envoyées par les voisins.

L'application développée, V-eye (voir Figure 1) est développée en C et C++. La partie graphique est basée sur OpenGL ainsi que les bibliothèques portables Glut et Glui.

V-eye communique par l'intermédiaire du Mbus avec l'application Rat (développée par UCL). L'intégration de la communication vidéo est prévue pour 2003.

6.11. Optimisation de la transmission de flots multimédia sur un réseau hybride

Participants : Abdramane Diallo, Qiang Ni, Thierry Parmentelat, Lamia Romdhani, Thierry Turletti.

Nous avons travaillé dans le cadre du projet RNRT VTHD++ sur l'optimisation de la transmission de flots multimédia sur un réseau hybride composé d'un réseau à très haut débit (le réseau VTHD++) avec support de mécanismes de différenciation de services (DiffServ), un réseau local sans fil (WLAN IEEE 802.11b) et le réseau téléphonique commuté. L'objectif est de démontrer une application LSVE et une application de vidéoconférence avec un grand nombre de participants dans ce type de réseau très hétérogène en gérant différents niveaux de qualités de service selon le type de réseau d'accès et le type de flot. Nous avons dans un premier temps étudié les différentes propositions de support de qualité de services pour les réseaux 802.11 [41].

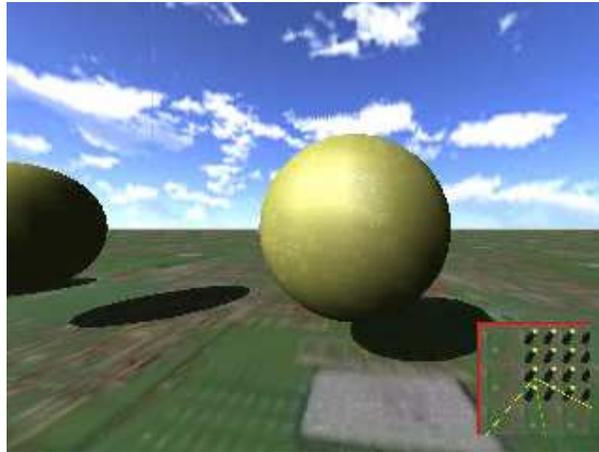


Figure 1. Une vue de l'application V-eye

Nous avons proposé un nouvel algorithme qui s'inspire du mécanisme EDCF (Enhanced Distributed Coordination Function) récemment proposé dans le standard IEEE 802.11e, afin d'introduire de la qualité de service dans les réseaux ad-hoc sans fils. Un des principaux inconvénients de EDCF est que l'algorithme utilisé pour ajuster la fenêtre de contention est peu efficace lorsque le réseau est chargé. Notre mécanisme appelé AEDCF (*Adaptive EDCF*) prend en compte les besoins de l'application ainsi que la charge du réseau pour ajuster la fenêtre de contention [44]. Celui-ci permet d'obtenir une différenciation de service efficace et de réduire la latence et la gigue des packets audio/video.

6.12. Analyse de trafic dans les dorsales de l'Internet

Participant : Chadi Barakat.

Cette activité a démarré pendant le séjour de C. Barakat à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne en collaboration avec Patrick Thiran, Gianluca Iannaccone et Christophe Diot. Elle consiste à développer un modèle analytique simple pour le calcul du trafic dans la dorsale d'un grand opérateur Internet. Comme exemples de quantités à calculer, on trouve la valeur moyenne du trafic, sa variabilité, et sa corrélation. Les dorsales de l'Internet ont la particularité d'être sur-dimensionnées, avec une utilisation qui dépasse rarement les 50%. Le but principal de cette modélisation est la proposition d'un certain nombre de règles qui permettent à un opérateur Internet de bien dimensionner et contrôler sa dorsale. Dans le cadre de cette activité, un modèle à base de flots a été proposé. Ce modèle utilise des techniques de la théorie de traitement de signal (Poisson shot-noise) et de la théorie de files d'attente ($M/G/\infty$). Le modèle proposé est simple et ne dépend pas de la définition de flots. Une des fonctions du modèle, appelée "shot", permet la spécification des résultats à un type particulier de protocole de transport et d'application. La précision du modèle se fait valider sur des traces collectées dans le backbone de SPRINT, un des grands opérateurs Internet aux USA.

Les premiers résultats de cette activité ont été publiés dans [10][11][33]. Un autre ensemble de résultats est en soumission à un journal. Les travaux de l'INRIA et l'EPFL dans cette direction se font actuellement dans le cadre de l'ARC TCP, qui a commencé en Février 2002, et qui durera deux ans.

6.13. Estimation du nombre de récepteurs dans une session multipoint

Participants : Sara Alouf, Eitan Altman, Chadi Barakat, Philippe Nain.

La connaissance du nombre de récepteurs dans une session multipoint (ex. video streaming) est importante pour le bon fonctionnement de l'application. Par exemple, la source de la session pourrait utiliser cette information afin de facturer les récepteurs. Pour obtenir cette information, chaque récepteur devrait envoyer

un message à la source indiquant sa présence. Mais, dans une grande session, ce flux de messages pourrait créer une implosion au niveau de la source. On propose ici l'envoi périodique et probabilistique de messages. Chaque intervalle de temps, un récepteur envoie un message avec une petite probabilité. La source reçoit donc un flux réduit de messages, et la difficulté est dans le calcul du nombre réel de récepteurs à partir de ce flux réduit. On traite le problème avec des techniques de files d'attente (M/G/infini) et de traitement de signal (filtre de Wiener). Pour des récepteurs qui arrivent suivant un processus Poisson, et qui restent dans la session pendant un temps exponentiel, on arrive à trouver une expression explicite du meilleur filtre linéaire qui donne une approximation du nombre de récepteurs, tout en minimisant la valeur moyenne du carré de l'erreur. Ce travail fait partie de la thèse de Sara Alouf. Les résultats, dont une première version se trouve dans [31], sont actuellement en soumission à un journal.

6.14. Etude des mécanismes de correction d'erreurs pour les réseaux sans fil

Participants : Chadi Barakat, Alaeddine Al-Fawal.

Les performances du protocole TCP, le plus utilisé pour transporter des données dans l'Internet, se dégradent en présence de liens sans fil avec des erreurs de transmission. Le problème est tout simplement que TCP n'est pas capable de distinguer une perte de paquet due à la congestion d'une perte due à une erreur de transmission. TCP divise sa fenêtre par deux pour les deux types de pertes. Plusieurs solutions ont été proposées pour remédier à ce problème, parmi elles la correction locale des erreurs de transmission au niveau lien par de la redondance (FEC) et des retransmissions (ARQ). Un mécanisme hybride FEC/ARQ présente le problème de choix de ses paramètres. On s'intéresse dans ce travail à ce choix. Le problème est abordé par la modélisation analytique et la simulation. Ce travail fait le sujet du stage de Alaeddine Al-Fawal. Le stage a commencé en Août 2002, et durera quatre mois. Des résultats pour le cas FEC seule ont déjà été publiés dans [4].

6.15. Mécanismes adaptatifs pour le choix du délai de bufferisation pour les applications audio sur Internet

Participants : Victor Ramos, Chadi Barakat, Eitan Altman.

