THÈSE

présentée à

L'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines

Doctorat d'Université - Spécialité Informatique

pour obtenir le titre de

DOCTEUR

Spécialité Informatique

par

Pierre LÉONARD

Sujet de la thèse :

Etude et expérimentation des mécanismes de synchronisation du travail collaboratif sur réseaux de postes de travail

Soutenue le 14 Mars 1997

Guy Pujolle	**Directeur de thèse**
Sylvain Langlois	**rapporteur**
Jacques Prévost	**rapporteur**
Jean-Yves Babonneau	**Président du Jury**
Alain Caristan	**membre du Jury**
Jean-Pierre Claudé	**membre du Jury**

«Parce qu'ils font équipe, et uniquement parce qu'ils manœuvrent ensemble, cinq ou six chasseurs pourront cerner les caribous, occuper tous les trous de respiration du phoque pour s'en emparer, barrer une rivière aux différents passages aménagés pour cela et harponner le saumon.»

Roger Buliard, INUK

Je tiens à remercier :

Alain Caristan, le responsable du projet TÉLÉSIA qui m'a accordé sa confiance pour cette tâche, son temps et sa patience. Il m'a enseigné son savoir-faire et appris la jovialité, particulièrement lors des périodes les plus obscures.

L'équipe TÉLÉSIA : Pierre De La Motte, Andrzej Wozniak, tous les stagiaires qui par leur concours ont permis au projet d'aborder la dimension conviviale et sociale indispensable à l'étude de l'activité coopérative. Christian Donot, le gérant du réseau de multi-diffusion FMBONE qui a opéré les expérimentations des séminaires Aristote et découvert avec surprise, avidité et patience les nouvelles fonctionnalités de TÉLÉSIA. Jean Yves Babonneau, pour ses conseils de sagesse.

Jacques Prévost, l'équipe de l'association Aristote, du GIP-RENATER, de l'École Polytechnique qui ont soutenu, supporté nos exigences d'expérimentateurs, et apporté leurs conseils de testeurs éclairés. Tous ceux, qui de près ou de loin, ont participé aux expérimentations des services TÉLÉSIA. Lucia Gradinariu du CISM de Lyon 1 qui m'a fait partager les résultats de ses recherches.

Guy Pujolle mon directeur de thèse et l'ensemble du jury qui ont pris le temps de lire cette thèse et de m'écouter.

Jean François Abramatic, qui m'a accordé sa confiance en finançant une partie de mes recherches à l'INRIA. Thierry Turletti, Christian Huitéma, Franck Lionnet, l'équipe RODÉO, le GIE DYADE, la direction de l'INRIA, qui par leur attention particulière et leur entêtement ont aiguillonné mes recherches.

Tous ceux qui ont bien voulu donner de leur temps pour relire ce document et m'éclairer de leurs conseils.

Enfin, je remercie particulièrement ma famille, parents, frère et sœurs, Cédric, qui ont supporté avec patience et dévouement cet accouchement qu'est la rédaction d'une thèse.

Chapitre I Introduction

Prologue

La réalisation d'une thèse de doctorat après plusieurs années d'activité professionnelle dans la recherche, l'industrie, le commerce, est le résultat d'un parcours, qui s'il n'est pas immédiat, respecte une logique : l'étude, le développement, l'industrialisation, la satisfaction du client, l'écoute des besoins.

Aussi, lorsque l'équipe TÉLÉSIA me proposait en 1993 de la rejoindre pour étudier les mécanismes de synchronisation dans une application de vidéo-conférence, les aspects techniques de cette mission n'étaient pas les critères déterminants.

S'il est possible d'établir un parallèle entre un système réparti comme CHORUS et une application multi-sites comme TÉLÉSIA, il faut plutôt rechercher dans l'impact social a posteriori, et dans l'implication immédiate par l'expérimentation, mon intérêt pour TÉLÉSIA, équipe et application.

1. Introduction

En 1993, les applications traitant du son et de l'image animée sur l'*Internet* ne manquaient pas. Nous pouvons citer, *NV*, *VAT*, le serveur de son *Aaxp* et ses contributions d'applications téléphoniques, *IVS* et TÉLÉSIA en *France*. Si dans un premier temps, le champ technologique devait être défriché, avec tout ce que cela apporte de satisfaction dans la découverte, la mise au point, la mise en œuvre, les premiers principes de codage de ces flux multimedia furent rapidement cernés et acquis.

NV a exploré une voie dans le codage de l'image animée, assez proche dans son principe de ce qui deviendra un standard de fait sur l'*Internet* : *H261* ; alors qu'il avait tant de mal à s'imposer dans le monde des télécommunications et du réseau numérique *RNIS*, sans doute, en recherche d'applications ou d'utilisateurs.

Le son était traité par l'application *VAT*. Avec son interface et ses fonctionnalités soignées, *VAT* fournissait un canal multicast commun et des canaux unicast destinés à des communications de personnes à personnes, et une bonne idée à reprendre.

Nous avons ainsi souvent assisté en direct à l'atterrissage de la navette américaine, relayé par le couple (*NV*, *VAT*). TÉLÉSIA en 1991 coopérait déjà avec l'association *Aristote*, définition page 34, pour la retransmission des séminaires de son groupe réseau. Le couplage image/son était ressenti comme une nécessité et c'est naturellement, que l'intégration du codeur *H261* de l'*INRIA* à *Sophia Antipolis* s'est réalisée. En 1993, l'équipe TÉLÉSIA s'est installée, aisément, dans ce rendez-vous bimestriel d'une part et dans l'activité d'expérimentation en général. Ils étaient ressentis comme le complément indispensable d'un travail d'intégration et de développement.

La synchronisation est devenue un sujet d'étude en 1993. Le protocole *RTP* apparaissait, pressenti comme le support de base des applications multimedia en réseau. TÉLÉSIA, par son intégration implicite image/son, offrait un bon environnement à une première étape appelée : synchronisation des lèvres. Les documents décrivant le protocole *RTP* désignent plusieurs niveaux de synchronisation, nous n'en retiendrons que deux :

- la synchronisation des flux multimedia entre eux, qui correspond à la synchronisation des lèvres. Elle est une étape technique nécessaire à la qualité subjective de l'événement retransmis,
- la synchronisation globale, tente de faire "vivre" à l'ensemble des intervenants le même événement au même instant. C'est la réalisation du don d'ubiquité, "je suis dans mon bureau, à *Cannes* et à *Marne la Vallée* au même instant."

Au fil des mois, l'équipe TÉLÉSIA organisait le service TÉLÉSIA, capable de réaliser et de maîtriser la conjonction d'événements distants, la mise en relation des personnes avec les outils informatiques disponibles. La maîtrise et l'adaptation des techniques en étaient le credo.

Cette thèse présente le service, l'application, les mesures, les conclusions TÉLÉSIA. Elle les re-situe dans l'activité humaine quotidienne, à travers de nombreuses expérimentations in-situ. Nous verrons l'évolution des technologies sous-jacentes, induite par la recherche de la qualité de la mise en relation. Nous analyserons le déroulement des événements et nous tenterons d'en déduire les prochaines étapes.

L'activité de l'équipe TÉLÉSIA nous a impliqué dans l'apprentissage de nouveaux usages et par voie de conséquence, dans notre propre confrontation au relationnel humain. Cette implication nous a convaincu d'orienter nos recherches et nos développements dans le sens de l'amélioration de la coopération humaine.

2. Conventions typographiques

- les caractères gras mettent en évidence les **définitions**,
- les caractères italiques indiquent les *noms propres*,
- les caractères de machine à écrire désignent du `code informatique` ou des `identificateurs`.

Chapitre II L'activité coopérative

"Le crieur des Ihokas parla : les chasseurs se sépareraient en huit groupes au bas de la deuxième crête et deux Akicitas[1] Ihokas accompagneraient chaque groupe pour le surveiller. Sur un signal des Ihokas - quand il ferait tourner deux fois une couverture au-dessus de sa tête, les chasseurs se précipiteraient par les ravines dans la vallée ; ils se déploieraient de chaque coté, à contre vent du troupeau. Quand ils auraient cerné les bisons, un groupe avancerait pour fermer cette brèche du côté du vent, le chef Akicita donnant alors le signal du commencement de la chasse"[2].

Ainsi en était-il à cette époque, les hommes ont toujours chercher à multiplier l'efficacité de leur efforts dans le seul but de survivre. L'apparition du feu, sa domestication a libéré l'humanité des contraintes lourdes. "Si tout ce qui change lentement s'explique par la vie, tout ce qui change vite s'explique par le feu" énonce *Gaston Bachelard*[3]. Le feu, de tous les phénomènes naturels, est le seul à qui l'on peut associer les deux notions de bien et de mal. "Il est douceur et torture". Sa chaleur apporte le plaisir de la cuisine, du temps qui passe assis auprès du foyer. Il punit de la désobéissance, il impose le respect. Toutes ces facultés ont permis à l'homme de réaliser un pas de géant dans son développement, en éloignant les animaux sauvages, en améliorant la nourriture par la cuisson, en améliorant leur condition par la chaleur fournie dans le lieu de vie. Mais l'apport principal qui guida la naissance de l'évolution de la société humaine se trouve dans le temps ainsi libéré : l'humain dans ce nouveau confort s'est mis à penser. De l'état de survivance, l'homme est entré dans l'ère de la conquête ; conquête de la nature inhospitalière, conquête du temps, conquête de son intelligence, organisation des tâches de la vie autour du foyer.

1. Le travail coopératif, l'activité organisée

Les activités humaines, l'industrie, le commerce se sont organisés par coopération implicite jusqu'à l'apparition à la fin du 19º siècle, de la théorie tirée des ouvrages de *Taylor*. Les idées de *Taylor*, et leur application connue sous le vocable de **Taylorisme**, triomphent dans le milieu industriel mais aussi dans l'organisation des activités administratives entre 1900 et 1930. Comme pour toute théorie, son application est entachée d'incompréhensions, d'exagérations. Sans doute, une part de ces incompréhensions peuvent être imputées au contexte historique, qui fait les choux gras et le lit d'une science omnipotente. Ainsi, les articles de *Taylor* paraissent dans les congrès et les revues de "*l'American Managment Association*" sous la rubrique "*Scientific Managment*". On

1. dans le groupe de chasseur, l'*Akicitas* tient le rôle du guide.
2. Extrait de l'ouvrage de *Rith Beebe Hill* : *Hauta yo*.
3. *Gaston Bachelard* la psychanalyse du feu [9], page 19. Autodidacte adopté par la *Sorbonne*, *Gaston Bachelard* suit une carrière de professeur et de philosophe classique, mais ponctuée par des ouvrages de référence : La psychanalyse du feu, L'eau et les rêves, L'air et les songes, La terre et les rêveries de la volonté, La terre et les rêveries du repos.

peut y lire entre autre : "personne ne produit ce qu'il pourrait produire. Nul n'est véritablement honnête envers son patron. Chacun s'efforce d'en faire le moins possible, la pression du groupe suffit à décourager ceux qui enfreindraient cette règle.". Ainsi, l'idée de parcellisation du travail naquit de cette constatation. Cette parcellisation devait permettre dans un premier temps de mesurer objectivement ce que chacun peut produire et ce qu'il produit réellement. Dans un deuxième temps, l'analyse devait fournir des guides pour mettre au point des rémunérations stimulantes.

Mais la relation créée, ainsi, entre la production et le salaire ne suffit pas. Il faut remplacer la production artisanale par la rigueur scientifique. Le progrès des méthodes ne peut provenir que de la spécialisation des tâches. Dans cette théorie d'organisation, chacun est chargé d'une étroite part de l'action : au sein des entreprises, les services se multiplient, en unités fonctionnelles.

Cette théorie, ne fut jamais complètement appliquée et fit des ravages [29], notamment dans les ateliers. Nous pouvons retenir, entre autre, la remarque d'*Henry Le Chatelier*[1] : "plus, le travail est conçu et préparé par d'autres, plus il est agréable à accomplir. On peut penser à autre chose". Le travail peut être vu selon trois schémas de production principaux :

- **par unité** : fabriquer une pièce unique, concevoir une procédure, un équipement. Le personnel mène sa tâche d'un bout à l'autre. Ici, la qualité est plus difficile à mesurer que la quantité,
- **par processus** : conduit une opération d'un bout à l'autre. Cette méthode se prête mal à la spécialisation,
- **par série** : c'est le terrain de prédilection du tronçonnage du travail, de la spécialisation. Cette méthode eue pour effet - de déresponsabiliser en figeant les modes opératoires définis, qui déterminent dans le moindre détail, chaque geste, chaque tour de main, d'isoler les personnes dans la foule. La spécialisation et la parcellisation n'autorisent pas une communication riche.

Les premières failles apparaissent en 1930 lorsque *Hyacinthe Dubreuil*[2] et *Emile Rimailho*[3] proposent de diviser l'entreprise en équipes autonomes. Puis en 1940, *Roesthlisberger* publie les conclusions de l'étude fleuve de l'usine de *Hawthorne*[4] : "Managment and the workers". Cette bible marque le début des relations humaines et retarde de 30 ans une étude vraiment profitable des problèmes issus du travail parcellaire. L'homme au travail exigera de plus en plus la conciliation des intérêts de l'entreprise et de son intérêt propre. Il demande à penser à lui en tant

1. Chimiste et métallurgiste français, après avoir crée l'analyse thermique et la métallographie microscopique, il s'intéressa à l'organisation scientifique des entreprises.
2. Economiste français qui étudia particulièrement les problèmes de l'homme au travail.
3. Officier et ingénieur français, après avoir conçut du matériel d'artillerie, il s'intéressa à l'organisation du travail et à celle des entreprises.
4. Située près de *Chicago*, cette usine de la *Western Electric Company* filiale des *Bell Telephone Laboratories* fut la première implantation en 1924 d'un service fonctionnel consacré à la qualité. Ce service regroupait des universitaires et des ingénieurs.

que producteur, en concevant un travail qui le satisfasse pour la rémunération et l'épanouissement qu'il procure. L'accomplissement de l'individu est un concept difficile à cerner parce que fortement subjectif. Il nécessite :

- une fonction pour laquelle on se sent fait,
- une expression des capacités créatives,
- une communication sur le lieu de travail,
- une autonomie par rapport à la répartition des tâches, des horaires, des équipements.

Mais les relations humaines sont un élan de courte durée. Dés 1950, on parle de regroupement des tâches et G. *Milton Friedman*[1], dans sa "Révision des problèmes humains du machinisme industriel", en 1954, et de façon plus prononcée encore dans "Le travail en miette"[2], annonce l'échecs du **Taylorisme**. Il faudra attendre les travaux d'*A. Maslow*[3], en 1964, puis de *F. Herzberg*[4], en 1971 pour assister à la naissance des nouvelles attitudes à adopter dans l'entreprise. L'élément principal étant la mesure et la prise en compte des besoins fondamentaux de l'homme au travail. Ainsi *Neal Q. Herrick* faisait remarquer lors du symposium de 1971 de l'association Américaine pour l'avancement des sciences :

- l'entreprise est un système socio-technique. Son efficacité résulte de son organisation sociale et de son organisation technique. Or cette organisation est conçue pour diviser et non pour associer,
- les structures hiérarchiques et autoritaires limitent, entravent la volonté, la créativité, la personnalité des hommes, tandis que les structures démocratiques et participatives mettent en valeur le meilleur de nous-mêmes, l'engagement, la réalisation et la responsabilité.

L'application de ces études impliquait une évolution du système social que constitue l'entreprise. Elle peut viser des objectifs plus ou moins ambitieux :

- concevoir un véritable travail de groupe, pouvoir participer dans une équipe,
- responsabiliser, pouvoir gérer une équipe.

Mais cette application se heurte à une culture déjà bien implantée : les entreprises sont structurées par fonctions ou par postes, confiés à des individus. L'idée de déléguer des responsabilités à des individus n'étant pas partout admise, celle de déléguer collectivement à un groupe l'est encore moins.

Cette application s'appuie sur un ensemble de méthodes, de techniques à mettre en place dans l'entreprise pour faciliter la collaboration :

1. Economiste américain, promoteur d'un libéralisme tempéré par le contrôle de l'état sur la monnaie. Il fut aussi l'auteur de "où va le travail humain" édition *Gallimard* en 1963.
2. Édition *Gallimard* 1964.
3. Motivation and personnality, *London Harper and Row*, 1964
4. Le travail et la nature de l'homme, *Entreprise Moderne d'Édition*, 1971.

- des pauses,
- le travail en binôme,
- des interphones, des téléphones,
- la télévision interne,
- rompre le système des chaînes de production,
- regrouper, concevoir les postes de travail,
- participer en restituant son travail dans la globalité de l'entreprise.

C'est aussi à cette époque qu'apparu la sensibilité sur la qualité des produits générés par les industries. *Lucien Cruchant*[1] nous apprend ainsi que "la qualité est la technique et l'organisation, la planification d'ensemble et la décentralisation des responsabilités. La rigueur et le pragmatisme, la communication, le dialogue, le tout orchestré par le management. Il n'y a pas de recette unique ni de solution prête à l'emploi". Le concept des cercles de qualité, né au *Japon* en 1962, est défini comme un groupe de cinq à six volontaires appartenant à un même atelier, bureau ou service. Animé par le plus proche responsable hiérarchique, le groupe se réuni régulièrement, une heure par semaine, afin d'identifier, analyser et résoudre les problèmes que les membres rencontrent dans leurs activités, concernant la qualité ainsi que la sécurité, la productivité, les conditions de travail, etc...

Les cercles de qualité appliquent une méthodologie de résolution des problèmes en groupe et utilisent des outils simples. Ils n'ont pas de pouvoir de décision quant aux solutions à appliquer, mais soumettent leurs propositions aux responsables. L'activité des cercles de qualité s'inscrit dans la mise en œuvre de la politique de qualité de l'entreprise et suppose un véritable management participatif :

- **une gestion participative** qui associe les subordonnés à la préparation des décisions, les élèvent au rang de coopérants plutôt que d'exécutants passifs,
- **une gestion transversale** qui renverse les cloisons entre les services et développe les concertations et les coordinations horizontales.

Lorsque les conditions sont réunies, les cercles de qualités sont en général créatifs et efficaces. Ils sont à la fois des lieux de formation et d'éducation pour leurs membres et des organes d'amélioration de la qualité des produits et de la marche de l'entreprise. Ce concept qui a connu son heure de gloire dans les années 1970-1980[2], n'a pas disparu, mais a été bousculé par la recherche de la rentabilité absolue qui anime les entreprises actuellement. Les pouvoirs publics, conscients de la nécessité d'aligner l'industrie Française au niveau international, ont initié la

1. Ingénieur de l'armement, il s'intéresse plus particulièrement à la qualité dans les entreprises, aux processus techniques et aux conditions de travail générateurs de qualité [26].
2. Création de l'*AFQ*, Association Française des Qualiticiens en 1961 puis de l'*AFCERQ*, Association Françaises des Cercles de Qualité en 1981.

création du Mouvement Français pour la qualité en 1991. Il regroupe les éléments actifs de ces associations (*AFQ* et *AFCERQ*) et multiplie les occasions de rencontres et d'échanges. L'internationalisation des marchés de biens et financiers a facilité la délocalisation de la production dans le seul souci de la recherche du meilleur rapport qualité/coût, et de marges plus importantes. Ainsi le mouvement de rapprochement interne des entreprises induit par la réorganisation des méthodes de travail et par l'émergence de cette sensibilité à la qualité, a connu une nouvelle mutation par cette délocalisation génératrice de déplacements humains fréquents.

Comme toute activité humaine, la répartition des tâches réalisées dans des lieux différents, quelle qu'en soit la raison, ne facilite pas l'accession aux résultats.

C'est aussi l'ère de l'informatisation. Les systèmes d'informations, automatisés avec l'apparition des ordinateurs, ont vu leur temps d'accès à l'information se réduire et leur champ d'action s'élargir. Les réseaux informatiques ont autorisé la continuité de cet accès à l'information malgré les distances entre les sites des entreprises mais aussi avec l'extérieur : clients, fournisseurs, partenaires. Les services informatiques, véritables centres de digestion et de production de documents connaissent aussi de profondes mutations. Elles sont de deux natures :

- l'apparition du micro-ordinateur dans les années 1980 comme outil de travail personnel a eu pour effet de démystifier l'informatique en positionnant sur le bureau de "Monsieur tout le monde" cet "engin" qu'un cercle d'initiés, apparentés aux magiciens étaient les seuls à approcher et maîtriser. Il a donné l'accès aux utilisateurs à des méthodes de calcul infiniment plus libres dans leurs expressions et plus quotidiennes.
- le service informatique est un centre de production banalisé dans l'entreprise. Il lui sera aussi appliqué les mêmes règles de recherche de moindre coût, en le délocalisant dans des pays où la main d'œuvre est moins chère. Les réseaux internationaux permettant alors de rapatrier et délivrer les informations tout aussi rapidement.

C'est sans doute dans la conjugaison de l'usage des nouvelles applications personnelles que sont les tableurs et les traitements de texte, ainsi que la dissémination des entités des entreprises, qu'est apparue la nécessité d'une nouvelle forme de coopération à travers la communication. Les technologies informatiques, qu'elles soient dans les applications elles-mêmes ou dans l'usage et la redéfinition des réseaux offrent une opportunité de fournir, l'accès au travail coopératif assisté par ordinateur, à tous. Et, si c'est bien la recherche du profit qui guide les investissements des entreprises actuellement, le courant né dans les années 1970 visant à restituer l'humain dans les rouages de production des richesses est toujours en mouvement. C'est un des vecteurs de recherche sur les applications de travail coopératif. Un vecteur qui autorise, y compris dans un milieu scientifique, la prise en compte d'éléments subjectifs tout aussi déterminants. Des éléments subjectifs qui sont une porte ouverte à "l'homme animal moral"[1].

2. Les outils de coopération

Nous venons de voir comment le travail en groupe a évolué ces dernières années, au sein des organisations sociales, quels en étaient les mouvements et les réactions. Nous avons même, à travers ces réactions, aperçu l'usage des premiers outils d'aide au travail en groupe, ou plus simplement à la cohésion du groupe. La société depuis fort longtemps structurée, a organisé la circulation de l'information entre ses acteurs. Principalement entre le donneur d'ordre et les exécutants. Dans le contexte d'éloignement qui nous intéresse, les coursiers, porteurs d'un message parlé ou écrit, sont sans doute les ancêtres de tous les outils de mise en communication. Le courrier privé ou public apparut, comme souvent dans un contexte militaire : savoir, ordonner. Deux impératifs inhérents aux organisations commerciales ou non qui ont fait du courrier un véhicule d'information majeur, avant que le deuxième courant le plus puissant de l'humanité ne s'en empare : l'amour.

Avec le temps, la poste a mis en place un service sûr et de plus en plus rapide, qui permettait aux documents de transporter un sentiment naissant de proximité malgré les distances parfois importantes. L'émission de *France-Inter* "*Comme ça s'écrit*"[1], nous rappelle comment le courrier participe à la vie commune, à l'action commune de nos jours encore et dans l'histoire. Les nombreux ouvrages rédigés à partir des correspondances de personnalités, nous montrent l'importance de l'écrit dans l'affectif, mais aussi dans l'action politique[2]. Aujourd'hui, une lettre arrive en moins d'un jour, d'un bout à l'autre de la *France*. Les échanges peuvent être riches en sémantique, de par la nature des supports : le papier, l'encre, l'écriture, les dessins associés, l'enveloppe, le timbre. Ils peuvent être suffisamment rapides pour synchroniser des actions communes, dans la mesure où leurs termes dépassent la latence des allers et retours.

Le téléphone et le fax ont apporté la célérité qui fait défaut au courrier postal. Le fax en reprend la formalisation : l'écrit et le graphisme. On attribue souvent une plus grande rapidité au téléphone par l'accès direct au correspondant. Mais nous pouvons nous demander si il n'y a pas de confusion entre la rapidité de l'accès direct, car vocal, et la concision et la précision induites par le processus d'écriture. Les deux outils sont d'ailleurs souvent utilisés concurremment. Le papier du fax fixe le sujet de l'échange sur un papier et l'extrait d'une abstraction mentale, qui peut ne pas être la même pour l'ensemble des correspondants, mais est un frein dans l'échange de

1. *Philippe Quéau* est ingénieur, directeur de recherche à l'*INA* et responsable du programme *Imagina*. Il s'intéresse particulièrement à travers le virtuel, à la naissance des cités universelles et de leur éthique [31] page 5 "Si l'économie se développe avec une totale liberté, on risque d'en payer très cher le prix. L'homme n'est pas un «animal économique», l'homme est d'abord un «animal moral». Il ne faut donc pas asservir la morale à l'économie mais l'inverse."
1. *Comme ça s'écrit* est une émission de *Michel Grégoire* et *Gilbert Aumont*. Elle est diffusée tout les samedi soir de 22h03 à 23 heures.
2. On peux lire les correspondances de *Voltaire* avec les grands d'Europe, ou d'*Arthur Rimbaud* sur son voyage en *Abyssinie*.

par le temps nécessaire à son élaboration. Ainsi, le travail commun sur un document continue-t-il d'avancer malgré les distances. Mais nous sentons qu'il lui manque, dans cet état, une autre dimension.

Avec les techniques télévisuelles, la disponibilité des canaux audiovisuels, la vidéo-conférence est apparue. Son coût l'a confinée dans des usages haut de gamme, ou réservée aux grands groupes. Avec cet outil, l'apport de l'image a réalisé le même effet que le couplage du fax et de la voix téléphonée, en supprimant une partie du travail imaginaire sur le document, appelé abstraction, soit sur le correspondant, appelé fantasme. Nous parlions de son coût, les ressources utilisées sont en effet rares. Les canaux vidéo coûtent chers à louer, et l'équipement d'une salle de vidéo-conférence avec plusieurs caméras, une régie, du personnel qualifié, représente un investissement et des coûts de fonctionnement importants. Aujourd'hui, ces salles de vidéo-conférence, n'intègrent pas le traitement des documents. Les supports nécessaires à la tenue de la réunion, sont soit diffusés auparavant par courrier ou par fax, soit diffusés par vidéo pendant la réunion. Cette dernière méthode de diffusion héritant de la volatilité associée à cette forme d'image[1].

Les outils que nous venons de décrire peuvent être classés dans la catégorie de la mise en relation, de la télé-présence, qui facilite le travail en groupe. Nous disions précédemment, qu'il manquait une dimension dans l'activité de télé-réunion. Nous ne parlions pas de l'image animée, mais du document. Comme nous l'avons décrit, le document commun est diffusé préalablement et le travail de mise à jour conjointe, et de confrontation des idées, des réflexions, induisent des divergences sur les copies distribuées. C'est ainsi que sont apparus les premiers outils de partage d'écran sur les micros *Mac* ou *PC*, qui permettent aux participants de manipuler conjointement un clavier, une souris distants et ainsi, d'avoir connaissance, de profiter des modifications exactes apportées à un document, pour les exploiter à son tour.

D'autres études ont été menées dans le domaine de l'aide directe à l'action conjointe, qui ont abouti à des outils en exploitations. Nous pensons par exemple aux salles de décisions, ou aux salles de rédaction commune. Ce n'est pas tant l'apport de l'informatique, qui est à noter, que l'étude des schémas de la pensée qui permettent d'aboutir à un résultat plus rapidement, dans ces expérimentations. Les salles de décisions sont un système de communication inter-personnes, piloté par un calculateur qui dirige et comptabilise les prises de paroles. Succinctement, ces systèmes distribuent la parole de façon équitable afin que chacun puisse s'exprimer et donner son avis. Il gère le temps minimal et maximal de la prise de décision. L'ordinateur intervient uniquement comme arbitre temporel, il ne travaille pas sur la sémantique.

1. Des études démontrent que la lecture d'un document électronique, c'est à dire affiché sur un écran d'ordinateur, ne permet pas de saisir plus de la moitié de la sémantique du texte, par rapport au même document papier tenu en main.

Les salles de rédaction communes regroupent des rédacteurs dont la tâche principale consiste à composer un texte commun. Elles fonctionnent principalement par une communication orale. Le travail en réseau, l'échange des documents électroniques, impliquent l'intégration de la communication écrite. L'étude de *Marie-Laure Barbier* [28] consiste à analyser comment la nature des échanges écrits entre rédacteurs peut être manipulée pour accélérer le travail de rédaction commun. Dans cette étude, l'outil informatique permet les échanges écrits et construit l'analyse suivant des scenarii de rédaction libres ou dirigés par des phrases préformées. Nous notons simplement en guise de synthèse que les échanges préformés induisent une stratégie d'auto-questionnement chez les rédacteurs et en améliorent la qualité. Ils leur permettent aussi de se focaliser sur un processus rédactionnel prototypé.

Le contexte des outils qui nous intéressent, concerne l'activité mettant en usage les réseaux informatiques. Là aussi, de nombreux outils existent déjà. Le courrier électronique a été popularisé avec les machines *UNIX* et les premiers protocoles de transfert de fichiers et d'exécution distante *UUCP*[1] et *UUXQ*[2]. Les adresses reflétaient le cheminement complexe des informations de calculateur en calculateur, et les temps de transfert pouvaient atteindre plusieurs heures avant que le point de destination ne soit rejoint. Avec la généralisation des protocoles *Internet* sur les machines *UNIX*, les messages peuvent être délivrés immédiatement. Ainsi, lorsque chacun se trouve face à son poste de travail, une conversation écrite peut-être menée avec des délais entre les messages de quelques minutes. L'enrichissement des protocoles, du courrier électronique, permet désormais de mélanger dans le corps du texte, des documents de structures plus complexes, graphiques, sonores. C'est ainsi, autour de ces outils et d'une activité commune, que se constituent des groupes de travail "virtuels", dont les membres, qui souvent ne se sont jamais rencontrés, collaborent. Les pages des "Credits" des sites du *WEB* en sont une représentation très claire. Dans le même domaine, l'*IRC*[3] permet à plusieurs personnes d'échanger des messages textuels concurremment, et de suivre en direct, une discussion écrite.

Dans l'ensemble des exemples cités, nous avons vu que l'amélioration des techniques de base induisait une accélération des échanges inter-personnes. Cette amélioration diminue le temps d'attente et produit un effet de présence en fournissant rapidement une réponse à une attente encore pendante. Les correspondants n'ont pas le temps de "quitter/oublier" le sujet qui les relie, leur action commune reste synchronisée.

---

1. **UUCP** : *UNIX* to *UNIX* Copy. Les premiers protocoles étaient intégrés dans l'application et utilisaient des lignes téléphoniques avec des modems et des lignes spécialisées. La dernière version de *UUCP* était adaptée au protocole *IP*, mais n'a pas résister à la déferlante des services construits directement sur ce protocole, qui tirait parti de la connexion directe avec les sites distants.
2. **UUXQ** : *UNIX* to *UNIX* execution Queue.
3. **Internet Relay Chat** : système de mise en communication par diffusion des messages écrits aux connectés; Les connectés se retrouvent sur des canaux nommés et thématiques. l'*IRC* est un équivalent des news-group mais en direct.

3. Le champ d'activité que l'on étudie

Pour reprendre *Philippe Quéau* et l'anthropologue *Leroi-Gourhan*[1], l'abstraction croissante serait le moteur du progrès des civilisations : "le progrès, c'est l'homme qui s'abstrait de lui-même. Sa mémoire, son savoir se matérialise, dans un premier temps, à travers l'écriture". Se matérialise et se démocratise avec l'invention de l'alphabet qui révolutionne la transmission du savoir. Cette révolution fut bien pressentie, puisque le roi *François 1er* signa une ordonnance interdisant l'imprimerie, sous peine de mort, le 15 Janvier 1535. Aujourd'hui, les technologies de l'information connaissent une révolution comparable, avec la numérisation de l'écriture, des images, du son et sans doute, à terme, des autres sens humains. Mais, ce qui en fait une véritable révolution, c'est la possibilité de les traiter de les modifier, de les diffuser et de les présenter dans un contexte virtuel extrêmement rapidement. Le savoir "nouvelle forme" connaît une ère de conquête, celle de "l'interactivité assistée"[2]. L'information-savoir est là, il faut apprendre à la rechercher, la replacer dans son contexte, hors de la virtualisation induite par les nouveaux outils, dont la symbolique, croissante en richesse et en vitesse d'adaptation, creuse l'écart entre ceux qui comprennent, suivent et ceux qui restent à quai.

On assiste ainsi à deux mouvements : l'un, anarchique qui virtualise l'information-savoir des possédants, augmente le niveau d'abstraction nécessaire à son accès et donc l'écart entre les **infos-riches** et les **infos-pauvres**, l'autre, des formateurs qui cherchent la voie d'usage de ces nouvelles technologies pour toujours démocratiser l'apprentissage.

C'est dans ce domaine de la formation et de l'enseignement à distance que nous avons choisi de travailler avec les nouvelles technologies de l'information. Un seul outil ne peut remplir toutes les fonctions. Seul, la mise en situation pourra faire ressortir la ou les combinaisons adaptées aux besoins. Ainsi, l'équipe TÉLÉSIA s'est-elle focalisée sur l'activité de séminaire, en relation avec l'association *Aristote*, alors que l'équipe de l'*INSA* et du *CISM*[3] de l'université de *Lyon 1*, composée de formateurs et d'informaticiens, a travaillé sur la télé-formation. Le séminaire est caractérisé par un protocole rigide facile à modéliser, donc facile à mettre en situation. La télé-formation, quant à elle, fait appel à un niveau d'interactivité important entre les formateurs et les apprenants. En effet, l'enseignement, la formation, s'appuient sur la diffusion d'un savoir. Le cours, plus ou moins magistral, en est le support. L'échange entre les acteurs n'est pas systématiquement unilatéral, mais il reste assez limité. L'enseignant à besoin par un simple "coup d'oeil", de mesurer le niveau de réception de ses paroles. Dans la mise en œuvre d'un outil automatique, nous résumons cela sous le vocable d'**effet de salle.** Mais, la formation, c'est aussi

1. Ethnologue et préhistorien français. Ses travaux sur l'art préhistorique et celui des peuples sans écriture, associés à l'observation, lui ont permis une approche nouvelle des mentalités préhistoriques.
2. *Anne Marec*, directrice générale de Télé-Université du *Québec* [1]
3. *Lucia Gradinariu*, *CISM Claude Bernard* Université de *Lyon 1*; *Gérard Beuchot*, Dep. Informatique *INSA* de *Lyon*; *Patrick Prevot*, Dep. productique *INSA* de *Lyon*, *Françoise Sandoz* et *Frédéric Arnaud GPR INSA*

réaliser une tâche ensemble[1]. On retrouve cette affirmation dans le travail de *J. Terence Mayes* sur l'apprentissage à distance [21]. Il y définit le télé-enseignement[2] par un enseignement classique basé sur des cours des documents et par un télé-apprentissage[3]. La technologie doit supporter la présentation du contenu et fournir les ressources nécessaires à la réalisation des tâches. Une réalisation qui a pour objectif premier de mettre en situation plus concrète ce qui a été enseigné afin d'en asseoir la compréhension. En faculté, dans les écoles, cela se traduit par des travaux dirigés ou des travaux pratiques. La télé-formation se doit de fournir, aussi, les conditions de reproduction de tels travaux dirigés pendant lesquels, les apprenants et les enseignants ont des échanges bilatéraux ou multiples. Ces échanges correspondent, à ce jour[4], à la remise en forme de la salle de classe. Les technologies des stations de travail et des réseaux sous-jacents sont-elles au niveau du service requis, et doit-on se contraindre à la simple imitation d'une pédagogie virtualisée ? N'y a-t-il pas une place d'expérimentation de l'impact des outils mis en œuvre, sur "la nature et la transférabilité des connaissances acquises" ?

Nous manquons à ce jour de recul. Le couplage entre les usages, aussi contextuels, et la mise au point d'outils, par le développement et l'intégration, ont une place relativement limitée en *France*, où la recherche privilégie la mise au point technologique sur l'usage "in situ".

Enfin, nous notons que, pour ce qui concerne le champ d'expérimentation dit du télé-séminaire et celui de la télé-formation, des points communs les rassemblent autour du concept unique, mais divers : la **télé-présence**. Ce qui a permis de factoriser un certain nombre de travaux de développement et de se focaliser sur le rapport qualitatif à travers l'usage.

