

---

# Projet RODEO

## Réseaux à haut débit, Réseaux ouverts

---

**Localisation :** *Sophia-Antipolis*

**Mots-clés :** réseau informatique, réseau à haut débit, protocole de communication, contrôle de transmission, transmission multipoint, ALF, ILP.

### 1 Composition de l'équipe

#### Responsable scientifique

Christian Huitema, Directeur de recherche, Inria jusqu'au 15 mars 1996  
Walid Dabbous, Chargé de recherche, Inria

#### Responsable permanent

Jean-Chrysostome Bolot, Chargé de recherche, Inria

#### Assistante

Françoise Martin-Trucas

#### Personnel Inria

Christophe Diot, Chargé de recherche, Inria  
Jean-Patrick Giacometti, Ingénieur de Recherche, Inria

#### Chercheurs invités

Aruna Seneviratne, University of Technology, Sydney, Australie, du 29 janvier au 29 mars 1996  
Darryl Veitch, KTH, Royal Institute of Technology, Kista, Suède, du 8 janvier au 5 avril 1996  
Don Towsley, University of Massachusetts, USA, du 1<sup>er</sup> septembre au 31 octobre 1996

#### Ingénieurs experts

Darryl Veitch, du 6 avril au 15 juin 1996  
Thierry Turlotti, depuis le 1<sup>er</sup> octobre 1996  
Delphine Kaplan, depuis le 1<sup>er</sup> octobre 1996  
Claude Castelluccia, depuis le 1<sup>er</sup> avril au 30 septembre 1996  
Emmanuel Duros, depuis le 1<sup>er</sup> mars 1996  
Isabelle Chrisment, du 1<sup>er</sup> juillet au 31 août 1996  
Andrés Vega García, depuis le 1<sup>er</sup> novembre 1996  
Philipp Hoschka, du 1<sup>er</sup> juin au 31 mai 1996

### Chercheurs doctorants

Isabelle Chrisment, boursière Inria, jusqu'au 30 juin 1996  
Claude Castelluccia, boursier Inria, jusqu'au 31 mars 1996  
Sacha Fosse Parisis, boursier MESR, à compter d'octobre 1996  
Laurent Gautier, boursier Dret  
François Gagnon, boursier Inria, jusqu'au 31 mai 1996  
Mathias Graussglauser, boursier Inria  
Frank Lyonnet, boursier Inria  
Andrés Vega García, boursier du gouvernement mexicain, jusqu'au 31 octobre 1996

### Stagiaires

Benoît Brodard, MASI, du 29 avril 1996 au 31 août 1996 et Scientifique du contingent à partir du 16 septembre 1996  
Sacha Fosse Parisis, DEA UNSA, du 15 janvier au 30 juin 1996  
César Jalpa Villanueva, DEA, UNSA du 1<sup>er</sup> février au 30 septembre 1996  
Christian Lefèvre, DEA, ISEP du 12 février au 12 juillet 1996  
Martin May, ERASMUS jusqu'au 30 juin 1996 et boursier Inria à partir du 1<sup>er</sup> décembre 1996

## 2 Présentation du projet

Le but du projet RODEO est de définir et d'expérimenter les mécanismes qui permettront de tirer parti des réseaux à 1 Gbps et plus.

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

- Le contrôle de transmission à haut débit :  
Nous étudions et mettons au point des protocoles et mécanismes de contrôle de transmission à haute performance qui intègrent la gestion des services multipoint, le partage des ressources, le contrôle d'erreur, etc. Ces protocoles sont mis en œuvre dans des applications audio (FreePhone), vidéo (RendezVous), et de jeux distribués (MiMaze) pour l'Internet.
- Le développement d'applications à haut débit.  
Nous étudions et mettons au point des techniques de compilation, basées pour le développement rapide, automatique et efficace de protocoles de communication adaptés aux besoins des applications.

Ces deux axes sont appelés à converger dans le cadre de la nouvelle architecture « Application Level Framing ». La prise en compte de spécifications détaillées devra permettre de générer sur mesure des modules gérant aussi bien la présentation et la synchronisation que le contrôle de transmission.

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 MICE/MERCI (avec UCL, GMD, KTH, et l'université d'Oslo), avec le CNET et avec BULL. Les travaux sur les architectures de protocoles hautes performances se poursuivent dans le projet européen HIPPARCH (avec UCL, SICS, UTS et Dassault Electronique). De nouvelles collaborations industrielles visent à étendre nos travaux à de nouveaux supports de transmission. Une collaboration récente avec Eutelsat s'intéresse à la transmission de trafic Internet sur des liens unidirectionnels, comme par exemple des liaisons satellite avec voie de retour par réseau terrestre. Enfin, nous collaborons à des actions de standardisation des protocoles de réseau et des applications multimédias dans le cadre de l'IETF (Internet Engineering Task Force).

## 3 Actions de recherche

### 3.1 Contrôle de transmission

L'Internet actuel fournit un service de type «le réseau fait de son mieux mais ne garantit rien», qui revient en fait à proposer à une application une connexion dont les caractéristiques (débit, délai, pertes) ne sont pas connues à l'avance et peuvent varier au cours de la durée de vie de la connexion. Pour obtenir une bonne qualité de transmission, il est crucial de pouvoir s'adapter à ces variations des caractéristiques du réseau. Les mécanismes de contrôle de transmission essaient précisément de fournir cette adaptation. Ces mécanismes ont deux buts : éviter l'apparition de phénomènes de congestion (qui se manifestent par des délais et des pertes élevés lorsque la demande des utilisateurs augmente au-delà d'une valeur limite), et maximiser la qualité des données reçues à la (aux) destination(s). Ils sont intégrés soit dans des protocoles génériques (comme le mécanisme de contrôle de flux de TCP) soit directement dans des applications (comme les mécanismes de contrôle de débit et d'erreur utilisés dans nos applications multimédias).