Ce travail rentre dans le cadre de la thèse de Victor Ramos, qui est co-encadré par C. Barakat. Le "playout delay" (délai de bufferisation avant présentation des données audio) est un mécanisme nécessaire pour absorber la jigue introduite par l'Internet. Le mécanisme est tout simple : mettre en attente les paquets audio à la destination, afin de pouvoir les rejouer de façon "synchrone". Un paquet qui arrive après l'instant auquel il devait être joué est tout simplement rejeté. Il y a clairement un compromis dans le choix du "playout delay" ; un "playout delay" court cause beaucoup de rejets, mais n'augmente pas trop le délai total ; un long playout delay cause moins de rejets, mais un délai total important. On s'intéresse dans ce travail à adapter le playout delay de telle sorte à réaliser un certain taux de pertes, tout en minimisant le délai total de la communication.

6.16. Un protocole au niveau session pour collecter des informations dans une session multipoint

Participants : Chadi Barakat, Fethi Filali, Walid Dabbous.

Dans le cadre de la collaboration avec le laboratoire Hitachi d'Europe, qui est localisé à Sophia-Antipolis, on a travaillé sur un protocole au niveau session pour collecter des informations à partir d'un grand nombre d'utilisateurs, qui participent à une session multipoint.

6.17. Etude de l'impact de l'asymétrie des liens sur les performances de TCP

Participants : Fatma Louati, Walid Dabbous, Chadi Barakat.

Un réseau asymétrique est un réseau qui a un chemin de retour pas suffisamment rapide en terme de bande passante pour porter le flux d'acquittements générés par les récepteurs TCP. Ce type de réseau est de plus en plus fréquent surtout après le développement des réseaux satellites où les données sont transmises via des

liens satellites à des débits pouvant atteindre les 10Mbps mais où les acquittements empruntent encore des liens téléphoniques terrestres de 9.6Kbps. Le problème principal de TCP dans de tels réseaux est la congestion sur les liens lents résultant en une perte d'ACK et une augmentation du délai aller-retour.

Parmi les solutions proposées pour remédier à ce problème nous avons retenu le ACK Filtering et ACK Reconstruction. Le filtrage des ACKs suivi éventuellement par leur reconstitution nous paraît une solution prometteuse. Nous en avons fait une étude approfondie qui nous permet de dire que les utiliser sans aucun mécanisme de gestion active de file d'attente ne permet pas d'obtenir une amélioration des performances et spécialement dans le cas d'un trafic bidirectionnel.

D'autre part, on s'est intéressé cette année au cas somme toute fréquent de trafic bidirectionnel en environnement asymétrique, où un utilisateur télécharge une page web tout en envoyant un mail. L'asymétrie est un facteur important ici car les utilisateurs passent souvent par des liens d'accès asymétriques (ADSL ou satellite avec voie de retour terrestre via une ligne téléphonique de 56Kbps. Notre objectif est de satisfaire cet internaute à savoir maximiser l'utilisation des deux liens, ascendant et descendant. Nous travaillons à élaborer un modèle d'allocation de la bande passante permettant d'adapter le débit alloué aux paquets de données au débits des acks appartenant aux connections rapides.

6.18. Passage à l'échelle d'UDLR

Participants : Walid Dabbous, Hitoshi Asaeda, Gabriel Constantin, Roger Yerbanga, Taghrid Asfour, Chadi Barakat.

Etant des liens intrinsèquement "broadcast", les liaisons satellites nous permettent de transmettre en multipoint à moindre coût. Afin que ce mécanisme soit efficace, il nécessite un support du réseau, ainsi qu'un contrôle de transmission approprié dans les systèmes finaux.

Le nombre des récepteurs dans un réseau satellite peut être très grand (de l'ordre de 10^6). Avec le mécanisme d'encapsulation "UDLR" les réponses aux requêtes multipoint seront tunnelées vers la station émettrice par défaut avec la possibilité d'avoir le problème de "feed-back implosion".

Nous avons mené une étude en collaboration avec Hitachi dont l'objectif principal était d'identifier les mécanismes inhérents aux protocoles de routage et de diffusion fiable qui ne passeraient pas à l'échelle et de proposer des améliorations à ces protocoles permettant de pallier ce problème. La méthodologie adoptée a été l'analyse et la simulation sous ns. Les résultats obtenus ont été soumis à des conférences. Deux brevets sont également en cours de dépôt.

6.19. Le support du multicast par les satellites régénératifs

Participants : Walid Dabbous, Fethi Filali.

Le groupe de travail UDLR de l'IETF a proposé le mécanisme LLTM (Link Layer Tunneling Mechanism) qui permet d'émuler les liens unidirectionnels (tels que les liens satellitaires) comme étant des liens bidirectionnels et ainsi de les intégrer d'une manière transparente dans l'Internet. Cependant, beaucoup des directions de recherche restent à penser et entre autres le support efficace du multicast sur ce type des liens.

Nous nous sommes intéressés au support du multicast sur la nouvelle génération des satellites géostationnaires se caractérisant par le traitement à bord de segments de données et la diffusion vers plusieurs zones géographiques. Ce type de satellite va nous permette de profiter de l'information contenue dans le signal transmis, afin d'exécuter une tâche précise comme la commutation, d'autre part, il permet de concentrer la puissance transmise dans des spots limités. De plus, et vu l'aspect de diffusion caractérisant les réseaux satellitaires, le satellite se voit le moyen le plus adapté pour les applications multicast. En effet, les applications multicast, sont des sessions point-à-multipoints, définies par une adresse source, et une adresse de groupe identifiant l'ensemble des membres. Ce genre d'applications exige une large bande passante, une contrainte que le satellite peut satisfaire facilement. Le satellite diffuse les flux reçus sur ces spots de sorties, et ainsi, tous les terminaux au sol, peuvent accéder à ce flux, ce qui permet de consommer la même bande passante indépendamment du nombre de terminaux.

Afin de profiter au mieux du satellite, et le rendre un nœud essentiel dans la transmission du flux multicast, il fallait résoudre deux problèmes :

- identifier les sessions sur le lien satellitaire, afin de permettre d'une part, de procéder à la commutation à bord du satellite, en se basant sur sa destination, et d'autre part, permettre aux terminaux au sol de faire du filtrage des données utiles parmi les données reçues.
- minimiser l'utilisation de la bande passante sur le lien montant, et cela en mettant en place une nouvelle façon d'effectuer la signalisation entre les différents composants du réseau satellitaire, réduisant le trafic de contrôle et de signalisation.

Dans un premier temps nous avons défini une nouvelle couche d'encapsulation au niveau liaison, appelée "IP-Optimized Adaptation Layer", qui fournit une nouvelle technique d'encapsulation sur les liens satellitaires, et présentant trois intérêts :

1. un nouveau mode d'adressage remplaçant l'adressage IP sur le lien satellitaire,
2. la commutation, qui devient possible grâce à différents champs précisant les ports de sorties à bord du satellite,
3. et enfin, le filtrage de paquets au niveau des terminaux satellitaires, non seulement selon l'adresse destination, mais aussi selon l'adresse source du paquet reçu.