Le concept de télé-présence peut être défini comme une mise en relation d'une ou de plusieurs personnes à l'aide d'outils informatiques et de réseaux de télécommunication. D'après *Chantal d'Halluin*[5] deux types de relations sont nécessaires : une relation bilatérale entre le formateur et l'apprenant, entre apprenant et apprenant et une relation de groupe. Pour le premier type, le

1. L'orientation des travaux de *Lucia Gradinariu* vers le partage de tâches le montre. Les élèves réalisent à l'aide d'outils informatiques classiques, dans ce cours de mécanique il s'agissait d'outils de dessin industriel, un travail dirigé par le professeur. Celui-ci peux à tout moment être sollicité par les élèves et avoir une connaissance, une vision de l'état d'avancement du travail par simple recopie d'écran. Cette astuce ayant l'avantage de ne pas avoir à intervenir sur les applications spécialisées.
2. La télé-communication est considérée comme moyen de réaliser un apprentissage de masse, une nouvelle possibilité de dialogue et de remédiation.
3. L'apprentissage est un produit de la compréhension et celle-ci ne peux se faire qu'à travers la réalisation de tâches.
4. En effet, *Jean-François Perret* et *Anne-Nelly Perret-Clermont* [19] du département de psychologie de l'université de *Neuchâtel* (*Suisse*) situent l'enjeu de ces nouvelles technologies au delà de la simple reproduction d'un contenu : "l'enseignement privilégie traditionnellement la situation collective des cours",..."L'accès au savoir, moyennant une médiation appropriée, peut s'effectuer individuellement, et l'appui "just in time" d'un **alter** peut être obtenu à domicile, par communication télématique, au sein même d'un espace qui était par excellence celui du travail individuel."
5. Maître de conférence au *CUEEP-TRIGONE* de l'université de *Lille* [3]

courrier, la télécopie, le téléphone et le pilotage à distance d'un ordinateur sont à privilégier. Pour le deuxième type, le coût est un facteur déterminant, entre la conférence téléphonique, les messageries Minitel (je rajouterai les *IRC*) et les outils de vidéo-conférence.

3.1. Nos contributions

A l'époque de la mise en route du projet des services TÉLÉSIA à l'*INRIA*, les communications par fax, téléphone, forums électroniques avaient déjà atteint un niveau qualitatif suffisant pour être définis comme des outils de travail coopératif assurant un certain niveau de présence fantasmagorique. Le champ d'étude de la télé-présence à travers le document partagé, la voix et l'image animée restait à défricher dans un niveau métaphorique plus intégré, matérialisé, au mieux à l'époque, par l'ordinateur individuel. La télé-présence s'établit à plusieurs niveaux. Nous l'avons vu avec le courrier électronique et les discussions sur les *IRC*. L'apport de l'image animée et du son ne doit pas la réduire à ces deux media, elle peut être aussi induite par un affichage de texte partagé, un pointeur qui se déplace sur l'écran. Chaque type d'outil crée un espace commun spécifique, basé sur un mode de communication écrite, orale, graphique, gestuelle, désignation, ou un couplage de plusieurs de ces modes. Nous verrons par la suite qu'à l'intérieur même de ces types de télé-présence, des gradations doivent être définies, selon les usages, voire même, selon les instants à l'intérieur d'un usage précis.

Notre apport consistera à intégrer des techniques de base, des activités réelles dans une production complète et fidèle. Les activités peuvent être soit synchrones, c'est le cas du séminaire et de la réunion, soit asynchrones c'est le cas des cours enregistrés. Avant d'aborder une description exhaustive et cumulative des technologies à mettre en œuvre pour atteindre cet objectif, nous avons tenté de délimiter les conditions nécessaires à ce qui peut être qualifié de présence humaine.

3.1.1. La présence

La relation humaine, qui est une motivation de notre nature, s'établit à travers le contact. Le corps humain dispose ainsi, d'unités sensorielles, plus communément appelées les cinq sens : la vue, l'ouïe, le toucher, le goût, l'odorat. Dans le processus de mise en relation de deux personnes, l'usage des cinq sens est une première étape, d'autres sont nécessaires qui passent par la mémoire, l'intelligence, pour aboutir à un niveau de reconnaissance indispensable à l'établissement d'une relation de qualité, c'est-à-dire basée sur la confiance réciproque.

Ainsi lorsque deux personnes sont face à face, l'une émet un certain nombre de signaux vers l'autre et vice versa :

- **lumineux**, c'est son image produite par l'apport d'une source de lumière,

- **sonores**, c'est sa voix, produite par la vibration de ses cordes vocales sous l'effet de son souffle,
- **tactiles**, c'est l'approche qu'elle peut avoir vers vous, jusqu'au point de contact entre son corps et le vôtre,
- **odoriférant**, Chaque personne possède sa propre odeur corporelle, et le désir de séduction des humains les a orientés vers la manipulation de parfums représentatifs de la personnalité,

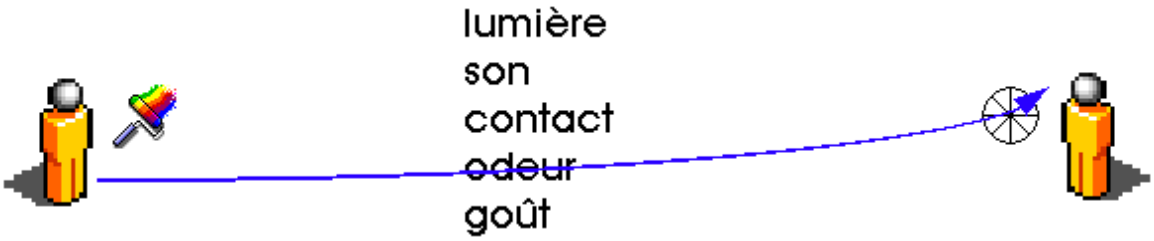


Figure 1 : Éléments constitutifs de la présence

- **goûteux**, sans verser dans la pruderie, nous n'attacherons pas d'importance particulière à ce sens. Sa mise en œuvre nécessite, dans nos cultures, d'avoir dépassé un niveau de mise en relation que nous n'avons pas encore abordé à ce stade.

De ces cinq types de signaux, un certain nombre nous parvient, en fonction des conditions dans laquelle se déroule la mise en relation. Le premier niveau de perception est de nature physique. De même qu'ils sont émis par des phénomènes physiques, ces signaux sont reçus par des organes sensoriels qui réagissent physiquement. L'oeil reçoit une image, l'oreille un son, la peau un contact, le nez et la bouche des odeurs et des goûts. L'ensemble de ces informations est traduit en signaux physiologiques envoyés vers le cerveau qui les décode. Une première action d'interprétation de ces perceptions est réalisée. Elle vous permet de vous rendre compte de l'environnement qui vous entoure et de la richesse qu'il représente par ses productions sensorielles. Puis, l'intelligence vous permet de reconnaître dans un premier temps une personne, elle parle, elle vous regarde, elle vous tend la main, associée à votre mémoire, elle vous permet de reconnaître cette personne : "je l'ai déjà vu, où ? Pourquoi ? Qu'avons-nous fait, dit ?". Votre culture sociale vous permet, à travers sa gestuelle et ses propos, de reconnaître le contexte de cette mise en relation, amicale, inamicale.

En quelques secondes, la situation de mise en contact est passée par quatre stades :

- l'observation des phénomènes physiques,
- la reconnaissance, physiologique,
- la compréhension, intellectuelle du contexte de cette présence,
- l'interactivité, entre les deux personnes, basée sur un contexte commun compris et admis.

Les quelques secondes évoquées précédemment ne sont pas invariantes, et il est aisé de comprendre que de nombreuses conditions peuvent agir sur ce laps de temps nécessaire à

l'établissement de la relation. Les signaux sensoriels émis peuvent être dégradés par diverses conditions externes : lumière trop faible, bruit environnant, courant d'air. Mais aussi, parce qu'ils sont, dès l'émission, dans un état qui ne vous permet pas de reconnaître leur émetteur : la voix est cassée, son visage est hirsute, etc...

3.1.2. La télé-présence

Le contexte particulier qui nous intéresse est celui de deux personnes suffisamment éloignées, pour qu'elles ne puissent pas se percevoir, autrement qu'à travers des media. Le rôle de ces media est donc de rétablir le transfert des sens émis et reçus par chaque personne. A ce jour, de nombreuses technologies nous permettent de rétablir cet échange avec différentes qualités et possibilités d'interaction. Nous allons tracer le chemin suivi par chaque sens, voir comment il est techniquement appréhendé, transmis, puis restitué. Mais dans un premier temps, force est de constater que, des cinq sens décrits précédemment, l'état courant de la technologie ne permet pas de les appréhender dans leur intégralité. Nous sommes ainsi limités dans cet exercice à deux sens principaux : l'ouïe et la vue. Certes, il existe des prototypes de matériels, qui permettent d'appréhender et de restituer avec plus ou moins de bonheur, deux autres sens qui sont le toucher à travers le mouvement, ainsi que l'odorat. Mais le travail sur ces sens en est encore au stade de la recherche, et ne permet pas encore de les mettre en situation professionnelle. Nous sommes conscients que l'odorat n'a pas une importance capitale dans une session de télé-formation, alors qu'il peut jouer un rôle déterminant dans une consultation d'expert, un télédiagnostic. Malheureusement, le champ des odeurs, reconnues et restituées, n'est pas encore suffisant, pour que ce sens puisse jouer un rôle majeur.

Le premier maillon de la chaîne dans ce transfert sensoriel consiste à saisir l'image et le son. Actuellement, les caméras et les microphones ont atteint un niveau de fiabilité, de standardisation et de disponibilité suffisant pour être à la portée d'un grand nombre d'usagers. Les ordinateurs sont maintenant équipés en standard de cartes d'acquisition du son et l'on voit apparaître des configurations "toutes prêtes" intégrant aussi une caméra et une carte de numérisation de l'image. Du matériel spécifique ou des logiciels transforment ces informations numériques, les préparent à être envoyées sur des réseaux informatiques. A l'arrivée, des logiciels ou du matériel spécifiques décodent ces informations, projettent les images résultantes sur un écran, restituent le son dans des hauts-parleurs ou des écouteurs individuels. Une partie de la chaîne de transmission est établie.

À ce jour, personne ne doute que l'on puisse répondre à la première partie du schéma de la mise en relation : émission-réception des sens. Par contre, pour la compréhension, tout reste à démontrer. Quel niveau d'abstraction sera nécessaire pour passer la barrière de la reconnaissance intellectuelle ? Quelles seront les conditions de saisie-transmission-restitution indispensable au

maintien de la qualité de la relation ainsi établie ? C'est le rôle des expérimentations "in situ", de sortir la critique de son absolutisme : votre image ne bouge pas assez, il y a trop de rouge, le son est mauvais, il n'est pas en stéréo, etc... Autant de propos que vous pouvez entendre sur un stand de démonstration, mais dont l'importance est à relativiser avec l'usage : "mon image est petite et peu fluide, mais cela n'est guère primordial, les élèves m'écoutent et regardent les documents que je leur envoie". C'est la projection dans la réalité qui va déterminer les champs d'action de la recherche : former, c'est diffuser du savoir mais aussi réaliser des tâches ensemble : "certes, l'élève n'a pas un besoin impérieux de me voir, il doit me «sentir présent», par contre le dialogue doit être direct rapide instinctif, vos délais ne répondent pas à cet usage".

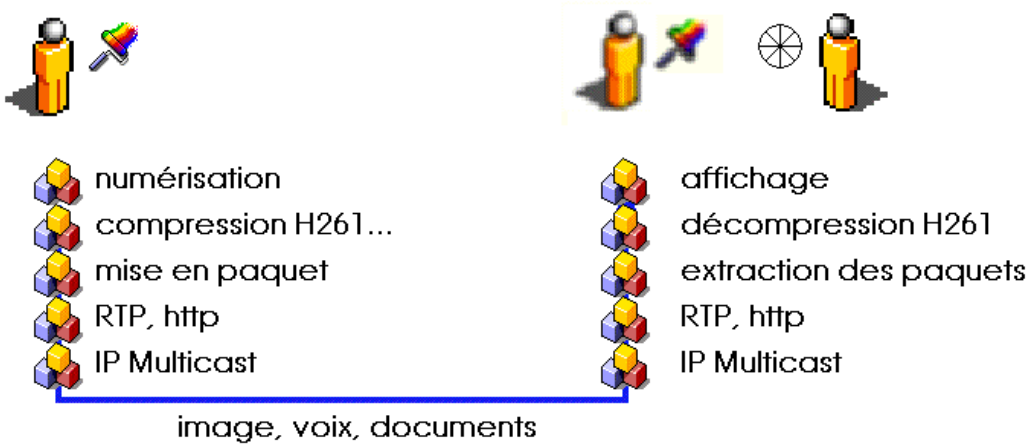


Figure 2 : Mise en œuvre de la télé-présence

L'action TÉLÉSIA se dessinait ainsi sur deux axes : identifier et développer et/ou intégrer les technologies à mettre en œuvre, les mettre en situation réelle, critique. Après une première phase nécessaire à la démonstration de l'intérêt de cette action, et de recherche de partenaires pour la mise en situation, des développements commencèrent. Ils étaient guidés par :

- la nécessité d'améliorer la qualité des logiciels intégrés,
- la mise en situation qui démontrait l'utilité de développements spécifiques,
- l'adaptation de l'outil à l'homme et à son activité.

Le théâtre d'expérimentation, dans les séminaires *Aristote*, et les manifestations de l'*INRIA* amenèrent des critiques. Des éléments d'évaluations doivent alors être définis. Principalement basées sur la perception, les critiques ont d'abord et avant tout un caractère subjectif, qui confirme la nécessité impérieuse de multiplier les expérimentations in situ. Dans un deuxième temps, des éléments de mesure de la qualité de service ont été ajoutés au logiciel. Ils permettent d'établir des relations entre les effets subjectifs des phénomènes observés et le travail du logiciel en émission et en réception. Des travaux importants sur la mesure de la satisfaction de l'utilisateur final ont été réalisés. Ils énoncent une liste de critères subjectifs avec leurs niveaux relatifs d'importance. Un des principes qui ressort notamment dans les travaux d'analyse de *Rao* [38] est de séparer le contexte organisationnel de la satisfaction dans la communication interpersonnelle du contexte

technologique. Ce qui nous éloigne des travaux de *Ronnie T. Apteker* [33] qui mesure la performance de tâches réalisées concurremment à l'affichage d'une vidéo sur la station. Ce papier se confine dans la mesure de l'efficacité du rendu de la vidéo hors d'un contexte coopératif, ce qui est déclaré : "regarder la télévision n'est pas représentatif d'un environnement de travail multitâches".

Plus spécifiquement liés au codeur *H261*, les travaux réalisés à l'université de *Stanford* [17] ont permis de définir une suite de tests internes au codeur/décodeur. Ces tests évaluent la qualité du flux généré par des mesures spatiales et temporelles. Puis, partant des méthodes existantes, *Constant Bit Rate* et *Open Loop VBR*, une nouvelle méthode de production d'un flux de qualité constante à été définie : *Constant Quality VBR*. Un codeur *H261* a été développé qui réalise cette méthode d'auto-régulation, à l'instar de ces ensembles de hauts-parleurs actifs qui corrigent le signal en entrée en fonction du son qu'ils produisent en sortie.

Nos nombreuses expérimentations ont fait ressortir les défauts des premiers logiciels intégrés. L'image trop lente, l'absence de couleur, la fiabilité du décodeur, ont nécessité une récriture de ce logiciel. Le son haché, cliquetant a fait apparaître des problèmes liés aux réseaux et aux pilotes de périphériques des cartes de numérisation de l'audio. Le son est apparu rapidement comme l'élément de qualité subjective principal. Ce pilote a été réécrit dans un style proche des pilotes de périphériques des systèmes d'exploitation, c'est-à-dire en asynchrone. Néanmoins de nombreuses coupures persistaient. Une analyse spécifique des séquences des paquets a démontré que la plaque régionale *RERIF*[1] était interrompue régulièrement, toutes les 90 secondes, pendant une période de 2 secondes. Les paquets correspondants à cette période étaient perdus. Pour des applications classiques, qui utilisent les protocoles *TCP*, cette coupure n'était pas perceptible. Le protocole *TCP* assure la retransmission des paquets perdus. Tout au plus, une légère dégradation des performances, lorsque votre transfert se trouvait "à cheval" sur la coupure, pouvait être perçue mais elle était imputée à une surcharge. La grande sensibilité subjective du son, et l'usage intensif des protocoles *UDP* a immédiatement mis en avant ce défaut et nous a rapidement activés, dans nos recherches, à l'écriture d'un test spécifique d'analyse du comportement du réseau[2]. Le principe du test réalisé est le suivant :

- des paquets sont envoyés sur le port echo/*UDP*[3] d'une machine d'une manière synchrone, toutes les 110 milli-secondes,
- les temps minimum/moyen/maximum d'émission et de réception inter-paquets sont notés tous les 100 paquets,

1. **REseau Régional Ile de France,** est la plaque régionale île de France du réseau *Internet RENATER*.
2. *Andrzej Wozniack* de l'équipe TÉLÉSIA a réalisé ce test et convaincu les services de l'*INRIA* (**Service de Prestation Informatique et Télématique**) de contacter les instances de gestion de *RERIF* pour leur communiquer nos résultats.
3. La pile de protocole *TCP*/*IP* met en œuvre un port appelé **echo** qui permet de re-émettre à l'envoyeur les paquets *UDP* qu'il reçoit.

- le nombre de paquets perdus, ainsi que les séries de paquets perdus consécutivement sont aussi notés.

Le test a été exécuté en Septembre 1994 à différentes périodes de la journée avec des résultats pratiquement identiques :

- le temps inter-paquets (Voir Analyse du comportement de RERIF à la page 145) en émission est assez stable, de l'ordre de 119 ms à 131 ms, mais il est plus variable en réception, ce qui est normal puisqu'il dépend de la charge des routeurs,
- le nombre de paquets perdus consécutivement est, ou bien faible (1 ou 2), ou bien élevé (18 ou 19),
- le temps séparant deux pertes importantes est de l'ordre de 90 secondes (Voir RERIF, histogramme des pertes à la page 147) et que tout le trafic perdu est de 2,5 secondes, ce qui invalide la thèse de saturation d'une ressource, dans ce cas, les temps auraient été beaucoup plus variables.

L'hypothèse suggérée par *Andrzej Wozniack* et *Denis Joiret*[1] concerne les horloges par défaut du protocole de mise à jour des routes **IGRP**[2]. Ce protocole serait la cause du dysfonctionnement de *RERIF*.

Les travaux engagés dans la synchronisation des activités de coopération nécessitaient aussi l'adoption d'un protocole de présentation des données susceptible de fournir, dans un premier temps, des informations d'estampillage temporel. Le protocole *RTP* [3]fut choisi aussi parce que de nombreux travaux le mettent en œuvre. Son adoption positionne les services TÉLÉSIA dans le mouvement de standardisation en cours d'élaboration. Une fois le réseau et les codeurs améliorés, la qualité subjective continuait à souffrir de défauts qui perturbaient l'image du conférencier, et l'image des documents. Dans un premier temps, nous avons donc travaillé sur la présentation des flux continus d'information, dans ce système de transport basé sur des paquets. Cette technique est appelée **mise en paquets**[4]. Développée et testée en 1994 et au début 1995, une technique de mise en paquets, basée sur un principe équivalent, est l'objet d'une proposition de standardisation à l'*IETF*.

1. *Denis Joiret* est membre du *Spit* de l'*INRIA Rocquencourt*, il s'occupe plus particulièrement du réseau du campus.
2. **Interior Gateway Routing Protocol** : c'est le protocole de dialogue inter-routeurs qui permet de résoudre, entre autres fonctions, le routage des paquets IP.
3. **Real Time Protocol** : contrairement à ce que pourrait laisser supposer son intitulé, ce protocole n'assure pas l'intégrité des données dans le temps mais fournit une description standard des flux d'information à caractère temps réel, comme l'image et le son.
4. Le terme de **paquétisation** bien que n'existant pas dans le dictionnaire français est couramment admis dans les documents techniques.

Les expérimentations continuelles du service TÉLÉSIA ont fait évoluer l'application pour l'adapter, au mieux, à l'usage principal : le télé-séminaire. Dans un premier temps, l'application a uni l'ensemble des flux nécessaires en un seul service, plus facile à contrôler et à manipuler. Le séminaire n'étant pas un dialogue continu, le rôle du modérateur s'est révélé rapidement indispensable. Il s'appuie sur des techniques d'asservissement à distance des instances des participants, dans le but de présenter/sélectionner les intervenants et les participants. Enfin, un nouveau service a été construit autour des techniques, de diffusion des documents, basées sur les standards de liens dynamiques[1] du *WEB* et sur l'asservissement de TÉLÉSIA. Ce service **Dia_Dif**[2] offre la possibilité d'enregistrer des conférences, des conférenciers, des documents. Enfin, le jour de la diffusion du séminaire ou du cours, il fournit les outils standards, l'usage des ressources (*FMBONE*[3]) et la mécanique (asservissement) pour sa réalisation. Ses caractéristiques de sauvegarde et de diffusion l'inscrivent implicitement dans le schéma de construction des bases de connaissance.

3.2. Création de l'illusion

Avec l'effet de présence, nous venons de reconstituer ce qui a été formalisé dans le théâtre classique et élevé en art au XVII siècle [22]. Ce principe existait déjà mais avait subit l'outrage de l'oubli et des attaques de la part des théoriciens du XVI siècle. Les règles de construction sont basées sur les trois unités :

- **unité d'action** : l'intérêt doit être centré sur une seule intrigue, dépouillée de tout épisode secondaire,
- **unité de temps** : l'action doit se dérouler en un jour,
- **unité de lieu** : elle doit avoir un seul lieu de théâtre.

Dans la cité antique, l'action est oratoire, donc le théâtre est action. A cette époque, les techniques théâtrales étaient uniquement basées sur les effets de récit. Les changements de lieux, qui sont l'équivalent des transitions, étaient réalisés par la continuité du discours. La liaison représente un acquis décisif[4] dans le sens de l'unité d'action, qui devient avec l'unité de la fable,

1. **URL**, Uniform Resources Locator : système de désignation d'un objet constitué de trois champs, un pour le protocole d'accès, un pour le site de résidence, le dernier pour le chemin d'accès sur ce site. Ce système n'est pas sans rappeler les premières tentatives de désignation de fichiers répartis sur les machines UNIX interconnectées.
2. **Dia**porama **Dif**fusion : est basé sur la représentation *HTML*, l'adressage dynamique des *URL* du *WEB*, la standardisation des formats des documents et le système de diffusion et d'asservissement de TÉLÉSIA sur le *FMBONE*.
3. **FMBONE** : French Multicast Bone. C'est un réseau logique constitué de routeurs spécifiques sur des stations de travail qui réalisent le service de multi-diffusion des paquets *UDP*, selon les protocoles **IGMP**, Internet Group Management Protocol. Le *FMBONE* est une initiative et une réalisation de l'association *ARISTOTE*, il est coordonné par *Christian Donot* de l'*INRIA Rocquencourt*.. Sa topologie est présentée en annexe page 152.
4. Elle est expérimentée pour la première fois par *Garnier* 1545-1590.

l'unique réalité théâtrale : la scène est réputée ne jamais être vide. Par exemple : **la liaison de recherche** est mise en œuvre dans la pièce "les lamentations de Didon". Un personnage ayant énoncé le désir d'en rencontrer un autre, se retourne, avance en continuant son récit et "chemin faisant", il se transporte vers celui-ci qui apparaît à l'autre bout de la scène. Ainsi en un instant, le spectateur est transporté d'un lieu à un autre, d'un instant dans un autre. C'est la formule de transition entre la technique renaissante par juxtaposition pure et simple de "tableaux" et la continuité fluide d'un processus unique. Elle suppose la pluralité des lieux de la scène traditionnelle à compartiments, et à la limite, autorise des retours en arrière temporels ou du moins, de simultanéité des scènes.

Il est en effet possible de considérer l'activité humaine au sein de l'entreprise comme une pièce à interpréter, avec son scénario et ses acteurs. Il ne fait aucun doute que la vie collective quelle qu'elle soit, représente ou théâtralise son activité et les rôles qu'elle institue [23].

Chapitre III TÉLÉSIA

En 1989, la Direction des Moyens Informatiques de l'*INRIA* présente au conseil scientifique une vision prospective sur l'usage du multimedia et des applications interactives sur réseau. Depuis 1991, l'équipe TÉLÉSIA s'est fixée comme objectif de construire et d'expérimenter un service multimedia pour le travail coopératif interactif entre utilisateurs de postes de travail en réseau. L'objectif est l'échange d'information au sein d'un groupe en s'aidant sur la diffusion de l'image, du son et des données. Sur le plan technique, les différents flux d'information sont numérisés, puis compressés au moyen de logiciels spécifiques.

Entre 1991 et 1996, le service TÉLÉSIA a progressivement intégré les évolutions de la technologie et amélioré l'usage :

- 1991 : transmission du son et de l'image fixe (Postscript) en mode connecté et de point à point (*unicast*),
- 1992 : première retransmission TÉLÉSIA sur *RERIF*/*RENATER*[1] en juin 92, puis intégration d'un codec *H261* [2] logiciel et mise en œuvre de la diffusion sélective sur adresse de groupe : le *multicast*. Cette technique a permis d'optimiser la charge induite sur le réseau et d'augmenter l'impact de l'expérimentation. En effet, nous avons pu multiplier le nombre de participants, tout en simplifiant le protocole d'accès à la conférence. TÉLÉSIA intègre la gestion des flux multimedia des différents participants. La vidéo en couleur est ajoutée au début de 1993.
- 1993 : TÉLÉSIA est développée et testée régulièrement grâce à la retransmission des séminaires de l'association *ARISTOTE*. Ces tests en grandeur nature, par leur régularité, et les critères de qualité qu'ils imposent, sont le contexte privilégié de la mise au point de TÉLÉSIA. Le concept de droit de parole, et sa distribution par des techniques d'asservissement à distance, devient le pivot du protocole du séminaire, car il introduit une vraie possibilité d'étudier l'impact de ces technologies sur les activités de coopération. A l'été 1993, les difficultés rencontrées dans la mise en place des liens *MBONE* conduisent l'association *ARISTOTE* à organiser le réseau *multicast* français sous le nom de *FMBONE*. Cette initiative, coordonnée par Christian Donot de l'*INRIA*, entraîne la collaboration de nombreux sites français. Le noeud racine du réseau est installé à l'*EDF-DER* de *Clamart*.
- 1994 : le télé-séminaire *ARISTOTE* est entré dans les mœurs et il devient nécessaire de faire progresser la technique afin d'obtenir une meilleure qualité du service, qui semble souvent altérée par des problèmes de réseau. Que ce soit sur *RENATER* et le *FMBONE*, ou encore sur *ATM-Transrel* [10], TÉLÉSIA à permis d'observer les différents effets subjectifs causés par les pertes des paquets et le délai de transit. La saturation du réseau Internet, qui a une inci-

1. **RENATER** : RÉseau NATional de l'Éducation et de le Recherche, utilise les protocoles *Internet*, sa topologie en Juin 1996 se trouve en annexe page 153.

dence directe sur le débit en K bits/s ou le nombre de paquets/s, a impliqué l'adaptation du service TÉLÉSIA à ces conditions de transmissions difficiles. Pour réduire la sensibilité des décodeurs aux pertes de paquets et améliorer la restitution de l'image, nous avons défini et implanté une nouvelle mise en paquets [30] des flux vidéo, qui tient compte de la structure du flux des informations. L'amélioration du débit de la vidéo, en terme de trames par seconde, la volonté de diffuser un son mieux défini, l'augmentation de la charge globale de l'*INTERNET* et de *RENATER* font penser qu'il y a urgence à étudier des solutions s'appuyant sur des réseaux de plus haut débit.

- 1996 : un système de transmission de documents : *Dia_Dif* est ajouté à TÉLÉSIA. Les transparents des conférenciers sont désormais intégrés aux présentations en temps réel. Ce système inter-opère avec les produits standards de présentation basés sur le *WEB*[1]. TÉLÉSIA devient, ainsi, un outil de travail coopératif de l'Infrastructure Globale d'Information (Global Information Infrastructure)[2].

1. Choix technologiques

L'application TÉLÉSIA a été conçue pour reproduire une communication directe entre personnes :

- par l'usage de protocoles naturels, il s'agit d'adapter le système informatique à la communication de personne à personne en tendant à offrir le plus possible de fonctionnalités du système naturel,
- par l'exercice du droit de parole : demander, donner, reprendre, refuser. L'usage d'un système naturel n'est pas synonyme d'anarchie, des règles très précises régissent les rapports humains, il s'agit ici de les reproduire,
- Partager des espaces d'échange. Les réunions sont aussi le lieu d'échanges d'informations diverses, et aussi de réflexion dynamique :
    - documents écrits,
    - images, son, vidéo,
    - feuille de calcul.
- Prendre en compte l'indispensable :
    - sécurité d'un espace réservé, l'information véhiculée représente la richesse de l'entreprise et peut être un objet de convoitises internes ou externes,
    - enregistrement des événements, le travail collaboratif n'en a que plus de sens. Dès lors que les séminaires ou les réunions peuvent être rejoués, consultés, l'outil informatique participe à la création d'une mémoire de groupe.

1. **World Wide Web** : système distribué de documents référencés dynamiquement par des hyper-liens.
2. Politique de développement économique des télécommunications, infrastructures et services, définie par le G-7.

Les télécommunications, le courrier électronique, les news-groups, ont été banalisés depuis longtemps à l'*INRIA* et au sein de la communauté scientifique, comme le moyen unificateur du travail collaboratif. L'informatique intervient depuis le début, dans le domaine de l'écrit et de la reproduction du texte. Calcul, copie, diffusions des documents en sont les objectifs principaux. Le déplacement de la technique a permis la simulation d'un environnement complet : le bureau. Qu'est-ce, si ce n'est un amoncellement de dossiers, de documents écrits, textuels, documents à ouvrir, consulter, modifier, ranger, distribuer. L'interface graphique des ordinateurs individuels introduit une métaphore du bureau à laquelle l'homme s'est relativement bien adapté. On doit reconnaître aujourd'hui que l'écran se prête encore bien à une représentation en deux dimensions de notre espace de travail lorsqu'il s'agit de traiter des documents et des dossiers. La troisième dimension introduite par des effets de relief, reste à un niveau accessible à notre interprétation mentale des images produites.

Le travail collaboratif à distance nécessite la mise en oeuvre de nouvelles techniques relationnelles. Le son apparaît rapidement, offrant un service téléphonique intégré. L'image s'impose alors comme le seul moyen d'apporter la concrétisation du monde réel et d'échapper à l'abstraction liée à l'informatique.

L'application TÉLÉSIA comprend les principales fonctions suivantes :

- une gestion du séminaire, des auditeurs, la signalisation, et l'asservissement,
- le codage d'une source vidéo aux normes *H261*, adapté aux caractéristiques du réseau Internet avec la mise en paquet,
- le décodage d'une source vidéo,
- le codage d'une source sonore aux normes *PCM G711*, *GSM*, et *ADPCM*,
- le décodage de multiples sources sonores,
- Le contrôle de la diffusion des documents, s'inscrivant dans le système d'information *WEB*,
- l'affichage des documents,
- la gestion des accès au réseau avec les protocoles *RTP* et *IP multicast*.

1.1. Architecture de l'application

L'application TÉLÉSIA est structurée en multi-processus identiques, issus du même processus père, le contrôleur, par division (appel au système `fork` du système *UNIX*). Seul, le gestionnaire de documents *Dia_Dif* génère des processus, dont le code diffère, par l'appel au système `exec` du système *UNIX*. Tous ces processus possèdent donc un code identique mais n'en exploitent qu'une partie, correspondant à leur rôle spécifique. Les processus fils communiquent avec le

processus père par messages, à travers un système d'*IPC*[1]. Par cette communication père-fils, les ordres de réglage spécifiques, de démarrage ou d'arrêt des fonctions du service transitent.

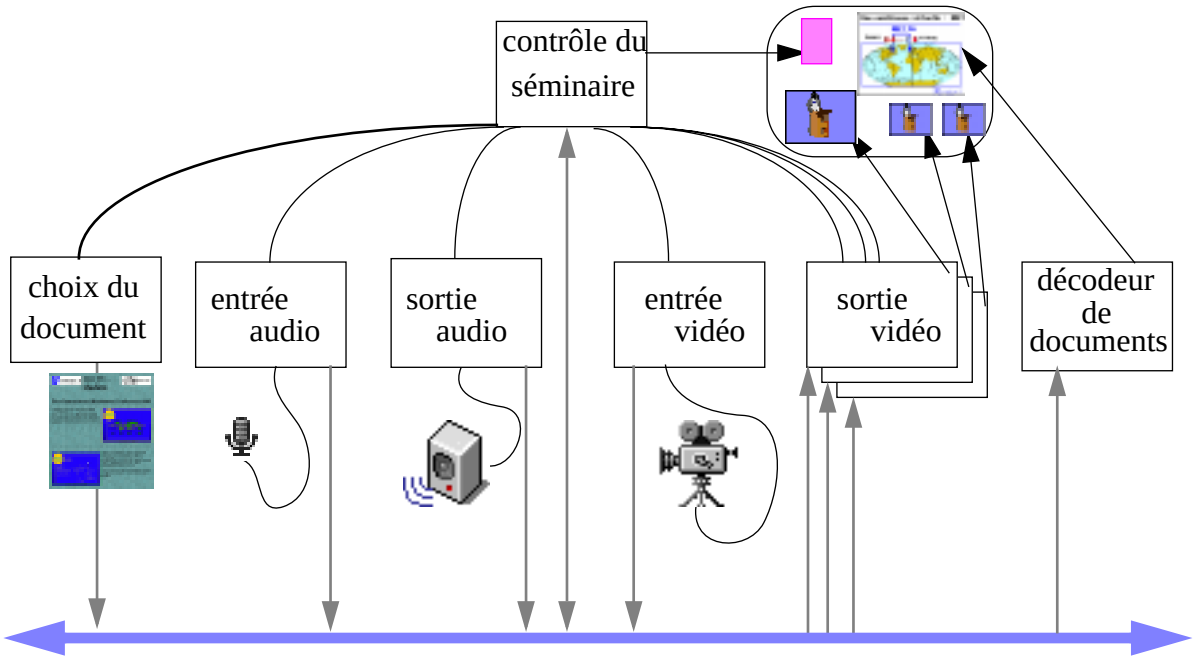


Figure 3 : Description organique de l'application

L'interface est pilotée par le processus père, directement pour lui dans le cadre du contrôle de l'application et de la gestion de son protocole et pour ses fils, codeurs et décodeurs des flux d'informations. Cette interface fournit des panneaux de contrôle qui présentent des outils, boutons, variateurs de réglage des caractéristiques des codeurs et des décodeurs : choix des types de codages, choix des débits, choix des tailles d'images, etc... Les informations saisies sont ensuite transmises par l'*IPC* au processus gérant la fonction. La communication s'effectue dans les deux sens.

1.2. Le son, PCM, ADPCM, GSM

Le son est la deuxième composante multimedia à être apparue sur les stations de travail après l'écran haute résolution couleur. Les premières versions des cartes de numérisation du son permettaient de saisir et reproduire des sons avec une qualité de type téléphonique. Le codage est basé sur le *PCM µlaw* et parfois *alaw*. La norme *µlaw* étant celle en vigueur sur le réseau téléphonique des *USA*, la norme alaw celle en vigueur sur le réseau téléphonique Européen. Dans cette norme, le son est codé sur 14 bits à une fréquence de 8000 hertz, puis chaque échantillon est ramené à une largeur de 8 bits à l'aide d'une table de translation. C'est la différence entre ces tables de translation qui sépare les deux codages *µlaw* et *alaw*. Cette fréquence d'échantillonnage

1. **I**nter **P**rocessus **C**ommunication : système d'échange de données entre processus, issus ou non d'une même filiation, présents ou non sur une même machine. Cette communication s'établit par fichier, par tube, par socket ou par mémoire partagée.

fournit une réponse en fréquence audible couvrant la plage de 300 Hertz à 3500 Hertz. Avec des échantillons de 8 bits, le flux généré atteint un débit de 64 K bits/s.

Une compression *ADPCM*, par codage différentiel, a été rajoutée afin de réduire le débit généré. Celui-ci passe à 32 K bits/s. Cette compression altère très faiblement la qualité sonore, tout au plus, limite-t-elle la dynamique dans les aigus. Pour apporter une solution aux conditions plus extrêmes de bande passante, nous avons rajouté, en 1994, un codage *GSM*. Celui-ci prend en entrée le format *µlaw* et le compresse suivant les normes *GSM* mises au point pour le téléphone portable cellulaire Européen. Cette compression nécessite un calcul conséquent que nos premières stations ne pouvaient fournir, et qui limite son usage, notamment lors des expérimentations, sur un site externe peu équipé. La décompression, comme c'est souvent le cas, est moins coûteuse en puissance de calcul. Le débit du flux audio est alors ramené à 13,5 K bits/s.