Les travaux cette année ont poursuivi des axes de recherche commencés les années précédentes. Les efforts ont porté particulièrement sur 1) l'étude des caractéristiques (délai, pertes, gigue) des connexions Internet et de leur impact sur la conception de mécanismes de contrôle efficaces, 2) le développement de mécanismes spécifiques pour applications interactives multipoint (audio/video/jeux), et 3) le développement de mécanismes spécifiques pour applications de travail collaboratif.

#### 3.1.1 Conception et analyse de mécanismes de contrôle

*Participants* : Jean-Chrysostome Bolot, Matthias Grossglauser, Andrés Vega García, Sacha Fosse Parisi

La conception de mécanismes de contrôle efficaces nécessite une bonne connaissance des caractéristiques (comme le délai ou les pertes) des connexions Internet. Nous cherchons donc à comprendre ces caractéristiques (ou ce qui revient au même, les caractéristiques du trafic dans l'Internet) et leurs évolutions au cours du temps. Nous utilisons pour cela des mesures et modèles «de bout en bout», c'est-à-dire de connexions entre machines terminales. Nous avons en particulier étudié les processus de délai et de pertes des paquets d'un flux périodique lors de sa traversée de l'Internet. Nous avons observé, et l'analyse d'un modèle analytique de type  $D + D^X / D / 1 / K$  a confirmé, que la distribution des délais peut être approximée par la somme d'une constante et d'une distribution gamma et que le processus de pertes peut être approximé par un processus de Gilbert (processus Markovien à deux états). Ces résultats ont des conséquences importantes pour les applications multimédias. Par exemple, le résultat sur la distribution des pertes nous a permis d'évaluer de façon analytique le gain que l'on peut espérer en utilisant les méthodes de reconstruction de paquets perdus développées pour nos applications audio et vidéo.

Nous avons également évalué l'impact pratique de la dépendance à longue portée (ou auto-similarité sur plusieurs échelles de temps, aussi appelée Long Range Dependence), observée dans le trafic Internet. Il est maintenant bien connu qu'une file d'attente se comporte asymptotiquement de façon très différente selon la présence ou l'absence de LRD dans le trafic d'entrée. Mais la réalité n'est pas asymptotique (les files d'attente ont des tailles finies, et les temps d'observation sont finis également). Nous avons donc développé un modèle de réseau qui combine file de taille finie et modèle de trafic dont on peut contrôler les paramètres importants tels le paramètre de Hurst et l'échelle maximale de la corrélation (qui caractérise la LRD), ou la distribution marginale du débit. Ceci nous a permis d'évaluer l'impact de ces différents paramètres sur la performance de la file d'attente. Le résultat principal est que la performance de la file (mesurée par le taux de pertes) dépend non seulement de la structure de corrélation du trafic, mais également de l'échelle temporelle propre au système étudié. Dans le cas d'une file de taille finie, cette échelle temporelle dépend de la taille maximale de la file. En pratique, pour une file de taille maximale finie, nous observons dans un premier temps que l'impact de la corrélation sur le taux de perte devient nul au delà d'une échelle temporelle que nous appelons horizon de corrélation ; dans

un deuxième temps, le taux de perte dépend très fortement de la distribution marginale du processus fluide. Troisièmement, il est difficile de réduire les pertes simplement en augmentant la taille de la file. Nous proposons plutôt d'utiliser des mécanismes de contrôle de trafic et de multiplexage statistique.

### 3.1.2 Contrôle d'applications multimédias sur l'Internet

*Participants* : Jean-Chrysostome Bolot, Walid Dabbous, Christian Huitema, Frank Lyonnet, Thierry Turetli, Andrés Vega García

Nous avons étudié, évalué, et implémenté les mécanismes de contrôle de transmission décrits plus haut dans des applications multimédias pour l'Internet. Le travail a porté cette année sur une application audio (FreePhone) et une application vidéo (RendezVous). Une application de jeu distribuée (MiMaze) est décrite dans la section 3.1.3. Les applications audio et vidéo utilisent des mécanismes de contrôle pour fournir la meilleure qualité possible aux récepteurs, quel que soit l'état (plus ou moins congestionné) du réseau. La qualité de telles applications multimédias dépend essentiellement des caractéristiques de délai, des variations de délai, et des pertes entre la source et les récepteurs. Nous avons donc développé des mécanismes pour minimiser l'impact de chacune de ces caractéristiques. Les résultats les plus visibles ont été obtenus avec les mécanismes de contrôle de pertes, qui utilisent de l'information de redondance envoyée par la source, en plus de l'information « normale », pour reconstruire à l'arrivée les paquets perdus lors de la traversée du réseau. Ces mécanismes permettent maintenant d'obtenir une qualité audio/vidéo acceptable même sur un réseau très chargé.

Nous avons également porté ces applications sur un certain nombre de plateformes utilisées dans le milieu académique et de recherche (Sun, SiliconGraphics, PC/Linux) comme dans le milieu industriel (le portage PC/Windows est en cours, il est réalisé en partie via l'action IVS du GIE Dyade avec BULL).

Un travail spécifique sur l'application audio a été fait dans les domaines du codage haute qualité et du contrôle de pertes. Pour le codage haute qualité, nous avons intégré dans FreePhone l'échantillonnage haute fréquence, qui permet d'émettre et de recevoir de l'audio qualité CD ou DAT, et le mode stéréo (en attendant un mode « localisation spatiale » qui sera développé l'an prochain). Pour le contrôle de pertes, nous avons couplé le mécanisme d'émission de redondance avec un mécanisme de contrôle de débit afin que l'application envoie à chaque instant juste ce qu'il faut d'information de redondance pour reconstruire les paquets perdus, sans pour autant surcharger le réseau avec de l'information de redondance inutile.

Nous avons aussi commencé à définir des solutions de vidéoconférence sur l'Internet incluant des hôtes mobiles. En effet, les solutions de vidéoconférence reposant sur IP multicast, RTP et un codage vidéo au standard h261 tels qu'implémentées dans le logiciel Inria Vide Conferencing System ne sont pas directement applicables. L'inclusion d'hôtes mobiles dans un tel schéma pose en effet des problèmes à deux niveaux : protocolaire et applicatif.