Ensuite, nous avons proposé un nouveau protocole de routage, que nous avons nommé SMRP (Satellite Multicast Routing Protocol), qui permet d'étendre l'aspect et les caractéristiques du protocole de routage PIM-SM (Protocol Independent Multicast - Sparse Mode) sur les liens satellitaires. Le protocole PIM-SM, comme protocole de routage multicast, gère l'abonnement et la transmission des flux entre les différents routeurs composant le réseau multicast. Nous proposons le protocole SMRP (Satellite Multicast Routing Protocol) qui exécute les mêmes tâches tout en veillant à minimiser les flux de signalisation, et surtout sur le lien montant du réseau satellitaire.

6.20. Partage de la bande passante entre les flux multicast

Participants : Walid Dabbous, Fethi Filali.

Afin de garantir l'équité entre les flux multicast dans l'Internet, nous avons proposé une nouvelle approche basée sur un mécanisme de gestion active de files d'attente (AQM-Active Queue Management) au lieu de l'utilisation de mécanisme Fair Queuing ou la réservation explicite de la bande passante [15][17]. Nous avons développé un nouveau mécanisme de gestion active de files d'attente dans les routeurs qui :

- fournit le partage de la bande passante entre les flux multicast de la manière attendue,
- s'adapte au changement dans les tailles de groupes multicast, le nombre de flux actifs, et la stratégie d'allocation de la bande passante utilisée,
- améliore le taux d'utilisation du lien de communication.

Ce mécanisme appelé MFQ (Multicast Fair Queuing), est un mécanisme de rejet par-flux (per-flow dropping mechanism) qui interagit avec un module externe d'allocation de la bande passante fournissant pour chaque flux multicast actif sa fraction de bande passante à ne pas dépasser. Ce module pourra implémenter soit une fonction d'équité multicast soit un modèle de tarification multicast. MFQ appartient à la classe de mécanismes faisant un traitement par flux, comme le cas de FRED (Flow Random Early). Les opérations faites par MFQ ne sont pas complexes vu qu'elle consistent tout simplement de décider d'accepter ou de rejeter le paquet arrivé en appliquant un algorithme simple. Il nécessite que les routeurs maintiennent un état et exécute des opérations par flux. MFQ utilise le concept Multicast Allocation Layer (MAL), un nouveau mode d'allocation de la bande passante qui nous utilisons pour obtenir l'allocation attendue via un service paquet-par-paquet et pour garantir un partage fin de la bande passante entre les flux concurrents.

6.21. Partage de la bande passante entre flux unicast et multicast

Participants : Walid Dabbous, Fethi Filali, Laurent Fazio.

Parmi les facteurs qui bloquent le déploiement de l'IP multicast dans l'Internet est l'absence des mécanismes de contrôle de congestion qui soient bien évalués et validés via des expérimentations réelles à grande échelle.

Nous avons développé une nouvelle approche qui apporte de l'aide aux mécanismes de contrôle de congestion dans la mesure où ils pourront coexister équitablement avec TCP sans pour autant implémenter des techniques complexes [18]. Notre approche est basée sur une nouvelle notion d'équité appelée "l'équité inter-service" (inter-service fairness), qui est utilisée pour partager

les ressources réseaux entre les services unicast et multicast. Dans cette définition, le trafic multicast agrégé doit rester globalement TCP-friendly dans chaque lien de communication. En d'autres termes, le débit de service multicast ne doit pas dépasser en aucun cas la somme des débits TCP-friendly de tous les flux multicast. Cette définition permet aux ISPs d'utiliser leur propre stratégie de partage de la bande passante qui pourra implémenter soit une politique de facturation soit une stratégie d'allocation de la bande passante.

Afin d'implémenter notre définition d'équité, nous proposons d'utiliser un scheduler qui ressemble à CBQ/WRR mais n'utilise que deux files d'attente : une pour la classe unicast et l'autre pour la classe multicast. Nous appelons notre mécanisme : Service-Based Queuing (SBQ) puisqu'il distingue entre deux différents service de transfert : unicast et multicast. SBQ intègre une méthode pour varier dynamiquement les poids des files d'attente afin d'obtenir le partage souhaité de la bande passante entre les flux unicast et multicast. Pour chaque paquet arrive, le routeur classifie ce paquet et le redirige à la file d'attente adéquate pour être ensuite servi par le scheduler.

Afin de pouvoir partager la bande passante réservée pour le service multicast entre les flux multicast, nous utilisons notre mécanisme de gestion des files d'attentes MFQ proposé dans la section précédente et qui représente un autre composant clef.

6.22. Calcul de nombre de membres dans les communications multicast

Participants : Fethi Filali, Hitoshi Asaeda, Walid Dabbous.

La connaissance de nombre de membres dans les routeurs pour un groupe spécifique peut aider à résoudre plusieurs problèmes de recherche liés au déploiement du multicast dans l'Internet. En effet, il sera possible de résoudre par exemple le problème d'implosion de feedbacks qui apparaît dans le cas d'utilisation des messages NACKs ou IGMP dans certains types de support de transmission comme les réseaux satellites. De plus, les ISPs seront capables d'établir un modèle économique pour le multicast qui prend en considération le nombre de membres dans chaque session multicast active.

Dans le modèle standard de service multicast, ni la source ni les routeurs intermédiaires ne peuvent connaître le nombre de récepteurs descendants. Plusieurs travaux de recherche concernant l'estimation de taille des groupes multicast au niveau de la source multicast et qui utilisent des modèles analytiques et des techniques de probing ont été présentés dans la littérature. Ces propositions ont trois limitations majeures. Premièrement, ils nécessitent de configurer un certain nombre de paramètres qui dépendent des conditions de réseau et des membres. Deuxièmement, ils permettent qu'à la source d'estimer la taille des groupes multicast et non aux routeurs intermédiaires. En effet, ces routeurs pourront utiliser cette information pour certaines applications comme les techniques de partage de la bande passante ou la facturation de service multicast. Finalement, ces méthodes ne passent pas à l'échelle car elles utilisent des messages périodiques envoyées par les membres vers l'émetteur même dans le cas où il n'y a aucun changement dans la taille de groupe.

Nous avons proposé une autre approche basée sur l'envoi entre les routeurs voisins des messages explicites des mises à jour de nombre de membres et non sur techniques de probing [14]. Le but de notre proposition est de déterminer le nombre de récepteurs pour chaque session multicast et pour chaque interface de sortie de chaque routeur appartenant à l'arbre de diffusion multicast. Notre protocole aidera les routeurs désignés (DR - Designated Router) à connaître les nombres d'hôtes dans leurs réseaux locaux qui sont abonnés à chaque session multicast active. De plus, il permet aux routeurs intermédiaires de déterminer le nombre de membres

dans chaque interface de sortie. Pour ce faire, nous n'avons pas besoin d'envoyer un nouveau message entre le routeur et les hôtes car dans IGMPv3 et MLDv2 chaque hôte doit s'abonner et se désabonner explicitement des sessions multicast.

6.23. Un mécanisme de commutation entre les deux modes de PIM-SM

Participants : Fethi Filali, Walid Dabbous.