Maintenant, les stations de travail sont équipées de cartes de numérisation audio pouvant échantillonner à des fréquences variant de 8000 Hertz à 48K Hertz, sur une largeur de 8 ou 16 Bits. Ces capacités importantes permettent de fournir pour les applications, un son de très bonne qualité, analogue à celui du *DAT*[1] ou du *CD*[2]. L'application TÉLÉSIA ne prend pas en compte actuellement ces possibilités. Nous avons développé, dans le cadre du projet Européen *BETEUS*, une application de coopération basée uniquement sur la transmission du son, sur réseau *IP-multicast*. Elle prend en compte les nouvelles capacités de ces cartes de numérisation, et peut fournir une qualité sonore irréprochable pour les services nécessitant une écoute fiable et/ou de longue durée.

Le codage du son est réalisé par un processus séparé, généré par division (appel au système `fork`) du processus maître. TÉLÉSIA ne gère qu'un codeur de son par instance, ainsi qu'un seul pilote de carte son. Le processus de codage du son est créé chaque fois que l'utilisateur demande à générer du son par un bouton situé sur l'interface principale. Une fois le processus créé, le son est prêt à être émis. L'utilisateur devra choisir le mode d'émission, soit automatique par détection de seuil, soit continu, soit par le bouton "push to talk" présent sur l'interface principale. Les échantillons sonores, une fois extraits du pilote de la carte d'acquisition directement en format *µlaw*, sont alors, soit directement fournis à la couche réseau, soit compressés en *ADPCM* ou en *GSM* avant d'être présentés eux aussi à la couche réseau. En 1995, une nouvelle mise en paquets a été développée pour le format *PCM*. Elle exploite le même concept de dispersion des échantillons sonores, réalisé sur le Compact Disc. Le principe réside dans le non positionnement contigu des échantillons, sur le support, le *CD* ou les paquets du réseau. Ainsi, chaque échantillon est découpé en parcelles qui sont dispersées sur des plages du disque, ou dans des paquets différents sur le réseau. La rayure du disque ou la perte d'un paquet va impliquer la disparition de

1. **DAT** : Digital Audio Tape, échantillonnage à 48K Hertz pour une largeur de 16 bits.
2. **CD** : Compact Disc, échantillonnage à 44,1K Hertz pour une largeur de 16 bits.

plusieurs petites parcelles non contiguës dans le temps. Cette parcellisation des pertes ne sera pas audible.

Le décodage du son est réalisé par un seul processus pour l'ensemble des flux sonores. Les flux sont extraits, de l'interface réseau unique, correspondant au couple groupe multicast / port. L'ensemble des flux est lu, et seuls ceux correspondant aux auditeurs sélectionnés par le modérateur du séminaire sont décompressés puis envoyés au pilote de la carte son. Cette architecture non symétrique facilite, à la réception, le mixage des sources sonores.

1.3. L'image animée, H261

Le traitement de l'image animée est réalisé de façon symétrique. Un codeur par flux et un décodeur par flux. En 1992, lorsque la question de l'image animée s'est posée, en remplacement de l'image fixe, il y avait des développements logiciels dans ce domaine. Les premières recherches s'étaient orientées vers le standard *MPEG* [6] dont l'application principale, la télévision numérique, semblait plus prometteuse. Les résultats ne permettaient pas, cependant, d'envisager un traitement entièrement logiciel avant quelques années. Le standard *MPEG* ne s'inscrivait pas, à cette époque, dans le domaine du temps réel. Seul le standard *H261*, défini pour le visiophone[1], semblait offrir la simplicité, l'efficacité suffisante pour une réalisation entièrement en logiciel. Un tel codeur-décodeur était en développement à l'*INRIA* dans le projet *RODÉO*. Une première version noire & blanc a ainsi été intégrée dans l'application TÉLÉSIA. Elle a été ensuite étendue à la couleur.

Le standard *H261*, définit deux tailles d'image le *CIF* (325 x 288) et *QCIF* (176 x 144). L'usage dans les retransmissions des séminaires nous a amenés à définir et à développer une taille supérieure *SCIF* (704 x 576), nécessaire à la retransmission des documents papier des conférenciers. L'originalité dans le choix du standard *H261* réside dans l'adaptation du flux résultant, à la structure des paquets *IP*, alors que le système est conçu pour fournir un flux synchrone sur des liens multiples de 64K bits/s. La première réalisation avait prévu une mise en paquets [36] d'après les critères suivants :

- un algorithme simple pouvant intégrer un flux en provenance ou à destination d'un codeur-décodeur matériel. L'application TÉLÉSIA, doit pouvoir s'intégrer dans un contexte plus large et non exclusif,
- les paquets doivent être indépendants les uns des autres, ils doivent pouvoir être traités séparément quelles que soient leurs séquences,
- l'algorithme doit faciliter la re-synchronisation du décodeur en cas de pertes de paquets.

1. Appareil de téléphonie intégrant l'image animée. Il est destiné à un fonctionnement sur le réseau numérique à intégration de données.

Nous verrons qu'à la suite des expériences, réalisées dans des contextes réseaux très différents, cette mise en paquets a été entièrement récrite.

Outre la taille de l'image, de nombreux paramètres permettent de régler la qualité subjective de l'image : fluidité exprimée en nombre d'images/s, taux de compression, taux de détection des changements, débit maximum en K bits/s ou en images/s, etc... L'ensemble de ces réglages permet d'adapter au mieux la production visuelle aux capacités des réseaux, et aussi des stations de travail qui décodent le flux. Dans le codeur, le flux produit est passé à la mise en paquets, puis chaque paquet est livré aux couches qui gèrent le réseau : *RTP* et *IP*.

Dans le décodeur, le chemin est inversement symétrique, du réseau vers l'extraction des paquets *RTP*, puis vers le décodage, enfin l'affichage par le serveur *X11*.

1.4. Les documents, Dia_Dif

Après deux ans de réflexion et d'attente de l'émergence d'un standard de présentation de données, associé aux applications de travail coopératif et de télé-enseignement, nous avons développé une application destinée à transmettre, commander, synchroniser l'affichage de documents sur des stations de travail distantes, interconnectées par un réseau respectant les protocoles *IP*. Ce système devait :

- transmettre les documents de l'équipement du conférencier ou d'un site décentralisé, vers les équipements des participants un par un, ou par sur-ensemble,
- permettre au conférencier de désigner un document à visualiser,
- afficher sur l'équipement de chaque participant le document désigné par le conférencier,
- gérer l'ensemble de l'administration des documents et de la présentation d'un conférencier,
- gérer l'administration d'une conférence.

Les apports attendus de ce système résident dans une amélioration significative de la lisibilité des documents, une réduction de la bande passante prise sur le réseau Internet, apporter la possibilité de feuilleter un ensemble de documents locaux, par exemple un *CDROM*, dans un contexte de réseau plus dispersé et de débit plus faible comme un *RTC*.

1.4.1. Contraintes

L'expérience acquise lors de la diffusion des séminaires de l'association *Aristote*[1], montre que le réseau *Internet* et le *FMBONE* sont souvent à la limite de la saturation. Il importe donc de concevoir un système de transmission qui s'adapte à ces pics de charge et en exploite les creux, par le biais d'une organisation structurée. Ceci, afin de ne pas gêner la transmission des autres flux du séminaire : l'audio et la vidéo.

Le système devait s'intégrer dans l'application TÉLÉSIA, qui met en oeuvre le protocole d'encadrement et de description d'activités : *RTP* [13]. Ce protocole est à un niveau de *RFC*[2] à l'*IETF*. Son utilisation est un gage d'inter-opérabilité, et au delà, fournit des outils pour la synchronisation des activités. Mais le système développé devait aussi pouvoir être utilisé séparément, seul ou en parallèle à toute autre application de vidéo-diffusion. Dans le cadre de son utilisation avec l'application TÉLÉSIA, ce système devait pouvoir fonctionner avec le réseau de multi-diffusion *FMBONE*.

Le système doit être flexible : en proposant un grand nombre de formats de documents statiques, en prenant en compte un nombre variable de participants, en acceptant en entrée un large choix de formats de documents électroniques, générés par les outils standards du commerce.

1.5. L'Administration du séminaire

En parallèle aux développements technologiques, l'administration des séminaires a aussi été un souci d'expérimentation très présent dans l'équipe TÉLÉSIA. De même que la juxtaposition d'une image animée et d'un son de qualité ne produisent pas une activité coopérative, de même, l'existence d'outils de coopération sur les réseaux, les capacités de multi-diffusion de l'*Internet* ne permettent pas de synchroniser des activités humaines. Un parallèle pourrait être établi avec l'annuaire des *PTT* qui permet aux citoyens usagers du téléphone public de retrouver un correspondant et de tenter une mise en communication. Une étape supplémentaire a pu être franchie avec l'apparition des répondeurs automatiques qui enregistrent des messages parlés et permettent ainsi aux interlocuteurs de s'accorder, par exemple sur une tranche horaire de rappel, c'est-à-dire l'établissement d'un **rendez-vous**, la mise en place d'un point de synchronisation. Nous ne deviserons pas sur l'arrivée des téléphones portables qui bousculent cette méthodologie, en voulant supprimer la notion d'inaccessibilité. L'organisation d'un séminaire, d'une réunion,

1. ***Aristote*** est une association qui regroupe de grands utilisateurs de moyens informatiques, répartis dans les secteurs aussi divers que l'éducation (*École Polytechnique*, *HEC*...), la recherche (*INRIA*, *CNRS*, *CNET*...), l'industrie (*CNES*, *Siemens Nixdorf*, *Thomson-CSF*...), les services avec la *BNP*, la *Cisi*, *Euriware*... Rassemblés par groupes de recherche thématiques, ils joignent leurs efforts d'études prospectives, de formation, d'expérimentation et de promotion de nouveaux services. Le groupe réseau a demandé la retransmission des séminaires sur l'Internet en association avec le projet TÉLÉSIA
2. **Request For Comments** : procédure de proposition, d'étude et de vote de protocoles, liés à l'*Internet*.

nécessite la communication plus ou moins publique, d'une méthode d'accès à l'événement aussi bien pour les participants que pour les intervenants. Communication qui, à l'instar d'un carton d'invitation, doit contenir : l'adresse ou l'on se retrouve, les critères d'entrée ou de sélection, les modalités financières ; et pour les intervenants, l'adresse de l'entrée de service, et tout ou partie du scénario à jouer. Puis, au moment de la réalisation, il faut se donner et mettre en œuvre les moyens de contrôle concordant avec les pré-requis annoncés.

L'objectif de ce travail a été de fournir à titre expérimental une méthode d'organisation de séminaire libre, c'est-à-dire sans droit d'entrée et donc sans contrôle pour les participants. Cette administration consiste à déclarer la conférence dans les structures des serveurs et à permettre aux intervenants de déposer leurs documents. Puis, le jour venu, de les exploiter avec le reste de l'application, pour réaliser leur service de télé-enseignement, télé-séminaire. Ce développement expérimental s'intègre dans la volonté de promotion des services avancés de l'*Internet*, auprès des utilisateurs potentiels, qui anime l'équipe TÉLÉSIA.

Cette tâche d'administration des séminaires organisés avec l'outil de travail coopératif TÉLÉSIA est un service devant être mis à la disposition des utilisateurs de l'*Internet*, qu'ils soient organisateurs ou intervenants. A ce titre, cette tâche doit répondre à deux critères importants pour s'intégrer dans une organisation expérimentale, mais néanmoins professionnelle :

- **la convivialité** : en donnant à l'utilisateur l'envie de continuer à utiliser le service. Elle peut être assurée par l'attrait des images, la précision des icônes métaphoriques et la concision des textes,
- **l'interactivité** : elle permet à l'utilisateur d'inscrire son action dans un processus administratif qui peut être perçu comme rébarbatif. L'interactivité, liée aux aspects conviviaux développés précédemment, supprime l'ennui et anime le service,
- l'**ouverture** : le système doit permettre de constituer une bibliothèque de documents de cours, de séminaires d'usage libre,
- **la disponibilité** : tout comme dans le cadre des séminaires organisés avec l'association *Aristote*, ce service doit être fiable et disponible à tout moment.

1.5.1. Les fonctionnalités

L'administration développée n'a pas pour objectif de couvrir l'intégralité d'un service commercial. Elle doit permettre, avec un minimum d'encadrement, de mettre en place la logistique indispensable à la réalisation d'un séminaire avec l'outil TÉLÉSIA. C'est une application expérimentale destinée à promouvoir les services de télé-enseignement, en faciliter l'accès et la réalisation. Les fonctions développées ont donc été conçues dans un souci de simplicité et d'utilité :

- déclarer un séminaire : son titre, sa date, ses intervenants, les indications liées aux outils

Internet pour le suivre,

- déclarer les intervenants : leur nom, le jour et l'heure des interventions, les transparents,
- exécuter le séminaire : fournir l'accès des transparents aux intervenants.

1.6. Usage : réunion libre, séminaire

L'application TÉLÉSIA s'exécute dans deux modes sélectionnés au démarrage. Ils correspondent à des usages différents : la collaboration en groupe, le télé-séminaire. Les premières versions de TÉLÉSIA se contentaient de diffuser du son et des images animées, soit en point à point, soit sur un groupe de diffusion. Ce mode de fonctionnement très libre laissait une marge de manœuvre importante à la monopolisation de la parole. Monopolisation, que la distance amplifie et que l'on remarque, aussi dans l'usage du téléphone, qui autorise une augmentation de l'agressivité verbale. La mise en situation de TÉLÉSIA avec les séminaires *Aristote* a vite démontré la nécessité de concevoir un protocole de mise en œuvre de l'application qui soit plus en rapport avec cette activité de diffusion du savoir. Ainsi deux voies d'expérimentation s'ouvraient : l'usage télé-réunion, l'usage télé-enseignement avec en particulier le télé-séminaire.

1.6.1. La télé-réunion

Cette voie présente, nous l'avons succinctement décrit, des difficultés. Non pas, dans sa conception et réalisation informatique, mais plutôt dans sa conception par rapport à un véritable usage et service humains. Il ne nous paraissait pas raisonnable de concevoir un système, dont le protocole aussi complexe soit-il, ne réponde pas à un service. La gestion du droit de parole dans une réunion est un art qui nécessite beaucoup de doigté, de finesse. Ce savoir faire pour un responsable de réunion, met en œuvre un ensemble d'informations que l'état qualitatif des outils ne pouvait pas fournir. Une autre solution dans ce domaine aurait été de s'appuyer sur les travaux réalisés avec les "salles de décisions". Nous ne savons pas encore quel est le niveau qualitatif des décisions qui sortent de ces réunions téléguidées, mais un tel système ne résout pas l'ensemble des situations.

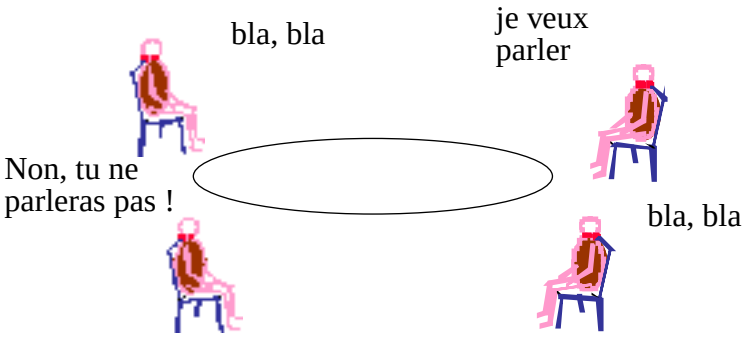


Figure 4 : Télé-réunion, distribution de la parole

Maintenant que les techniques de transmission de la présence atteignent un niveau qualitatif élevé, il doit être possible de se pencher sur cet usage, afin de lui donner un sens dans un contexte professionnel. Nous allons le voir plus en avant, les expériences réalisées nous ont montré que d'autres aspects, plus techniques cette fois-ci, doivent être pris en compte dans la synchronisation de cette activité humaine de réunion. La reproduction de ces règles doit s'inscrire de façon naturelle dans la conception de l'application. L'outil devient ainsi un prolongement et non un ensemble de contraintes. C'est le but lié à l'activité de l'équipe TÉLÉSIA au sein de l'association *Aristote* :

- identifier,
- décrire,
- réaliser,
- expérimenter,

les protocoles sociaux naturels, maîtrisables avec l'outil informatique, par une pratique de terrain.

1.6.2. Le télé-séminaire

La mise au point d'un service automatisé nécessite la définition de l'usage et la spécification des techniques appliquées pour sa réalisation. La collaboration avec l'association *Aristote* a dicté le choix du télé-séminaire. Le télé-séminaire présente l'avantage de pouvoir mettre en œuvre des techniques, dans le cadre d'un protocole dominé et maîtrisable avec des outils automatiques.

La réglementation sociale du séminaire est apparue rapidement plus facilement reproductible à court terme, par rapport à la télé-réunion, dont on sait qu'elle est génératrice d'un comportement plus agressif des intervenants, nécessitant une étude sociologique préliminaire. Les fonctions qui ont été identifiées dans un séminaire se caractérisent ainsi :

- un **modérateur** présente les conférenciers, s'assure des moyens mis à leur disposition pour le bon déroulement de leur intervention. Il doit ainsi assurer la disponibilité des documents du conférencier pour l'ensemble des participants. Il dispose d'une interface de commande lui permettant de télécommander le chargement des documents lors de chaque intervention ou pour l'ensemble des interventions du séminaire. Le modérateur gère le droit de parole, c'est-à-dire qu'il décide qui est vu, entendu, lu, par l'ensemble des participants. Ce choix s'exerce principalement sur le conférencier, puis sur les participants qui posent des questions. Pour cela, le modérateur dispose des moyens techniques de pilotage des applications distantes des

participants.

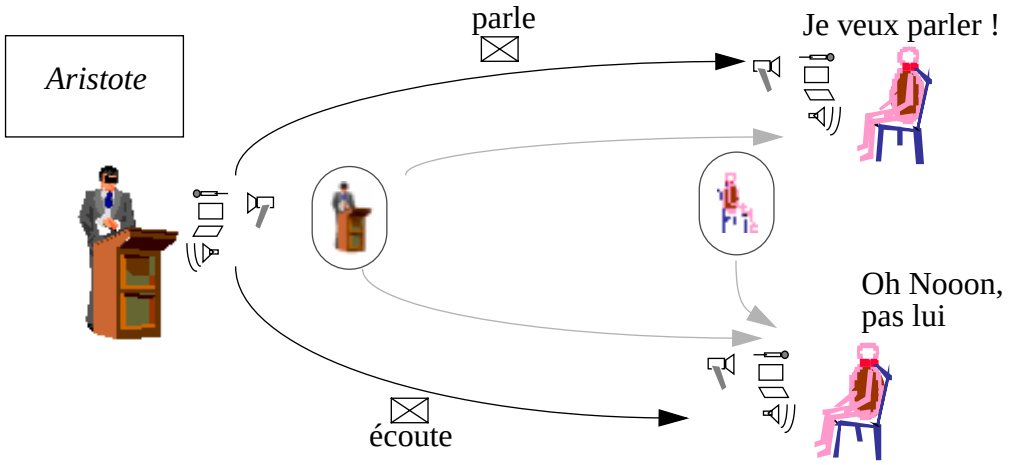


Figure 5 : TÉLÉSIA fonctionnel, contrôle et asservissement

- le **conférencier** ne doit s'occuper que de son intervention. Les outils mis à sa disposition, pour cela, doivent être d'un usage simple et souple, tout autant que les classiques transparents d'aujourd'hui. L'interface lui permet de visualiser l'ensemble de ses documents, de télécommander le chargement et l'affichage du document choisi. La réalisation audiovisuelle ne doit pas être à sa charge mais les contraintes doivent lui être explicitées,
- les **participants**, sont asservis par le modérateur. C'est-à-dire qu'ils ont un rôle en majorité passif : écouter, lire, voire, prendre des notes, et parfois poser des questions. Les participants ont accès à une interface métaphorique simple qui leur permet d'exprimer le désir de participer au débat, ou de poser une question. L'interface intègre ces spécificités, en leur présentant un pilotage minimal : demande de parole, émission d'une image liée au droit de parole. Ils disposent aussi des commandes de réglage de l'image et du son reçu. Les décodeurs audio, vidéo et des documents sont chargés dynamiquement.

1.7. L'accès au réseau

RTP est un protocole de présentation des données qui se destine aux applications manipulant des informations à caractère temps réel. Nous pouvons définir ces informations temps réel en rapport avec leurs exigences vis-à-vis du temps : délai minimum et régulier ; vis-à-vis de la structure : respect de la séquence des informations. *RTP* est un protocole descriptif, il propose un ensemble standard d'en-têtes qui permettent de définir les informations de son application. Les informations contenues dans ces en-têtes peuvent être utilisées ensuite par l'application pour en déterminer un traitement spécifique. Le protocole *RTP* est indépendant du protocole de transport utilisé, il peut être mis en œuvre aussi bien avec les protocoles *TCP/IP* que *STII*[1] ou tout autre protocole. C'est en 1994 qu'une pile *RTP* a été développée dans l'application TÉLÉSIA. A cette

1. **Internet Stream Protocol**, version 2 est un protocole qui fourni une garantie de service de bout en bout sur un réseau Internet. Il fait l'objet du RFC 1190 qui se proposait d'être la version V5 des protocoles IP

époque le *RFC* définissait le protocole à son niveau V1. Depuis, une version V2 est apparue. Elle n'a pas été intégrée dans TÉLÉSIA. Les modifications, y compris l'effet de standardisation induit implicitement, n'ont pas été jugées suffisamment probantes, par rapport à l'activité d'expérimentation, pour valider un nouveau développement. Certaines fonctionnalités nouvelles ont parfois été intégrées, lorsqu'elles paraissaient utiles. Nous décrirons donc, par la suite la version V1. Ce développement a accompagné une récriture complète de l'interface au réseau *IP*. Une modularité, une portabilité plus importante étaient indispensables pour mettre en œuvre les protocoles *RTP* et *RTCP* dans un contexte multi-flux.

Le protocole *RTP* décrit avec l'ensemble de ses en-têtes, un système complet qui dépasse le cadre d'une transmission de bout en bout, de station à station. RTP prévoit l'intégration de passerelles. Ces passerelles sont soit des **translateurs**, qui réalisent une fonction de protection ou de passage d'un tronçon ne supportant pas le *MULTICAST*, soit des **mixers** qui interviennent sur les flux, par exemple, en sommant des flux audio en amont d'un tronçon de réseau à très faible débit, ou en réalisant une interface de l'activité avec des outils différents, par exemple *SeeU SeeMe* avec TÉLÉSIA. Dans la version V1, la description de ces passerelles et du protocole de transcodage des identificateurs dans le cas d'un mixer était encore instable, les options qui traitent ces cas de figures n'ont donc pas été traitées dans TÉLÉSIA.

1.7.1. La pile IP

Il ne faut pas entendre ici, qu'une pile de protocoles *TCP/IP* a été développée dans l'application. Ces protocoles sont préexistants sur les plates-formes qui accueillent l'application TÉLÉSIA. Il s'agit d'une pile d'accès aux protocoles *IP*, qui prend en charge les multiples syntaxes et sémantiques de l'adressage *IP*. Ainsi, l'interface de cette pile permet d'ouvrir des connections *IP* en lecture ou en écriture, en *unicast* ou en *multicast*, d'envoyer ou de recevoir des paquets. L'interface a été étendue pour contrôler plus finement le fonctionnement des accès *IP*, par exemple la liaison entre une entité réceptrice et une adresse d'émission, et beaucoup d'autres possibilités de comptage.

1.7.2. La pile RTP

La pile *RTP* s'accroche au-dessus de la pile *IP*, qu'elle utilisera pour les accès au réseau. La pile *RTP* propose un nombre d'en-têtes et de descripteurs de format de données, liées aux activités temps réel actuelles, principalement l'audio et la vidéo.

L'en-tête standard contient, entre autre, une estampille séquentielle, et une estampille temporelle. Ces estampilles sont utiles pour restituer la structure du flux en cas de pertes ou de dé-séquentialisation des paquets *IP*. Mais aucun traitement de ces informations n'est prévu par le

document de standardisation. Un document additionnel [14] décrit un profil d'utilisation du protocole, dans le cadre d'une application de vidéo-conférence. A la suite de ces en-têtes standards, nous trouvons, dans le paquet réseau, soit l'information elle-même, soit des options qui s'ajoutent en piggy-back. Les options permettent d'étendre la description des informations et du contrôle de l'application. Le protocole fournit par défaut, des formats d'options, ainsi que le contenu et l'objectif visé par leurs usages. Un format spécifique d'option permet au concepteur d'application, de définir ses propres options destinées aux spécificités de son application. Nous avons jugé utile d'implanter dans ce niveau un module de remise en séquence des paquets *IP* reçus. Cette remise en séquence s'adapte automatiquement à l'état du réseau et peut être inhibée ou activée à tout moment.

Ainsi, les applications qui utilisent la pile *RTP* en réception ont la garantie de recevoir les paquets qui leur sont envoyés, dans l'ordre dans lequel ils ont été présentés au réseau. Ce module hérite d'une conséquence inévitable : les délais d'obtention des paquets par les modules d'application qui sont susceptibles de subir des variations inhérentes à la technique, de gestion de fenêtre à taille variable. Des informations de synchronisation, prévues en standard dans l'en-tête *RTP*, sont utilisées dans la gestion de cette fenêtre, notamment pour forcer un vidage des files d'attente clientes. Nous verrons dans quels cas cette fonctionnalité est utilisée. Ce module de remise en séquence effectue des mesures qui sont elles-mêmes empaquetées et diffusées sur un *port* spécifique. Ce choix de développement reprend les nouveautés que l'on trouve dans la version V2 du protocole *RTP*, avec une variante sur le *port* commun de diffusion.

1.7.3. La pile RTCP

Une application qui manipule des flux temps réel a besoin de pouvoir récupérer des informations de contrôle afin de gérer l'activité globale. C'est le rôle du protocole *RTCP*[1]. Ce protocole s'accroche au-dessus de la pile *RTP* et définit des options spécifiques de gestion ou de mesure. On y trouve entre autre des informations sur les instances actives dans le service en exécution. C'est là, que l'application TÉLÉSIA a défini des options spécifiques pour son contrôle. On y trouvera la description des entités actives, et l'ensemble des informations nécessaires à la gestion du droit de parole, et à l'asservissement à distance des instances des participants. Si nous mettons à part les structures de description, le protocole ne définit pas de traitement standard pour les informations qu'il véhicule. Le document de profil d'une application de vidéo-conférence propose quelques traitements typiques qui ont fait la preuve de leur efficacité, par l'usage, dans certaines applications en activité sur le réseau *Internet NV, VAT, VICK*.

1. Les options spécifiques du protocole *RTCP* sont décrites dans le RFC relatif au protocole *RTP* [13].

Les trois piles se superposent dans l'ordre de niveau de service croissant :

- la pile *IP* est d'abord créé, elle permet d'accéder au réseau *Internet*,
- ensuite la pile *RTP* est créée. Pour sa création, l'identificateur de l'accès *IP* qu'elle devra utiliser lui est fournie en paramètre,
- ensuite en cas de besoin, la pile *RTCP* est créée. Elle reçoit en paramètre un identificateur de pile *RTP* à utiliser pour accéder au réseau.

2. Mise en œuvre

L'application TÉLÉSIA s'exécute dans un contexte *UNIX*, qui sans être complexe, nécessite un contrôle préalable. Ce contexte concerne l'environnement X*11-Motif* ainsi que l'ensemble d'informations qui décrivent l'activité sur le réseau et en local. Les ressources graphiques *X11-Motif* sont soit placées dans le catalogue prévu à cet effet par le serveur *X11*, soit désignées par la variable d'environnement `XENVIRONMENT`. Elles décrivent les panneaux de présentation et d'interaction avec l'application. Les caractéristiques d'accès au réseau sont fournies au lancement de l'application avec des paramètres, comme pour tout programme *UNIX*, mais elles peuvent aussi être fournie dans un fichier spécifique. Ce fichier est alors indexé par la variable d'environnement `TELESIA_FILE`. Un exemple du contenu de ce fichier est disponible dans la [figure 6]

```
VIDEO_PORT:          59374
AUDIO_PORT:          59375
CONTROL_PORT:        59376
DOC_PORT:            59377
IP_GROUP:            224.2.183.142
IP_TTL:              48
FIRST_URL:           http://magoo.inria.fr/Telesia/
```

Figure 6 : Les paramètres de TÉLÉSIA

Outre le groupe *multicast*, nous y trouvons les différents *ports UDP* liés à chaque flux d'information, le *Time To Live* qui détermine l'espace géographique de diffusion et un *URL* qui sera chargé par le système *Dia_Dif* du conférencier pour lui permettre d'accéder aux transparents de la conférence. Un fichier identique est généré automatiquement par l'application TÉLÉSIA sous le nom `.telesia.default`. Il sera ensuite exploité par la système *Dia_Dif*. Voici l'ensemble de paramètres qui contrôlent l'activité de l'application, conférencier/modérateur, participants, ou réunion libre. Ils permettent aussi de réaliser quelques tests et de s'adapter à la

configuration de la station. Par exemple il est possible de spécifier l'interface de sortie sur les réseaux : *FDDI*, *Ethernet*, *ATM*, etc.

```
Usage: telesia [-I @IP[/PortNumber]] [-iname_interface] [-N label] [-d display]
[-T ttl] [-r] [-a] [-v] [-t] [-p] [-s] [-q default_quantizer] [-S squelch_level]
 [-M | -P]
where :
        -I : alternative group address (multicast) or host address or hostname (unicast)
             to be used, an alternative port numbering scheme could also be defined
        -i : interface name to go trough-N : alias name for the local user
        -d : alternative display to be used as "station_name:0.0"
        -T : time-to-live value to be associated with output packets
        -r : only the encoding stations will appear on the control panel window
        -a : disable the implicit audio decoding mode
        -v : disable the implicit video decoding mode
        -t : disable the implicit tools decoding mode
        -p : disable the Push To Talk button
        -s : enable statistics log
        -q : default_quantizer: force the default quantizer value
        -S : squelch_level
        -M : TELESIA will run as Moderator (in multicast mode only) - default is
             free mode
        -P : TELESIA will run as Participant (in multicast mode only) - default
             is free mode
        -f : <name> h261 file name to read
```

Figure 7 : Paramètres d'exécution de TÉLÉSIA

Dans le cadre de l'activité des télé-séminaires de l'association *Aristote*, un script de préparation de l'environnement et de recherche des paramètres est fourni avec la livraison des binaires. Ce script peut être consulté en annexe page 149.

L'application dans un premier temps initialise l'interface avec le réseau, avec le serveur *X11*, charge les ressources graphiques et affiche le panneau principal de dialogue avec l'utilisateur. À ce stade, l'application ne code aucun flux, si ce n'est le contrôle avec la diffusion de son identité.

Par contre, l'application est à même de recevoir les flux audio, vidéo, les documents, codés par les autres participants et de les décoder.

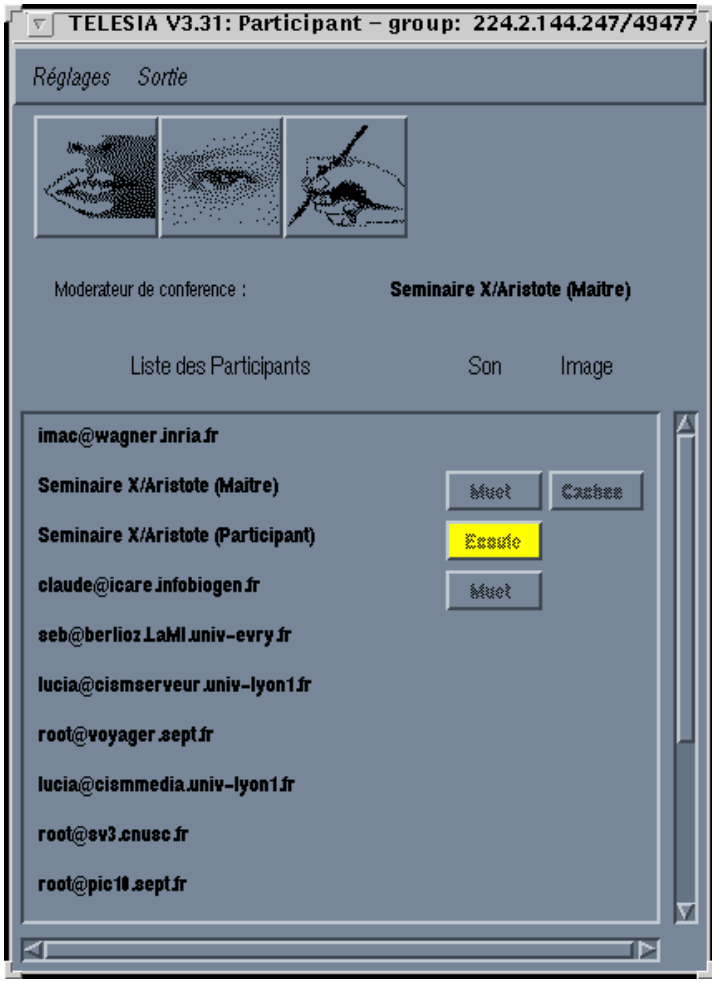


Figure 8 : TÉLÉSIA : panneau principal

Ainsi, sur le panneau principal [figure 8] , nous participons à un des séminaires de l'association *Aristote*, le modérateur est *X/Aristote*. Deux stations sont utilisées pour la diffusion et la station, et sur notre station nous décodons le son de la conférence. Un participant `claude@icare.infobiogen.fr` désire poser une question. Les trois boutons principaux, utilisent une représentation métaphorique pour chacun des codeurs disponibles : le son, l'image, et les documents. La [figure 9] nous montre ces boutons de commandes des codeurs et en particulier, le bouton "appuyer pour parler" qui apparaît suivant les réglages du codeur audio, en mode automatique ou non. Sur cette figure, la couleur jaune des boutons représentant le son et

l'image, métaphore de la bouche et de l'oeil, indique que es codeurs respectif de ces flux sont en action.

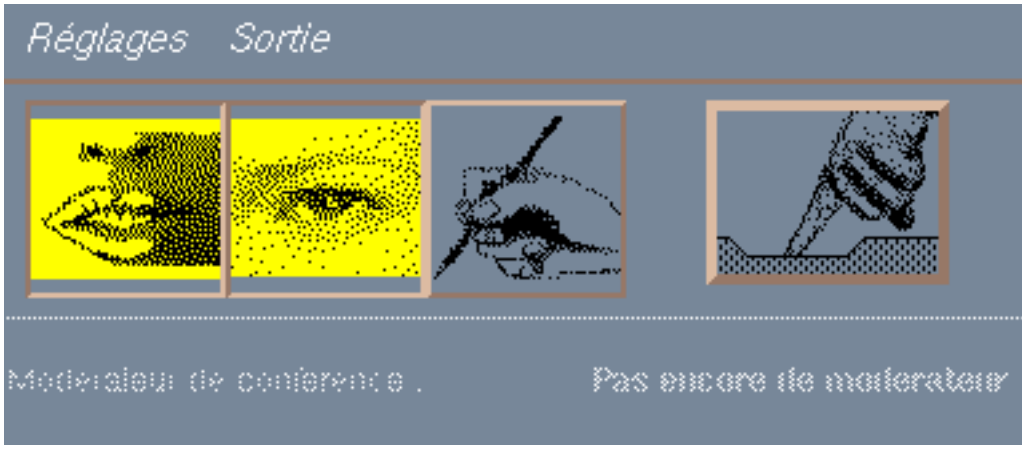


Figure 9 : Commandes métaphoriques des codeurs

La ligne supérieure, contient deux entrées notées "Réglages" et "Sortie". La fonction de cette dernière se comprend implicitement, elle met fin à l'application TÉLÉSIA et diffuse un message de fin aux autres participants de l'activité. L'entrée "Réglages" permet d'accéder aux panneaux de réglage du son et de la vidéo. Celui du son [figure 10] permet de choisir les organes d'entrées et de sortie dépendant de la configuration de la station, donne accès aux réglages volumétriques en entrée et en sortie des flux sonores, de choisir le mode de codage du son, ici le mode *TEAP*, de choisir le *TTL* en émission du flux sonore, le niveau de détection automatique, et de mettre en fonction une boucle automatique de test des fonctionnalités audio de la station.