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

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

Ces nouvelles méthodes de transmission / codage sont en cours d'implantation dans le nouveau logiciel de vidéoconférence de l'INRIA : RendezVous.

### 3.1.3 Contrôle d'applications de jeux distribués sur l'internet

*Participants* : Christophe Diot, Laurent Gautier

Nous avons développé cette année une nouvelle application multimédia destinée à l'Internet, et basée sur le système de simulation distribuée interactive (DIS). Cette application, MiMaze (Multicast internet Maze) va nous permettre d'étudier de nouveaux mécanismes de contrôle de transmission multipoint. MiMaze est une application ludique qui se joue dans un environnement virtuel, actuellement un labyrinthe en deux dimensions. Chaque joueur évolue sous la forme d'un «pacman», et a pour objectif de trouver et tuer ses ennemis.

Cette application se distingue des autres applications de notre projet par ses contraintes de communication temps-réel et de synchronisation, et par le nombre de participants potentiels :

1. Les contraintes de communication qui nous semblent nécessaires sont les contraintes de délais de transmission, de variation de ces délais et de perte. A l'heure actuelle, aucun mécanisme de contrôle pouvant satisfaire nos besoins n'a été implémenté dans MiMaze.
2. Le problème de la synchronisation se pose pour permettre à chacun des participants d'avoir la même vision de l'environnement virtuel à tout moment, chacun modifiant cet environnement continuellement. On parle de consistance et de persistance de l'état du jeu.
3. Le nombre de participants pose un problème d'utilisation des ressources dans le réseau et au niveau des terminaux de jeu, il peut atteindre quelques milliers voir dizaines de milliers.

Les temps de traitements des informations de chaque joueur et l'utilisation de la bande passante du réseau pour l'acheminement de ces informations doivent être contrôlés pour satisfaire les besoins d'interaction temps-réel. Nous travaillons actuellement aussi sur le support d'un mode localisation spatiale pour générer le son des joueurs de manière réaliste.

Cette application est le premier jeu distribué prenant parti de la communication multicast sur l'Internet.

### 3.1.4 Transmission multipoint fiable

*Participants* : Walid Dabbous, Matthias Grossglauser, César Jalpa Villanueva, Claude Castelluccia

Nous avons continué nos travaux sur la conception et la réalisation d'un protocole multipoint fiable pour des applications de type «tableaux blancs partagés» et «IRC» sur l'Internet.

Notre approche consiste à utiliser RTP (Real time Transport Protocol) pour la transmission multipoint fiable. RTP est le standard actuel pour la transmission de données de type «temps-réel» sur l'Internet. Il est un protocole qui spécifie les caractéristiques communes des médias «temps-réel» et qui est délibérément incomplet. La spécification d'un protocole pour la transmission d'un média précis, par exemple la vidéo, nécessite la spécification d'un document complémentaire, appelé «profil», qui complète la spécification du protocole RTP.

Nous sommes actuellement en cours d'élaboration d'un «profil» RTP pour la transmission multipoint fiable. Notre objectif est de définir une architecture de protocole qui soit indépendante du médium transmis afin d'éviter la définition d'un «profil» de fiabilisation par médium.

Nous proposons l'utilisation de deux sessions RTP indépendantes :

- une session RTP pour les données originales, non fiables, qui utilise les profils RTP existants (vidéo, audio, texte),
- une session RTP de «fiabilisation» qui rend les transmissions de la session précédente fiables ; cette session est indépendante du type de données transportées et par conséquent peut être associée à différents médias (vidéo, audio, texte,...).

Les mécanismes utilisés par cette session sont basés sur le protocole SRM. Les algorithmes de SRM ont été conçus pour être efficaces et robustes pour des tailles de session variables.

Nos travaux de recherche s'articulent actuellement autour de deux axes :

- personnaliser le protocole SRM pour mieux répondre aux besoins de l'application tableau blanc et d'autres applications (par exemple l'utilisation partagée d'une application CAO, éditeur de texte partagé). Ceci permettra d'alléger le protocole dans certains cas (par exemple si les données transmises sont intrinsèquement redondantes). Ainsi, pour un éditeur de texte partagé, on pourra tolérer certaines pertes si l'on transmet dans chaque paquet tous les caractères de la ligne en cours.
- étudier le partage entre ce qui devrait être fait au niveau transport et qui devrait être intégré à l'application.

L'outil de base est l'application Mscrawl qui a été développée au sein du projet RODEO, et qui permet à plusieurs utilisateurs de partager une « feuille blanche » sur laquelle on peut écrire et dessiner. Cette application repose sur le protocole de transport multipoint fiable SRM.

Dans le cadre de la communication multipoint, nous avons également travaillé sur deux aspects utiles pour l'utilisation sur ATM. Le premier est l'allocation optimale de temporisateurs pour minimiser le nombre d'acquittements négatifs, dans un arbre multipoint. L'algorithme DTRM calcule de façon distribuée la valeur d'un temporisateur pour chaque récepteur dans un arbre multipoint, tel que chaque perte simple dans l'arbre entraîne exactement un acquittement négatif. Le deuxième aspect est la communication  $N$ -vers- $N$ , donc avec des sources multiples, dans le contexte ATM. La performance des mécanismes proposés jusqu'à présent (UNI 4.x) se dégrade au fur et à mesure que le nombre de sources augmente. En collaboration avec K. K. Ramakrishnan, une solution qui n'utilise qu'un seul circuit virtuel par groupe multipoint a été développée. SEAM (Scalable and Efficient ATM Multicast) devrait avoir des applications intéressantes en particulier dans le contexte de IP multipoint sur ATM.