La politique de commutation entre les deux modes de PIM-SM (arbre basé sur le point de rendez-vous (RPT) et l'arbre basé sur la source(SPT)) qui est recommandée par le standard de PIM-SM est de migrer vers le mode SPT dès que le débit des données reçues via l'arbre partagé dépasse un certain seuil. Cette heuristique est loin d'être efficace et suffisante. En effet, les routeurs décident de migrer ou non indépendamment des autres routeurs appartenant à l'arbre de distribution.

Nous avons développé un nouveau mécanisme de commutation entre les deux modes de PIM-SM [16]. Ce mécanisme utilise un algorithme de décision de commutation permettant aux récepteurs de décider quand ils envoient des requêtes de commutation vers le RPT ou vers le SPT. Dès que cette décision est prise, notre mécanisme renferme une procédure d'acceptation de cette requête par les routeurs intermédiaires appartenant au chemin entre le membre et la source. Cette acceptation prend compte non seulement de besoins des membres en QoS mais aussi d'autres exigences liées au réseau comme la concentration de trafic dans les liens de communication et l'utilisation de ressources réseaux par les protocoles de signalisation. Nous avons décrit la syntaxe et la spécification du mécanisme à mettre en place afin de prendre efficacement la décision de commutation en intégrant le nouveau mécanisme dans le protocole PIM-SM.

6.24. La Gestion de l'authentification par Diameter

Participants : Hahnsang Kim, Hossam Afifi.

Dans le cadre du projet @IRS++, nous nous intéressons à la réalisation d'un serveur d'authentification AAA basé sur le protocole Diameter. Ce protocole est en cours de développement et de standardisation au sein du groupe AAA de l'IETF. Nous avons développé un gestionnaire d'authentification et d'autorisation Diameter en IPv4. Notre version Diameter permet au réseau d'authentifier un utilisateur mobile et de l'autoriser à accéder aux ressources du réseau.

Nous sommes maintenant en train de remplacer IPv4 par IPv6 et de réaliser la détection automatique de coupure et d'établissement du lien utilisant PPP. Cette détection permettra d'automatiser le déclenchement de la requête d'authentification sur un lien utilisant PPP.

En collaboration avec l'Eurécom, on travaille sur l'intégration du client Diameter dans le routeur d'accès UMTS. Il utilisera la pile de protocole TCP/IPv6 pour communiquer avec le client utilisateur. En collaboration avec LIP6, on a effectué une comparaison fonctionnelle avec le protocole COPS essentiellement utilisé par le LIP6 pour la réservation de la bande passante [12].

6.25. Mise en œuvre de la qualité de service diff-serv dans un réseau intranet

Participants : Ali Boudani, Walid Dabbous.

Dans le cadre de la dernière partie du projet RNRT Intradiff, nous avons terminé les simulations élémentaires qui consistent à caractériser chaque mécanisme DiffServ (Classification, shaping, ordonnancement...) et faire une comparaison avec les résultats des expérimentations sur le routeur 6WinGate de notre partenaire 6Wind. Le but étant de faire un étalonnage entre simulations et expérimentations.

Nous avons également fourni 2 livrables du projet : "définitions des topologies et scénarios" et "résultats préliminaires de simulations en mode statique".

Nous avons aussi modifié l'implémentation de DiffServ dans NS (Network Simulator) pour qu'elle réponde mieux aux besoins du projet. Ainsi on a implémenté un Token Bucket Shaper, modifié le marqueur et dans le cadre d'un stage ingénieur, nous avons intégré l'algorithme CBQ (Class Based Queuing) dans la nouvelle architecture DiffServ dans NS.

Des simulations d'un réseau DiffServ de bout en bout ont été terminées, elles ont fait l'objet d'un livrable rendu fin novembre 2002.

6.26. Gestion dynamique de la qualité de service dans l'Internet

Participants : Walid Dabbous, Rares Serban, Chadi Barakat.

La gestion dynamique de la QoS dans l'Internet fournit des mécanismes automatisés et adaptables pour la surveillance, l'allocation et le contrôle des ressources du réseau. Les composants de base permettant d'effectuer la gestion dynamique des ressources dans un réseau DiffServ sont : les outils de mesure ou de surveillance, les algorithmes d'allocation de bande passante et de contrôle de ressources, les protocoles de signalisation, ainsi que les mécanismes de négociation entre plusieurs domaines. Dans la tâche "Algorithmes et politique de contrôle" du projet RNRT ARCADE, nous avons développé un algorithme d'allocation dynamique de la bande passante disponible. Cet algorithme utilise plusieurs composants de base qui permettent d'effectuer la gestion dynamique de la bande passante disponible dans un routeur interne. Avec ce nouvel algorithme, la bande passante disponible peut être allouée en utilisant des règles de politique. Les règles de politique sont attribuées par l'administrateur du réseau en fonction des différents besoins administratifs. Par la suite, une architecture de réseau sera développée en utilisant cet algorithme.

6.27. Contrôle du trafic best effort dans les routeurs IP

Participants : Miguel Á. Ruiz Sánchez, Walid Dabbous.

Le réseau Internet est basé sur un service réseau très simple dit best-effort. Le service best-effort offre le transfert de paquets mais sans aucune garantie sur le délai qui dans le pire des cas peut être infini, c'est à dire le paquet peut être perdu. Les applications utilisant ce service sont des applications élastiques, c'est à dire qu'elles peuvent s'adapter aux conditions variables de bande passante disponible et aux variations du délai des paquets. Avec le service best-effort les applications n'ont pas besoin de faire une requête avant de commencer à envoyer leurs paquets et elles peuvent envoyer autant de trafic qu'elles veulent. Bien évidemment, il se peut que tout le trafic ne puisse pas être acheminé à cause d'un manque de capacité du réseau. L'idéal est que l'application adapte son trafic en fonction de la capacité disponible à tout moment. Ceci peut être effectué, par exemple, en utilisant TCP. Cependant, avec le service best effort, il existe aussi le risque qu'un ou plusieurs utilisateurs surchargent les routeurs et ne permettent pas que d'autres utilisateurs puissent envoyer leurs paquets. Bref, un problème majeur dans le service actuel best-effort est le manque d'isolation de flux.

Une observation importante est que le buffer dans un routeur est utilisé en fait pour deux tâches. Tout d'abord il sert à multiplexer les différents flux qui passent par le routeur, mais aussi un buffer sert à absorber les rafales de trafic de chaque flux. Dans les routeurs actuels une fonction dégrade l'autre car un même buffer est utilisé pour les deux fonctions et il n'existe vraiment pas de contrôle du trafic dans les routeurs.

Une des propositions pour isoler les flux consiste à maintenir une queue par flux, malheureusement cette approche s'avère très complexe à implémenter. Une des raisons est la grande quantité d'information d'état que le routeur doit maintenir. Notre approche MuxQ (Multiplexing Queuing) fournit un haut degré d'isolation des flux tout en gardant un minimum d'état. MuxQ est un nouveau mécanisme de gestion de file d'attente pour les routeurs IP. MuxQ utilise une seule queue FIFO mais il contrôle le trafic de façon à protéger la fonction de multiplexage de la fonction d'absorption de rafales. Une évaluation de performances a montré que MuxQ est capable de contrôler le trafic beaucoup mieux que le mécanisme classique de drop-tail. En fait les performances de MuxQ sont similaires à celles du mécanisme CSFQ mais MuxQ est plus simple puisqu'il ne nécessite pas de modifications dans l'entête du paquet comme c'est le cas pour CSFQ.