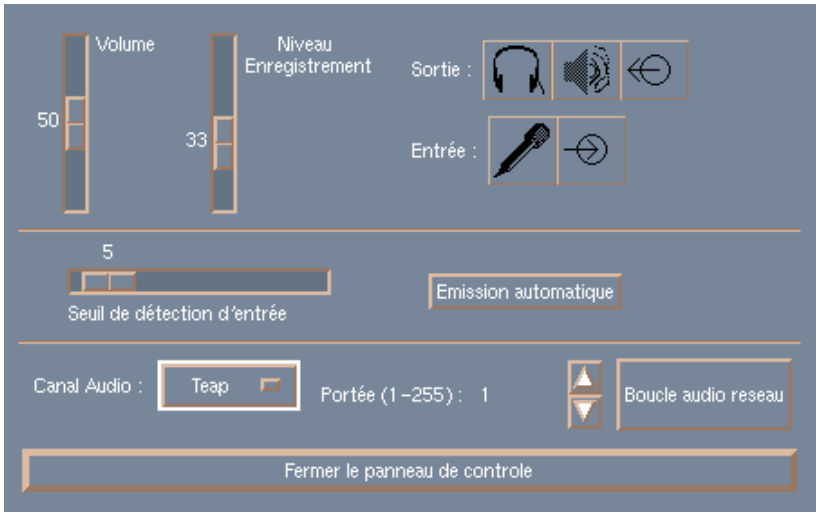


Figure 10 : Panneau de réglage du son

Un panneau équivalent donne accès aux réglages du codeur vidéo. Nous pouvons le voir [figure 11] , ce panneau est divisé en trois zones : l'image, la source, le réseau. La zone image permet de régler :

- la taille de l'image *QCIF*, *CIF*, *SCIF*,

- la qualité de l'émission en couleur ou en noir blanc,
- de fixer une image à envoyer,
- de régler l'image envoyée avec une fenêtre de contrôle.

La zone source permet de choisir le périphérique de numérisation des images et son port d'entrée, *S-video*, *composite*, *RGB* ; ainsi que le format, *NTSC*, *PAL*, *SECAM*.

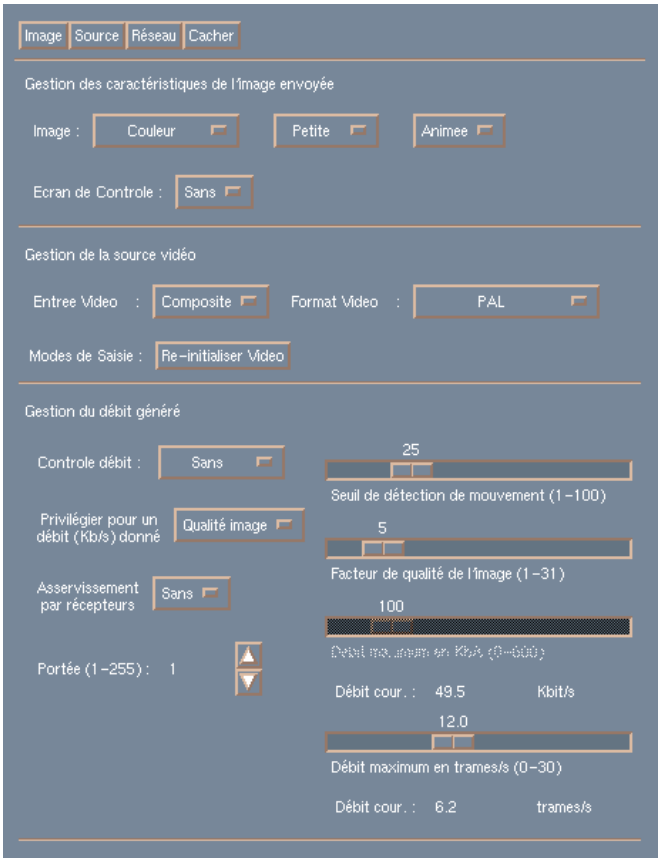


Figure 11 : Panneau de réglage de la vidéo

Enfin, la zone réseau permet de régler le débit de l'image en fonction de plusieurs paramètres :

- la compression de l'image avec le facteur de quantification,
- la fluidité avec le facteur de changement,
- de régler le débit soit en Kbits/s, soit en images/s,
- de choisir l'espace de diffusion géographique avec le *TTL*.

Pour chaque image reçue du conférencier ou d'un des participants, le bouton gauche de la souris ouvre un panneau de réglage. Ce panneau [figure 12] permet de régler :

- la luminosité et le contraste de l'image,
- le facteur d'agrandissement x4 ou /4,

• le décodage ou non de la couleur.

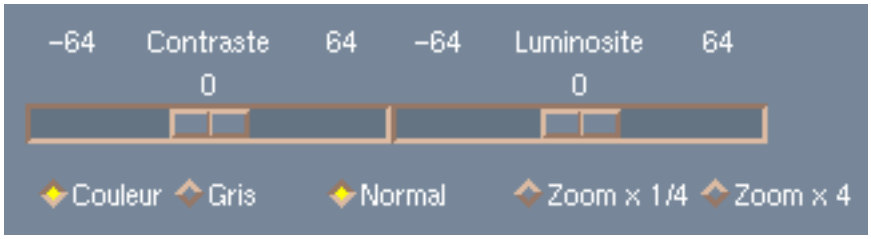


Figure 12 : Panneau de réglage de l'image reçue

Chapitre IV TÉLÉSIA : Réalisation

L'application TÉLÉSIA fonctionne sur des plates-formes opérées par le système UNIX. Elle a été conçue pour tirer parti de ce système, notamment le multi-processus, qui prend tout son sens sur des machines multi-processeurs à mémoire partagée ou non. Ainsi, chaque fonction de l'application est réalisée par un ou plusieurs processus qui coopèrent, pour rendre le service global de mise en relation. La coopération inter-processus met en œuvre les systèmes d'usage courant, que sont les signaux, les tubes ou les ports de communication. L'un de ces processus, le premier à être exécuté, a la responsabilité du contrôle de l'application sur la plate-forme d'exécution et de sa visibilité avec le reste de l'activité coopérative extérieure. Ce processus, en fonction des messages qu'il reçoit avec le protocole *RTCP*, décide des fonctions de décodage à initialiser ou stopper. Il gère aussi le dialogue Homme-Services, pour les fonctions de contrôle, mais aussi pour les autres fonctionnalités : codeurs et décodeurs. Chaque nouveau processus de codage-décodage est issu du contrôleur de l'application par division de celui-ci (appel au système **`fork`**[1]). Le service de gestion des documents *Dia_Dif*, ayant été développé séparément, avec la volonté d'en faire un système de coopération indépendant, ne se plie pas aux mêmes règles de mise en fonction. Le processus *Dia_Dif* est créé par le couple d'appels au système (`fork`, **`exec`**[2]). De même le dialogue qu'il a avec le contrôle de l'application ne suit pas des règles identiques.

Les applications s'exécutent soit en mode participant, c'est le cas des auditeurs d'un séminaire, soit en mode modérateur, c'est le rôle tenu par le conférencier ou un aide. Elles dialoguent en utilisant le même groupe *MULTICAST*. Des *ports* différents sont dédiés pour chaque fonction : contrôle, audio, vidéo, documents, mesures. Ainsi, chaque processus gère dans le cadre de sa fonctionnalité, son canal de communication, couple (adresse *IP*/*port*) sur le réseau *Internet*.

L'application TÉLÉSIA a été développée initialement en langage C, puis à partir de 1994 le C++ est apparu et a apporté, avec sa concision dans la manipulation des données, une plus grande lisibilité du code. L'adoption de ce langage plus structuré a fourni l'occasion de ré-architecturer l'application, d'en améliorer la portabilité et sa maintenance. Le point de départ de cette reconception a été fourni avec l'utilisation de *RTP* et *RTCP* comme protocole de présentation et de pilotage de l'application.

---

1. Dans le système opératoire *UNIX*, l'appel `fork` créer un nouveau processus identique en tout points au premier. L'initiateur est appelé père et le nouveau fils. Les deux processus partagent leur code, les ressources du système : fichiers, sockets mais pas la mémoire, si ce n'est virtuellement par le **copy-on-write**.
2. L'appel au système `exec` charge un code et des données nouvelles, dans la coquille de ressources systèmes du processus courant. Sauf exception explicitement demandée, les ressources systèmes que sont les fichiers ouverts, les sockets, sont conservées.

1. La pile IP

Le module d'accès aux protocoles *IP* offre une interface qui permet de créer et de gérer des connections *IP*, quelle qu'en soit la nature : *UNICAST*, *MULTICAST*. Les appels très simples offrent une interface dont les noms sont bien connus et facilement identifiables :

- `create` (créé le contexte de la connexion *IP*),
- `send` (envoie un paquet),
- `send_to` (envoie un paquet à un destinataire désigné par son adresse *IP*),
- `rec` (lit un paquet non bloquant),
- `recb` (lit un paquet bloquant).

Des extensions de gestion ont été rajoutées afin de manipuler plus finement des informations liées à l'interface socket et à certaines fonctionnalités. Ainsi `ChangeNetStreamTtl` permet de modifier dynamiquement le *TTL* d'une connexion *MULTICAST*, `putechosock` permet d'utiliser les ports *echo* de certaines machines pour établir des circuits de test des flux, `connection` établi une "connexion" entre une socket en lecture sur un groupe *MULTICAST* multi-flux et une machine émettrice, le noyau se charge alors de trier lui même les paquets et ne délivre au processus que ceux qui sont effectivement attendus. Cette dernière fonctionnalité a été développée pour les décodeurs *H261* qui sont mono-flux. Elle a été un des facteurs déterminants dans l'amélioration des performances des décodeurs *H261*. Ce module n'intervient pas sur les données qui lui sont confiées. Son rôle essentiel est de fournir une interface de manipulation simple, quelles que soient les caractéristiques demandées. Entre autres, elle gère les adresses *IP* quelle qu'en soit la forme, numérique ou alphabétique, reconnaît les adresses de groupes *MULTICAST* et *UNICAST*.

2. La pile RTP

Le module de gestion du protocole *RTP* est plus complexe, plus de part les traitements qui ont été rajoutés que par les fonctionnalités intrinsèques. Il comprend trois objets principaux : la gestion de l'interface d'accès, la remise en séquence, la gestion des tampons *RTP*.

- La gestion de l'interface manipule les données liées à l'en-tête principale des paquets *RTP*, les options et les fonctions d'envoi et de réception. La manipulation des options apparemment simple, complique la programmation des couches de l'application. Cet aspect est apparu suffisamment rapidement pour que cette partie du standard, fasse l'objet d'une refonte complète dans la version V2. Nous trouvons les interfaces d'appels :
  - `create` (créé le contexte de cette connexion *RTP*),
  - `send` (envoie un paquet *RTP*),
  - `send_to` (envoie un paquet *RTP* à un destinataire désigné par son adresse *IP*),
  - `rec` (lit un paquet non bloquant),

- `recb` (lit un paquet bloquant).

Puis plus spécifiquement, nous trouvons l'interface de manipulation des champs de l'en-tête standard :

- `putsync` (bit de synchronisation),
- `putfinal` (bit de présence d'option),
- `putts` (positionne l'estampille temporelle),
- `putformat` (positionne le format des données),
- `push` (empile des descripteurs d'options).

Enfin, nous retrouvons une partie de l'interface d'appels à la pile *IP* nécessaire aux manipulations spécifiques des connexions, comme : `getfromaddr` (retourne l'adresse *IP* de l'émetteur), et `connection`,

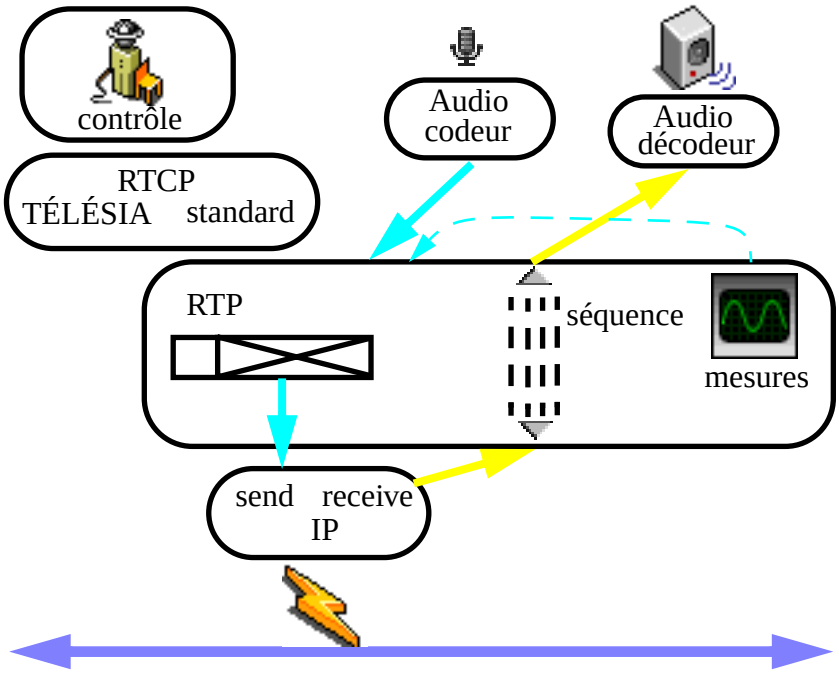


Figure 13 : Architecture de l'interface réseau

- la gestion de la remise en séquence n'est pas accessible directement de l'extérieur du module *RTP*. L'utilisateur peut intervenir sur son fonctionnement en modifiant la taille de la fenêtre de remise en séquence à travers l'interface principale. Cette remise en séquence gère des files d'attente, pour chaque flux en émission, disponibles sur le même couple d'adresse (groupe *MULTICAST*, port *IP*). C'est le cas, entre autre, dans le décodeur audio : les flux sont lus concurremment mais doivent être remis en séquence indépendamment les uns des autres. Ce module gère toutes les mesures de l'accès au réseau. Dans les documents de description des protocoles *RTP*, ces informations font partie du protocole de contrôle *RTCP*. C'est une des différences qui séparent les deux réalisations. Cette différence a aussi été provoquée par un apport plus important de ces informations de QOS dans la version V2, que nous n'avons pas réalisée.

  La taille de la fenêtre de remise en séquence est recalculée régulièrement en fonction des dé-

séquencements constatés. Ce qui apparaît comme techniquement une solution pertinente, induit quelques effets de bords sur la synchronisation des flux. Ainsi, un réseau qui subit momentanément des accidents de dé-séquencement va impliquer un élargissement de la taille de la fenêtre. Cet élargissement sera perçu comme un retard d'un ou de N paquets par l'application. Dans le cas d'un flux vidéo, cela n'a que peu d'importance et sera sans doute à peine visible. A l'inverse pour l'audio, cette attente va représenter un trou dans le flux sonore à jouer. Puis, lorsque la fenêtre sera rétrécie, les paquets supplémentaires prêts à être livrés à l'application ne pourront pas être traités plus rapidement, de par la nature isochrone du flux. Dans le cas de ces flux, il faut sans doute prévoir des bornes maximales d'élargissement de la fenêtre, ou une vitesse de modification de cette taille limitée, et peut être un traitement supplémentaire de changement de pitch[1] sur le son afin de gommer, au mieux, ces effets de tamponnage.

Cette pile *RTP* implante un protocole de synchronisation des flux de bout en bout lors de la mise à jour de l'estampille séquentielle de l'en-tête principale. L'option `BOS`[2] est envoyée, elle contient la valeur de la nouvelle estampille, généralement zéro. La réception de cette option provoque le vidage de la file d'attente associée à cette source émettrice. L'option `BOS` est utilisée avant chaque bouclage de l'estampille séquentielle, et lorsque le codeur audio fonctionne avec le système de détection automatique de niveau sonore.

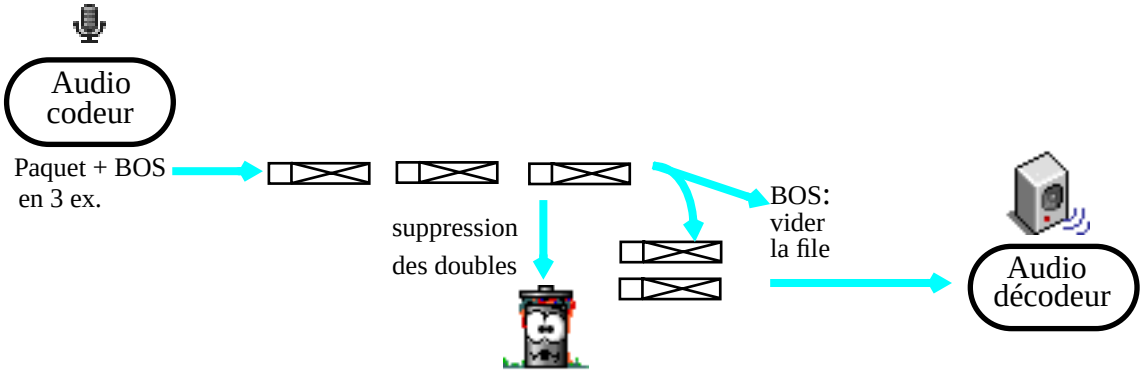


Figure 14 : Synchronisation d'un flux

Ainsi, l'option `BOS` accompagne le dernier échantillon sonore, elle provoque la remise à zéro de l'estampille séquentielle, et le vidage de la file. Les paquets en attente sont joués dans leur continuité. Lorsque le niveau sonore atteindra une valeur suffisante, le flux redémarrera avec une estampille à zéro et en réception une file vide,

- la gestion des tampons *RTP* permet au concepteur de l'application de préparer la mise en

1. le **pitch** désigne, sur un magnétophone, la vitesse de défilement de la bande. La modification du pitch permet de faire défiler plus rapidement ou plus lentement la bande. Dans notre cas, nous pouvons établir un parallèle entre le flux sonore et la bande magnétique. Cette modification de vitesse est souvent accompagnée d'une modification de la fréquence du son. Il existe quelques algorithmes de remise en fréquence des flux sonores, mais ils sont souvent coûteux en temps de calcul. Quelques essais de réduction aléatoire mais pragmatiques, de la taille du flux, pourraient être réalisés.

2. **BOS** : Begin Of Synchronisation, est une option définie par le protocole *RTP*, mais dont l'action n'est pas clairement définie.

paquets de son flux directement dans les tampons manipulés, ensuite, par les modules de gestion du protocole *RTP*, sans avoir de recopie à effectuer. Ces tampons sont structurés avec une zone de données et une zone d'en-têtes. Nous retrouvons donc l'interface de manipulation de ces en-têtes et de la gestion des options :

- `getoption` (avance dans la pile des options),
- `getdata` (retourne le pointeur sur le début des données),
- `getseq` (retourne l'estampille séquentielle),
- `getts` (retourne l'estampille temporelle).

Ces tampons sont créés, soit par l'application lorsqu'elle a besoin d'émettre des données, soit par le module *RTP* lors de la réception des paquets du réseau. Dans ce dernier cas, ils doivent être libérés après l'usage.

3. la pile RTCP et l'asservissement

Ce protocole permet d'encadrer l'activité réalisée par l'application, en offrant un ensemble de descripteurs des utilisateurs ainsi que des informations de mesure et de contrôle des flux. L'implantation de TÉLÉSIA ne concerne que la description de l'activité. Elle utilise le descripteur de la source émettrice et le message de fin d'activité. Nous avons rajouté un descripteur d'activité de la source et un descripteur de télé-asservissement. Ce protocole de gestion d'activité est exécuté par le processus père qui contrôle l'application.

Régulièrement, toutes les 5 secondes, le processus de contrôle de chaque instance, auditeur et modérateur du séminaire envoient le descripteur de la source et de son activité. Les informations permettent de connaître :

- le numéro de version de TÉLÉSIA,
- l'adresse *IP* de la station émettrice,
- le nom de l'utilisateur, qui est soit son nom de login suivi du nom de la station, soit un nom fourni en paramètre au lancement de l'application,
- des drapeaux binaires qui indiquent l'état des codeurs audio, vidéo et documents.

Avec la même régularité, le modérateur du séminaire envoie un message d'asservissement qui informe les participants sur la gestion du séminaire :

- l'adresse *IP* du modérateur du séminaire,
- le `Time To Live` du séminaire,
- l'adresse *IP* de la station du participant sur laquelle appliquer la commande,
- la commande, `écoute`, `affiche`, `fin d'écoute`, `fin d'affichage`.

Ainsi, dès qu'un participant rejoint l'activité, son message de description permet de l'identifier, il apparaît dans la liste des participants affichée par le processus de contrôle. Ce processus

maintient au fil du temps la liste complète des participants ainsi que les drapeaux liés au codage en cours. Le modérateur avec le message d'asservissement indique aux participants la source émettrice qui doit être décodée. Ces sources peuvent être multiples. C'est à l'aide de ce protocole de positionnement d'état que le droit de parole est géré. Lorsqu'un participant désire poser une question, il presse le bouton qui actionne le codeur audio. Le modérateur à l'aide de l'interface liée à chaque participant envoie un message d'`écoute`. L'ensemble des participants peut alors décoder le flux audio émis par le requérant. Il en va de même avec la vidéo. Lorsque l'intervention est terminée, le modérateur envoie un message de fin d'`écoute`, les décodeurs distants stoppent le traitement du flux.

Lorsque l'application est utilisée en mode réunion, sans modérateur, les messages d'asservissement ne sont pas envoyés. Les applications des participants activent les décodeurs chaque fois qu'un flux est codé et indiqué comme tel dans le message de description des participants distants.

Ce protocole très simple a été préféré à l'implantation d'une commande sous forme d'appel de procédure. Les pertes de messages, inhérentes au réseau *Internet*, auraient compliqué la programmation de l'asservissement, avec un protocole de surveillance des transactions en *MULTICAST*. Bien sur, avec les pertes, il arrive que des messages de description de participants et d'asservissement soient aussi perdus. Le couplage est donc basé sur des principes lâches : l'application surveille chaque participant avec une horloge et positionne une alerte visuelle lorsqu'aucun de ses messages ne lui arrive pendant 3 minutes, puis si rien ne change pendant les trois minutes suivantes, l'entité est supprimée de la liste des participants. L'expérience des séminaires *Aristote* démontre que ce cas se produit parfois.

L'interface est réduite aux principales fonctions :

- `create`, initialise le contexte de la conférence et les champs des descripteurs du participant,
- `send_desc`, envoie le descripteur du participant et le descripteur d'activité,
- `send_tele_cde`, envoie le descripteur d'asservissement,
- `recb`, traite les messages du canal *MULTICAST* dédié au contrôle,
- `put_audio_cod`, `put_video_cod`, `put_tools_cod`, positionnent les drapeaux d'activité des décodeurs.

Ce module est dépendant de l'application, à l'inverse des deux autres *RTP* et *IP*. Il doit appeler des fonctions de gestion des processus et des participants distants, et manipuler l'affichage.

4. Le système de mesure

4.1. La mise en paquets *H261*

La mesure objective de l'efficacité d'une mise en paquets comme celle du flux *H261*, ne peut être correcte qu'en prenant en compte la structure du flux. Cette mesure ne peut se suffire d'un comptage des octets générés au niveau du réseau. Nous verrons au chapitre concernant La vidéo H261 et la mise en paquets page 62, que nos propositions prennent en compte, dans une plus juste proportion, la structure interne du flux *H261*. Ainsi, une partie des compteurs est placée dans le codeur *H261*, l'autre partie étant située dans le module de mise en paquets avant l'appel au protocole *RTP*. Nous n'avons pas réalisé de mesures dans le décodeur. La seule méthode efficace, nous semble-t-il, d'éprouver les améliorations est d'utiliser l'application et de constater les effets subjectifs produits par les développements.

Au niveau du décodeur, les principaux compteurs concernent :
- le nombre d'images générées,
- le nombre de tampons générés par le codeur,
- la taille des tampons générés par le codeur,
- la taille des images générées par le codeur.

Au niveau de la mise en paquets, les principaux compteurs mesurent :
- le nombre de paquets générés pour chaque image,
- le débit généré à la sortie du codeur et de la mise en paquets,
- la taille des paquets générés en moyenne et une répartition par tranche de 100 octets.

Le contenu des compteurs est enregistré dans un fichier pour chaque modification. Ce fichier est ensuite analysé hors application pour faire la somme des résultats et calculer les moyennes, vous pouvez voire une liste des résultats en annexe : Mesures de la mise en paquets H261 à la page 148.

4.2. L'accès au réseau, *RTP*

Outre des compteurs de paquets et d'octets reçus et envoyés, la pile *RTP* contient un système de mesure plus complet ainsi qu'un système de report de ces mesures. Elles sont calculées pour chaque paquet reçu puis mémorisées dans la structure liée au flux sur cette adresse en réception :
- le type du canal *RTP*,
- le nombre de paquets perdus,
- la tailles des séries de pertes,
- le nombre de paquets arrivés en double,

- le jitter,
- le nombre de paquet reçus,
- le nombre d’octets reçus.

Les informations liées au fonctionnement de la fenêtre de remise en séquence :
- le dernier numéro de séquence reçu,
- le dernier numéro de séquence, livré à l’application,
- le nombre de paquets dans la fenêtre,
- le nombre de paquets trop en retard et jetés,
- la taille de la fenêtre,
- le nombre d’options BOS reçues.

Puis, régulièrement tous les 64 paquets, un résumé des mesures est calculé et envoyé sur le canal *MULTICAST* des mesures, vous trouverez en annexe : Mesures fournies par la pile RTP page 149, une liste caractéristique des informations livrées par la pile *RTP*. Ce résumé peut être exploité par une application indépendante. Lors de nos expérimentations, cette application est exécutée sur un des serveurs de l’équipe TÉLÉSIA. Elle enregistre, les rapports en provenance de l’ensemble des stations des participants. Puis, hors retransmissions, une autre application trie les rapports par station émettrice et calcule des moyennes horaires pour chacune d’elle, un exemple de résultats est visible en annexe : Mesures de la pile RTP, après traitement page 149.

Ce système diffère des spécifications de la version V2 du protocole *RTCP*, qui prévoit d’envoyer les rapports sur les canaux liés aux flux. Chaque application peut, par la suite, exploiter ces rapports pour adapter son comportement aux conditions de réception. Nous verrons dans le chapitre d’analyse que ce n’est pas la voie que nous avons privilégiée.

5. L’audio et la mise en paquets, TEAP

La gestion de l'audio est distribuée entre la saisie du son et la restitution. Les stations actuelles ne fournissant pas d'interface audio-multiple, la saisie du son est réalisée par un processus unique. La restitution est aussi réalisée par un processus unique même si, plusieurs flux sonores peuvent

être traités en provenance du réseau. Les processus gèrent l'intégralité de la chaîne sonore, du périphérique audio jusqu'au réseau et vice versa :

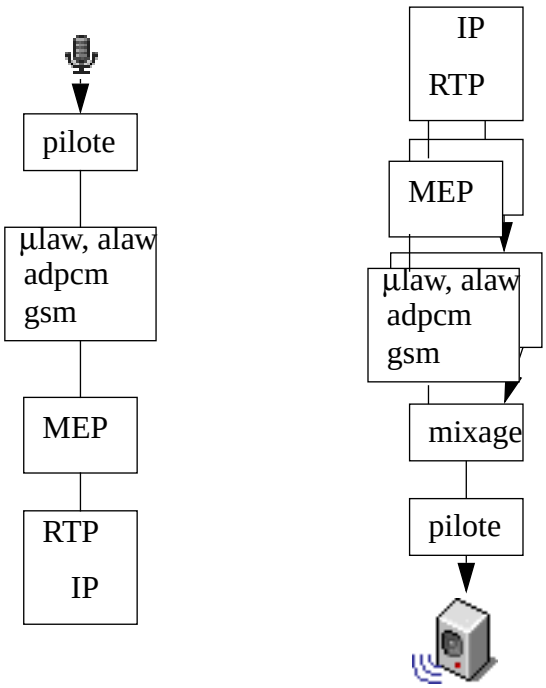


Figure 15 : Architecture des codeurs et des décodeurs audio

Dans ce schéma, nous retrouvons les éléments suivants :

- le pilote, qui est soit un pilote de périphérique comme sur les stations *SUN*, soit un pilote du serveur *Aaxp* sur les stations *DEC*,
- *µlaw*,.... Désigne le format de codage et éventuellement de compression du son. Par défaut, le son est saisi en format *µlaw*, puis il est éventuellement compressé, soit en *ADPCM*, soit en *GSM*,
- *MEP*, désigne l'étape de mise en paquets. Cette étape réalise la dispersion des échantillons sonores sur un ensemble de paquets *IP* pour le format *TEAP*. Les paquets ont une taille de 1024 pour le format µlaw, 512 pour le format *ADPCM* et 160 pour le format *GSM*, et 128 pour le format *TEAP*. Ces tailles ne comprennent pas les en-têtes *RTP* et *IP*,
- *RTP-IP*, désigne la mise au format *RTP* des paquets, et le traitement de l'interface *IP* soit *UNICAST*, soit *MULTICAST*.

Les premières expérimentations sur l'*Internet* pendant les sessions *Aristote* ont fait ressortir une faible qualité sonore à la réception. Cette faible qualité peut être décrite ainsi :

- le réseau *IP* induit des pertes de paquets. Les échantillons ainsi perdus sont autant de trous sonores à "jouer". C'est le front du signal en début et en fin de ce trou qui génère un cliquetis désagréable,
- indépendamment de ces pertes, un cliquetis continuel altère l'écoute,
- nous avons remarqué un dé-séquencement des paquets *IP*. Ainsi schématiquement, la phrase **tétêtu** devient **têtuté**,

- enfin, un phénomène d'écho se produit entre le micro et les enceintes de la station.

Le phénomène de dé-séquencement a été résolu dans la pile *RTP* en développant une remise en séquence par files d'adresse source. Les cliquetis continuels, provenaient de la gigue temporelle dans la chaîne de traitement des échantillons. Cette gigue était créée aussi bien à la source qu'à la restitution, ou pendant le transfert sur le réseau. Le pilote du périphérique son a été récrit en asynchrone, ce qui permet d'exécuter en parallèle le traitement du son dans l'application et par la carte de numérisation. La gigue induite par le réseau ne pouvait être traitée que séparément, en instituant un léger tamponnage à l'arrivée et en gérant une heure de restitution de l'échantillon.

L'écho est un problème bien connu dans ces applications audio. Les algorithmes de suppression d'écho sont complexes et très gourmands en ressources de calcul. Nous avons donc choisi la solution de facilité en ne faisant rien dans ce domaine. Nous avons simplement proposé un protocole à sens unique. Un bouton "appuyer pour parler" déclenche le fonctionnement du codeur. Ainsi, le fonctionnement des codeurs/décodeurs suit le rythme de l'échange de parole. L'écho ne peut se produire, sauf si tous les participants parlent en même temps. En suivant le fil de cette idée, nous avons développé un détecteur de niveau qui déclenche automatiquement le codeur, lorsque le niveau sonore atteint une valeur définie et réglable. Ce système limite principalement l'occupation de la bande passante.

Le deuxième cliquetis, généré par les pertes de paquets, pouvaient dans un premier temps, être limité en remplaçant le trou par un bruit blanc ou par un calcul de fade-out[1] et in, en début et en fin du trou. Puis, nous avons étudié, comment limiter l'effet néfaste de ces pertes d'informations sur le flux sonore.

5.1. Une nouvelle mise en paquets

Pour cette étude, il n'était pas question de remettre en cause l'utilisation du protocole *UDP* ou de mettre en place un système de réémission ou de duplication de l'information. Cette voie a été étudiée dans d'autres projets avec de bons résultats. Nous voulions simplement, tout en conservant la même bande passante, limiter l'incidence d'une perte de paquets sur le rendu sonore. Des études ont déjà été réalisées, dans d'autres domaines que le réseau, pour limiter l'impact des dommages subis par un flux sonore. Nous avons donc établi un parallèle entre le flux sonore mis en paquets et le flux sonore inscrit sur un *Compact Disc*. Sur ce support, le problème à résoudre était de limiter l'effet d'une rayure de la surface sur le rendu final. L'application des techniques classiques des codes de correction d'erreurs, ne permettait pas de résoudre complètement ce problème. La densité des informations inscrites sur le *Compact Disc* induit un

1. Le dernier échantillon est répété dans le trou puis on lui applique une réduction du volume sonore selon une règle linéaire (**Fade-out**). Avant la fin du trou sonore, le volume est remonté (**Fade-in**).

différentiel important entre la taille de la rayure et son impact dans le temps. Les concepteurs ont donc opté pour un algorithme de répartition de l'information sur la surface du disque. Ainsi, un échantillon sonore de durée T n'est pas inscrit en contigu sur la "piste" du disque, mais est réparti en plusieurs morceaux. Nous avons donc choisi de réaliser un système identique en établissant le parallèle suivant : une piste du disque correspond à un train de paquets *IP*, un paquet *IP* correspond à une unité de longueur de cette piste :

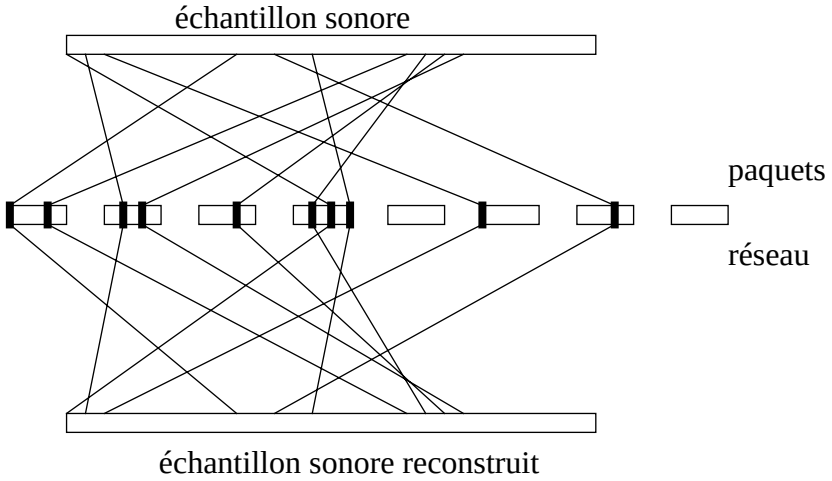


Figure 16 : Distribution des échantillons dans les paquets IP [TEAP mode]

Cette construction de paquets ne se limite pas à une simple division de la taille des paquets *IP*. La répartition est calculée par une loi qui distribue les morceaux d'échantillons sonores dans plusieurs paquets *IP* et qui les entrelace. Ainsi, aucun paquet *IP* ne contient un échantillon sonore contigu. La loi est bijective et permet à la réception des paquets de reconstruire l'échantillon original.