### 3.1.5 Évaluation du réseau Myrinet

*Participants* : Walid Dabbous  
Christian Lefèvre

Nous avons évalué le réseau local haut-débit Myrinet de la société MYRICOM. Ce réseau à commutation de paquets s'inspire des architectures massivement parallèles et offre un débit théorique de 640 Mbits/s. Le but de l'évaluation était de déterminer les performances réelles en utilisation en fonction du protocole de communication utilisé, et la possible adéquation avec les besoins de l'Inria (en termes de débits, qualité de services...) dans l'optique d'un déploiement sur différents sites de l'Inria (en réseau local) et de la possibilité de réaliser des « clusters » de stations de travail (de type Sun Sparc) en remplacement des machines massivement parallèles onéreuses. Les résultats ont montré une limitation de la bande passante à 140Mbits/s ce qui correspond aux meilleures performances du bus de la station de travail. Ce qui confirme une règle dans la recherche sur les protocoles : chaque fois qu'on élimine un goulot d'étranglement, un autre apparaît.

## 3.2 Architecture flexible de protocole haute performance

*Participants* : Christophe Diot  
Walid Dabbous  
Christian Huitema

Avec l'apparition des réseaux à haut débit, la bande passante de la couche d'accès au milieu ne représente plus un goulot d'étranglement. Ce sont plutôt les mécanismes de traitement de données au niveau transport et présentation qui nécessitent une charge de calcul importante au niveau des processeurs. D'autre part, des applications multimédias distribuées sont en cours d'introduction. Ces applications ont des besoins variés qui ne correspondent pas nécessairement aux services offerts par les protocoles de communication standards ou du moins pas à la qualité de service fournie par ces protocoles. En

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

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

Nous avons suivi le plan suivant :

- validation du choix du langage ESTEREL pour la spécification des besoins des applications,
- expérimentation de l'applicabilité du principe ALF à certaines applications,
- étude et expérimentation de la technique d'implémentation ILP,
- conception et développement du compilateur de protocoles ALFred.

### 3.2.1 Expériences avec ALF

*Participants* : Isabelle Chrisment, Christian Huitema

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

Afin de valider cette approche intégrée, nous avons voulu analyser et mesurer quel était le véritable impact d'ALF sur l'architecture et les performances du système de communication.

Pour notre étude, nous avons développé une application de transfert d'images JPEG qui se prête bien au concept ALF. Cette dernière utilise le format JFIF (JPEG File Interchange Format), format minimal de fichier qui permet d'échanger des images compressées JPEG.

Notre analyse porte principalement sur les points suivants :

- la taille de l'ADU

L'ADU est l'unité de données au niveau applicatif. Pour que ALF ait vraiment un sens, la taille de l'ADU doit être préservée à travers tout le système de communication et la fragmentation évitée. Ainsi une étroite relation doit être mise en place entre l'ADU et la MTU minimale (MTU : taille maximale d'un paquet sans fragmentation à travers le réseau).

- le traitement hors séquence

Traiter les paquets hors séquence nous paraît un facteur important d'accroissement des performances. Les unités de données peuvent en effet être délivrées directement à l'application sans attendre le paquet suivant ou précédent.

Des mesures de performance ont été effectuées. Les résultats préliminaires montrent l'intérêt de l'approche ALF.

### 3.2.2 Frontal du compilateur de protocole ALFred

*Participants* : Isabelle Chrisment, Christophe Diot, Laurent Gautier

Nous avons travaillé sur la conception d'un premier prototype de la partie frontale du compilateur (le *parser*). A partir de la description de cette application en ESTEREL, le support de communication le plus adapté est sélectionné puis intégré à la spécification de l'application avant de produire automatiquement une implantation performante. Nous avons pris en compte dans le prototype uniquement les aspects ALF. Nous continuons de travailler sur l'extension de cette partie frontale, notre but étant d'intégrer des mécanismes de contrôle de communication dans la spécification formelle d'une application distribuée quelconque. La réalisation de ce parser se fait en deux parties. La première consiste à identifier les mécanismes de contrôle que nous désirons intégrer : ces contrôles concernent, par exemple, la fiabilité de la communication ou l'ordre de séquençement des messages. La seconde partie est consacrée à l'implémentation du parser dans un environnement de conception de langage : Centaur. Des tests de ce parser sont encore en cours actuellement, et seront prochainement suivis par une étude de performance par rapport aux implémentations classiques des mécanismes de contrôle.

### 3.2.3 HIPPCO : Un optimiseur automatique de protocoles

*Participants* : Claude Castelluccia, Walid Dabbous

HIPPCO est l'optimiseur et générateur de code du compilateur HIPPARCH. Il génère, à partir d'une spécification formelle d'un protocole, une implémentation optimisée en vitesse d'exécution et en taille. HIPPCO utilise le principe des chemins *commun* et *rare*. Ce principe repose sur l'observation que 10% du code représente 90% du temps d'exécution total d'un protocole. Cette partie du code est appelée le chemin *commun*, le reste le chemin *rare*. HIPPCO identifie ces deux chemins automatiquement par une analyse Markovienne en utilisant les informations de prédictions fournies par le concepteur du protocole. Il optimise ensuite la vitesse d'exécution du chemin *commun* et la taille du code du chemin *rare*. Le code généré correspond ainsi à un bon compromis espace-temps. Les optimisations de vitesse d'exécution réduisent le nombre d'instructions à exécuter, optimisent l'utilisation des caches et favorisent le pipelining. Les optimisations de la taille du code visent à partager les branches communes.

Une expérimentation a été effectuée avec le protocole de transport TCP. Une version générée par HIPPCO a été comparée avec la version BSD. Il a été montré que l'implémentation automatique de HIPPCO était plus performante que la version manuelle. Ce gain de performance est principalement dû à une meilleure structure et à une spécialisation du code.

### 3.2.4 Vérification

*Participants* : François Gagnon, Christophe Diot

Le compilateur ALFred accepte en entrée une spécification d'une application de type client/serveur écrite dans le langage de spécification formel ESTEREL. Dans une première phase, le compilateur ALFred intègre à l'application des modules de communication ESTEREL correspondant à des annotations contenues dans la spécification. Dans une deuxième phase, ALFred produit une implantation efficace en C de la spécification intégrée.

Pour l'instant, le client et le serveur d'une application sont spécifiés séparément. Cette approche permet de vérifier des propriétés locales avec les outils de vérification du langage ESTEREL, mais ne permet pas de vérifier des propriétés globales telles que les blocages dus à la communication entre le client et le serveur.