6.28. Streaming Multipoint de Présentation MPEG-4

Participants : Vincent Roca, Christoph Neumann.

Dans cette activité nous avons défini un nouveau mode de streaming multipoint de vidéo MPEG-4. C'est une solution intermédiaire entre le transfert de fichier et le streaming. Elle garantit aux récepteurs de recevoir

prioritairement la vidéo de base avant de recevoir les couches améliorées. Ceci est possible sans se baser sur des réseaux supportant la QoS. Notre solution gère l'hétérogénéité des récepteurs et a une scalabilité très grande. Un autre avantage de cette solution est le contrôle de congestion, qui est présent quel que soit le nombre de couches d'amélioration générées par le codec vidéo (les codecs vidéo n'ont que très peu de couches vidéo en pratique).

Des simulations et tests plus approfondis de cette approche suivront. Ce travail a donné lieu à l'implémentation d'un prototype de cette approche et à un papier publié à ACM Multimedia 2002 [28].

6.29. Communications multicast en couches multiples

Participants : Vincent Roca, Julien Labouré.

Le but de cette activité est de pouvoir traiter efficacement et de façon individualisée les transmissions entre des sources et des récepteurs largement hétérogènes d'un point de vue réseau (réseau haut débit, modem, sans fil) et/ou puissance de traitement (station de travail, assistant personnel).

Pour cela nous travaillons sur des *techniques de transmission au sein de groupes multipoints multiples*. Associées à une technique de codage en couches (une couche par groupe), nous avons là un moyen efficace de faire face à l'hétérogénéité des participants, un récepteur sélectionnant un ou plusieurs groupes en fonction de ses possibilités et de celles du réseau.

L'approche multi-couches est intéressante pour la transmission vidéo multi-définition en mode streaming. Nous nous intéresserons tout particulièrement au transport de flux MPEG4, une technologie qui devrait se développer dans un futur proche avec la diffusion d'émissions TV sur le web. Nous regardons enfin, pour des applications de transfert de fichiers, des techniques d'ordonnancement plus efficaces en terme de débit et de taille maximale de fichiers.

Cette activité est valorisée par des publications et des discussions avec les auteurs de documents sur ALC (« Asynchronous Layered Coding »), LCT (« Layered Coding Transport ») et FEC (« Forward Error Correction ») au sein du groupe « Reliable Multicast Transport » de l'IETF.

Elle est aussi valorisée par la diffusion d'un gros logiciel (en OpenSource, sous licence GNU GPL), la librairie MCL.

Nous avons aussi des contacts avec des sociétés susceptibles d'être utilisateur telles Activia Networks (www.activia.net), Netcelo (cf. ci-dessous) et CanalWeb (www.canalweb.com) avec qui nous travaillons sur une proposition de projet RIAM.

Enfin nous avons eu un support de l'INRIA dans le cadre des ODL, ou « Opérations de Développement Logiciel ». Un ingénieur a ainsi été recruté (à partir d'octobre 2001).

6.30. FEC hautes performances

Participants : Zainab Khallouf, Vincent Roca.

Nos travaux sur la bibliothèque MCL nous ont montré l'importance majeure des techniques FEC (ou « Forward Error Correction ») de correction proactive et/ou réactive d'erreurs. Deux points sont apparus comme limitant dans le codec FEC que nous avons récupéré et utilisé à ce jour : la nécessité de découper les informations en petits blocs, et le temps de codage/décodage. Afin de repousser ces limites, nous démarrons une étude sur des approches alternatives, plus adaptées aux communications hautes performances que nous visons. L'objectif final est d'intégrer le module qui sera développé dans notre bibliothèque MCL.

6.31. Solutions de sécurité adaptées aux transmissions multipoints

Participants : Lina Al-Chaal, Vincent Roca.

La sécurité est un besoin récurrent dès lors que l'on considère des applications commerciales. Plusieurs solutions sont ainsi en cours d'élaboration au sein du groupe SMUG (« Secure Multicast Group ») de l'IETF. Cependant ces solutions sont destinées à résoudre le problème général (en particulier avec des groupes

multicast ouverts et dynamiques). Nous pensons que les applications ayant le plus fort besoin de sécurité n'appartiennent pas à cette catégorie.

Ainsi nous nous intéressons à la mise en place de communications de groupe au sein d'un réseau construit au dessus de VPN sécurisés. Nous nous intéressons également à la problématique d'authentification et d'intégrité des échanges.

6.32. Techniques de communication de groupe alternatives

Participants : Ayman El-Sayed, Vincent Roca.

Si le service de routage multipoint est globalement attractif, en revanche il est peu approprié à certaines situations : pour un faible nombre de récepteurs construire et maintenir un arbre de diffusion est extrêmement coûteux ; il se peut aussi que le service multipoint ne soit pas déployé, ou encore que la présence de nœuds fortement mobiles conduise à d'importantes inefficacités.

Nous travaillons donc sur une solution alternative dans laquelle le routage multipoint est émulé au sein des machines terminales. Ces machines s'auto-organisent alors en une topologie dont les nœuds sont reliés au moyen de tunnels point-à-point. Un prototype est actuellement en cours de réalisation.

7. Contrats industriels

7.1. Hitachi

La collaboration avec le laboratoire de recherche d'Hitachi à Sophia Antipolis sur le thème du passage à l'échelle des protocoles de l'Internet sur des liens satellitaires, s'est terminé. Elle a débouché sur deux brevets en cours de dépôt.

Une autre collaboration sur la sécurité dans un environnement interdomaine est en cours de négociation.

7.2. Alcatel

Nous avons travaillé avec Alcatel sur les performances de TCP dans un environnement de réseau hybride satellite/terrestre. Cette étude a été effectuée dans le cadre d'un contrat ESA nommé TRANSAT qui veut dire " Transport Protocol and Resource Management for Satellite Mobile Networks". Ce projet regroupe aussi : ALCATEL SPACE, l'Université de Helsinki, et l'ENSICA. Le but de TRANSAT est de développer de nouveaux protocoles au niveau session, transport, et lien, dans le but d'améliorer le fonctionnement de TCP sur un réseau satellite, et de supporter des applications qui ont des besoins spécifiques en termes de qualité de service. Le projet a démarré en Octobre 2001 et dure deux ans. PLANETE participe à la définition des principales fonctionnalités de cette nouvelle architecture, et à l'évaluation des performances des protocoles proposés.