Dans la figure qui suit, l'échantillon sonore à répartir est appelé l'**échantillon original**, l'échantillon calculé est appelé l'**échantillon résultant**. L'*échantillon original* est projeté dans une matrice à deux dimensions de 8 par 8 cellules. Les lignes sont indexées par l'identificateur

`ilignes`, les cellules dans une lignes sont indexées par **`icells`**. L'échantillon résultant est calculé avec la formule suivante :

échantillon résultant[F1(`icells`), F2(`iligne`)]=*échantillon original*[`iligne, icells`]

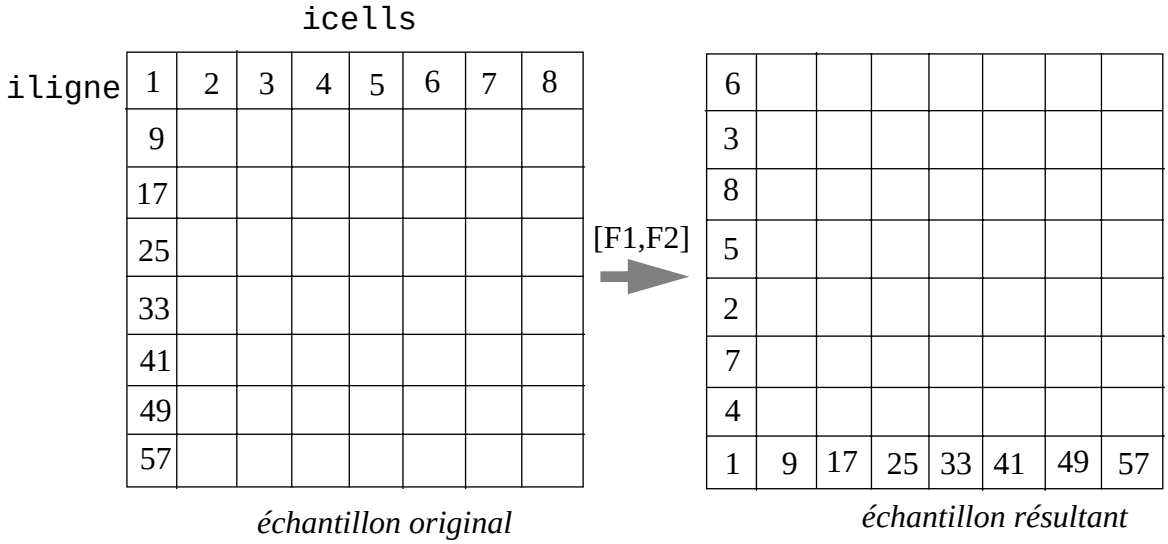


Figure 17 : Formule de distribution

Dans cette formule, `F1` et `F2` sont deux fonctions bijectives qui sont conçues pour distribuer au mieux les cellules dans des paquets les plus éloignés. Ceci pour tenir compte du fait que les pertes peuvent affecter des paquets *IP* qui se suivent :

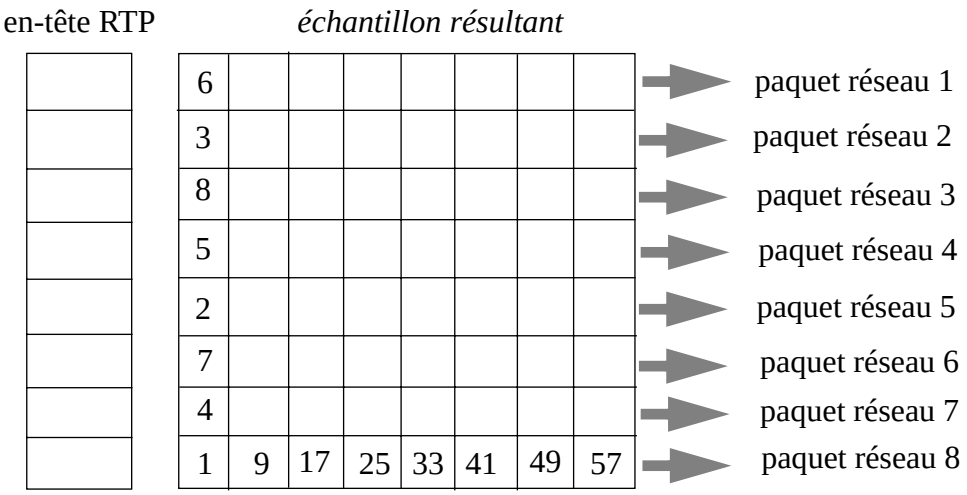
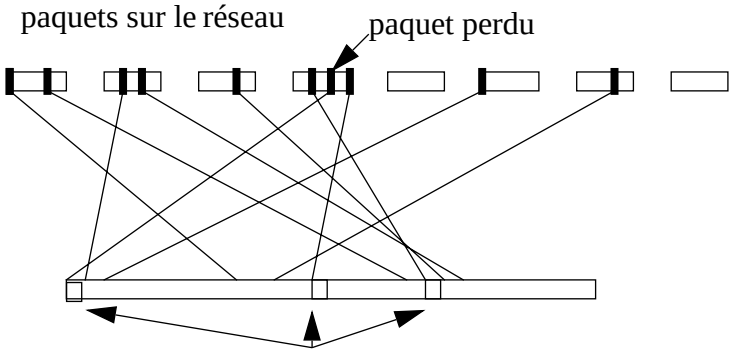


Figure 18 : Schéma de mise en paquets

Maintenant, nous pouvons facilement nous rendre compte de l'effet de la perte d'un paquet sur le flux sonore reconstruit à la réception. Un paquet ne contient en effet que des morceaux non contigus. Sa perte ne générera pas un trou unique dans l'échantillon reconstruit mais 8 petits trous qui seront alors inaudibles, car d'une durée très courte. Les échelles de temps utilisées dans ces fonctions sont :

- la taille de l'*échantillon original* et de 1024 octets soit 1/8 de seconde,
- le nombre de paquets *IP* constitués à partir de l'*échantillon original* est de 8,

- la taille du paquet, hors en-tête *RTP* et *IP* est de 128 octets,
- le nombre de cellules par paquets *IP* est de 8,
- la taille d'une cellule est de 16 octets et sa durée est de 1,95 milli-secondes.



les trous sont distribués et remplis avec la cellule précédente

Figure 19 : Impact d'une perte d'un paquet

5.2. L'utilisation du protocole *RTP* dans TEAP

la nouvelle mise en paquets *TEAP* utilise le protocole *RTP* comme les autres flux de TÉLÉSIA. Nous avons décidé, dans un souci de simplification, de caler le premier paquet *RTP* correspondant à un *échantillon résultant* sur une puissance de deux du numéro de séquence *RTP*. Ainsi, à la réception, le numéro de séquence est utilisé comme paramètre de la fonction inverse de reconstitution de l'*échantillon original*. L'estampillage temporel est identique pour l'ensemble des paquets d'un même *échantillon original*. L'impact de cette nouvelle mise en paquets sur le protocole *RTP* est minime :

```
 0                   1                   2                   3
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
.                                                               .
.                          en-tête RTP                          .
.                                                               .
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|                 8 µlaw/alaw échantillon = 128 octets          .
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

Figure 20 : Structure d'un paquet audio TEAP

5.3. Résultats

L'analyse de cette mise en paquets a été réalisée par une étude statistique objective des pertes de paquets du flux audio et par une étude subjective du rendu final. L'analyse objective nous a incités à approfondir l'impact de cette mise en paquets sur le ratio de pertes de paquets sur le réseau *Internet*. Le contexte d'expérimentation est le suivant : l'application TÉLÉSIA génère un flux audio sur le réseau *Ethernet* interne. Ce flux traverse le réseau *Internet RENATER* à travers une connexion à 2 Mbits/s[1] puis ce flux suit un circuit de routeurs avant de revenir sur la machine

d'émission. Nous avons aussi utilisé un générateur de pertes de paquets pour analyser le rendu subjectif en local.

Les campagnes de mesures ont été organisées à la fois pendant les séminaires *Aristote* et spécifiquement, suivant que l'on voulait avoir une mesure subjective ou objective. Ces campagnes se sont déroulées entre le mois de *Janvier* 1995 et le mois d'*Avril* 1995. Les outils mis en œuvre sont intégrés dans la couche *RTP* de TÉLÉSIA et comptabilisent les pertes à la réception. Le tableau suivant présente à la fois une mesure objective, extraite des données calculées par le niveau *RTP* et une mesure subjective obtenue par un groupe de personnes travaillant en aveugle. Nous avons élargi notre étude en reproduisant le principe de tronçonnement d'un échantillon audio en multiple paquets *IP* de taille variable. Cette étude nous a permis de mesurer l'impact de la multiplication du nombre de paquets sur le taux de perte effectif :

Type de codage	taille des paquets	% de perte	Analyse subjective
µlaw	1024	8%	non régulier, non-compréhensible
µlaw	512	13%	régulier, compréhensible mais difficile à suivre
µlaw	256	24%	régulier, non-compréhensible, suivi très pénible, flux endommagé
µlaw	128	31%	régulier, non-compréhensible, flux très endommagé
TEAP	128	30%	compréhensible, la voie est reproduite avec un effet de réverbération

Table 1 : Tests de la nouvelle mise en paquets

À ce jour, les fonctions (`F1, F2`) sont très simples et invariantes. Elles pourraient, à terme, prendre en compte la taille des séries de paquets perdus. Cette analyse permettrait de mieux répartir, dans le temps, les trous produits. Voici une analyse des séries de paquets perdus en fonction de la taille des paquets. Elle reprend les principes des mesures précédentes de découpage du flux *µlaw* en paquets de 1024, 512, 256 et 128 octets. Nous avons sur ce graphique [figure 21]

1. A cette époque, fin d'année 1994 début d'année 1995, la connexion entre le réseau interne de l'*INRIA* et le réseau national *RENATER* était limitée à 2 Mbits/s. Actuellement, cette connexion est passée à 34 Mbits/s.

en ordonnée la taille des paquets, en profondeur le nombre de paquets perdus consécutivement, en abscisse le pourcentage de perte relatif à cette série :

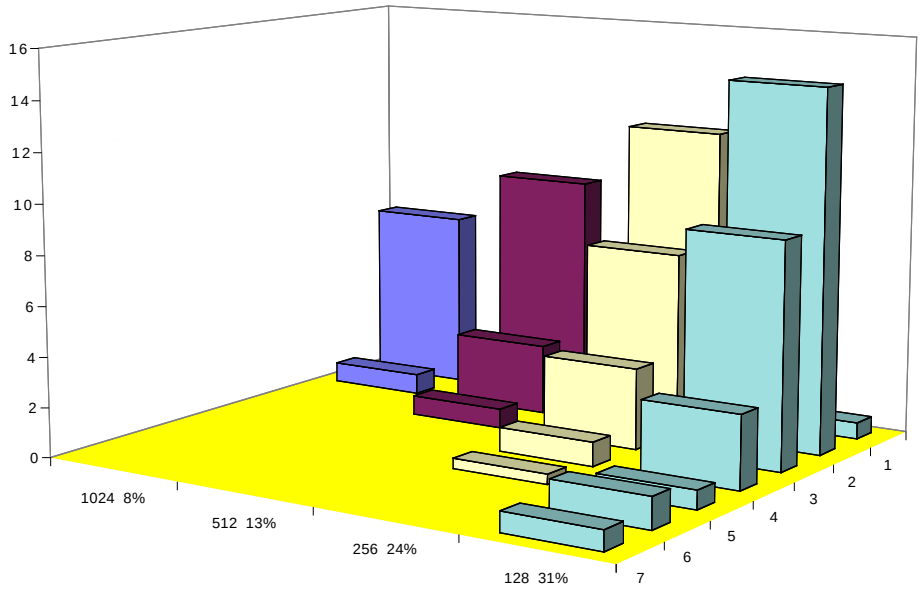


Figure 21 : Répartitions relatives des pertes de paquets en fonction de la taille

Nous remarquons que l'utilisation de paquets plus petits pour un même débit du flux sonore génère plus de pertes et notamment des séries de pertes de paquets consécutifs plus larges. Ce résultat est fâcheux et vient contrecarrer nos efforts pour limiter l'incidence des pertes sur le rendu subjectif. Ainsi, autant les mesures subjectives réalisées en laboratoire, avec un générateur de pertes automatique, donnaient de bons résultats, autant les essais réalisés lors des sessions *Aristote* nous ont beaucoup déçus. Ces essais ont, en effet, généré une montée très importante du taux de perte sur des tronçons du réseau déjà saturés, le rendu subjectif est devenu assez mauvais. Certes, il resterait encore quelques améliorations à effectuer lors de la restitution de l'*échantillon reconstruit*, notamment en remplissant les trous par un bruit blanc qui supprimerait l'effet de réverbération. Mais nous avons atteint ici une limite de fragilité du système de routage du protocole *Internet* qui nécessite d'autres méthodes de traitement.

5.4. Conclusions sur l'audio

Nous avons proposé une solution de limitation des effets de pertes de paquets sur le rendu subjectif à la réception. Cette méthode même si elle ne nous a pas donnés entière satisfaction nous paraît plus pertinente que la duplication de l'information qui a pour effet d'augmenter la bande passante. Sans doute faut-il se pencher sur les algorithmes de compression du son plus efficaces et réaliser une mise en paquets structurelle qui permette, par exemple à la réception, de reconstruire l'échantillon perdu par déduction. Notons aussi que nous n'avons pas changé la taille des échantillons originaux, 1024 octets, par rapport au format *µlaw*. Ceci nous permet de conserver un délai identique de traitement. Une nouvelle fonction de distribution fonctionnant au fil du flux

pourrait nous permettre de saisir le son plus rapidement et de le restituer aussi plus rapidement. Enfin, une fonction de répartition auto-adaptative permettrait de mieux répartir les échantillons et, dans les cas de taux de pertes faible, de réduire le délai d'attente de reconstruction d'un échantillon.

6. La vidéo *H261* et la mise en paquets

La chaîne de codage/décodage vidéo en *H261* est architecturée selon le même principe de multi-processus *UNIX*. La fonction de codage et celle de décodage sont séparées, de même que le décodage de multiples images est aussi réalisé par des processus différents. Ce qui est un des avantages de cette réalisation entièrement en logiciel, hormis la numérisation qui est toujours réalisée par une carte spécialisée :

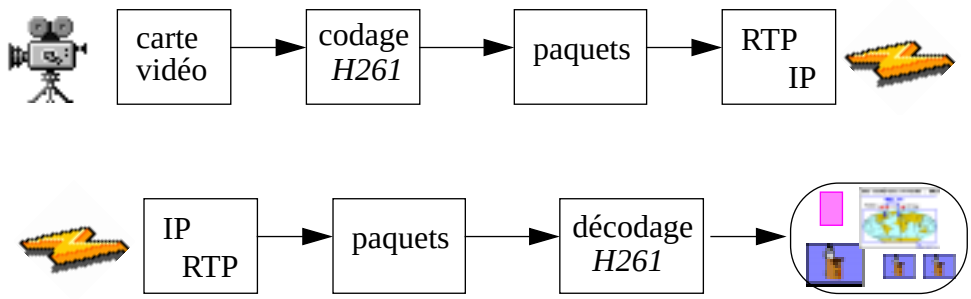


Figure 22 : Architecture du codeur décodeur vidéo

Ainsi, sur ce schéma, nous retrouvons les fonctions suivantes :

- une **carte vidéo**, qui numérise le signal en *RGB* 24 bits et parfois en *YUV*. Cette carte est, soit pilotée directement avec des bibliothèques spécifiques, comme c'est le cas des *Parallax* et *SunVideo* sur les stations *SUN*, soit par le serveur *X11* et l'extension *Xv* pour les stations *DEC*. Dans cette dernière configuration, les performances paient le coup des nombreuses recopies entre le serveur et l'application,
- le **codeur H261**, génère un flux *H261* compatible avec les décodeurs matériels, nous y retrouvons entre autre :
    - une détection de changement, entre deux images consécutives, au niveau du Bloc,
    - un codage en *INTER* ou en *INTRA*,
    - des informations complémentaires pour la mise en paquets.

  Par contre, ce codeur ne gère pas la détection de mouvements et donc ne code pas les vecteurs de déplacement dans les blocs,

  la mise en paquets du flux *H261*, correspond à la transformation d'un flux continu en une structure discontinue de paquets *RTP*. La taille des paquets varie de 22 à 1400 octets,
- **RTP - IP** : cette fonction identique à celle du codeur/décodeur audio, gère le protocole *RTP*. Les spécificités, liées à la structuration *H261*, ont été positionnées par l'étape précédente de mise en paquets,

- **affichage - X11** : les images une fois décodées sont affichées dans une fenêtre *X11*, une par flux *H261*. L'afficheur s'adapte à la profondeur de l'écran, en vraie couleur ou en 256 couleurs, dans ce cas il gère aussi le dithering[1] en fonction des entrées restantes dans la table des couleurs. Le contraste et la luminosité sont réglables ainsi qu'un agrandissement et une réduction par 4.

Pendant la retransmission des séminaires *Aristote* sur le réseau de multi-diffusion *FMBONE*, nos remarques sur la qualité subjective de la vidéo ont concerné deux défauts majeurs :

- l'image est gelée pendant quelques secondes,
- l'image est découpée et une partie se trouve décalée vers la gauche.

La qualification de la gêne subjective entre ces deux défauts n'est pas aisée. C'est aussi, dans ce domaine, une question d'usage. L'application étant utilisée à la fois pour l'image du conférencier et des documents, il nous a semblé, surtout pour cette dernière utilisation, qu'elle se devait d'être parfaite. L'utilisateur a partiellement intégré la variation de célérité des images *H261*, surtout lorsqu'elles ne sont pas porteuses d'informations comme c'est le cas pour le conférencier.

La distorsion de l'image provient d'une mauvaise interprétation du flux *H261*. Soit le flux est tronqué par des pertes de paquets, soit il n'est pas interprétable, à cause de dé-séquencements. La première version du décodeur intégrait une gestion de paquets *IP* très simple, mais qui tenait néanmoins compte des possibilités de dé-séquencement. C'est pourquoi l'utilisation de la pile *RTP* écrite pour TÉLÉSIA n'a pas apporté de changement à ce niveau, si ce n'est une restructuration plus compatible avec une politique de développement et de portage. Par contre, nous avons identifié des difficultés de resynchronisation du codeur qui accompagne les pertes de paquets. Lorsque cela se produisait, un tampon contenant des séquences binaires spécifiques était introduit avant le paquet suivant. Cette séquence binaire permettait au codeur de se resynchroniser, mais la suite du paquet était souvent difficilement interprétable car hors de contexte.

La mise en paquets originale était simple et ne prenait pas en compte les principaux éléments structurels du flux *H261*. Afin d'être clair nous allons introduire les quelques objets du flux *H261*, une description plus complète peut être trouvée dans le document du CCITT [2] :

- **picture** : débute par un *PSC*, Picture Start Code,
- **Group Of Block** : débute par un, *GBSC*, Group of Block Start Code,
- **Macro Block** : débute par un, *MBA*, Macro Block Address,

1. le **dithering** est un algorithme de lissage des couleurs calculé sur un nombre variable de points, 4 ou 8, etc. Il est utilisé avec les écrans de faible profondeur (8 bits), lorsque la correspondance des couleurs dans la table peux faire apparaître des changement de niveau trop important et trop visible par manque de nuance. Le dithering calcul alors un flou en mélangeant les couleurs sur la zone de 4 ou 8 points et gomme ainsi la frontière entre les changements de couleur.

- **Block** : se termine par un, *EOB*, End Of Block.

Voici les relations entre l'en-tête générique *RTP*, et les paquets issus du découpage du flux H261 :

- le bit S indique que le paquet contient le début du codage d'un GOB,
- le bit E indique que le paquet contient la fin du codage d'un GOB.

Des choix de simplification ont été faits aussi dans cette mise en paquets, notamment, un paquet peut contenir plusieurs `GOB`, et surtout le découpage du flux est réalisé arbitrairement, c'est-à-dire, lorsque le paquet est plein :

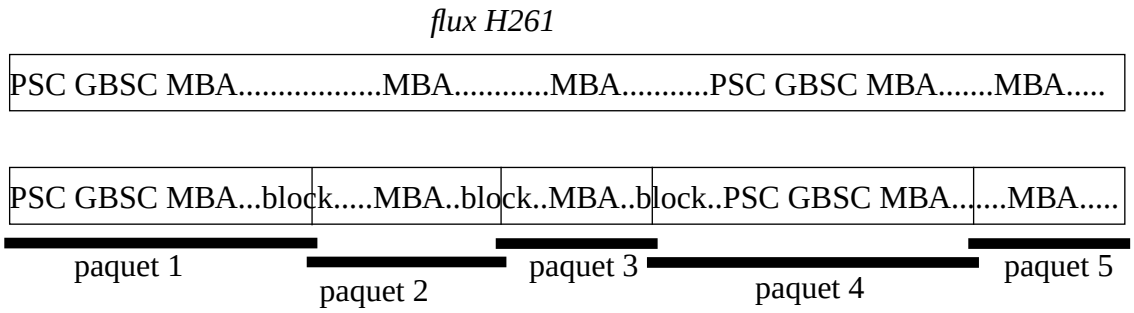


Figure 23 : Mise en paquets originale

Ainsi, dans cet exemple on remarque que des blocs peuvent être à cheval sur deux paquets.

6.1. Discussion

(1) Nous remarquons donc, que dans la structure du flux *H261*, le marqueur `EOB` détermine une fin qui peut correspondre soit à une fin de Bloc, soit une fin de Macro Bloc, soit une fin de Groupe de Bloc soit une fin d'image. Le décodeur doit lire plus en avant le flux pour établir le contexte de ce marqueur.

(2) Ensuite, le découpage arbitraire du flux est la cause principale des difficultés de resynchronisation. Le décodeur même après avoir remis en place son contexte interne avec la séquence binaire spécifique ne peut pas redémarrer au milieu du code d'un Bloc et l'interpréter correctement. Aucune information n'est disponible pour permettre au décodeur de lier le contenu du paquet avec le reste du flux.

(3) La structure du flux *H261* tient compte du principe de continuité du support pour lequel il a été défini : *RNIS*. L'adressage des Macro Bloc est exprimé en relatif. En cas de perte de paquets, le décodeur ne peut plus repérer l'emplacement des Blocs qui suivent. Ainsi, lorsque le décodeur retrouve les marqueurs de Bloc et reprend le décodage, il ne peut pas positionner les Blocs sur l'image. Il les affiche là où il s'était arrêté avant la perte de paquets, ce qui provoque les décalages et les zébrures de l'image.

6.2. Une nouvelle mise en paquets

Une partie de nos travaux sur le codeur/décodeur a consisté à améliorer la qualité de la compression, son efficacité. La mise en paquets originale a été retouchée en augmentant la taille des paquets. La limitation du nombre de frontières limite aussi les possibilités de non resynchronisation mais augmente la quantité d'information perdue. Ces modifications qui, certes, amélioraient l'efficacité globale, ne résolvaient pas les défauts majeurs que nous avions identifiés. La solution résidait plutôt dans une refonte complète de cette étape. En reprenant les observations précédentes, nous en avons déduit quelques règles qui permettent de résoudre la plupart de ces défauts.

La mise en paquets originale ne prend pas en compte le contexte du flux. Les points 1 et 3 peuvent être résolus en complétant l'en-tête du paquet avec :

- le numéro du Groupe de Bloc par lequel débute le paquet,
- le numéro du Macro Bloc par lequel débute le paquet,
- le numéro du dernier Macro Bloc décodé,
- le type du dernier objet du paquet, image Groupe de Bloc, Macro Bloc.

Avec ces informations, le décodeur est capable de restituer un paquet dans son contexte d'image. En cas de perte de paquets, le décodeur est en mesure de savoir comment interpréter la suite du flux en entrée. Les décisions pouvant être, soit de continuer le décodage et d'afficher l'image résultante, soit de ne pas afficher l'image et de nettoyer son contexte interne avec des données plus cohérentes pour reprendre le fil du flux.

Le flux est devenu, ainsi, contextuel et le décodeur est en mesure à tout moment d'adresser les informations qu'il manipule. Mais ceci ne suffisait pas, il fallait aussi changer la politique de découpage du flux. Les critères sont les suivants :

- un paquet commence toujours par un objet *H261*,
- il faut conserver le maximum de flexibilité pour régler la taille des paquets.

La granularité la plus fine, permettant de respecter la deuxième assertion, est le Bloc. Cette condition est importante : elle garantit la régularité de taille des paquets et la possibilité de les remplir plus aisément. La première condition s'applique simplement : un Bloc ne peut jamais être à cheval sur deux paquets. Le décodeur peut désormais le traiter en une seule passe. La structure

du flux mis en paquets devient :

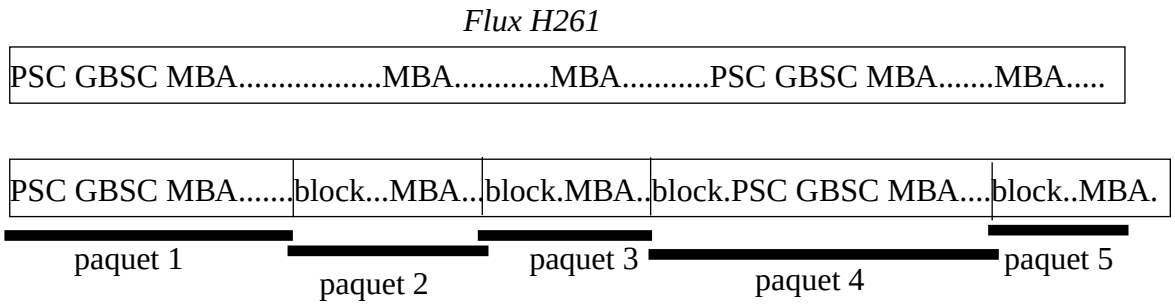


Figure 24 : Nouvelle mise en paquets

La réalisation de cette mise en paquets nécessite une connaissance de la structure du flux généré par le codeur. A ce stade du traitement, plus aucune information contextuelle n'est disponible, le codeur a fini de calculer une image et délivre l'adresse de début du flux aux couches réseaux. Il n'était pas question de ré-analyser le flux pour repérer les objets et leurs indexes. Nous avons donc modifié le codeur, pour qu'il fournisse en parallèle une table contenant les références des objets *H261* du flux. Ainsi, pour chacun, il fournit l'adresse dans le flux, son type, sa taille, et si c'est un `GOB`, un `Macro Bloc` ou un `Bloc`, son numéro. La mise en paquets est à même de calculer la taille des paquets, à générer, le plus régulièrement possible.

A la réception, une couche similaire extrait les informations de l'en-tête et les fournit au décodeur avec l'adresse du flux. Les marqueurs de type, associés aux numéros d'objets sont autant d'informations qui viennent compléter le numéro de séquence *RTP* pour les reprises en cas de pertes de paquets.

6.3. L'utilisation de *RTP*

La réalisation de cette mise en paquets a nécessité une récriture complète du décodeur pour l'adapter à ce mode de reprise sur erreur. Il s'exécute désormais en mode automate, avec un état interne et des informations en entrée, qui tiennent le rôle de jeton de déclenchement des actions sémantiques sur le flux à décoder. La mise en paquets ne s'appuie pas sur l'en-tête *RTP* comme c'était le cas précédemment. Les informations nécessaires sont trop riches pour le peu de place disponible. Nous avons rajouté un en-tête spécifique, de taille fixe, avant le flux d'information lui-

même. La structure des paquets du flux *H261* devient :

```
 0                   1                   2                   3
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
.                                                               .
.                          en-tête RTP                          .
.                                                               .
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|                         en-tête H261                          |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|                        flux H261...                           .
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