Étant donné que la vérification des propriétés locales n'est pas suffisante, nous avons étudié un nouveau modèle qui permet la vérification de propriétés reliées au comportement global du système. Le nouveau modèle est basé sur une spécification unique du client/serveur en ESTEREL. Cette spécification unique ne contient pas les modules de communication ESTEREL, mais plutôt un sous-module modélisant le protocole de communication.

Avec ce nouveau modèle, nous pouvons séparer le processus de vérification en deux étapes indépendantes :

- **Vérification de l'application**, en supposant que le protocole de communication a un comportement correct,
- **Vérification du protocole de communication**, par rapport aux propriétés spécifiées par les annotations.

Dans ce contexte, l'utilisateur du compilateur n'aura à se soucier que la vérification de son application. Les modules de communications sont vérifiés une seule fois par les concepteurs d'un nouveau protocole.

Nous avons expérimenté ce nouveau modèle pour la vérification de trois applications simples. Dans le futur, il faudra étudier la viabilité de cette approche sur des exemples de plus grande envergure.

### 3.3 Support des liens unidirectionnels dans l'Internet

*Participants* : Christian Huitema, Walid Dabbous, Emmanuel Duros

De nombreuses applications distribuées peuvent bénéficier de connections à haut débit vers l'Internet (Ethernet 10 Mbits, FDDI, etc). Cependant, pour obtenir de bonnes performances de bout en bout, les sites distants doivent être reliés par des liens à haut débit qui sont actuellement très onéreux (ATM, etc).

Une solution asymétrique à faible coût peut être réalisée en utilisant des réseaux satellitaires qui peuvent couvrir de larges zones géographiques. Cette solution est basée sur l'utilisation de récepteurs : la connection est unidirectionnelle, car ces récepteurs ne peuvent transmettre de données sur le réseau satellitaire. Les protocoles de routage dans l'Internet ne supportant pas les liens unidirectionnels, le but de notre travail est de proposer des modifications à ces protocoles pour intégrer les liens satellitaires unidirectionnels.

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

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

Pour remédier à cela, les méthodes d'apprentissage de routes sont modifiées. Un récepteur maintient une liste des stations montantes grâce aux messages qu'elles envoyaient pour annoncer les réseaux qu'elles peuvent atteindre (leur adresse IP est contenue dans l'entête des messages envoyés). Les récepteurs ne tiennent pas compte de ces routes, car ils ne peuvent manifestement pas les atteindre par le réseau satellitaire (lien unidirectionnel). Les récepteurs envoient régulièrement des messages contenant les réseaux qu'ils peuvent atteindre à chaque adresse de la liste des stations montantes. Les récepteurs transmettent ces messages par leurs interfaces connectées à l'Internet.

Ces modifications ont été implémentées dans le protocole du routage *RIP*. L'utilisation d'un réseau de PC nous a permis de simuler des liens unidirectionnels et de vérifier le bon fonctionnement des algorithmes. Nous prévoyons de faire des démonstrations en local avant la fin de l'année 1996. En 1997, nous allons expérimenter ces algorithmes sur des liaisons satellitaires, dans le but de démontrer la transmission de vidéo au dessus de IP en multipoint vers une partie des partenaires du projet européen MERCI.

## 4 Actions industrielles

### 4.1 Projet MERCI

Le projet Européen MERCI (Multimedia European Research Conferencing Integration), qui a démarré en décembre 1995, fait suite aux projets européens MICE et MICE2, dans lesquels les premiers outils multimédias du projet (en particulier IVS) et leurs mécanismes de contrôle associés ont été développés. MERCI est un projet « Télématique pour la recherche » dont le but est de fournir les composants technologiques facilitant le déploiement d'outils de travail collaboratif. Les outils FreePhone, RendezVous, et Mscrawl sont développés en grande partie dans le cadre de ce projet. Nos partenaires dans MERCI sont essentiellement les mêmes que dans MICE (à savoir UCL, GMD, KTH, UiO), en plus de partenaires industriels comme Teles, HP, ou Shell.

### 4.2 Projet HIPPARCH

La première phase du projet HIPPARCH s'est terminée avec succès en janvier 1996. Ce projet nous a permis d'étudier et de valider une nouvelle architecture de communication basée principalement sur l'« Application Level Framing ». Ce succès a permis de définir un projet plus ambitieux financé pour 2 ans par la CE (à partir du 1er août 1996). HIPPARCH (phase 2) est un projet ESPRIT « Basic Research » (IT LTR). 5 partenaires (4 européens et un australien) y participent. Le projet RODEO est le contractant principal. Christophe Diot a été nommé responsable scientifique de HIPPARCH en remplacement de Christian Huitema.

### 4.3 Collaboration avec Dassault Electronique et la DRET

La collaboration avec Dassault Electronique et la DRET s'est renforcée cette année avec la signature d'un contrat de recherche et l'obtention d'un financement de thèse sur trois ans. Le sujet de cette thèse est « Adaptation des concepts ALF et ILP à des applications temps-réel à contraintes temporelles fortes ». Elle se propose dans un premier temps d'identifier les besoins en terme de services des applications temps-réel à fortes contraintes temporelles, et de définir les mécanismes de communication qui permettent de fournir les services identifiés. Cette étape a été terminée, et nous avons réalisé l'application temps-réel (MiMaze) dont les besoins sont ceux qui ont été définis dans la phase précédente de cette thèse. Dans une troisième étape, il faudra concevoir un support de communication permettant à l'application temps-réel retenue de transmettre ses informations dans les contraintes qui sont celles d'une telle application. Ce support de communication devra intégrer les concepts nouveaux d'implantation hautes performances tels que ALF et ILP. La réalisation de ce système de communication temps réel se terminera par une évaluation quantitative et qualitative en environnement multimédia.

Afin de permettre l'intégration des résultats de ces travaux dans les outils de production automatique d'implantation hautes performances qui sont en cours de développement dans HIPPARCH, les besoins de l'application temps-réel, ainsi que les mécanismes de communication associés seront spécifiés en ESTEREL.