8. Actions régionales, nationales et internationales

8.1. Actions nationales

8.1.1. Projet VIP

Participation au projet RNRT VIP (Visiophonie sur IP sans fils) avec les partenaires THALES Communications, COMSIS, ENST, ETIS, France Telecom R&D, L2s, LIP6, et les projets SIGMA2 et TEMICS de l'IRISA. L'objectif du projet est la conception et le développement de nouvelles technologies pour des applications de communication vidéo temps-réel (telles que visiophonie et visioconférence) sur des canaux de type Internet sans fils. Ces applications constituent en effet un enjeu important pour la mise en place et le succès des systèmes de communication radiomobiles de 3ème génération. Les problèmes posés par la communication vidéo sur des réseaux IP (Internet grand public, Intranet) commencent à être maintenant bien

connus. Ils ont déjà fait l'objet de nombreux développements. Bon nombre de ces travaux se situent dans un contexte compatible avec les syntaxes normalisées (MPEG-4, H.263+). Plus récemment on a vu apparaître des techniques dites « à descriptions multiples » se situant en rupture avec les syntaxes normalisées. Ces techniques sont néanmoins encore jeunes et leur applicabilité n'est pas garantie. Cependant toute cette problématique est profondément modifiée dans des environnements de communication sans fils, qui fait l'objet du projet.

8.1.2. Projet VTHD++

Nous participons au projet RNRT VTHD++ (réseau à vraiment très haut débit) avec les partenaires France Télécom R&D, ENST, ENST-Bretagne, Eurecom et IMAG. Les activités effectuées dans le cadre de ce projet ont été décrites ci-dessus.

8.1.3. ARC Radio Logicielle pour les réseaux locaux

Participation à l'ARC Radio Logicielle pour les Réseaux Locaux avec les partenaires ENST, ENST-Bretagne et INT. L'objectif du projet est d'étudier la faisabilité d'implémentation d'un réseau local (Bluetooth) en radio logicielle. Dans ce projet, nous intéressons principalement au support de la qualité de service dans les réseaux Piconet Bluetooth. Le concept de radio logicielle nous permet de tenir compte à la fois des besoins de l'application et des caractéristiques du canal pour optimiser la transmission de données.

8.1.4. Projet @IRS++

Nous participons au projet RNRT @IRS++ suite du projet @IRS dont l'objectif est de définir une Architecture Intégrée de Réseaux et de Services Internet de Nouvelle Génération répondant aux derniers standards de l'Internet (IPv6) et s'attaquant au problème fondamental de la Qualité de Service (QoS). Le projet @IRS++ s'inscrit dans la continuité du projet @IRS en abordant de nouvelles problématiques :

- l'intégration fixe/mobile, ou comment disposer d'un accès à ses applications ou ses informations au travers de l'Internet quel que soit le lieu et le mode d'accès ;
- les communications de groupe, ou comment échanger, partager, travailler au sein d'une communauté d'utilisateurs ;
- la mise en place dynamique de nouveaux services, à la demande des usagers ou suite à de nouvelles offres d'opérateurs.

Les partenaires du projet sont : 6WIND, EADS-LV, EURECOM, RENATER, INRIA, LAAS-CNRS, LIP6, LSIIT, LSR-IMAG et REALIX.

Notre équipe est impliquée dans la partie intégration fixe-mobile. Notre tâche consiste à concevoir et à réaliser un serveur d'authentification AAA basé sur le protocole DIAMETER. Les travaux dans le cadre de cette tâche sont découpés en quatre phases. D'abord la conception de l'architecture du système puis le développement d'un prototype du " BASE Protocol ". Cette phase a pour but de réaliser plusieurs serveurs Unix et de les tester dans un réseau distribué entre plusieurs domaines. La troisième phase consiste à ajouter les extensions de Mobile Ipv6 pour DIAMETER. Il sera nécessaire d'effectuer aussi des tests en réseau entre deux domaines. La quatrième et dernière phase consiste à combiner l'agent qui détecte les messages de Mobile Ipv6 et qui les transforme en messages DIAMETER.

Ces travaux ont été poursuivis avec succès en 2002.

8.1.5. Projet 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.

8.1.6. *Projet 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 des applications multimédia (téléphonie sur IP, 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 6wind, Cégétel et l'INRIA. Le projet s'est terminé en novembre 2002.

8.1.7. *Projet ARCADE*

Nous sommes aussi impliqué dans le projet RNRT ARCADE dont le but est de dresser un modèle général permettant de maîtriser les réseaux IP. Cette maîtrise se fonde sur la détermination d'un profil pour chaque utilisateur et client, dans le but de pouvoir lui faire correspondre des ressources adaptées. Ces ressources peuvent être dynamiquement allouées et doivent être contrôlées suivant une politique déterminée utilisant des algorithmes ad hoc. Le contrôle s'effectuera sur la sécurité, la mobilité et la qualité de service qui inclura le multipoint. Pour arriver à un environnement de contrôle cohérent sur l'ensemble des fonctionnalités nécessaires à la maîtrise d'un réseau, il est nécessaire de définir une architecture de convergence. La partie de cette architecture qui sera conçue et développée concerne les serveurs de politique et la définition d'une interface intelligente (une extension du protocole COPS) entre le serveur de politique et les nœuds du réseau IP. Le contrôle du choix de la politique utilisera également une fonction de coût qui permettra éventuellement une facturation des services offerts par le réseau. Les partenaires du projet sont LIP6, INRIA, France Télécom, Thomson-CSF et QoSMIC. Le projet se termine le 31 décembre 2002.

8.1.8. *ARC TCP*

Le projet PLANETE participe à l'action de recherche coopérative ARC TCP, qui regroupe, en plus des projets de l'INRIA travaillant sur la modélisation de TCP (Mistral, Trec, Algorithms, Armor), France Telecom R&D et l'EPFL. Le but de cette action est de coordonner les efforts des différents participants dans le domaine de la modélisation de TCP. Le projet Planete, représenté par C. Barakat, collabore avec l'EPFL sur l'analyse de trafic TCP dans les dorsales de l'Internet [10][11][33]. Le projet PLANETE collabore aussi avec les membres du projet MISTRAL sur l'aspect évaluation des performances de TCP.

8.2. Actions financées par la Commission Européenne

8.2.1. 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*. Voir <http://www-sop.inria.fr/planete/swr.html>.

9. Diffusion des résultats

9.1. Animation de la communauté scientifique

Vincent Roca a participé à l'organisation de l'Ecole d'été RHDM qui a eu lieu à Autrans en mai 2002.

9.2. Enseignement universitaire

Réseaux et protocoles : cours de majeure informatique à l'Ecole Polytechnique par W. Dabbous (36h).

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

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

Réseaux : cours de 3eme année de l'ENSIMAG (Grenoble), par Vincent Roca

Réseaux Mobiles : cours en DEA (Ensimag), DESS (UJF) et 3eme année ENSERG par C. Castelluccia (36h).

Réseaux : cours de maîtrise Informatique, Faculté de Sciences, Université de Nice Sophia Antipolis, par C. Barakat (6h).

Simulateur de Réseaux NS : cours et travaux pratiques de tronc commun du DEA Réseaux et Systèmes Distribués, Université de Nice Sophia Antipolis, par C. Barakat (7h).

9.3. Thèses et stages

9.3.1. Thèses soutenues en 2002

1. Ima Aad a soutenu sa thèse sur le sujet : « La qualité de service dans les réseaux locaux ».
2. Fethi Filali a soutenu sa thèse sur le sujet : « Déploiement de services multicast dans des environnements hétérogènes ».