Figure 25 : Structure du paquet *H261*

L'en-tête spécifique est plus complète :

```
 0                   1                   2                   3
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|     GOB no    |    MB no      | prec. MB      |     SBIT      |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|     EBIT      | D | F | I |V|C|  |     format    |     MBZ       |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

Figure 26 : En-tête *H261*

GOB no (8bits)	numéro du GOB dans l'image
MB no (8bits)	numéro du MB dans le GOB
last MB (8bits)	numéro du dernier MB décodé
SBIT (8bits)	adresse du GOB en bits
EBIT (8 bits)	adresse en bit du dernier GOB
D (2 bits)	type du premier objet H261 du paquet : image, GOB, Macro Block
F (2bits)	type du dernier objet H261 du paquet : image, GOB, Macro Block
I (1 bit)	Positionné lorsque l'image est codée en INTRA.
V (1 bit)	positionné lorsque la détection de mouvement par vecteur est codée. Tous les bits V d'une même image doivent être positionnés.
C (1bit)	positionnée lorsque l'image est en couleur
format (8bits)	format de l'image : Qcif, Cif, Scif

Tableau 2 : Détail des champs de l'en-tête

MBZ (8 bits)	doit toujours être à zéro.

Tableau 2 : Détail des champs de l'en-tête

6.4. Résultats

Nous avons analysé les améliorations attendues selon deux points de vues :

- subjectif : la qualité de l'image telle qu'elle est perçue,
- objective : en réalisant des mesures spécifiques.

6.4.1. L'analyse du rendu de l'image

Une partie des défauts a disparu. Le principal dommage que subissait l'image, le décalage vers la gauche a disparu grâce à l'adressage absolu des objets *H261* ajouté dans l'en-tête. Chaque paquet est traité intégralement par le décodeur qui y trouve l'ensemble des informations nécessaires. Une perte de paquets est ainsi circonscrite aux seuls paquets perdus.

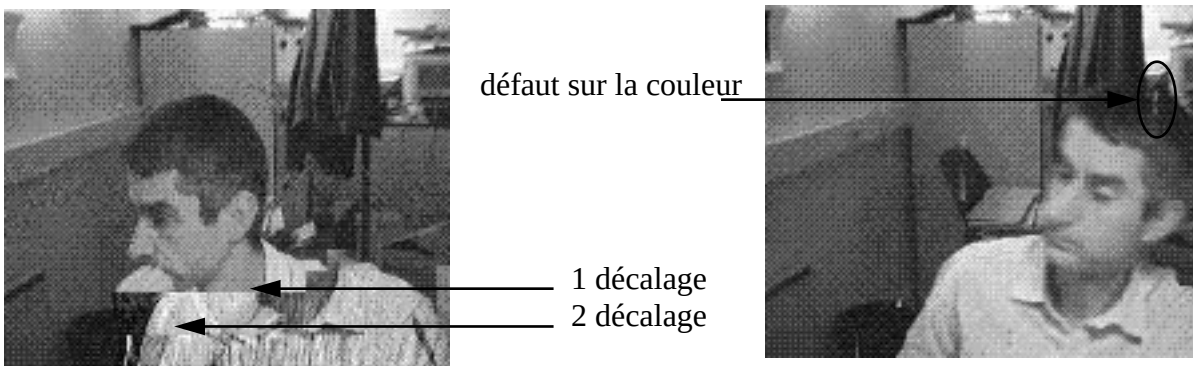


Figure 27 : Défauts d'une image avec et sans la mise en paquets

Le décodeur est devenu moins sensible aux pertes, et l'image a acquis une meilleure stabilité. Seul persiste un défaut de coloration, un effet de halo, qui suit les mouvements rapides. Ces halos sont générés par les pertes des paquets codés en *INTER*. Ce codage en différentiel des informations permet d'obtenir un flux plus compact. Par contre, lorsqu'une perte se produit, le prochain décodage d'un Bloc *INTER* se fait en relatif sur des valeurs qui n'ont pas pu évoluer, ce qui provoque cette différence de teinte qui prend des allures de halo. La seule méthode pour éviter ce défaut consiste à ne générer que des images codées en *INTRA*. C'est le choix fait par le codeur *H261* de *Vick*.

6.4.2. L'analyse objective

Les mesures ont été réalisées en laboratoire à l'aide de deux bandes vidéo représentatives de deux types d'activité. La première est un reportage réalisé dans un domaine viticole, les images sont très mobiles souvent en extérieur et les plans changent fréquemment. La deuxième est un enregistrement d'une conférence [24], les plans sont fixes, les documents qui alternent avec le

conférencier sont statiques. Pour l'ensemble des configurations, la durée des mesures est de 3 minutes.

Pour chaque type de vidéo, nous avons répété les mesures en changeant le facteur de compression : la quantification. Les valeurs sont : 1 c'est-à-dire le maximum de qualité, 5 un bon compromis de qualité, et 8 un autre bon compromis sur le débit avant l'apparition des Blocs sur l'image décodée. Les valeurs sont notées en légende respectivement `Q1`, `Q5` et `Q8` sur l'axe des profondeurs. L'axe des ordonnées correspond à la taille des paquets par tranche de 100 octets, enfin l'axe des hauteurs correspond au nombre de paquets générés pour chaque tranche. Le deuxième type de graphique est un comparatif entre les deux mises en paquets pour chaque mesure : la taille moyenne des paquets, le débit en paquet par image et le débit en Kbits/s. Pour chaque facteur de compression, nous avons deux colonnes, celle de gauche représente la mise en paquets originale et celle de droite la nouvelle. Les mesures ont été réalisées entre Décembre 1994 et Mai 1995 avec le matériel suivant :

- une station *Sun SS10* sx - bi-processeur 512,
- 64 Mo de mémoire centrale,
- la numérisation est réalisée par une carte *Sun vidéo*,
- le système d'exploitation est *Solaris* 2.4.1.

6.4.2.1. Les mesures réalisées sur le reportage

Les modifications du codeur, son amélioration réalisée par une récriture de l'algorithme de `DCT` a augmenté son efficacité. Nous retrouvons sur la [figure 28] cette augmentation dans la mesure du débit :

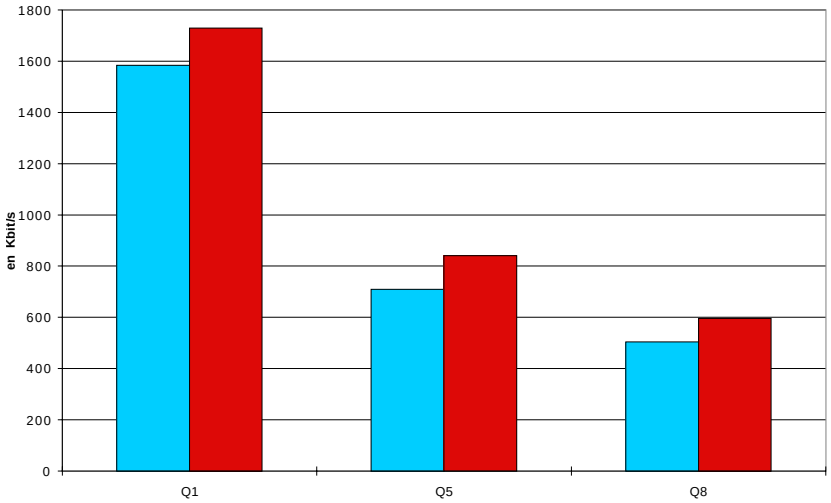


Figure 28 : Comparaison du débit généré en Kbit/s

. Une première mesure du débit en images par secondes nous indique une augmentation de 15 à 20%. D'un autre côté [figure 29] , la nouvelle mise en paquets a contribué à réduire la taille moyenne des paquets dans un ratio plus élevé :

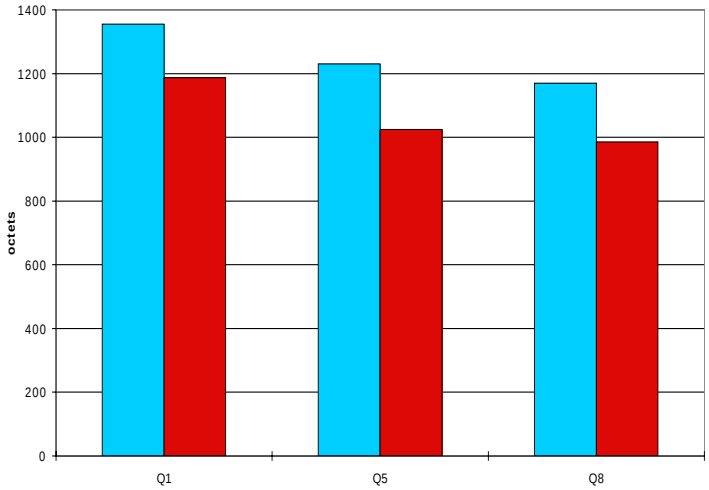


Figure 29 : Comparaison de la taille moyenne des paquets

Les effets du débit [figure 30] en nombre de paquets par seconde, sur le système de routage *IP*, sont bien connus, nous pouvons nous reportez au tableau 1 qui présente les effets de la multiplication du nombre de paquets sur le taux de pertes. Cet effet attendu, n'est pas rassurant pour l'exploitation de cette nouvelle mise en paquets, mais nous verrons dans quels contextes l'efficacité maximale est atteinte :

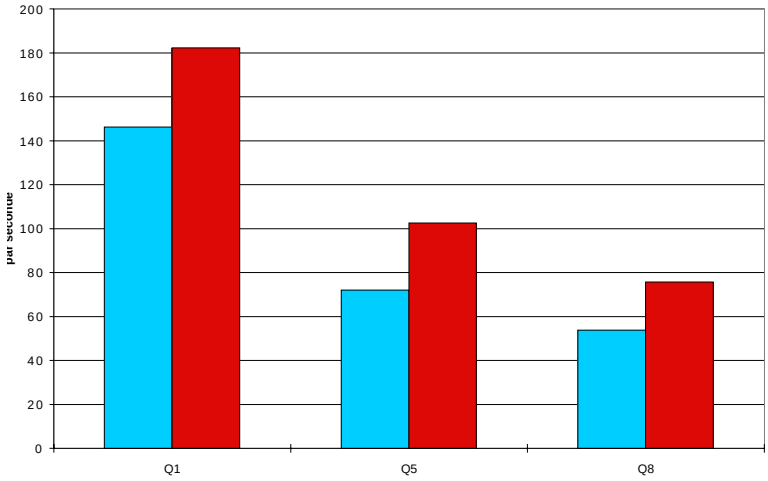


Figure 30 : Comparaison du débit en paquets/s

La raison principale réside dans le changement de granularité lors du remplissage des paquets *RTP* avec le flux *H261*. Lors de la mise en paquets, une première passe consiste à analyser la table des objets du flux pour calculer la taille moyenne des paquets. Puis, les paquets sont constitués en tenant compte de cette moyenne. Le remplissage d'un paquet s'arrête lorsqu'il est impossible de placer un Bloc supplémentaire sans dépasser la moyenne calculée.

Les deux graphiques suivants représentent la répartition des paquets. Dans le premier graphique concernant la mise en paquets originale, nous pouvons observer l'effet de détection de changement implanté dans le codage *H261*. Le reportage, avec un rythme d'images élevé, génère un flux plus important qui se positionne dans les paquets de grandes tailles :

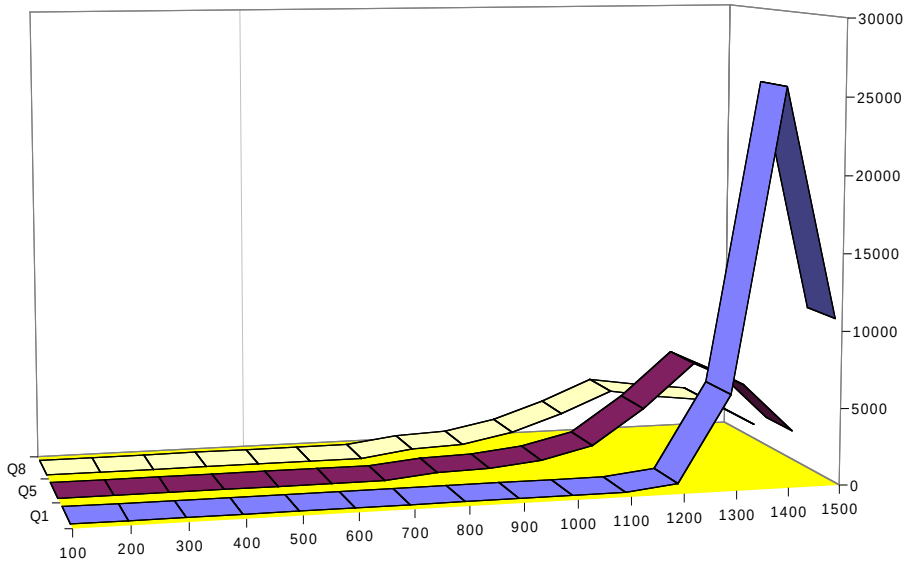


Figure 31 : Mise en paquets originale : répartition par taille de paquets

Sur le graphique de la nouvelle mise en paquets [figure 32] , le petit pic autour de 100 et 200 octets correspond aux rompus inévitables en fin d'image, et cela, malgré le calcul de moyenne préalable. Ce rompu varie de 100 à 400 octets en fonction du facteur de quantification et donc de la taille des flux générés. C'est le résultat de l'effet de granularité généré par le choix du `Bloc` comme unité de frontière de découpage :

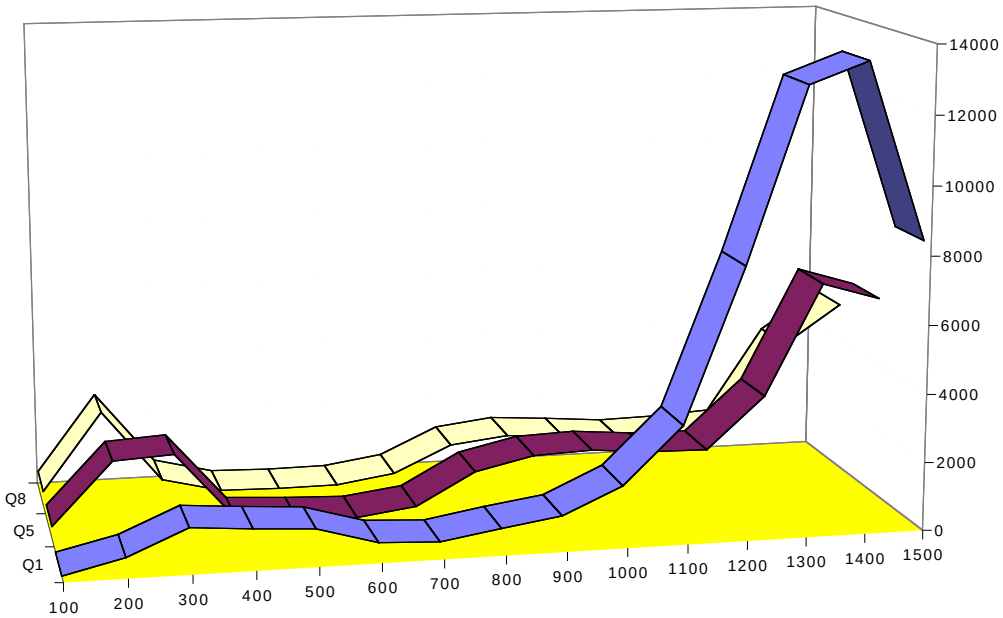


Figure 32 : Nouvelle mise en paquets : répartition par taille de paquets

6.4.2.2. Les mesures réalisées sur la conférence

La deuxième série de mesures a été réalisée avec l'enregistrement d'une conférence. Autant, les performances maximales peuvent être exprimées avec une vidéo de reportage, autant il nous est paru important de mesurer aussi le comportement du codeur avec des images qui reflètent l'activité courante de l'équipe TÉLÉSIA. Le premier tableau 3 compare les performances entre le reportage et la conférence. Les différences en débit apparaissent très nettement, si ce n'est le débit en images par seconde pour le facteur de quantification 1, pour lequel nous n'avons pas d'explication. Il est possible que, pour certaines basses vitesses de capture des images, la synchronisation avec les trames vidéo, sur la carte d'acquisition, se fasse moins bien :

	Image * sec.			Débit en Kbit * sec.			Paquets * sec.		
Quant	vidéo	conf.	%	vidéo	conf.	%	vidéo	conf.	%
1	7.01	5.7	-18.7	1728	458.4	-73.5	182.1	59.3	-67.4
5	9.6	15.3	+59.4	839.5	117.1	-86.0	102.4	18.1	-82.3
8	11.7	16.4	+40.2	595.2	62.8	-89.4	75.5	17.4	-76.9

Table 3 : Différence entre le reportage et la conférence

Voici [figure 33] la distribution des paquets générés par le codeur en fonction des trois facteurs de quantification 1, 5 et 8. Nous remarquons le plus fort remplissage des paquets avec le facteur de qualité le meilleur 1. La courbe s'inverse avec le facteur 8. Et le tableau 3 nous le confirme, il y a autant de paquets générés que d'images codées. Une image rentre dans un paquet et la moyenne de taille des images est de 392 octets.

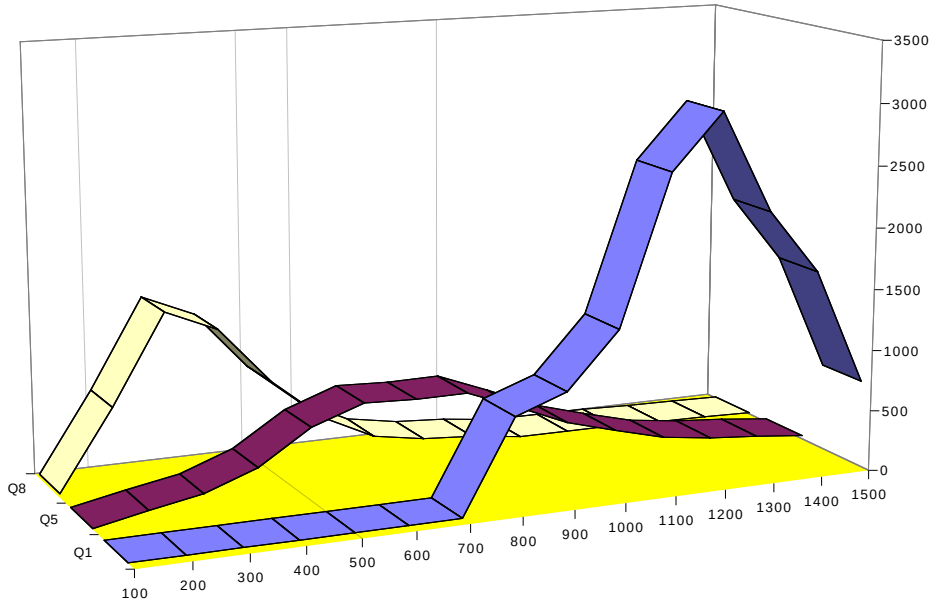


Figure 33 : Mise en paquets originale : répartition par taille de paquets.

En comparant les deux graphiques nous remarquons que dans cette activité, la mise en paquets est plus efficace avec le facteur de quantification 1, qui favorise la qualité. Nous entendons par là que les paquets sont mieux remplis d'après le critère de taille maximale qui voisine 1440 octets. Pour les facteurs 5 et 8, la plupart des images rentrant dans un paquet, les principaux choix qui influencent leur taille n'agissent pas. La mise en paquets n'intervient que dans les à-coups de l'image.

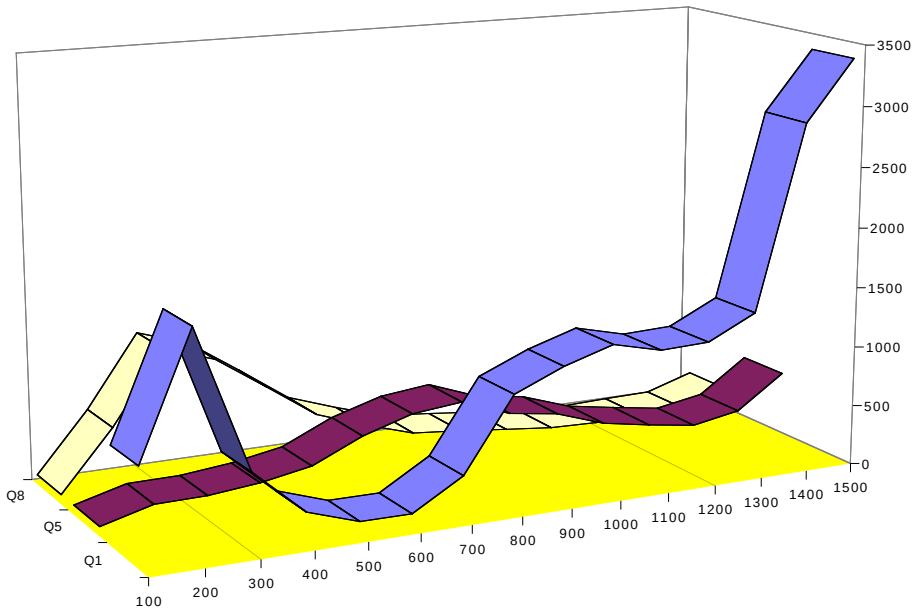


Figure 34 : Nouvelle mise en paquets : répartition par taille de paquets.

6.5. Conclusion sur la vidéo *H261*

Les mesures objectives démontrent que la mise en paquets fonctionne lorsque le flux généré est important. Soit lorsque l'image est grande, soit lorsque le facteur de compression est faible et favorise la qualité. Elles démontrent aussi, que le nombre de paquets générés est plus élevé. Cette augmentation du débit en paquets/s va venir engorger les routeurs du réseau *Internet*.

Est-ce un échec pour autant ?

Certes, les mesures pourraient nous influencer à considérer ce développement comme peu efficace. Mais d'autres leçons peuvent en être extraites, qui sont plus positives, car hors d'un cadre strictement théorique. Cette mise en paquets est efficace dans deux cas de figure : lorsque l'image est grande ou lors des changements rapides d'image. Ainsi, son utilité apparaît dans d'autres types d'activités qui positionnent l'image comme le support principal de l'information :

- télé-surveillance,
- télé-diagnostic,
- apprentissage du geste professionnel.

L'analyse subjective le démontre aussi : ce qui est perdu en débit est récupéré en stabilité et en fiabilité de l'image, mais il n'y a pas de compteur pour cela.

7. Les documents, Dia_Dif

7.1. Description du système

7.1.1. Description statique

Les rôles de modérateur et de conférencier sont ici séparés afin de distinguer les attributions des organisateurs de séminaires : la mise à disposition des documents et leur chargement sur les équipements des participants.

L'équipement du participant reçoit sur un canal multicast, les commandes de chargement et d'affichage. Ces commandes décrivent, le ou les fichiers constituant le document. Le système peut au préalable les transférer sur le site du participant avant de les afficher. Le serveur des documents, et le site gérant leur diffusion, peuvent être séparés, afin de tirer parti de la modularité des équipements, et du potentiel de délocalisation des intervenants. Cette modularité facilite l'organisation des télé-séminaires :

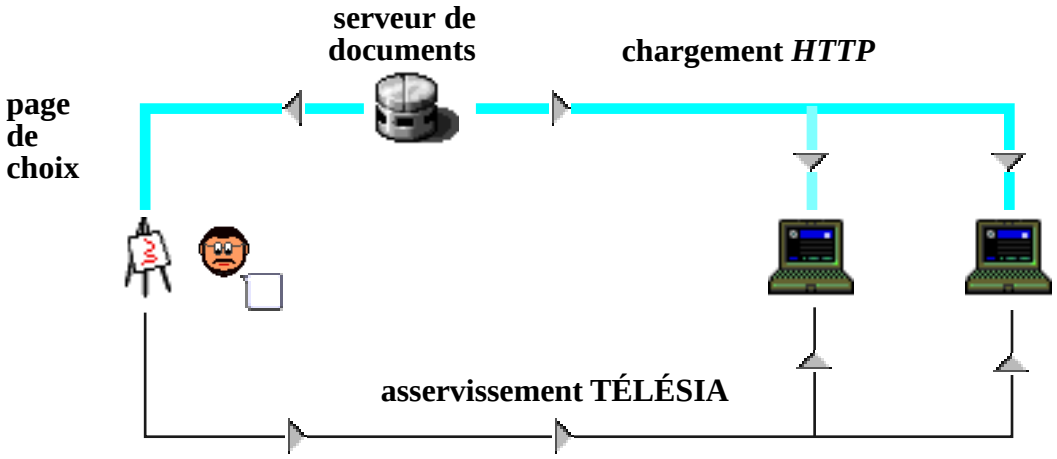


Figure 35 : Architecture globale

Le télé-chargement d'un ensemble de documents est piloté par le modérateur. Il peut être réalisé avant le séminaire, ou avant l'intervention d'un conférencier. Le chargement s'effectue à l'aide du protocole *http* [32]. Ce choix, ainsi que l'adressage *URL* [34] des documents, positionne implicitement l'ensemble du service à gérer dans le système documentaire planétaire *WEB*. On comprend également la nécessité d'un protocole flexible qui permette d'éviter l'engorgement instantané d'un serveur de documents. Ce protocole est tout aussi organisationnel que technique. La mise sur pied d'un séminaire peut mettre en œuvre différents types de transferts (pas à pas, pour une intervention ou pour le séminaire), nécessite d'installer des sites de duplication des

documents, afin d'accorder : le succès de participation, la flexibilité des transferts, et la qualité du service.

La visualisation consiste à mettre en image le document désigné par le conférencier sur l'écran du participant. Le choix technique est simple et hautement flexible puisqu'il s'agit des "navigateurs" de type *mosaic* ou *netscape*. Ces outils interprètent un langage de description de page *HTML* [35] suffisamment puissant pour cet usage. Il permet d'inclure, ou de co-présenter des documents de structure plus complexe, comme des photos, des sons, des musiques, des vidéos... De plus, l'application *WEB* les a largement banalisés.

L'asservissement à distance est réalisé par l'application TÉLÉSIA. Son rôle est :
- de présenter une interface de commande au conférencier / modérateur,
- de diffuser les commandes de télé-chargement, de visualisation.

La transmission s'effectue avec le protocole *UDP* en *unicast* ou en *multicast*, sur un port dédié. Le type de données *RTP* est 77. Les informations correspondent à l'*URL* des documents à visualiser ou à charger.

7.1.2. La description dynamique

Le système est mis en oeuvre avec la touche d'extension d'outils de TÉLÉSIA. Dès-lors, un processus supplémentaire est créé. Il a la charge de l'interface du conférencier, du modérateur et de l'asservissement de l'affichage des participants. Un état supplémentaire concernant l'afficheur est ajouté à la table des stations de TÉLÉSIA. Cet état est régulièrement diffusé sur le canal de contrôle du séminaire avec le protocole *RTCP*. Ainsi, les équipements des participants peuvent se mettre à jour, et suivre l'évolution du séminaire.

Lors de la réception de cette indication de codage des documents, l'application du participant créé un processus de visualisation. Ce processus, appelé `doc_client,` charge un navigateur et une page de référence. Puis, `doc_client,` se met en attente de commandes sur le canal dédié.

Pour le conférencier / modérateur, les choix sont les suivants :
- choix d'un document à visualiser,
- choix d'un ensemble de documents à charger.

7.1.2.1. L'émission d'une commande

La prise en compte des commandes est exécutée avec l'un des navigateurs *Mosaic* ou *Netscape*. Dans cet exemple, le titre du séminaire ainsi que le titre de chaque intervention est une zone sensible qui commande soit l'affichage du résumé des transparents pour le conférencier, soit le

chargement des documents pour les participants. Lorsque le modérateur sélectionne l'une des zones sensibles, le navigateur envoie une requête de `GET` d'un fichier vers le serveur de diffusion. Le serveur transmet cette requête *unicast* en commande TÉLÉSIA sur le canal *multicast* de l'application et renvoie un compte rendu positif au navigateur du modérateur :

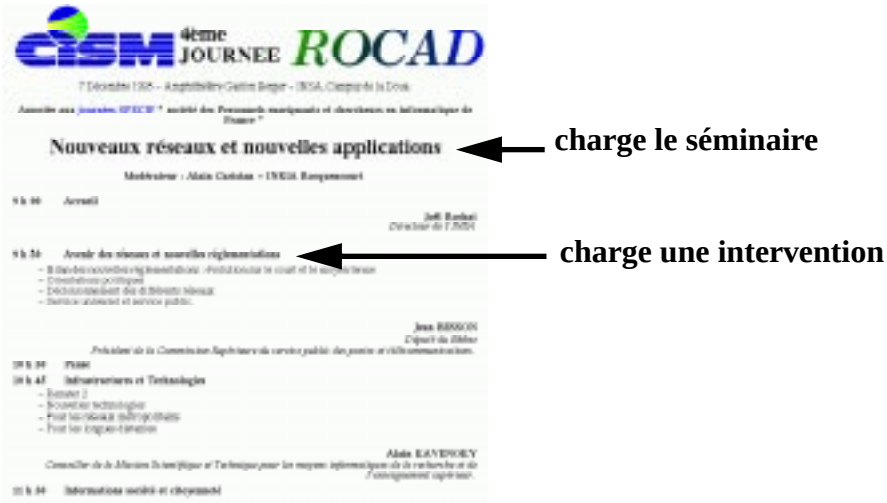


Figure 36 : Dia_Dif, Télé-chargement des ensembles de documents

Le choix des documents est réalisé selon le même procédé. Une page de prévisualisation des documents permet au conférencier de choisir le document à afficher. Ici aussi, le conférencier choisi le document à afficher en "cliquant" sur la zone sensible représentant une vue réduite du document. La requête `GET` suit le même cheminement que précédemment :

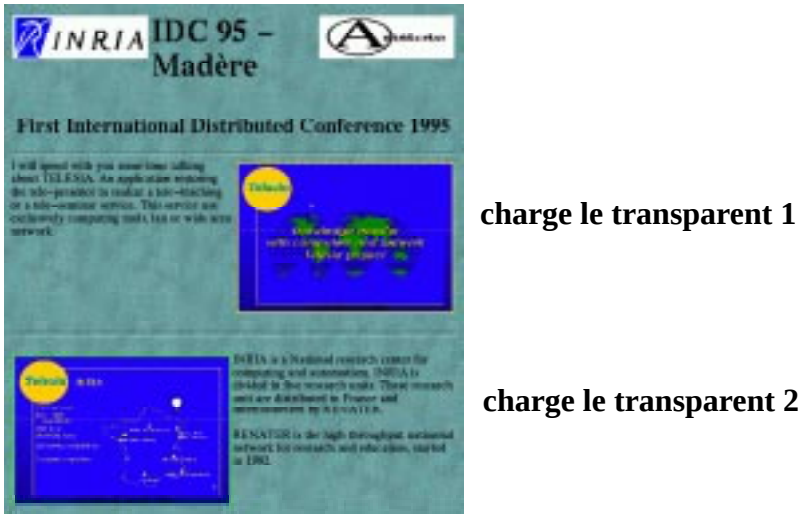


Figure 37 : Dia_Dif, Télé-chargement et visualisation des documents

7.1.2.2.a. La version V0

Cette version nécessitait une extension des paramètres multimedia *MIME* du serveur *httpd* et du navigateur du conférencier. Le principe de cette version était de minimiser les développements

d'applications spécifiques en utilisant les caractéristiques d'adaptation du protocole *MIME* mis en oeuvre par le serveur *httpd* et les navigateurs *mosaic* ou *netscape*.

Ainsi, un nouveau type d'application a été créé : `application/telesia_doc`. Ce type d'application multimedia est reconnu par le serveur *httpd* lorsqu'il sert une requête `GET` pour un fichier dont l'extension est `.mutel`. Le type est transmis avec le document en réponse de la requête. Les navigateurs interprètent le type de document et exécutent l'application *d'aide*[1] décrite par les fichiers : `.mailcap` et `.mime.type`. Dans le système *Dia_Dif*, l'application exécutée est `doc_server`. Le processus reçoit le contenu du fichier `.mutel` transmis comme paramètre :

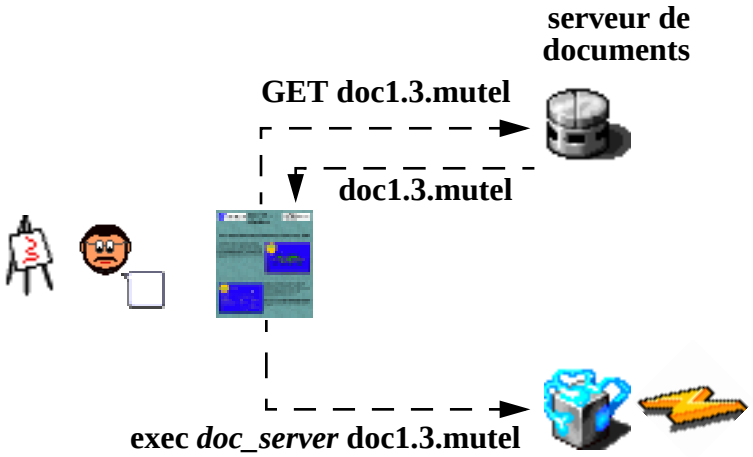


Figure 38 : Dia_Dif, Version V0, commande d'affichage

Ce contenu correspond à l'adresse *Internet* sur laquelle envoyer l'*URL* du document, ainsi que la commande pour le navigateur distant (charger, ou afficher).

7.1.2.3.b. La version V1

Cette version s'approche plus de la description faite en début de ce chapitre. En effet, l'utilisation de la version V0 lors des cours sur *Internet* et le travail coopératif, réalisés avec l'*ENPC*[2] et la conférence de *Bordeaux*[3], a mis en avant la nécessité de raccourcir les délais de diffusion des commandes d'affichage. Une nouvelle étude à été menée afin de rapprocher le processus de diffusion de la commande `doc_server` du serveur des documents, évitant ainsi le délai du retour des paramètres vers l'équipement du conférencier. De plus, le choix fait dans la version V0 liait l'outil du conférencier au système *UNIX*. Il nous paraissait important que les

1. En accompagnement du fichier demandé, le protocole *http* prévoit un champs qui décrit le type de l'information. Il existe ainsi quelques dizaines de types, citons : `audio/x-aiff`, `video/x-mpeg2`, `audio/x-midi`. Pour chaque type, les navigateurs sont capables de charger, mettre en œuvre une application spécifique au traitement de cette information. Pour un fichier *MIDI*, un séquenceur et un expandeur interpréterons la musique.
2. *Ecole Nationale des Ponts et Chaussées*, Cours *Internet* du 15 et du 19 Mars 1996.
3. *Bordeaux*, 28 Mars 1996, **Internet et l'Entreprise**, organisé par le Conseil Régional de l'*Aquitaine*.

conférenciers puissent utiliser des moyens plus banalisés comme leur *PC* ou leur *MacIntosh* portables sans avoir à réaliser un portage spécifique et coûteux de l'application d'asservissement.

Ce choix nécessite une nouvelle mise en forme de la requête. En effet, le serveur *httpd* des documents doit pouvoir activer le processus `doc_server` lors la réception de la requête du conférencier. Ce qui était implicite avec le traitement des types multimedia *MIME* doit être désormais décrit explicitement. Le seul modèle d'activation dynamique pour un serveur *httpd* est le **CGI**[1].

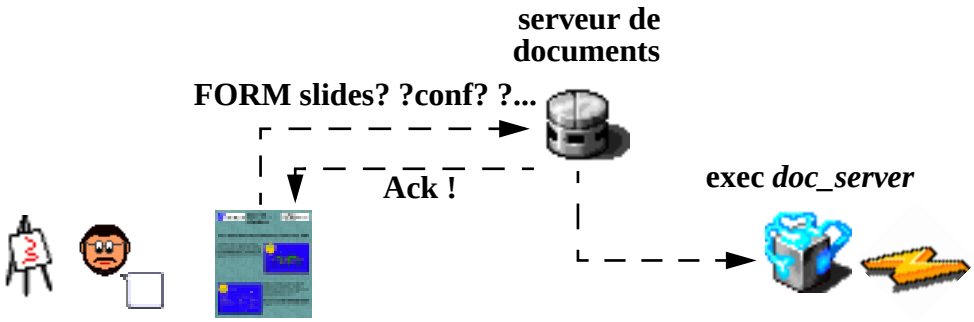


Figure 39 : Dia_Dif, Version V1, commande d'affichage

Le principe retenu, se déroule en deux étapes : une "forme" de préparation enregistre les coordonnées du séminaire et de l'intervention, une deuxième "forme" enregistre la présentation des transparents destinée à envoyer les commandes au serveur.

La première étape génère la deuxième "forme" avec les renseignements collectés :

- séminaire : groupe *multicast* ou adresse *IP*, port *IP*, nom du séminaire,
- intervention : nom du conférencier, adresse (serveur et chemin d'accès) où trouver les transparents, leur nombre, et le format des colonnes de présentation.

Avec ces informations, un *CGI* génère une page *HTML* qui contient les vignettes des transparents et des flèches de déplacement, de façon identique à la version V0. Ici, chaque vignette est une "forme" sensible et non plus un hyper-lien vers un fichier `.mutel`. Cette forme commande l'exécution d'un *CGI* sur le serveur des documents. Les informations envoyées au serveur permettent au *CGI* de retrouver le contexte du séminaire, dans le séminaire les documents de l'intervention. Le *CGI* peut alors exécuter le processus `doc_server` avec ces paramètres pour diffuser les commandes d'asservissement aux instances des participants.

Ainsi, par simple choix d'un document sur un navigateur, une commande peut être diffusée aux participants du séminaire. L'exploitation de ce système induit la fourniture des documents dans un format d'affichage standard. Le modèle courant est d'environ 640x480[2]. Face à cette forme

1. **Common Gateway Interface**. Un *CGI* est un programme interprété ou en code natif, qui s'exécute sur le serveur où il réside. Ce programme reçoit des paramètres en provenance de la "forme" du client, les interprète, et renvoie une page *HTML* à l'appelant.

électronique des documents, de plus en plus fréquente, des chaînes de traitement ont été développées afin d'automatiser l'intégration des documents dans les serveurs. Elles extraient les images des principaux outils de présentation du marché. Ces images sont enregistrées dans les formats standards : `.gif` ou `.jpeg`, puis répertoriées pour chaque conférencier.

7.1.2.4. La réception des commandes

Du côté des participants, une extension de l'application TÉLÉSIA appelée `doc_client` est en permanence en attente de commandes sur l'adresse dédiée aux documents pour le séminaire. Les requêtes de chargement sont exécutées avec les protocoles *http*. Les documents sont installés dans un catalogue spécifique de la session, fourni en paramètre à l'application TÉLÉSIA. Les requêtes d'affichage sont envoyées au navigateur selon un protocole qui lui est propre. On sait que le navigateur *Mosaic* sur réception d'un **signal**[1] `USR1` lit un fichier situé dans le catalogue "`/tmp`" et interprète son contenu comme une *URL* à charger. Un protocole fonctionnellement équivalent existe pour le navigateur *netscape* :

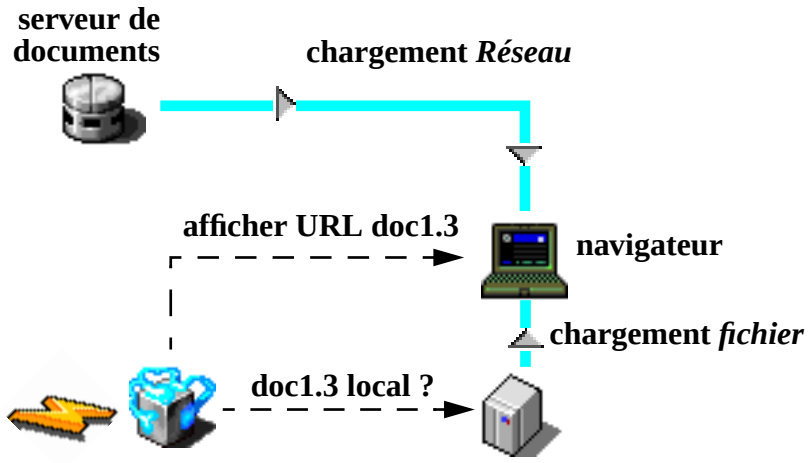


Figure 40 : Dia_Dif, Schéma d'asservissement

Dans les versions V0 et V1 de `doc_client`, l'*URL*, si elle n'est pas déjà affichée, est analysée et découpée en deux parties :

- la description du serveur et du protocole d'accès, par exemple : `http://magoo.inria.fr/`,
- le chemin d'accès au fichier contenant le document, par exemple : `Telesia/enpc/doc1.3.gif`.

2. C'est le format standard des écrans de *PC* et de *MacIntosh*. Il est suffisamment grand pour que les informations soient lisibles, et pour laisser de la place au reste de l'application sur une station de travail classique.

1. Les signaux du système *UNIX* interviennent dans le déroulement d'un processus comme une interruption hardware interrompt le l'exécution d'un système d'exploitation (le niveau de préemption n'est pas toujours respecté, il peut être réglé). Un pilote de signal doit être fourni pour interpréter et agir en conséquence.

Le système contrôle la présence du fichier sur la station du participant. En cas de présence locale, une *URL* est reconstruite en concaténant à ce chemin la description d'un accès local : `file://localhost/Telesia/enpc/doc1.3.gif`. Si le document n'est pas trouvé, l'*URL* originale est utilisée. La deuxième étape de fonctionnement du client TÉLÉSIA, consiste à activer le navigateur avec l'*URL* précédemment calculée. Deux pilotes existent à ce jour : un pour *Mosaic* et un pour *netscape*.

7.2. La synchronisation

La transmission des requêtes est réalisée avec le protocole *RTP* qui estampille les messages avec l'heure et un numéro de séquence. L'intégration dans l'application TÉLÉSIA permettrait de "jouer" l'ensemble des flux du séminaire en synchronisation parfaite. Par contre, le conférencier doit prendre en compte le temps de latence induit par l'affichage des documents, qui varie de une à quelques secondes. Le traitement de la synchronisation des flux multimedia ne s'arrête pas au fait de jouer les événements synchronisés par rapport à leur date de génération. La mise en place de ce service a mis en évidence qu'un temps non négligeable est utilisé pour "jouer" l'événement. Ce délai supplémentaire est lié à la structure du flux. Lorsqu'on traite le son et l'image animée, ce temps même mesurable n'est pas systématiquement perceptible par rapport au délai induit par la génération des flux. En effet les systèmes de synchronisation corrigent ces délais, plus que ceux induits par le réseau. Il en résulte que le temps nécessaire à la reproduction des événements du flux doit être le plus court possible.

Ainsi, est apparue la différence entre la synchronisation de la commande et la disponibilité des informations. Dans les flux classiques, comme le son et l'image animée, le flux est porteur de la commande d'affichage. C'est implicite, de la même façon qu'une requête *RPC*[1] d'un système distribué est porteuse à la fois de la fonction et des paramètres sur lesquels doit être appliquée la fonction. Dans le système d'affichage des documents, c'est la commande qui est envoyée et non pas l'information, sans aucun a priori sur l'existence, la disponibilité des informations qu'elle référence. Il en découle que l'ensemble des traitements, liés à ce contrôle et au rapatriement éventuel des informations en vue de les afficher, doit être pris en compte de façon externe. Les expérimentations[2] montrent que sur *RENATER* vers 19h30 le temps supplémentaire dédié au rapatriement d'un document est de 4 à 5 secondes alors que le temps du transfert de la commande et l'affichage est de 3 secondes. D'autres expérimentations, avec l'*Angleterre*, ont montré que les

1. **Remote Procedure Call** : appel de procédure à distance. Cette fonctionnalité permet l'exécution d'une procédure de code, située sur une machine distante. Le protocole *RPC* intègre le passage des paramètres et la récupération du résultat dans un format commun.