Une collaboration avec Dassault Electronique a également commencé cette année sur la transmission audio haute qualité sur l'Internet. Dans le cadre de cette collaboration, nous avons amélioré FreePhone pour pouvoir émettre et recevoir de l'audio de qualité CD ou DAT sur des canaux multiples (et donc en stéréo si l'on se limite à deux canaux).

#### **4.4 Collaborations avec le CNET**

Notre collaboration avec le CNET dans le cadre d'une CTI commencée l'an dernier a continué cette année. Son but est de comprendre les caractéristiques du trafic dans les réseaux, et d'utiliser les résultats obtenus pour développer de nouveaux mécanismes et algorithmes de contrôle. Les travaux ont porté cette année sur l'étude de l'impact pratique de la dépendance à longue portée du trafic sur la performance des réseaux, et sur l'étude d'algorithmes de cache Web.

#### **4.5 Eutelsat**

Nous travaillons sur le support des liens unidirectionnels dans l'Internet dans le cadre d'un contrat de recherche avec Eutelsat. Nous sommes en train de mettre en œuvre une solution basée sur la modification des protocoles de routage et une encapsulation de IP au dessus de DVB (Digital Video Broadcast). Nous avons présenté le problème à l'IETF de Montréal (juillet 96). Les résultats des tests préliminaires seront présentés au prochain IETF à San José.

#### **4.6 Laboratoires d'Electronique Philips**

Nous travaillons en collaboration avec les Laboratoires d'Electronique Philips (LEP) sur le support des applications multimédias sur réseaux mobiles. Philips finance une thèse sur ce sujet. Le but de cette collaboration est de définir et de mettre en œuvre les algorithmes de contrôle de transmission pour des applications audio et vidéo-conférence impliquant des participants raccordés à l'Internet par des liaisons fixes ou sans fil. L'application RendezVous sera portée sur un réseau DECT fourni par Philips au cours de l'année prochaine.

#### **4.7 NEC**

L'INRIA a signé avec NEC un accord de collaboration sur les applications de vidéo conférence sur réseaux locaux haut débit sans fil. NEC fournira un réseau local sans fil haut débit (25 Mbps) sur lequel sera expérimentée l'application RendezVous, dans le but d'évaluer les algorithmes de correction d'erreur de niveau MAC et l'intérêt éventuel d'un contrôle d'erreur par anticipation (FEC) au niveau paquet.

#### **4.8 Dyade**

Dans le cadre du GIE BULL-INRIA, nous avons participé au portage de l'application RendezVous sur un environnement Windows 95, en fournissant le code source de la version Unix et un support d'aide au portage (effectué par un ingénieur BULL).

## 4.9 IPv6

Nous avons entrepris, dans le cadre d'un projet DRET, l'implémentation de l'Internet Protocol version 6 sur le système d'exploitation Linux. IPv6 est le protocole de niveau réseau successeur du protocole IPv4 utilisé pour router les paquets de données dans l'Internet. Sa conception a été guidée par la volonté de mieux prendre en compte les besoins nouveaux qui émergent sur l'Internet : gestion d'un espace d'adresses en pleine expansion, optimisation des performances et aide au support de nouvelles applications (temps réel par exemple), simplification des procédures d'installation sur le réseau et sécurisation des transmissions.

L'utilisation croissante du matériel PC comme stations de travail UNIX dans les environnements de recherche a conduit au choix de Linux. De plus, dans le cadre d'une expérimentation de IPv6 sur des réseaux à haut débit de type ATM, nous souhaitons disposer d'un système d'exploitation hôte capable de gérer des cartes de communications conformes à ce standard. L'implémentation d'IPv6 se place comme une implémentation permettant à court terme de supporter des applications de routage telles que RIPv6.

Après une première période d'étude, et de codage des éléments de base du système, nous avons aujourd'hui un noyau Linux disposant des fonctionnalités suivantes du protocole IPv6 : mécanismes d'adressage, tables de routage et caches, support des types de socket «raw» et «udp», autoconfiguration. A ce noyau viennent s'ajouter les outils d'administration l'Internet classiques adaptés pour IPv6 : «ifconfig» et «route» par exemple.

Le projet entre dans sa deuxième phase, avec le développement des fonctionnalités avancées du protocole et le portage et test d'applications IPv4 sous IPv6. En parallèle, la programmation du protocole RIPv6 doit faire de notre souche une implémentation très complète délivrant de bons outils d'expérimentation en matière de routage et de gestion de ressources.

## 4.10 SToRIA

Le projet monté par L'INRIA et SGS-Thomson (ST) dans le cadre de l'appel d'offres «Autoroutes de l'information» a été retenu pour financement par le gouvernement. Son objectif est de tester, sur un Intranet industriel pilote (celui de ST), une méthodologie et des outils autour de l'Internet, outils prototypes issus de la recherche. Le projet implique, en plus du projet RODEO, les projets OPERA et SHERPA de l'UR Rhône Alpes.

La participation de RODEO concerne les outils de travail coopératifs sur l'Internet. L'application Mscrawl, développée au sein du projet, sera adaptée aux besoins des ingénieurs de ST. Le protocole de communication multipoint fiable servira de support de communication, et l'interface utilisateur de Mscrawl sera modifiée afin de permettre l'utilisation partagée d'une application de CAO.

# 5 Actions nationales et internationales

## 5.1 Actions nationales

### 5.1.1 GDR/PRS et Action Réseau

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

## 5.2 Actions internationales

### 5.2.1 Activités dans le cadre de l'Internet

Christian Huitema, après avoir été président de l'*Internet Activity Board* (IAB) pendant 2 ans, en est toujours membre actif. L'IAB est responsable de l'évolution de l'Internet, du point de vue technique. Il supervise le travail de l'*Internet Engineering Task Force* (IETF), et se préoccupe de l'intégrité architecturale du système et de ses évolutions pour faire face aux accroissements exponentiels de taille, vitesse et complexité du réseau.