9.3.2. Thèses en cours

1. Lina Al-Chaal travaille sur « Solutions de sécurité adaptées aux transmissions multipoints ».
2. Vijay Arya travaille sur l'élaboration d'algorithmes de contrôle de transmission multimédia pour la nouvelle génération de mobiles.
3. Laurentiu Barzu a travaille sur le sujet : « Les environnements virtuels partagés ».
4. Ayman El-Sayed travaille sur « les Techniques de communication de groupe alternatives ».
5. Fatma Louati travaille sur le sujet : « Etude des performances de TCP dans un réseau hétérogène ».
6. Hossein Manshaei travaille sur l'élaboration de protocoles de communication multimédia pour des applications radio logicielles.
7. Pars Mutaf travaille sur le sujet : « La gestion de la mobilité dans les réseaux tout-IP ».
8. Serban Rares travaille sur le sujet : « Gestion dynamique des ressources dans l'Internet ».
9. Miguel Á. Ruiz Sánchez travaille sur le sujet : « Architecture de routeurs IP ».

9.3.3. Stages effectués dans le projet

1. Allocation Dynamique des Ressources Réseaux pour les Flux Multicast, Laurent Fazio, DEA RSD, UNSA.
2. Analyse des mécanismes hybrides ARQ/FEC pour réseaux sans fil, Alaeddine Al Fawal, DEA Réseaux, Beyrouth, Liban.
3. Le transport de la voix et de la téléphonie sur des réseaux à très haut débit, Abdelbasser Trad, DEA RSD, UNSA.
4. Simulation des mécanismes de qualité de services DiffServ dans un réseau, Renaud Guerin, DEA UTT.
5. Support de la qualité de service dans les réseaux Bluetooth, Jean-Baptiste Lapeyrie, Ecole Polytechnique.
6. Contrôle de Transmission Multimedia adaptatif pour Réseau haut débit et LAN sans fil, Lamia Romdhani, DEA RSD, UNSA et Abdrahmane Diallo, INPT, Maroc.
7. Développement d'un serveur de gestion de mobilité, Medhi El Badri, ENSI, Tunis.
8. Support de IP multicast sur satellite régénératif, Ghassane Aniba, INPT, Maroc.
9. Le passage à l'échelle des protocoles de routage RIP et DVMRP sur liens satellitaires, Roger Yerbanga, ENSIAS, Maroc.
10. Support du protocole PIM sur liens satellitaires, Gabriel Constantin, Ecole Polytechnique.

9.4. Participation à des colloques, séminaires, invitations

- Walid Dabbous est membre éditeur du journal électronique IEEE Communications Surveys & Tutorials, et du numéro spécial thématique TSI "réseaux et protocoles" (à paraître en 2003). Il a donné une présentation invitée à l'amicale de l'enseignement militaire supérieur scientifique et technique en tant que professeur chargé de cours à l'Ecole Polytechnique.
- Participation de Thierry Turletti au comité du Workshop « Packet Video », 24 avril - 26 avril 2002, Pittsburgh, PA, ainsi qu'au comité du « Workshop Networked Group Communication » (NGC 2002), 23-25 octobre 2002. Il a été Responsable du Symposium Doctoral de la conférence ACM Multimédia 2002, 1er Décembre - 6 Décembre, Juan Les Pins, France. Il est membre éditeur du journal « Wireless Communications and Mobile Computing » de Wiley Interscience.
- Chadi Barakat a participé aux comités de programme de ICNP 2002 (Paris) et ASIAN 2002 (Hanoi). Il a été invité à donner un séminaire à l'école d'été du département de systèmes de communication de l'EPFL, Juillet 2002, Lausanne. Il a participé en tant que conférencier au Workshop ARC TCP à l'INRIA Sophia Antipolis (Mai 2002), et au ACM SIGCOMM Internet Measurement Workshop à Marseille (Novembre 2002).
- Thierry Ernst a participé à 4 réunions de l'IETF et préside le groupe de travail NEMO qu'il a contribué à créer et pour lequel il est auteur de plusieurs drafts ; il a présenté une publication à ITST 2002 (3rd International Workshop on ITS Telecommunications, Séoul) ; à une réunion de l'ISO (TC204 WG16, San Francisco) ; il a donné un séminaire au centre de recherche de Samsung (SAIT, Séoul) et participe à une réunion mensuelle avec Panasonic (Yokosuka Research Park).

10. Bibliographie

Thèses et habilitations à diriger des recherches

- [1] I. AAD. *Quality of service in local area networks*. thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, 2002.
- [2] F. FILALI. *Multicast Service Deployment in Heterogeneous Environments*. thèse de doctorat, Université de Nice Sophia Antipolis, 2002.

Articles et chapitres de livre

- [3] I. AAD, C. CASTELLUCCIA. *Priorities in WLANs*. in « Computer Networks », to appear, 2002.
- [4] C. BARAKAT, E. ALTMAN. *Bandwidth tradeoff between TCP and link-level FEC*. in « Computer Networks », June, 2002.
- [5] C. CASTELLUCCIA, G. MONTENEGRO. *Dynamic and Secure Group Membership in Ad Hoc and Peer-to-Peer Networks*. in « ACM MC2R », October, 2002.
- [6] C. CASTELLUCCIA, G. MONTENEGRO. *Protecting AODV against Impersonation Attacks*. in « ACM MC2R », July, 2002.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [7] I. AAD, C. CASTELLUCCIA. *Enhancing IEEE 802.11 performance in congested environments*. in « Annales de telecom », 2002.
- [8] H. AFIFI, D. ZEGHLACHE. *Second Applications and Services for Wireless Networks*. in « Second Applications and Services for Wireless Networks », GET, Paris, France, July, 2002.
- [9] L. AL-CHAAL, V. ROCA, M. HABERT. *Offering a multicast delivery service in a programmable secure IP VPN environment*. in « Fourth International Workshop on Networked Group Communication (NGC'02), Boston, USA », octobre, 2002.
- [10] C. BARAKAT, P. THIRAN, G. IANNACCONE, C. DIOT. *On Internet backbone traffic modeling*. in « Extended Abstract, ACM SIGMETRICS », LA, June, 2002.
- [11] C. BARAKAT, P. THIRAN, G. IANNACCONE, C. DIOT, P. OWEZARSKI. *A flow-based model for Internet backbone traffic*. in « ACM SIGCOMM Internet Measurement Workshop », Marseille, November, 2002.
- [12] H. CHAOUCHI, H. KIM, G. PUJOLLE, H. AFIFI. *A Trial towards Unifying Control Protocols : COPS versus RADIUS/DIAMETER*. in « Fourth IEEE Conference on Mobile and Wireless Communications », IEEE, Stockholm, Sweden, September, 2002.
- [13] T. ERNST, K. UEHARA. *Connecting Automobiles to the Internet*. in « ITST : 3rd International Workshop on ITS Telecommunications », Seoul, South Korea, November, 2002.
- [14] F. FILALI, H. ASAEDA, W. DABBOUS. *Counting the Number of Group Members in Multicast Communications*. in « In the proceedings of NGC'2002 », IEEE, Boston, USA, Octobre, 2002.
- [15] F. FILALI, W. DABBOUS. *A New Bandwidth Sharing Scheme for Non-Responsive Multicast Flows*. in « Proceedings of ICC'2002 », IEEE, New York, USA, Avril, 2002.
- [16] F. FILALI, W. DABBOUS. *A QoS-Aware Switching Mechanism Between the Two Modes of PIM-SM*. in « Proceedings of ITC Specialist Seminar on Internet Traffic Engineering and Traffic Management (IP2002) »,

IEEE, Wuerzburg, Germany, Avril, 2002.