2. Présentation du système *Dia_Dif* le 6 Mai 1996 pour la Chambre d'Industrie et d'Économie du *Mans* dans la Faculté du *Mans*.

temps de transfert très longs, que l'on mesure sur l'*Internet* International, peuvent faire échouer les plus belles interventions de spécialistes[1].

Cette prise en compte nécessite une gymnastique intellectuelle, supplémentaire, dans la gestion de l'intervention, en anticipant l'activation de l'interface d'affichage. C'est sur ce constat, que le système a été enrichi de fonctions de transfert, au préalable, des documents.

7.3. L'administration du séminaire

Cette administration a été développée en accompagnement du service *Dia_Dif*, avec le même souci d'indépendance vis-à-vis d'un service de diffusion d'images animées et de son. Il fonctionne indépendamment du système de vidéo-conférence TÉLÉSIA. Ainsi que nous l'avons vu précédemment, avec le système *Dia_Dif*, de gestion de la diffusion des documents d'un séminaire, nous avons inscrit cet ensemble de services dans le contexte global du système d'information *WEB*. Il en sera de même avec l'administration du séminaire, qui en premier lieu gère les documents, et en second lieu doit être accessible largement et à travers les outils standards de l'*Internet* pour mener à bien l'expérimentation du service.

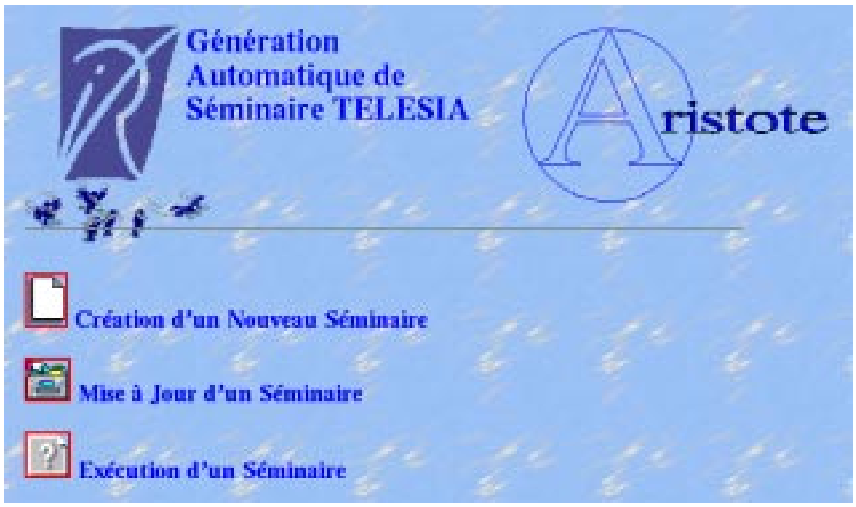


Figure 41 : Dia_Dif, génération automatique des séminaires

Toute la réalisation décrite est réalisée en langage *HTML* version 3 ou en langage C pour les *CGI*.

7.4. Le séminaire

La gestion du séminaire concerne, à ce jour, la déclaration dudit séminaire, l'enregistrement des intervenants et de leurs documents. Ainsi, nous pouvons définir un séminaire d'après les

1. Un diaporama continu du projet TÉLÉSIA est disponible à travers ses pages *WEB*. En Angleterre, le temps de rapatriement des documents était supérieur au temps inter diapositives initial de 45 secondes. Ainsi, aucun document n'apparaissait, laissant présager un dysfonctionnement du système *Dia_Dif*.

informations suivantes :

- son **titre** : il identifie le séminaire : “Les réseaux locaux sans fil”,
- une **description** : introduit sommairement le contenu du séminaire : “Pourquoi l’emploi du sans-fil, technologie, mise en œuvre, atouts, enjeux et facteurs de croissance”,
- sa **date** : avec le titre, la date de déroulement du séminaire identifie de façon univoque les séminaires dans le système d’administration,
- le **nom du modérateur** : au delà de son rôle d’organisateur, il aura pour responsabilité la gestion du droit de parole et la mise à disposition des moyens d’accès aux documents pour les intervenants,
- **l’adresse Internet du modérateur** : réservée pour des développements futurs, liés à une plus grande décentralisation des services,
- les **intervenants** : est une simple liste des conférenciers.

Figure 42 : Dia_Dif, création d’un séminaire

Aucune référence à l’outil de diffusion, et donc aux informations spécifiques au réseau *Internet* ne sont présentes à ce stade. Les adresses de diffusion de la conférence, et des documents apparaîtront plus en avant dans l’administration. Cinq opérations ont été définies pour gérer les séminaires :

- la **création** : consiste à saisir à l’aide d’une forme et enregistrer dans les fichiers de la base, les informations décrites précédemment. A la fin de cette opération, le système fournit en retour un nom qui servira de désignation pour les opérations suivantes,
- la **suppression** : détruit l’ensemble des informations existantes,
- la **mise à jour** : dans l’état actuel du développement, cette opération est limitée à la liste des participants,
- la **copie** : facilite la gestion des séminaires récurrents,

- l'**exécution** : le jour venu, cette fonction donne accès aux pages liées à la diffusion des documents.

7.5. Les intervenants

Les informations liées aux conférenciers sont à ce stade les plus importantes dans la gestion du séminaire. Nous avons décrit les conférenciers à l'aide des éléments suivants :

- son **nom**,
- **l'adresse Internet** : de diffusion de l'intervention. Elle est définie par l'adresse *IP unicast* ou *multicast* et du port. Cette information permet aux systèmes *Dia_Dif* et TÉLÉSIA de fonctionner lorsqu'ils seront appelés lors de l'exécution du séminaire,
- l'**horaire** de l'intervention,
- une **description** succincte : "Technologie bande étalée et DSS",
- le **serveur** de résidence des transparents du conférencier : "`magoo.inria.fr`"
- le **répertoire** de résidence des transparents. Avec l'information précédente, le système *Dia_Dif* pourra obtenir les images des documents nécessaires à la construction de la forme de navigation offerte au conférencier. L'adresse construite doit être une *URL* conforme à la norme, et le serveur qui abrite les documents doit être accessible aux participants du séminaire,

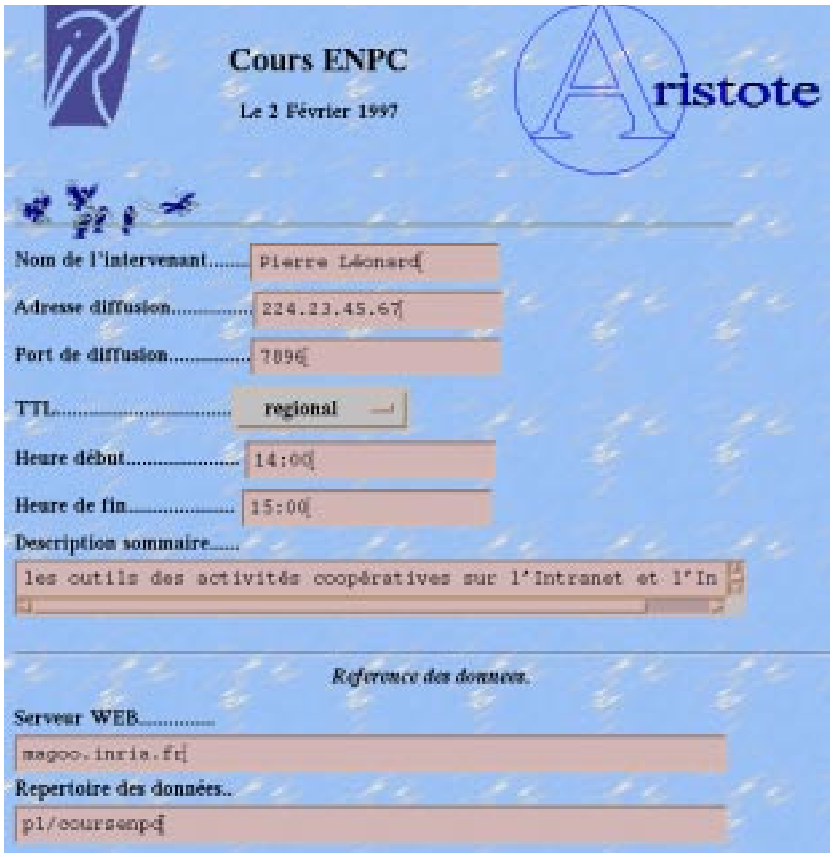


Figure 43 : Dia_Dif, création d'une intervention, l'intervenant

- les noms des images des documents ont une construction lexicale régulière, unique pour une

intervention. Cette construction est basée sur un nom générique, un numéro de taille fixe mais diverse, une extension qui caractérise le type de l'image :

- le nom générique unique : `trans`,
- un numéro de taille variable : `0x, 00x,000x,0000x`,
- une extension relative au format de l'image : `.gif, .GIF, .jpeg, .jpg, .JPG`,

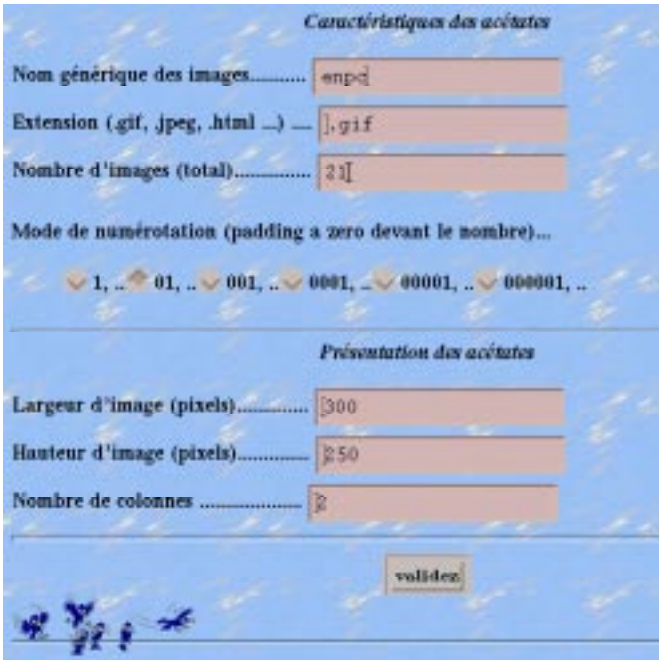


Figure 44 : Dia_Dif, création d'une intervention, les acétates

Avec ces éléments, le système va construire une nouvelle forme de présentation des images pour le conférencier. Ce choix implique une grande régularité dans la numérotation des images. En général, les images sont extraites des fichiers de présentation, avec des outils automatiques, qui génèrent ces noms lexicalement corrects, et dans le respect du scénario,

- puis on y trouve quelques renseignements liés à la présentation des vignettes sur la forme du conférencier :
  - la largeur et la hauteur des images en pixels,
  - le nombre de colonnes dans la page,
  - le nombre d'images de la présentation.

Dans cette version du système, les participants sont différentiés avec l'adresse *multicast* de diffusion de leur intervention. Les opérations sur les intervenants sont aux nombre de trois :

- la **création**. Elle saisit les informations décrites précédemment et les range dans un des fichier de la base,
- la **suppression**. Cette fonction supprime l'ensemble des informations liées à l'intervention mais aussi le nom de l'intervenant dans la liste du séminaire,

- la **mise à jour**. Cette fonction permet de modifier l'ensemble des données décrivant l'intervention.

7.6. L'exécution du séminaire

L'exécution du séminaire correspond avec ce système, au choix des documents par les intervenants et à leur diffusion avec le système *Dia_Dif* décrit en [7.1. page 74]. Le mode de diffusion éventuel de l'audio et de l'image animée n'est pas spécifié. Une intégration avec l'application TÉLÉSIA est déjà réalisée avec *Dia_Dif*. Elle gère ce système par défaut, puisqu'il est basé sur des formes en langage *HTML*. Ainsi, la première page de présentation peut être appelée comme introduction par le navigateur de *Dia_Dif* - TÉLÉSIA. La page principale du système d'administration présente l'ensemble des séminaires. Dans un système sécurisé, cette page doit être protégée. Dans notre expérimentation promotionnelle, les pages des documents sont publiques afin de constituer une bibliothèque de présentations. Ainsi, lorsque le conférencier a choisi l'ensemble des documents de son intervention, une page de présentation contenant les vignettes de ses documents est affichée. Cette page existe en deux versions. Toutes deux lui permettent de progresser dans son exposé et de commander l'affichage de ses documents sur les écrans, équipements des participants distants. Une version présente des vignettes réduites des documents :

Figure 45 : Dia_Dif, panneau de choix direct des documents

Cette méthode autorise le choix des documents, quel qu'en soit l'ordre, et donc, de bousculer l'ordonnancement de la présentation à tout moment. Le deuxième type de page, offre une

interface de type “projecteur de diapositives” : en avant, en arrière. Elle est d’un maniement plus rigide et ne supporte pas l’improvisation, bien qu’un retour au mode précédent soit toujours possible.

Figure 46 : Dia_Dif, navigation séquentielle

L’usage lors des séminaires *Aristote* nous indiquera les préférences des conférenciers. A ce stade de l’administration, le fonctionnement mis en œuvre est celui du système *Dia_Dif* [7.1.2.3.b. page 77].

Chapitre V Les expérimentations

Nous allons décrire dans ce chapitre, les principales expérimentations qui nous ont permis de faire évoluer l'application sur un plan technique. Les descriptions et analyses sont principalement basées sur une observation des phénomènes audio et visuels. Ces observations subjectives ont toujours été corroborées par les mesures que nous réalisions durant ces événements. Ces mesures sont présentées en parallèle, sous une forme graphique simple afin d'être immédiatement parlantes.

Une expérimentation n'a pas été présentée. Elle s'appuie sur un cours réalisé en télé-enseignement entre l'*INRIA* et l'*École Nationale des Ponts et Chaussées*. Cette intervention sur le travail coopératif s'inscrit dans un ensemble de cours sur l'*Internet* pour les élèves de troisième année. Ce cours présente l'intérêt de se dérouler dans un cadre professionnel, comme les séminaires de l'association *Aristote*, et avec les moyens disponibles à l'École. C'est-à-dire, entre autre, une connexion avec le réseau *Renater* à 64 Kbits/s. Cette limitation nous a permis de mesurer l'efficacité et l'impact des outils de coopération dans un environnement fortement contraint. Avec les expériences du *National Host* et les séminaires *Aristote*, ces interventions ont été un des aiguillons de nos réflexions sur l'adaptation des technologies de mise en paquets des flux audio et vidéo.

1. La conférence National Host 1994

Le *National Host* français [20] est un groupement d'opérateurs de télécommunication, d'industriels, de fournisseurs de service, de centres de recherche, et d'utilisateurs de moyens informatiques et de télécommunications. Ce groupement a été initié sous l'égide du Ministère de l'industrie, des postes et des télécommunications, du commerce extérieur et du Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche. Les objectifs du *National Host* ont été définis en accord avec les pré-requis des programmes *ACTS* de la commission Européenne :

- démontrer la crédibilité et la concrétisation des services et des applications avancés,
- promouvoir les technologies avancées, et l'utilité des services,
- fournir des informations sur les plates-formes techniques et en faciliter l'accession,
- faciliter les échanges d'informations sur ces usages,
- organiser, si nécessaire, des relations avec les autres *National Host* Européens.

Le groupement *National Host* est construit autour d'un ensemble de plates-formes technologiques. La liste n'en est pas close. Elle peut évoluer avec la technologie et l'arrivée de nouveaux partenaires. Les plates-formes technologiques restent la propriété des concepteurs et le groupement *National Host*, ne se substitue pas à eux dans les domaines de coopération technique et commerciale. Ainsi, Les nécessités de financement induites par la promotion ou toute autre

forme de coopération sont négociées directement entre les partenaires du groupement *National Host*. Dans les fournisseurs de ces plates-formes, nous trouvons deux entités majeures :

- le *CNET* et l'*INRIA* qui proposent un ensemble d'infrastructures de télécommunication et de services avancés dans le domaine du multimedia et de l'audiovisuel,
- le *GIP-Renater* qui fournit une infrastructure et un support de télécommunication national permettant de mettre en œuvre et d'évaluer ces nouvelles applications auprès de groupes d'utilisateurs compétents.

Les plates-formes correspondent aux propositions suggérées par la commission Européenne. Elles sont centrées sur : la communication (les infrastructures de réseau à mettre en œuvre), les services et les applications. Ces objectifs, définis dans le programme *ACTS*, s'inscrivent dans la finalité des recherches organisées dans les domaines du multimedia, de l'audiovisuel, des réseaux à très haut débit, des réseaux à valeur ajoutée, des mobiles et des services connexes.

1.1. Le consortium CNET - INRIA

Les deux instituts de recherche Français proposent d'exploiter les plates-formes dont ils disposent et de les mettre en œuvre dans une dimension internationale, notamment en faisant jouer leur appartenance au groupe *France Télécom* pour le *CNET* et les accords de coopération préexistants avec le groupe Allemand *Deutsch Telekom* d'une part, et les axes de coopération qu'entretient l'*INRIA* avec le *GIEE ERCIM* d'autre part.

Les plates-formes proposées par le consortium *CNET-INRIA* s'inscrivent dans quatre thèmes principaux :

(1) le multimedia et l'audiovisuel :

- applications de recherche et de diffusion domestiques de séquences multimedia, (*France Télécom* et le *CCETT*). Vidéo, musique haute fidélité et information à la demande, par groupement ou programmation multiple. Services interactifs de télé-achat, de jeux, de recherches touristiques. Ces services mettent en œuvre des technologies comme le *MPEG* et le *MHEG*, la commande télématique ou vocale,
- diffusion terrestre de séquences multimedia et d'audiovisuel, (*France Télécom* et *TDF*), télévision interactive, radio interactive, diffusion d'informations mixtes audio, vidéo, textuelles et graphiques. Les technologies retenues sont le *RDS* Européen, le *DAB*[1], les espaces inter-trames des signaux télé-visuels,
- services de diffusion audiovisuel par câble et par satellite (*France Télécom*). Cette

1. **DAB** : Digital Audio Broadcast, est un système de diffusion du son basé sur la compression psycho-acoustique *MPEG*. Deux standards sont en concurrence, le *MUSICAM* français et une version en provenance des USA.

plate-forme se propose de développer l'infrastructure et le terminal *vidéopass*[1] indispensables pour réaliser des accès sécurisés aux services avancés.

(2) Services de télécommunication avancés :

- traitement de la parole, synthèse reconnaissance et message audio en haute fidélité, (*France Télécom* et le *CNET*). Cet axe de recherche et d'expérimentation est une des briques des services avancés de vidéo à la demande. Le pilotage de la recherche et de la sélection se faisant par reconnaissance et synthèse de la parole. La reconnaissance vocale est effectuée sur quelques mots multi-locuteurs, multi-lingues (Français, Anglais, Allemand, Italien, Espagnol, Russe, Arabe, Portugais),
- traitement de texte, recherche multi-lingues (Français et Anglais), et traduction, (*France Télécom* et le *CNET*). Le service d'annuaire X500 international s'appuie sur des fonctionnalités de recherches textuelles multilingues. Des machines de traduction interactives, c'est-à-dire pouvant accepter des retours, des remarques des utilisateurs, permettent de convertir des textes d'une langue vers une autre.
- vidéo-conférence, (*France Télécom* et le *CNET*). Le *CNET* travaille sur une application nommée *Télé-amphi* axée sur le télé-enseignement. L'application s'interface directement soit avec le réseau *RNIS* soit avec le réseau *ATM*. *Télé-amphi* permet de relier 3 sites en version *RNIS* et 6 sites en version *ATM*. Le flux audiovisuel est conforme à la norme *H320* de l'*ITU*.

(3) Communication large bande :

- infrastructure de réseaux *ATM*, (*France Télécom*). *France Télécom* se propose de déployer une infrastructure permettant d'expérimenter des services avancés exploitant la technologie *ATM*. Cette technologie sera déclinée soit en *CBR* (Constant Bit Rate) soit en *VBR* (Variable Bit Rate). Les débits espérés s'intègrent dans une échelle allant de 64 Kbits/s à 25 Mbits/s. Ces infrastructures sont envisagées pour interconnecter les plates-formes des *National Host* Européens.

(4) Applications sur le réseau Internet :

- travail coopératif sur le réseau de multi-diffusion et l'*Internet*, (*INRIA*). La proposition est basée, soit sur le logiciel TÉLÉSIA, soit *IVS*. Tous deux exploitent les fonctionnalités *multicast* du réseau *Internet* et mettent en œuvre les standards *H261* de l'*ITU*, et *RTP* de l'*IETF*. L'application TÉLÉSIA exploitée régulièrement intègre une gestion de conférence particulièrement adaptée à l'enseignement à distance,
- serveur multimedia haute performance, (*INRIA*). Cette plate-forme intègre des techno-

1. Le **vidéopass** est un système de contrôle d'accès pour des services audiovisuel. Le *vidéopass* est une des applications de la carte à puce.

logies variées de haute capacité d'enregistrement et de restitution des systèmes de gestion de fichier, notamment en exploitant le parallélisme, la multiplicité des technologies de transport (*RTC*, *RNIS*, *ATM*), et de présentation des données (*WWW*, *SMTP*, *X400*, *NNTP*).

1.2. Le GIP-RENATER

Le *GIP-RENATER* se propose d'exploiter sa position de fournisseur d'interconnexions haut débit auprès des utilisateurs scientifiques, des chercheurs, des enseignants. La structure du réseau qu'il gère, est intrinsèquement distribuée, avec des plaques régionales ; et la diversité de ses groupes d'utilisateurs, le positionne en première place pour supporter les expérimentations des plates-formes avancées des *National Host* français et européens.

Les liaisons hauts débits du réseau actuel devant évoluer vers les technologies *ATM* et s'intégrer avec les autres opérateurs Européens dans un grand réseau de la recherche et de l'expérimentation des *National Host*. L'inter-opérabilité avec le réseau *ATM-PILOT* pouvant être un des axes de travail. Une des manifestations de cette plate-forme expérimentale sera étudiée plus en avant dans ce chapitre avec la conférence *INET'96*. Le *GIP-RENATER* propose ainsi avec ses partenaires fondateurs d'expérimenter les services suivants :

- la visualisation et l'analyse conjointe de résultats de calculs de haute performance réalisés dans le domaine de l'espace, dans le cadre du projet Européen *PAGEIN*, notamment avec l'usage de l'outil de travail coopératif TÉLÉSIA,
- le support régulier des conférences sur l'*Internet* avec l'application TÉLÉSIA,
- le test régulier des produits *ATM* dans les projets *LARA*[1] et *LARA2*,
- l'expérimentation des réseaux à large bande *ATM/SMDS* avec le *CEA*, l'*EDF*, l'*INRIA*, l'*ONERA*...
- le support du réseau de multi-diffusion *FMBONE* en coopération avec l'association *Aristote* et l'*INRIA*,
- le service d'annuaire de la communauté *RENATER*, *OPAX* basé sur la technologie *X500*.

1.3. La conférence du 19 et 20 Octobre 1994

La conférence *National Host* a réuni à *Madrid* (*Portugal*) environ 500 personnes des différents pays Européens qui coopèrent à travers leurs structures nationales *NH* à l'évaluation et la promotion des technologies et des services avancés de télécommunication et de multimedia. La conférence organisée par *Téléfonica* à *Madrid* prévoyait quatre événements se déroulant en parallèle :

1. *LARA* est un programme d'expérimentations, d'un réseau *ATM*, mené par le groupe de travail des réseaux hauts débits de l'association *Aristote*

- les interventions des conférenciers dans une salle de conférence,
- des réunions informelles organisées par les différents domaines techniques durant la deuxième journée de la conférence, c'était le "proposer's Day",
- une session supplémentaire permettait à chaque *National Host* de se présenter et de discuter avec d'éventuels clients participants aux projets *ACTS*,
- une session de démonstrations permanentes des plates-formes prévues par les *National Hosts*.

Dans le cadre de cette conférence, le consortium *CNET-INRIA* a proposé des démonstrations qui mettaient en œuvre le réseau *ATM-PILOT*. Une liaison *ATM* a prolongé le réseau *ATM-PILOT* jusque dans les salles de démonstration de l'hôtel de la conférence. La réunion de coordination du sous-comité technique du 8 Septembre 1994 avait permis de déterminer les liaisons nécessaires entre *Madrid* et les sites principaux des *NH* nationaux. Une table d'allocation des chemins virtuels de l'*ATM-PILOT* avait ainsi été définie :

Démonstration	**Extrémité Nationale**	**Passage**	**Extrémité**	**VP**
France	Lannion	Paris	Madrid	VP1=1 VP2=2 VP3=6 VP4=2
Hollande	Leidschen-dam	Paris	Madrid	VP1=5
Confédération Helvétique	Zurich	Paris	Madrid	VP1=4
Italie	Torino Milano	Paris	Madrid	VP1=5 VP2=2
Allemagne	Stuttgart Cologne Berlin Cologne	Paris Londres Paris Londres	Madrid	VP1=16 VP1=16 VP1=16 VP1=16
Portugal	Aveiro		Madrid	VP1=4 VP2=4
			TOTAL VP **TOTAL BW** **TOTAL BW Paris** **TOTAL BW Londres**	12 67 Mbits/s 27 Mbits/s 32 Mbits/s

Tableau 4 : National Host 19, 20 Octobre 1994, allocation des VP

La mise en place de telles connexions internationales, dans un contexte de technologie *ATM*, dont toute la partie contrôle n'était pas encore automatisée, nécessite un temps incompressible de plusieurs jours de coordinations entre les différents opérateurs internationaux. Ainsi, nous avons

décidé, que les liaisons devaient être prêtes le 14 octobre, afin de permettre aux plates-formes *NHs* de faire leurs premiers tests, de bout en bout, quelques jours avant le début effectif de la conférence.

Les démonstrations du *National Hos*t français ont été organisées par le *CNET* et l'*INRIA*. À travers le réseau *ATM-PILOT*, le centre de recherche du *CNET* à *Lannion* a hébergé l'ensemble des démonstrations en relation avec la salle de *Madrid*. Le *CNET* a ainsi démontré : son application *Télé-amphi*, la synthèse de la parole, et la vidéo à la demande avec *CinéZoom*. L'*INRIA* a présenté son savoir faire en vidéo-conférence avec l'application TÉLÉSIA sur *IP-ATM*. L'architecture mise en œuvre était symétrique à *Madrid* et à *Lannion*. Elle montre aussi, les méthodes d'accès et les protocoles utilisés pour communiquer sur cette liaison *ATM* :

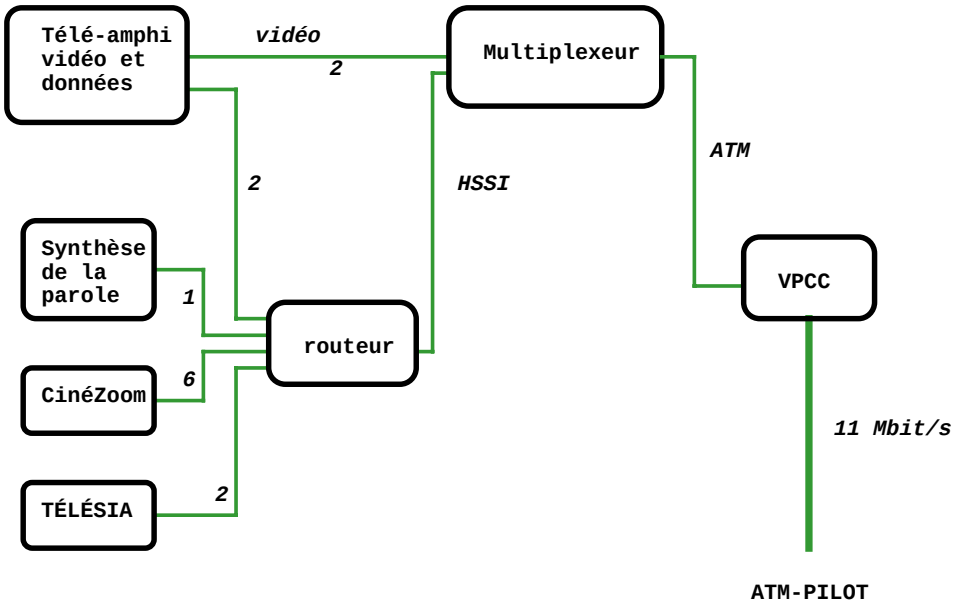


Figure 47 : NH 19, 20 Octobre 1994, synoptique de Madrid et Lannion

Les applications communiquent sur le lien *ATM*, soit en direct, soit avec les protocoles *Internet*. La synthèse de la parole, *CinéZoom*, et TÉLÉSIA utilisent exclusivement les protocoles *Internet*. Des accès qui diffèrent dans le mode de transfert, *UDP multicast* ou non pour TÉLÉSIA et le mode connecté *TCP* pour les applications du *CNET*. Ainsi, *Télé-amph*i met en œuvre un mode mixte avec les protocoles *TCP/IP* et la vidéo en direct sur *ATM*.

Ces deux jours d'expérimentation ont démontré la plus grande souplesse de gestion des activités coopératives en mode non connecté. Avec *Télé-amphi* d'un côté, et TÉLÉSIA de l'autre, la comparaison était aisée. Autant, à cette époque, l'image générée par TÉLÉSIA avait ses défauts de jeunesse : manque de fluidité, taille trop petite ; et ses atouts : pas de matériel spécifique pour la compression, bande passante faible ; autant l'interface directe de l'application sur l'*IP-ATM* facilitait grandement l'établissement des sessions de réunions et résistait mieux aux coupures du réseau qui sont intervenues, malgré l'attention particulière portée par les opérateurs Européens.

Télé-amphi avec ses connections *TCP/IP* doit gérer la reconnaissance des incidents liés au réseau et la négociation des re-connexions dans les cas irréversibles. Avec les protocoles *UDP*, les coupures des *chemins virtuels ATM* provoquaient une simple perte de paquets. L'image et le son étaient ainsi momentanément gelés et coupés. En dehors de ces accidents, le débit des liaisons permettait de tester les conditions aux limites, à cette époque, de production et de décodage des images. C'est ainsi que nous avons mis en évidence, en comparaison avec les conditions habituelles rencontrées lors des séminaires *Aristote*, l'inadaptation de la mise en paquets du flux *H261* au-dessus des protocoles *UDP*. Définie rapidement lors des premiers travaux sur le codeur décodeur *H261* en 1992 [36], cette mise en paquet consistait à couper à coups de ciseaux le flux *H261* généré par le codeur en fonction d'une taille limite. La seule contrainte requise liait le début d'une image à un nouveau paquet *UDP*, et quelques indicateurs permettaient de connaître la présence du début ou de la fin d'un *GOB*[1] dans un paquet.

Ainsi, la perte d'un paquet génère la perte du bloc complet, et bien souvent, la perte d'une partie de l'information présente dans le paquet suivant, même reçu correctement.

La qualité de la transmission que l'on pourrait définir par sa régularité, sa fiabilité hormis quelques incidents, a démontré le bon fonctionnement du décodeur *H261*. L'image décodée ne présentait pas les défauts que nous constations couramment sur le réseau *Internet* routé :

- déchirure de l'image,
- déplacement, délocalisation d'une partie des blocs de l'image.

Ces défauts reflétaient bien la difficulté dans laquelle se trouvait le décodeur face à une perte de paquets pour se re-synchroniser. Les informations correspondant au début d'image et à la présence du début ou de la fin d'un groupe de blocs étaient largement insuffisantes pour lui permettre de reprendre le fil du flux. Il arrivait fréquemment que la perte d'un paquet *UDP* provoque l'annulation du paquet, voir des paquets suivants, selon la configuration de l'image, ou provoque le décodage d'un bloc, ou d'un groupe de blocs, dans une partie de l'image ne lui correspondant pas. Ces défauts de décodage nous ont convaincus de la nécessité d'adapter la mise en paquets à la structure du flux :