Nous participons aux travaux menés dans un certain nombre de groupes de travaux de l'IETF. En particulier, nous participons aux travaux des groupes AVT (Audio-Vidéo Transport, où nous avons proposé une extension du protocole RTP pour obtenir une bonne qualité audio ou vidéo sur l'Internet), UDLR (UniDirectional Link Routing, que nous organisons et où nous proposons les modifications des protocoles de routage RIP et DVMRP), IPPM et LAMUG.

### 5.2.2 Organisation de conférences

Le projet RODEO a organisé l'atelier PfHSN'96 en octobre 1996 à l'INRIA Sophia Antipolis. Le projet organisera le congrès SIGCOMM'97 (Cannes, septembre 1997).

### 5.2.3 Comités de programme

Christian Huitema est membre du comité de programme du congrès ACM SIGCOMM '96 (Stanford, Septembre 1996), et co-président du comité de programme du congrès ACM SIGCOMM '97.

Christophe Diot est président du congrès ACM SIGCOMM '97.

Jean-Chrysostome Bolot est membre des comités de programme des congrès ACM SIGCOMM '96 (Stanford, septembre 1996) et IEEE INFOCOM '96 (San Francisco, mars 1996).

### 5.2.4 Comités d'édition

Christian Huitema est éditeur des journaux IEEE/ACM Transactions on Networking et Internetworking : Research and Experience.

Jean-Chrysostome Bolot est éditeur du journal IEEE/ACM Transactions on Networking.

Walid Dabbous est membre du comité de rédaction de la Revue Electronique sur les Réseaux et l'Informatique Répartie (RERIR).

### 5.2.5 COST 237

Christophe Diot est représentant français dans le projet européen COST 237: Multimedia Telecommunication Services. Ce nouveau projet compte établir un forum européen où seront discutées les évolutions des supports de communication multimédia.

## 6 Diffusion des résultats

### 6.1 Diffusion de produits

Les logiciels développés dans le projet sont en général mis à disposition de la communauté via une procédure de FTP anonyme. Sont ainsi disponibles FreePhone (<http://www.inria.fr/rodeo/fphone>), RendezVous (<http://www.inria.fr/rodeo/personnel/flyonnet>), et MiMaze (<http://www.inria.fr/rodeo/MiMaze/>).

## 6.2 Actions d'enseignement

### 6.2.1 Enseignement universitaire

**Réseaux couches hautes**

cours ESSI, université de Nice Sophia-Antipolis, par C. Huitema (18h).

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

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

**Applications multimédias sur Internet**

cours EURECOM 6h par J. Bolot.

**Mesures et analyse de trafic** cours ENST-Bretagne 3h par J. Bolot.

### 6.2.2 Jurys de thèse

Christophe Diot a participé au jury de thèse d'Anne Fladenmuller à l'université Paris 6.

### 6.2.3 Thèses soutenues en 96 et en cours

**Isabelle Chrismont** a soutenu sa thèse en mars 1996 sur le sujet «Intégration automatique de la sémantique d'une application distribuée dans les mécanismes de transmission: Apport de ALF et de ESTEREL».

**Claude Castelluccia** a soutenu sa thèse en juin 1996 sur le sujet «Génération automatique d'implantations performantes de protocoles».

**Andrés Vega García** a soutenu sa thèse en octobre 1996 sur le sujet «Mécanismes de contrôle pour transmission audio sur l'Internet».

**Frank Lyonnet** travaille sur le sujet : «Support des applications multimédia sur les réseaux pour hôtes mobiles».

**Mathias Graussglauser** travaille sur le sujet : «Etude du trafic dans les réseaux haut débit».

**Laurent Gautier** travaille sur le sujet : «Adaptation des concepts ALF et ILP à des applications temps-réel à contraintes temporelles fortes».

**Martin May** travaille sur le sujet : «Réservation de ressources dans les réseaux».

**Sacha Fosse Parisis** travaille sur le sujet : «Codage et contrôle de transmission audio pour environnement virtuel».

### 6.2.4 Stagiaires

**Benoît Brodard** Stagiaire MASI, du 29 avril au 31 août 1996

**Sacha Fosse Parisis** stagiaire UNSA, du 1<sup>er</sup> janvier au 30 juin 1996

**César Jalpa Villanueva** stagiaire UNSA, du 1<sup>er</sup> janvier au 31 août 1996

**Christian Lefèvre** , Stagiaire ISEP, du 12 février au 12 juillet 1996

**Martin May** stagiaire ERASMUS, du 1<sup>er</sup> novembre 1995 au 30 juin 1996

### 6.3 Participation à des conférences et colloques

Les membres du projet ont participé à plusieurs conférences et workshops. On se rapportera à la bibliographie pour une liste complète. En plus, les tutoriels suivants ont été dispensés :

**Audio and video on the Web** à la 5ème conférence WWW (mai 96), par J. Bolot et P. Hoschka

**Multimédia sur l'Internet** à la conférence CFIP '96 (sept. 96), par W. Dabbous

**RTP - The Real Time Transport Protocol** à la conférence Interop 96 (oct. 96), par J. Bolot

**Telephony over the Internet** aux conférences Internet Telephony (mars 96, dec. 96), par J. Bolot

## 7 Publications

### Livres et monographies

[328] W. DABBOUS, C. DIOT, *Protocols for High Speeds Networks*, Chapman and Hall, 1996.

### Thèses

[329] C. CASTELLUCCIA, *Génération automatique d'implémentations optimisées de protocoles*, thèse de doctorat, université de Nice Sophia-Antipolis, mars 1996.

[330] I. CHRISMENT, *Etude et développement d'applications distribuées dans l'architecture ALF*, thèse de doctorat, université de Nice Sophia-Antipolis, juin 1996.

[331] A. VEGA-GARCÍA, *Mécanismes de contrôle pour la transmission audio sur l'Internet*, thèse de doctorat, université de Nice Sophia-Antipolis, octobre 1996.

### Articles et chapitres de livre

[332] J. BOLOT, P. HOSCHKA, «Performance engineering of the World Wide Web: Application to dimensionning and cache design», *Computer Networks and ISDN Systems* 28, 6, 1996, p. 1397–1405.