- [17] F. FILALI, W. DABBOUS. *A Simple and Scalable Buffer Management Mechanism for Multicast Flows*. in « In the proceedings of ICNP'2002 », IEEE, Paris, France, Octobre, 2002.
- [18] F. FILALI, W. DABOUS. *SBQ : A Simple Scheduler for Fair Bandwidth Sharing Between Unicast and Multicast Flows*. in « In the proceedings of QofIS'2002 », IEEE, Zurich, Switzerland, Octobre, 2002.
- [19] J. KEMPF, P. MUTAF. *IP Paging Considered Unnecessary (submitted)*. in « IEEE Wireless Communications and Networking Conference », March, 2002.
- [20] H. KIM, T. TURLETTI. *Implementation of an Esterel-based Toolkit for Designing DSP Software Applications*. in « the 5th International Conference on Real-Time Computing Systems and Applications », Japan, 2002.
- [21] A. MEDDAHI, H. AFIFI. *Improving SIP Performance and Scalability in a PSTN/3G Framework*. in « International IEEE Conference on Networking », IEEE, Atlanta, USA, August, 2002.
- [22] G. MONTENEGRO, C. CASTELLUCCIA. *Statistically Unique and Cryptographically Verifiable (SUCV) Identifiers and Addresses*. in « NDSS'02 », February, 2002.
- [23] C. NEUMANN, V. ROCA. *Multicast Streaming of Hierarchical MPEG-4 Presentations*. in « ACM Multimedia 2002 », décembre, 2002.
- [24] Q. NI, T. TURLETTI, W. FU. *Simulation-based Analysis of TCP Behavior over Hybrid Wireless & Wired Networks*. in « 1st International Workshop on Wired/Wireless Internet Communications (WWIC 2002) », Las Vegas, Nevada, June, 2002.
- [25] I. NIANG, B. ZOUARI, H. AFIFI, O. CHERKAOUI, N. GOLMIE. *Introduction of DiffServ QoS in 802.11 Standard*. in « First Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop », ACM, Sardeinia, Italy, September, 2002.
- [26] I. NIANG, B. ZOUARI, H. AFIFI, D. SERET. *Amélioration de schémas de QoS dans les réseaux sans fil 802.11*. in « Colloque Francophone de l'ingénierie des protocoles », Hermes Lavoisier, Montreal, Canada, May, 2002.
- [27] V. ROCA, B. MORDELET. *Design of a multicast file transfer tool on top of ALC*. in « 7th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC'02), Toarmina, Italy », juillet, 2002.
- [28] V. ROCA, C. NEUMANN. *Multicast Streaming of Hierarchical MPEG-4 Presentations*. in « ACM Multimedia 2002 », December, 2002.
- [29] R. SERBAN, C. BARAKAT, W. DABBOUS. *Dynamic Resource Allocation in Core Routers of a Diffserv Network*. in « ASIAN'02 », Hanoi, Vietnam, December, 2002.
- [30] J. VIERON, T. TURLETTI, X. HENOCQ, C. GUILLEMOT, K. SALAMATIAN. *TCP-Compatible Rate Control for FGS Layered Multicast Video Transmission based on a Clustering Algorithm*. in « ISCAS », Scottsdale,

Arizona, May 26-29, 2002.

Rapports de recherche et publications internes

- [31] S. ALOUF, E. ALTMAN, C. BARAKAT, P. NAIN. *Estimating Membership in a Multicast Session*. rapport technique, numéro RR. 4391, INRIA, March, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4391.html>.
- [32] V. ARYA, T. TURLETTI. *AED : An Accurate and Explicit Loss Differentiation Mechanism*. Technical Report, numéro 4587, INRIA, October, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4587.html>.
- [33] C. BARAKAT, P. THIRAN, C. DIOT. *A flow-based model for TCP traffic in an IP backbone network*. rapport technique, numéro RR. 4433, INRIA, April, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4433.html>.
- [34] C. CASTELLUCCIA. *How to convert any Identity based signature schemes into a group signature scheme*. rapport technique, Cryptology ePrint Archive, July, 2002, <http://eprint.iacr.org/>.
- [35] C. CASTELLUCCIA, G. MONTENEGRO. *IPv6 Opportunistic Encryption*. rapport technique, INRIA, October, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4568.html>.
- [36] C. CASTELLUCCIA, G. MONTENEGRO. *Securing Group Management in IPv6 with Cryptographically Based Addresses*. rapport technique, INRIA, July, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4523.html>.
- [37] T. ERNST. *Network Mobility Support Requirements*. Internet Draft, numéro draft-ernst-nemo-requirements-00.txt, IETF, October, 2002, Work in progress.
- [38] T. ERNST, H.-Y. LACH. *Network Mobility Support Terminology*. Internet Draft, numéro draft-ernst-nemo-terminology-00.txt, IETF, October, 2002, Work in progress.
- [39] T. ERNST, A. OLIVEREAU, L. BELLIER, C. CASTELLUCCIA, H.-Y. LACH. *Mobile Networks Support in Mobile IPv6 (Prefix Scope Binding Updates)*. Internet Draft, numéro draft-ernst-mobileip-v6-network-03.txt, IETF, March, 2002, Work in progress.
- [40] J. B. LAPEYRIE, T. TURLETTI. *Adding QoS Support for Bluetooth Piconet*. Technical Report, numéro RR-4514, INRIA, July, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4514.html>.
- [41] Q. NI, L. ROMDHANI, T. TURLETTI, I. AAD. *A survey of QoS enhancements for 802.11 Wireless LANs*. Technical Report, numéro RR-4612, INRIA, October, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4612.html>.
- [42] M. P., C. CASTELLUCCIA. *IP Paging Threat Analysis*. rapport technique, IETF, February, 2002, draft-mutaf-paging-threats-00.txt.
- [43] V. ROCA, B. MORDELET. *Improving the Efficiency of a Multicast File Transfer Tool Based on ALC*. Research Report, numéro 4411, INRIA, march, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4411.html>.
- [44] L. ROMDHANI, Q. NI, T. TURLETTI. *AEDCF : Enhanced Service Differentiation for IEEE 802.11 Wireless Ad-Hoc Networks*. Technical Report, numéro RR-4544, INRIA, September, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4544.html>.

[4544.html](#).

- [45] R. SERBAN, W. DABBOUS. *Algorithmes et politiques de controle de la QoS*. rapport technique, RNRT-ARCADE, September, 2002, D 2.3-20/09/2002.