[333] J. BOLOT, «Cost quality tradeoffs in the Internet», *Computer Networks and ISDN Systems* 28, 4, 1996, p. 645–651.

[334] T. BRAUN, C. DIOT, «Performance Evaluation and Cache Analysis of an ILP Protocol Implementation», *IEEE/ACM Transaction on Networking*, June 1996.

[335] C. CASTELLUCCIA, W. DABBOUS, «Automatic Protocol Code Optimizations», *Journal of Electrical and Electronics Engineering Australia* 16, 1, March 1996.

[336] T. TURLETTI, C. HUITEMA, «Videoconferencing in the Internet», *IEEE/ACM Transactions on Networking* 4, 3, 1996, p. 340–351.

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

[337] J. BOLOT, T. TURLETTI, «Adaptive error control for packet video in the Internet», *in: ICIP'96 (Intl. Conf. Image Processing)*, Lausanne, CH, September 1996.

[338] J. BOLOT, A. VEGA-GARCÍA, «Control mechanisms for packet audio in the Internet», *in: IEEE Infocom'96, 1*, p. 232–239, San Fransisco, CA, March 1996.

[339] T. BRAUN, I. CHRISMENT, C. DIOT, F. GAGNON, L. GAUTIER, «ALFred, a Protocol Compiler for the Automated Implementation of Distributed Application», *in: Proceedings of the HPDC-5 symposium*, Syracuse, U.S., August 1996.

- [340] C. CASTELLUCCIA, W.DABBOUS, S. O'MALLEY, «Generating Efficient Protocol Implementations from Abstract Specifications», in: *Proceedings of ACM SIGCOMM'96*, 26, 4, p. 60–71, Stanford University, Californie, U.S., August 1996.
- [341] C. CASTELLUCCIA, W.DABBOUS, «Génération Automatique d'Implémentations Optimisées de Protocoles», in: *Actes de la Conférence Francophone d'Ingénierie des Protocoles (CFIP'96)*, Rabat, Maroc, octobre 1996.
- [342] C. CASTELLUCCIA, «Automating Header Prediction», in: *Proceedings of the 1st Annual ACM Workshop on Compiler Support For System Software*, Tucson, Arizona, U.S., bebruary 1996.
- [343] E. DUROS, W. DABBOUS, «Supporting Unidirectional Links in the Internet», in: *Proceedings of the First International Workshop on Satellite-based Information Services (WOSBIS)*, Rye, New York, November 1996.
- [344] M. GROSSGLAUSER, J. BOLOT, «On the Relevance of Long Range Dependence in Network Traffic», in: *ACM Sigcomm'96*, 26, 4, p. 15–24, Stanford, CA, August 1996.
- [345] M. GROSSGLAUSER, S. KESHAV, «On CBR Service», in: *Proc. IEEE INFOCOM '96*, 1, p. 129–137, San Francisco, California, March 1996.
- [346] M. GROSSGLAUSER, K. K. RAMAKRISHNAN, «SEAM: Scalable and Efficient ATM Multipoint-to-Multipoint Communication», in: *Proc. 6th Intl. Workshop on Network and Operating System Support (NOSSDAV '96)*, Zushi, Japan, April 1996.
- [347] M. GROSSGLAUSER, «Optimal Deterministic Timeouts for Reliable Scalable Multicast», in: *Proc. IEEE INFOCOM '96*, 3, p. 1425–1441, San Francisco, California, March 1996.
- [348] V. ROCA, C. DIOT, «Une Architecture Efficace de Communication pour Systemes Ouverts», in: *Actes de la Conférence Francophone d'Ingénierie des Protocoles (C FIP'96)*, Rabat, Maroc, octobre 1996.
- [349] D. TENNENHOUSE, T. TURLETTI, V. BOSE, «The SpectrumWare Testbed for ATM-based Software Radios», in: *ICUPC'96*, Boston, MA, September 1996.

## Rapports de recherche et publications internes

- [350] E. DUROS, W. DABBOUS, «Handling of Unidirectional Links with DVMRP», *Internet draft*, June 1996.
- [351] E. DUROS, C. HUITEMA, «Handling of Unidirectional Links with RIP», *Internet draft*, March 1996.
- [352] E. DUROS, «Handling of Unidirectional Links with OSPF», *Internet draft*, March 1996.
- [353] T. TURLETTI, C. HUITEMA, «RTP Payload Format for H.261 Video Streams», *Rfc-2032*, October 1996.

## 8 Abstract

The main objective of the project is to design, implement, and evaluate mechanisms that will allow the efficient and flexible use of high-speed networks (with a bandwidth layer than 1 Gbps).

To achieve the above objective, we focus our activities in 2 main areas, namely:

- Transmission control protocols for high-speed networks.  
We are designing and developing flexible and high performance transmission control protocols which integrate mechanisms for the allocation of resources in the network, for multicast delivery, for flexible error control, etc... These protocols are used in particular in an audio application (FreePhone), a video application (RendezVous) and a distributed game application (MiMaze) over the Internet, developed within the project.

- High performance applications.

We are designing and developing compiler based techniques to the automatic generation of efficient communication code tailored to the needs of distributed applications.

We expect the two research areas described above to eventually merge within the framework of the recently-proposed Application Level Framing (ALF) architecture. It will then be possible to take into account specifications of an application, of the network resources required by the application, and to automatically generate tailored communication modules that handle both data transparency, synchronization and/or transmission control for this application.

These activities are done in the collaboration within french, european and international projects. The activities on transmission control led to several industrial cooperations, in particular in the context of the european projects MICE/MERCI (with UCL, GMD, KTH and UiO), with the CNET, and with BULL. The activities on high performance applications are done in the context of the IT LTR project HIPPARCH (with UCL, SICS, UTS and Dassault Electronique). Recent industrial collaborations aim at extending our work to new transmission media. In the context of a collaboration with Eutelsat, we study the transmission of the Internet traffic over unidirectional links, for example satellite links with terrestrial feedback. We also collaborate to network protocols and multimedia applications standardization actions in the context of the Internet Engineering Task Force.