- en établissant une correspondance entre les paquets *UDP* et la structure de blocs et de groupes de blocs du codage *H261*,
- en ajoutant des informations contextuelles, faisant passer les paquets *H261* d'un mode d'adressage relatif d'un flux à un mode d'adressage absolu dans les paquets.

1. **GOB** : Group Of Bloc est une subdivision d'une image *H261*. Le *GOB* représente 1/12 d'une image *CIF* et 1/3 d'une image *QCIF*. Le *GOB* contient 33 *Macro Blocs*. Un **Macro Bloc** est un carré d'image de 16 par 16 pixels.

Cette réflexion correspond à la transformation d'un flux initialement dédié à un réseau synchronisé temporellement (*RNIS*), garanti sans perte, vers un réseau en mode paquet sans aucune garantie et dont la synchronisation était à inventer.

2. Les séminaires *Aristote*

L'association *Aristote* propose des séminaires dont certains, notamment ceux du groupe d'études sur les réseaux, s'intègrent dans l'organisation du *Collège de Polytechnique*. Cette dernière organisation s'est fixée comme mission, d'anticiper les évolutions de la société, de s'adapter aux innovations technologiques, de maîtriser la complexité, de développer les compétences, de faciliter le transfert des résultats de la recherche vers les industries et les développements industriels. Les moyens mis en œuvre sont l'organisation de séminaires scientifiques et stratégiques inter-entreprises et des sessions intra-entreprises. Dans le cadre de ce collège, l'association *Aristote* propose un cycle de séminaires traitant des réseaux et des systèmes d'information. Depuis trois ans, l'association organise la diffusion de ces séminaires sur le réseau de Multi-diffusion *FMBONE*, mis en place à cette occasion au-dessus du réseau *Internet* français, et relié au réseau *MBONE* mondial. L'association remplit ainsi sa mission d'expérimentation et de promotion des nouveaux outils et services que sont la visio-conférence sur *Internet*, le réseau de diffusion *FMBONE* avec le support technologie de l'*INRIA* et plus particulièrement du projet TÉLÉSIA.

Par exemple, les thèmes abordés pour le cycle 1996 - 1997 sont :

- le World Wide Web,
- l'*Internet* alternatif,
- du facteur à la cyber-université,
- les réseaux de l'avenir pour les collectivités territoriales,
- le très haut débit vers le Terabit,
- l'évolution de *IP* vers les hauts débits.

Les choix sont faits pour couvrir, tant la technologie dans ses aspects intrinsèques, que son impact dans la société humaine et l'entreprise.

En 1996, l'application TÉLÉSIA a atteint un niveau de qualité et de service mature, notamment avec l'adjonction du traitement des documents réalisé par le système *Dia_Dif*. Les développements de TÉLÉSIA ont été principalement guidés par ces interventions avec le souci d'améliorer le service du séminaire. D'autres expériences lors des conférences à *Bordeaux*, le 28 Mars 1996, lors de présentations auprès de la Chambre de Commerce et d'Industrie du *Mans* nous ont sensibilisés sur des aspects pouvant rendre difficile la synchronisation de certaines activités coopératives humaines, comme la télé-réunion. L'illusion de la présence et de la coopération, lors

d'une activité commune, dépend de la capacité de l'ensemble des outils à offrir un effet de simultanéité. Nous voulions saisir l'opportunité du séminaire *Aristote*, puis de la conférence *INET'96*, pour effectuer quelques mesures de comportement de l'application et du réseau. Ces deux événements ont été choisis pour la mise en œuvre de technologies de réseaux différentes : *IP* classique routé pour les sessions *Aristote* et *IP-ATM* pour *INET'96*. Il devenait important d'appréhender le rôle de ces technologies, leur impact dans l'organisation d'une activité coopérative distante.

2.1. La session du 13 Juin 1996

Le séminaire du 13 Juin 1996 traitait des réseaux locaux sans fil :

- 9h00 - 9h25 Accueil
- 9h30 - 9h45 Pourquoi l'emploi du sans-fil ?
- 9h50 - 10h45 De la radio messagerie aux réseaux locaux sans fil...
- 10h50 - 11h05 Pause
- 11h10 - 11h40 R-LAN : Aspects réglementaires
- 11h45 - 12h30 Réseaux sans fil à 2,4 GHz : Une technologie d'application du codage direct
- 12h35- 13h55 Déjeuner
- 14h00 - 14h45 Réseaux sans fil à 2,4 GHz : Technologie du saut de fréquence
- 14h50 - 15h20 Interconnexion de réseaux : Le grand retour des faisceaux hertziens
- 15h25 - 16h10 Perspectives et avenir des réseaux sans fil
- 16h15 - 17h00 Débat animé par Jo Cohen

Les sessions *Aristote* du *Collège de Polytechnique* utilisent le réseau *Internet* français et le réseau de Multi-diffusion *FMBONE* disponible et accessible par l'ensemble des sites qui y participent. Aujourd'hui, ces sites sont principalement connectés au réseau *Renater*. Ils font tous partie du secteur de l'enseignement et de la recherche. De nombreuses applications commerciales apparaissent qui nécessitent les fonctionnalités de diffusion du *multicast*. La demande s'étendra donc d'ici peu au secteur commercial organisé par les fournisseurs de connexion à l'*Internet*. Ainsi, la diffusion des sessions *ARISTOTE* ne nécessite aucune infrastructure spécifique supplémentaire. La régularité, bimestrielle, et la nécessité de professionnalisme de la retransmission des séminaires, payant sur place, sont des enjeux qui ont permis de réaliser des avancées considérables dans la mise au point du réseau *FMBONE* et de l'application TÉLÉSIA.

2.2. La réalisation technique

La retransmission des séminaires est réalisée en coopération avec le service informatique et le service audiovisuel de l'École *Polytechnique*. Depuis la mise en œuvre du système de diffusion *Dia_Dif*, une préparation supplémentaire doit être réalisée, en amont, pour récupérer les

documents et les transparents des conférenciers. Une partie de cette tâche est déjà réalisée pour l'édition des minutes du séminaire. Mais ce qui est lisible dans des minutes sur support papier ne l'est pas forcément, projeté sur un écran ou transmis en image. Ainsi, la transformation, le transcodage des documents est l'occasion pour l'association *ARISTOTE* d'édicter des règles plus strictes d'usage des logiciels de présentation. Ces règles sont destinées à faciliter l'intégration des documents des conférenciers dans le système d'information *Dia_Dif*. Même si celui-ci est basé sur des standards du marché de l'*Internet* (le *World Wide Web*), l'automatisation de la gestion des conférences nécessite une unité minimale de codage qui consiste à générer une image pouvant être affichée par les navigateurs du marché. Les documents, ainsi codés comme des images en format *GIF* ou *JPEG*, sont rangés par l'administration automatique sur un des serveurs *WEB* de l'équipe TÉLÉSIA. La nouvelle version du système *Dia_Dif* permet de piloter l'affichage à partir de n'importe quel navigateur interprétant les formulaires. Un ordinateur portable est donc fourni aux conférenciers pour piloter l'affichage des transparents sur l'écran de la salle de conférence et sur les écrans des participants distants. Deux stations *SPARC* du constructeur *SUN* sont installées dans la salle de conférence pour le codage de l'image et du son, le décodage des images et du son des participants distants lors des séances de questions, le décodage des documents pour l'affichage local :

- deux caméras, une pour un plan global du plateau, une pour un plan rapproché du conférencier ou un plan de la salle,
- un projecteur vidéo pour l'affichage des documents électroniques et des images des participants distants. Ce projecteur est branché sur la sortie vidéo d'une des stations *SPARC*,
- un rétroprojecteur équipé d'une caméra permet de traiter les documents des conférenciers retardataires,
- une station *SPARC* code l'image du conférencier, et le signal audio,
- une deuxième station *SPARC* code l'image des transparents situés sous le rétroprojecteur, en cas de besoin, et tourne le programme de routage *multicast* qui connecte le site de la confé-

rence au réseau de multi-diffusion *FMBONE*.

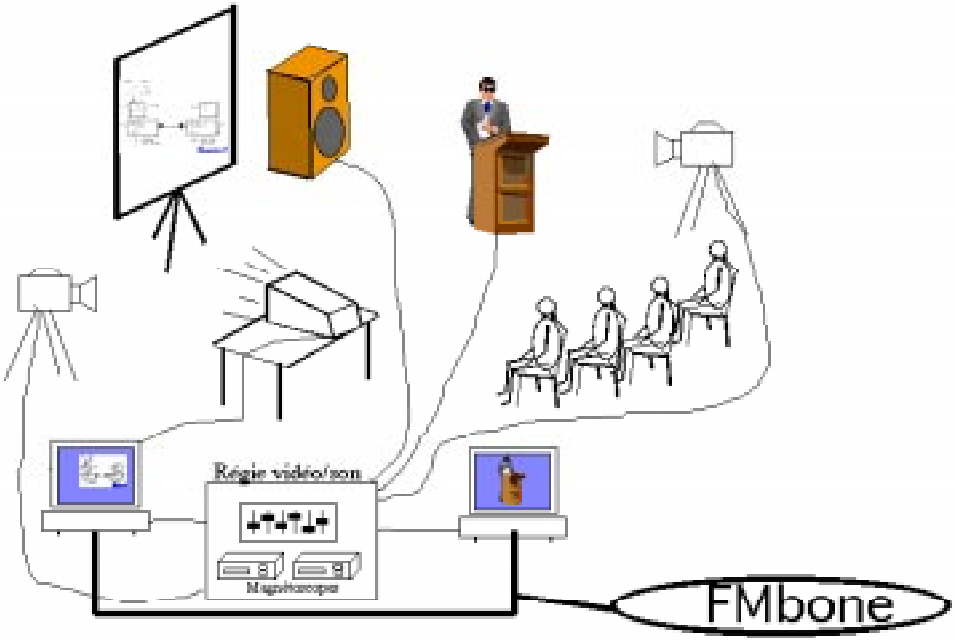


Figure 48 : Synoptique École Polytechnique, séminaires Aristote

La régie audiovisuelle est opérée conjointement par l'équipe informatique de TÉLÉSIA, du *FMBONE*, et l'École *Polytechnique* pour le compte de l'association *Aristote*. La numérisation des flux est réalisée par l'application TÉLÉSIA avec les caractéristiques suivantes :

- le son est monophonique, codé en µlaw soit un débit de 64Kbits/s et les jours de congestion importante, en *ADPCM* soit 32 Kbits/s. Certains jours de grande congestion de *RENATER*, des essais de codage du son en *GSM*, qui génère un flux de 13,5Kbits/s, ont été réalisés. La voix métallique produite, provoque pour les participants distants, une fatigue qui trouble l'attention. De plus, le décodage du *GSM* requiert une puissance de calcul non disponible par l'ensemble des participants,
- l'image du conférencier et de la salle est codée en format *QCIF* (176 x 144). Sa fluidité peut atteindre 15 images/s pour un débit variant de 100 à 250 Kbits/s,
- l'image des transparents, prise par le rétroprojecteur, est codée en *CIF* (352 x 288) et parfois en *SuperCIF* (704x576) lorsque les graphiques sont trop petits. Le débit peut alors atteindre 300Kbits/s, lors des changements de documents. L'augmentation du débit n'est pas proportionnelle à celle de la taille de l'image. Les causes principales en sont la limitation du débit du bus interne des *SPARC*, le *SBUS*, ainsi que la limitation de puissance de calcul. Notons enfin, que les images sont rarement stables. Les conférenciers ont l'habitude de passer un crayon au-dessus de leurs documents, voire de les manipuler tout en parlant. Ces modifications continuelles génèrent un ré-encodage systématique de l'image qui rend la lecture difficile,
- les documents électroniques sont classés par intervenants sur un des serveurs de l'équipe TÉLÉSIA situé à l'*INRIA Rocquencourt*. Le format d'image choisi est le *GIF*. La palette de 256 couleurs possibles est largement suffisante pour le style dessiné des transparents. C'est

aussi un format facile à décoder sur les stations des participants.

Contrairement à ce que l'on trouve par exemple à l'*INRIA* où les brins *Ethernet* des bâtiments sont fédérés par un anneau *FDDI*, le réseau de l'École *Polytechnique* est maillé. Des ponts isolent les trafics locaux tout en offrant une vision unique du réseau et une diffusion globale des trames *Ethernet* si besoin est. Ce choix d'architecture a son importance pour le bon fonctionnement d'application, comme TÉLÉSIA, qui utilisent les capacités *multicast* du protocole *Internet*. En effet, il existe peu de routeurs commerciaux aptes à gérer la version expérimentale du protocole *multicast*. Seul le constructeur *Cisco* fournit un protocole *PIM* qui peut dialoguer avec les ponts *multicast* du *FMBONE* et véhiculer ces paquets du *multicast*, intégrés dans des paquets *UDP*, dans les tunnels du *FMBONE*.

Ce qui revient à dire, concernant l'École *Polytechnique*, qu'il faudrait autant de ponts *multicast* que de tronçons *IP* séparés par un routeur *IP*, ce qui n'est pas le cas. Un tronçon seul est alimenté par le flux *multicast* en provenance de l'extérieur de l'École. Lors des premières expériences, nous utilisions le pont *multicast* de l'École. Rapidement, nous avons opté pour en installer un, sur l'une des machines prévues pour la retransmission. Le *multicast* n'avait pas atteint un niveau d'intégration suffisant dans la gestion du réseau *IP* interne à l'École. En effet, la machine du pont *multicast* était aussi sollicitée par les élèves qui puisaient une bonne partie de ses ressources. Les flux qui en ressortaient étaient donc incomplets avant d'aborder la racine du *FMBONE*, située au centre de recherche de l'*EDF* à *Clamart*. La décision fut prise de gérer un pont *multicast* et d'établir un tunnel direct avec la racine du *FMBONE*. Cette modification améliora conséquemment la qualité des retransmissions.

Une étape supplémentaire fut franchie dans la maîtrise des réseaux et notamment du *FMBONE* en dotant le *FMBONE* d'une double racine : l'*EDF* de *Clamart* et l'université de *Jussieu*. Le site de l'*EDF* bien que relié au réseau *Renater* par une liaison à 34 Mbits/s est grevé par un taux de pertes local très important. Le tunnel tendu, entre le site de retransmission de l'École *Polytechnique*, et le *FMBONE* a été changé en faveur de l'université de *Jussieu*, qui est aussi reliée au réseau *Renater* par une liaison à 34 Mbits/s.

2.3. Les mesures

2.3.1. Les conditions de mesure

Les mesures réalisées concernent le taux de pertes des paquets et le jitter pour chaque flux audio et vidéo. Chaque instance active de TÉLÉSIA diffuse ses propres mesures, sur un canal *multicast* commun, qui sont collectées sur le site de *Rocquencourt*. Suite à des travaux antérieurs sur les variations de délai de transit en fonction de la mise en paquet [30], les mesures actuelles

concernent, pour chaque point participant, le taux de perte de paquets et le jitter pour les flux audio, vidéo et contrôle. Il existe deux types de rapports statistiques :

- sur les pertes cumulées concernant les flux audio et vidéo. Ce rapport est mis à jour dans la couche de gestion des protocoles *RTP* [15] propre à TÉLÉSIA. Il fournit des pré-analyses telles que la taille des séries de paquets perdus. Cette information peut révéler les incidents liés au routage,
- sur le jitter des flux audio et vidéo. Le calcul du jitter est défini dans les documents *RTP* [14]. En raison du manque de synchronisation fine des horloges des calculateurs et de la non monotonie de l'algorithme choisi dans *NTP* [4], il ne nous a pas été aisé de calculer le délai de transit des paquets. En conséquence, nous calculons la variation du jitter (**interarrival jitter**). Ce chiffre est obtenu en faisant disparaître les références au temps absolu des horloges par une simple soustraction des délais. Dans la suite du document, nous parlerons simplement de **jitter**.

Les pertes cumulées sont présentées sous forme d'histogrammes en trois dimensions. L'axe vertical des y correspond au nombre de fois qu'une perte, de n paquets consécutifs, a été constatée. L'axe des x représente la largeur des séries de pertes : c'est-à-dire le nombre de paquets consécutifs perdus en séquence. Nous nous limitons à 9 classes, la dernière comptabilise les observations égales ou supérieures à 9. L'axe transversal des z est celui du temps, découpé en tranches horaires. Le taux inscrit en marge de cet axe est, pour cette tranche, le taux de perte par rapport au trafic global enregistré. Il permet de relativiser les valeurs des barres d'histogrammes, qui sont exprimées en mesure absolue.

Le jitter est représenté sous forme d'histogrammes en trois dimensions. L'axe vertical des y représente le nombre de fois où une valeur du jitter x est rencontrée dans une classe donnée. L'axe des x donne la classification des valeurs observées pour la variation du jitter. Cette variation est comptabilisée par tranches de 1 milli-seconde pour le flux audio et par tranches de 200 microsecondes pour le flux vidéo. Cette différence d'échelle améliore la lisibilité respective des graphiques. L'axe de profondeur z représente les tranches horaires successives.

Pour les deux flux, le code des couleurs, pour les tranches horaires équivalentes, a été respecté. Certaines stations n'ayant pas de mesures ou n'ayant pas constaté de pertes de paquets pour les mêmes tranches horaires, la mise en équivalence s'en trouve simplifiée.

Pour cette journée du 13 Juin, nous avons reçu les mesures des sites suivants : le *Cnusc* à *Montpellier*, l'*Irisa* à *Rennes*, le *CISM* de *Lyon 1*, l'*Ifremer* de *Brest*, L'*INRIA* de *Sophia antipolis*, le *Sept* et l'*IN2P3* de *Caen*, l'université d'*Evry*, le laboratoire *Infobiogen* de *Villejuif*. Tous ces sites n'ont pas suivi avec le même intérêt les interventions de la conférence, ni pu décoder l'ensemble des flux générés. Nous avons ainsi déterminé une plage horaire qui rassemble le

maximum de sites ayant “écouté” et “regardé”, c’est-à-dire décodé les flux audio et vidéo. Cette plage se situe le matin entre 9 heures et 13 heures. Les sites qui ont suivi ces interventions sont : le *Cnusc*, le *Sept*, l’université d’*Evry* et le laboratoire *Infobiogen*.

2.3.2. Le Cnusc de Montpellier

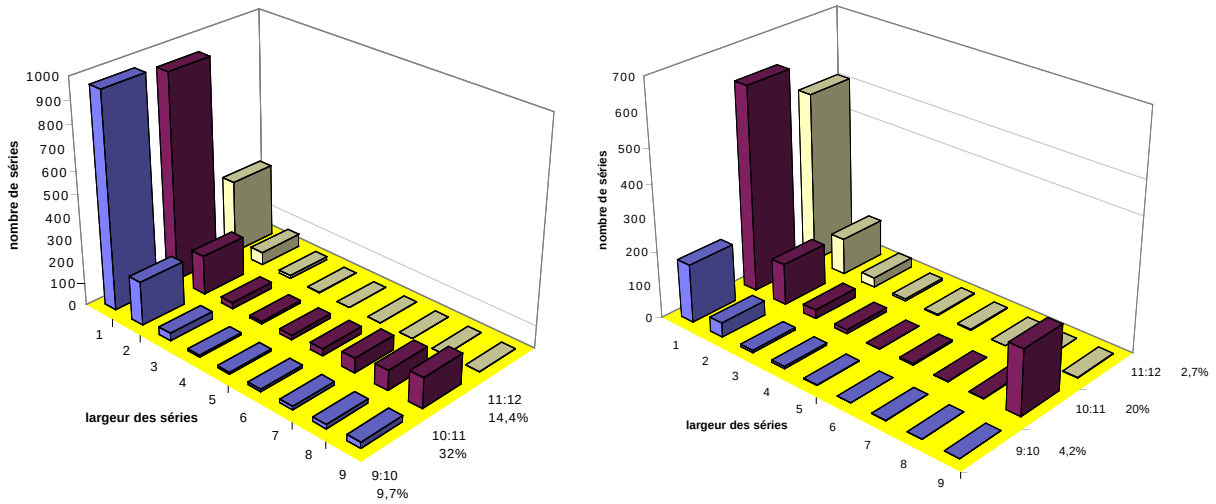


Figure 49 : Cnusc mesures des pertes audio et vidéo

Le site du *Cnusc* est caractéristique par son taux de pertes élevé dans la tranche horaire de 10 heures à 11 heures. De même, ces taux de pertes ne sont pas identiques pour les deux flux : audio et vidéo, alors qu’ils sont reçus et décodés par la même station. Nous verrons que c’est un phénomène courant, qui peut être induit, soit par un taux de décodage différent pour les deux flux, soit par le comportement de l’application structurellement différent. Nous remarquons aussi dans la tranche horaire de 10 à 11 heures des nombres importants de pertes de séries de 7, 8 et 9 suites de paquets. Ce sont des signes d’accidents ou de congestion élevée momentanés sur certains routeurs de cette plaque régionale. Les routeurs *IP* traitent cette congestion de façon radicale par une mise à zéro des files d’attente.

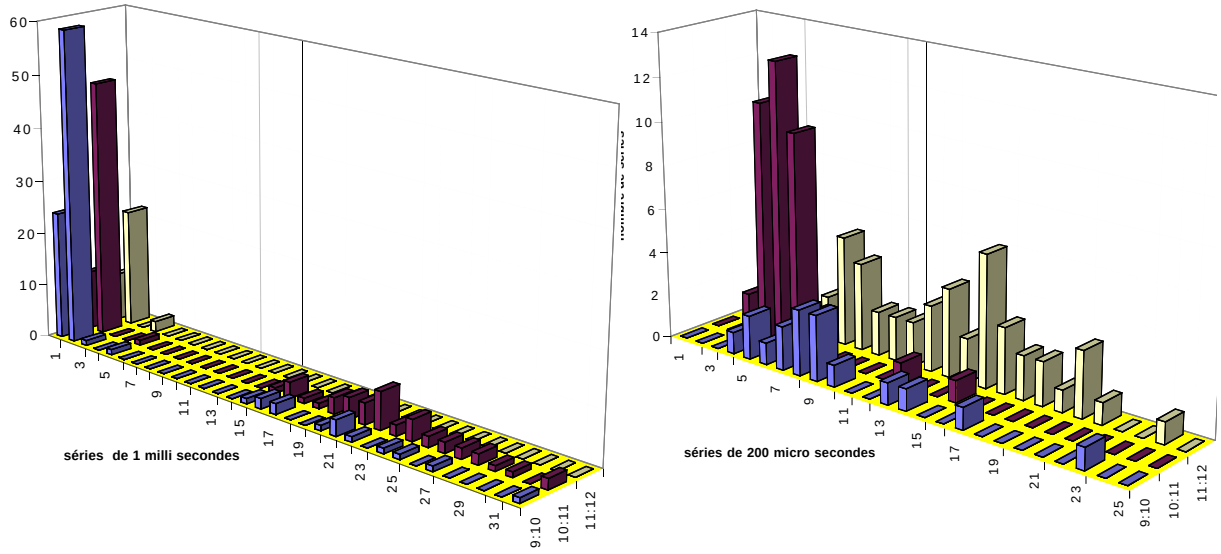


Figure 50 : Cnusc, mesures du jitter audio et vidéo

On remarque la répartition étale du jitter vidéo, que l'on retrouvera sur le site *Infobiogen* [figure 57]. De même, la répartition en deux groupes du jitter audio : entre 1 et 2 milli-secondes puis autour de 20 milli-secondes. Cette répartition est unique sur l'expérimentation *Aristote*, mais nous verrons plus tard qu'elle a été très caractéristique lors de la conférence *INET'96*.

2.3.3. Le Sept de Caen

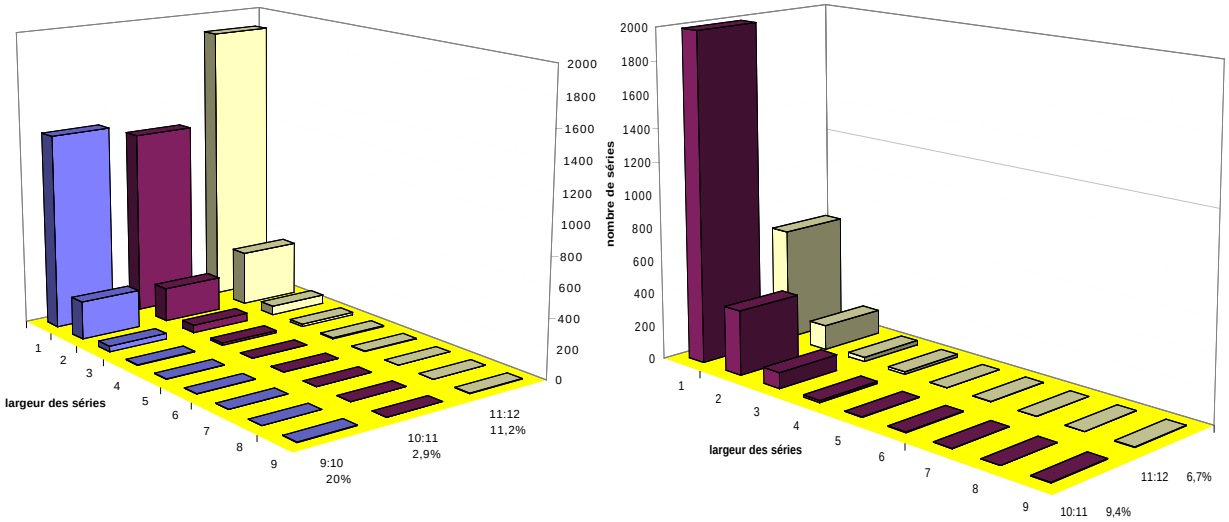


Figure 51 : Sept, mesures des pertes audio et vidéo

Les schémas mélangent des chiffres relatifs et absolus. Les nombres par séries sont absolus dans la tranche horaire, les pourcentages de pertes sont relatifs dans la même tranche horaire. Ainsi, dans la tranche de 10 à 11 heures, le nombre élevé de pertes ne semble pas correspondre au ratio bien faible par rapport à la tranche de 11 à 12 heures. Cela provient du fait que le participant n'a pas décodé le flux sonore pendant toute l'heure. Seule, une analyse équivalente mais sur une échelle temporaire plus fine pourrait le mettre en évidence.

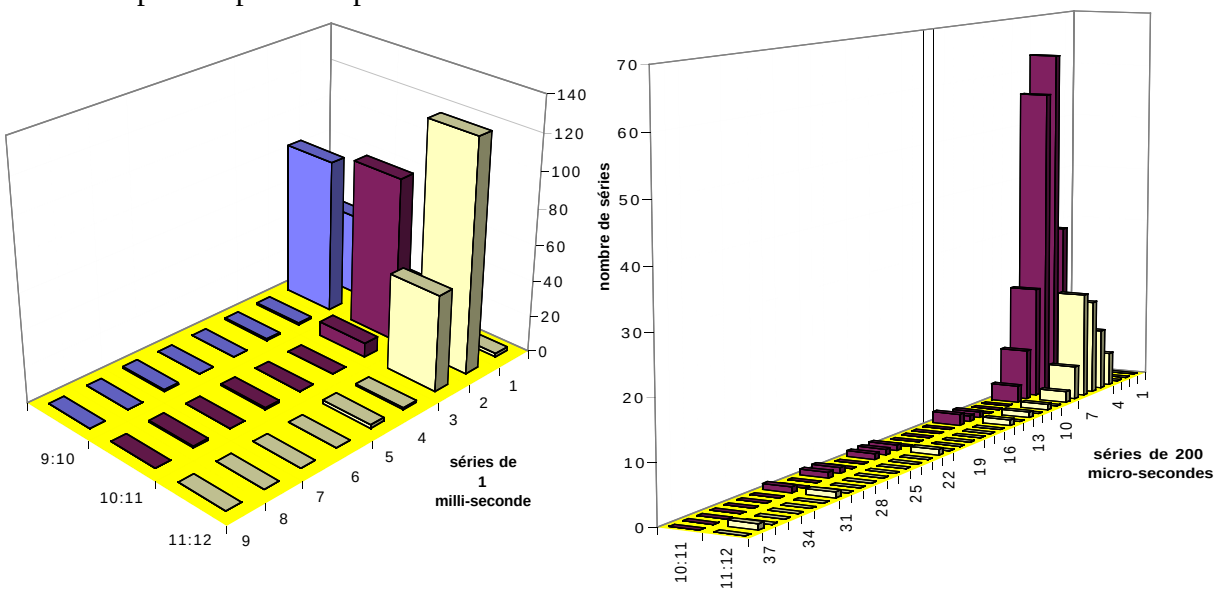


Figure 52 : Sept, mesures du jitter audio et vidéo

Nous pouvons remarquer la grande régularité du jitter audio au *Sept* de *Caen*. Lors de la dernière heure 11 - 12 heures, une des plus chargées pour le réseau *RENATER*, le jitter se dé-régularise de 1 milli-seconde. Le jitter vidéo est aussi très régulier, et reste situé dans le créneau de 1 à 2 milli-secondes.

2.3.4. L'université d'Évry

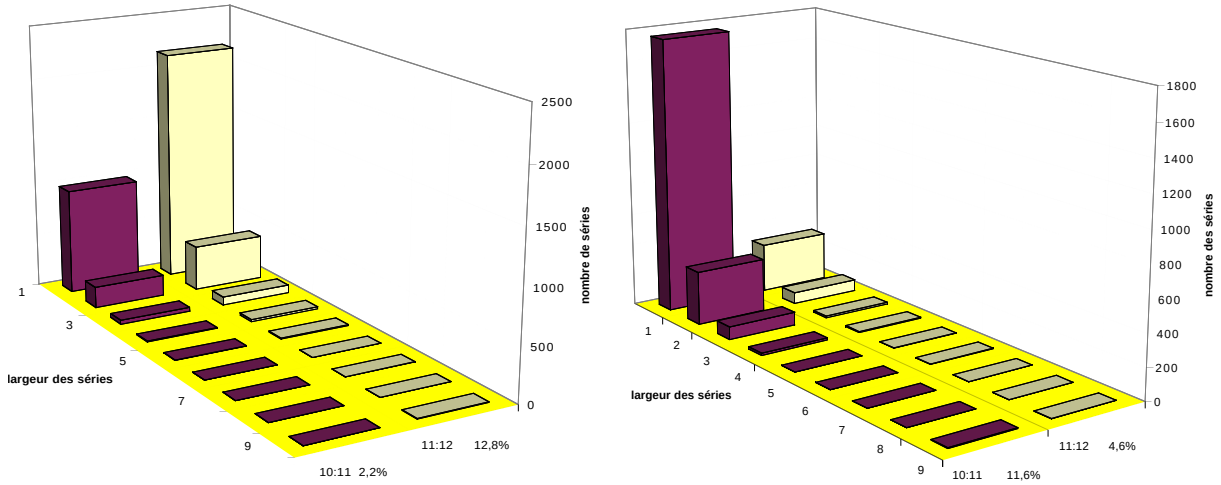


Figure 53 : Université d'Évry, mesures des pertes audio et vidéo

Nous remarquons un curieux schéma d'inversion des ratios de pertes de paquets [figure 53] entre le flux audio et le flux vidéo, sans doute provoqué, par des périodes d'écoute et de décodage vidéo, différentes. Les pertes sont régulières, c'est-à-dire réparties sur l'ensemble du flux. Il n'y a pas eu d'accident dû à une congestion importante d'un routeur, bien que le chemin suivi par les paquets ne soit pas très simple. En effet, chaque paquet doit traverser une dizaine de routeurs pour rejoindre l'université d'*Évry*.

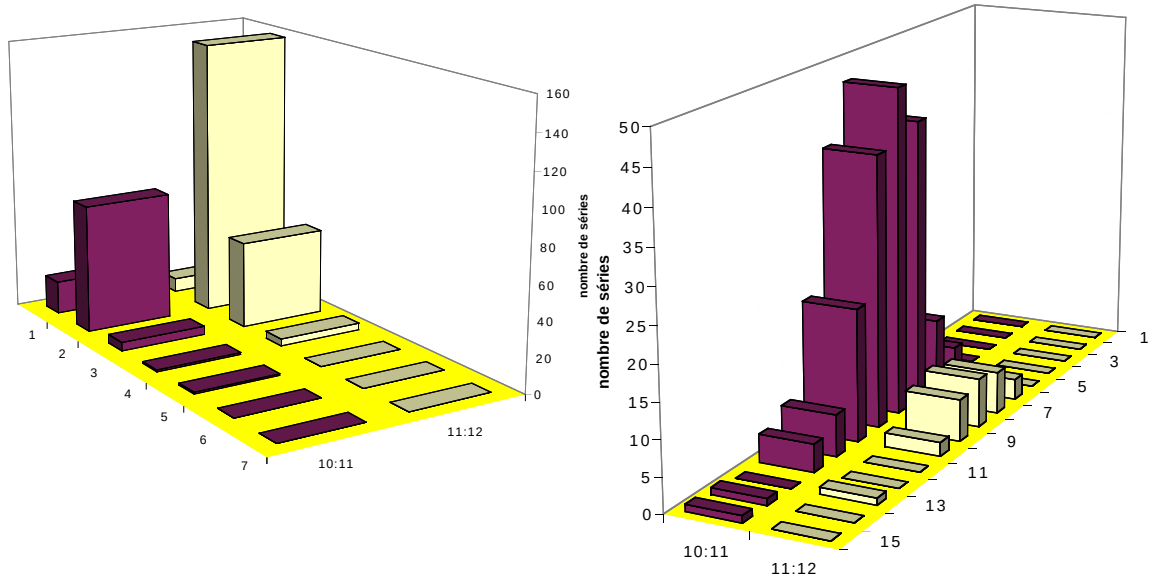


Figure 54 : Université d'Évry, mesures du jitter audio et vidéo

Ici aussi [figure 54] nous remarquons la régularité du jitter et son retard dans la tranche de 11 à 12 heures. Les nombres de séries du jitter vidéo confirment ceux des pertes vidéo : celle-ci n'a pas été décodée aussi longtemps que l'audio dans cette tranche de temps. Mais les deux flux sont reçus avec autant de régularité l'un que l'autre.

2.3.5. Le laboratoire Infobiogen

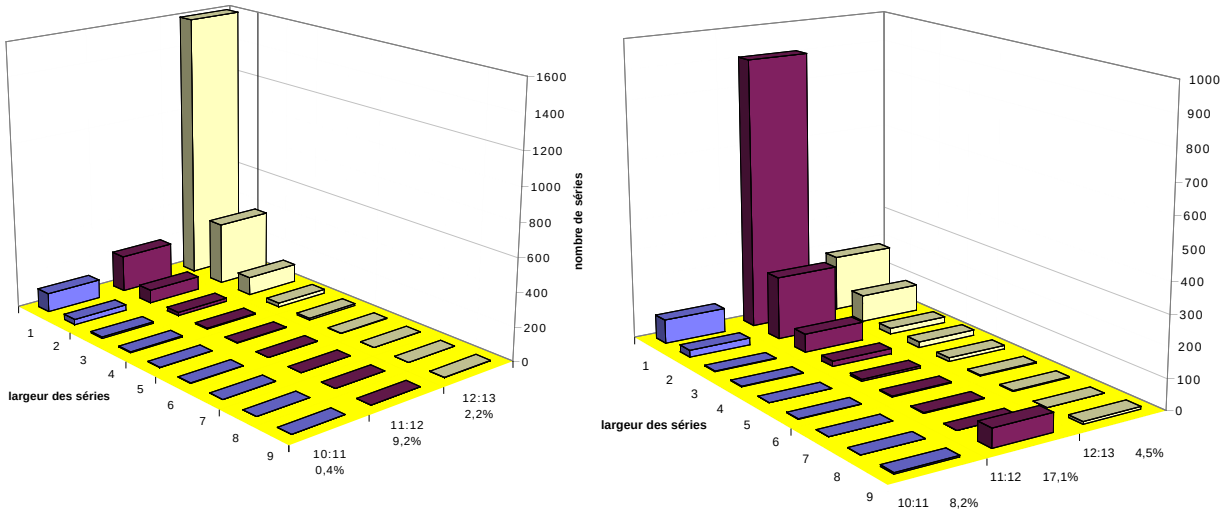


Figure 55 : Laboratoire Infobiogen, mesures des pertes audio et vidéo

Nous remarquons [figure 55] une perte supérieure, en général, sur le flux vidéo, notamment dans la tranche 11 à 12 heures, ou un accident de routeur a dû se produire. Accident que l'on ne remarque pas sur les mesures du flux audio. Il est probable, que cet accident soit plus local à la station, que généré par un routeur. Il pourrait être provoqué, par exemple, par un réglage non adéquat de la taille des tampons alloués à la socket, pour recevoir ce flux.

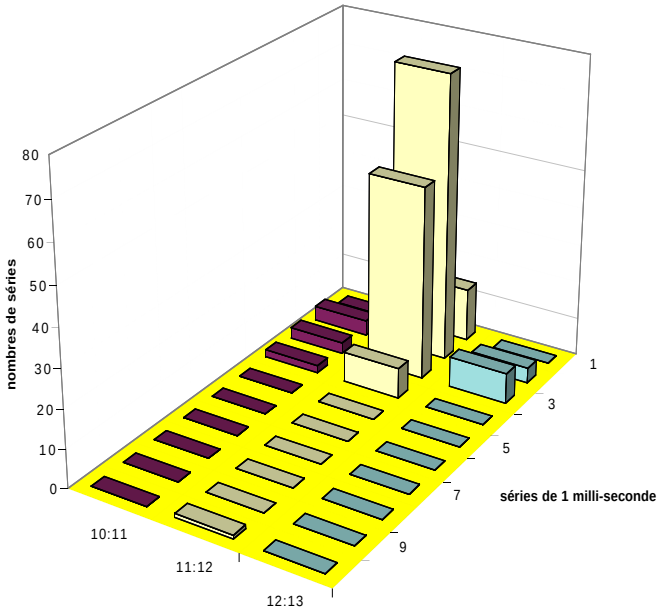


Figure 56 : Laboratoire Infobiogen, mesure du jitter audio

Attention [figure 56], les tranches horaires sont décalées d'une heure dans la journée. Elles se déroulent donc de 10 à 13 heures. Le jitter audio est régulier et varie peu, entre 2 et 3 millisecondes. Par contre, on remarque un très grand étalement du jitter vidéo [figure 57]. C'est le plus grand étalement de jitter analysé lors de nos campagnes de mesures. Il varie de 1 à 6 millisecondes avec quelques pics bien répartis aussi :

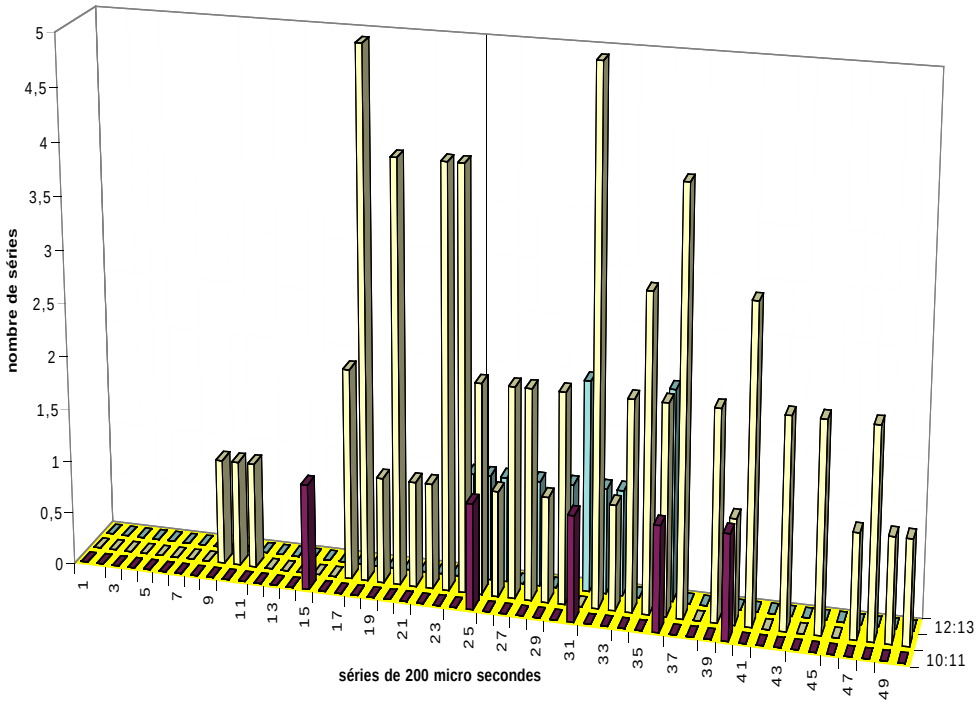


Figure 57 : Laboratoire Infobiogen, mesure du jitter vidéo

3. La conférence INET'96

Dans le cadre du salon annuel de l'*Internet Society* (*INET'96*), le *GIP-RENATER* [18] et les organisateurs de *INET'96* ont décidé de jouer la carte du progrès technologique en réalisant une expérience de vidéo conférence haute qualité sur station de travail et sur un réseau à haut débit entre la *France* et le *Canada*. Le réseau a été mis en œuvre pour la circonstance en utilisant les câbles et liaisons français, transatlantiques, et nord américains disponibles. Les conférences qui se sont déroulées à *Montréal* pendant le salon *INET'96* ont été partiellement retransmises en tenant compte du décalage horaire et des événements organisés en parallèle. Cette opération a aussi été l'occasion d'initialiser un axe de coopération francophone de co-développement. Cet

axe relie les pays francophones industrialisés et en développement, autour des thèmes de l'enseignement, du télé-enseignement, de la coopération, et de l'accès à l'expertise.

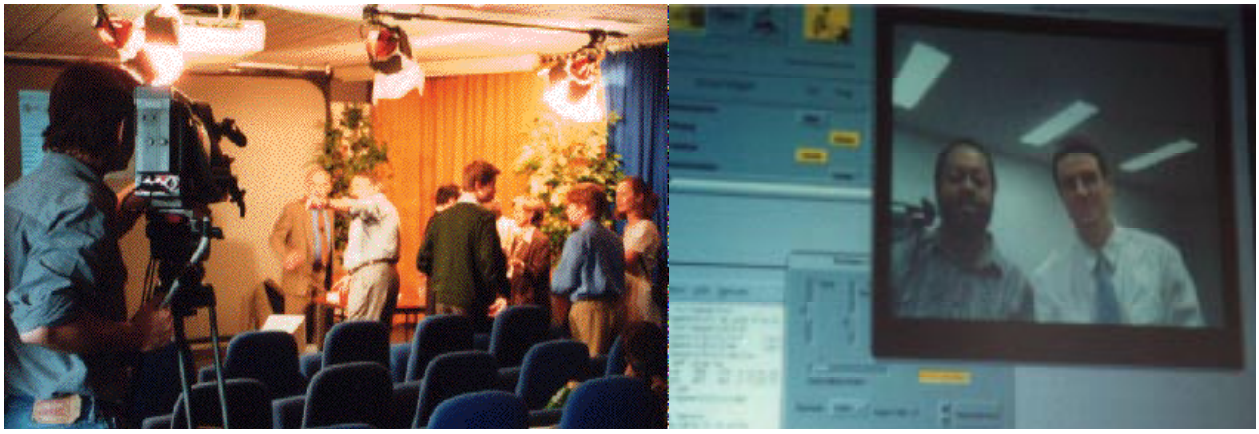


Figure 58 : Production et image de Qualité à Orsay

Cette retransmission a couplé chaque après midi (heure française) trois sites de référence : le palais des congrès de *Montréal* et sa salle de table ronde, l'*IUT* d'*Orsay* avec sa salle de vidéo-conférence, l'*Irsit* en *Tunisie*.

Ainsi, la retransmission de la conférence, des débats, des tables rondes, organisées pour l'occasion, a mis en situation des technologies innovantes pour la première fois en *France* : *IP* sur *ATM*, vidéo-conférence sur station de travail de haut de gamme. Les retransmissions ont permis de couvrir les principales sessions de la conférence *INET'96* en temps réel, ainsi que les tables rondes transocéaniques entre *Montréal* et *Orsay*. Ces tables rondes étaient consacrées au télé-enseignement, à la stratégie de réalisation d'un technopôle virtuel entre *Montréal* et l'*Ile de science* (Plateau de *Saclay*), une troisième dédiée aux premières réflexions sur la mise en œuvre de ce technopôle virtuel.

Le réseau, qui transportait ces retransmissions, utilise les technologies *IP* à haut débit sur des circuits internationaux dédiés. La technologie de transport d'*IP* sur *ATM* est en cours d'étude pour le projet *RENATER 2*, évolution de *RENATER* vers le très haut débit. Notons que ces technologies sont déjà opérationnelles aux *États-Unis* et au *Canada*, notamment sur les réseaux de la recherche à très haut débit comme *CANARIE* au *Canada*. Le point d'accès *ATM* transatlantique était connecté au réseau *RENATER*. Ensuite, le chemin suivait l'épine dorsale de *RENATER* à 34 Mbits/s jusqu'au centre de l'*IDRIS* du campus universitaire d'*Orsay*. À l'IUT d'*Orsay* un routeur spécifique était installé afin de relier le réseau logique de multi-diffusion *FMBONE*, ainsi que le site de référence en *Tunisie*, deuxième volet de co-développement de cette opération francophone.

Les partenaires de cette opération étaient :

- le *GIP-RENATER* coordonnateur de l'opération,
- les organisateurs de la conférence *INET'96*,

- Le *CRIM* (Centre de Recherche Informatique de *Montréal*) pour son soutien logistique sur la conférence et la retransmission,
- l'*INRIA* qui assure le support de la vidéo entre postes de travail sur le réseau *IP*, grâce à son logiciel TÉLÉSIA,
- *France Télécom*, qui met à disposition les circuits *ATM* français et transatlantiques nécessaires, les opérateurs *Téléglobe*, et *Sprint* (US),
- le *CNET*, qui a mis en place les circuits *ATM* internationaux dans le cadre du *National Host*,
- l'IUT d'*Orsay*, qui organise la logistique d'accueil,
- l'*Association Ile de Science*, qui assure la coordination des événements,
- l'*IDRIS*, qui assure les liaisons spécialisées avec *RENATER* et l'IUT d'*Orsay*,
- l'*Université Paris Sud* opérateur du réseau informatique haut débit du Campus d'*Orsay*,
- l'Association *ARISTOTE* qui expérimente et opère les outils de vidéo-conférence,
- Les volontaires de l'École *SUPELEC* : *Lionnel Grenet*, *François Koch*, *Yan Kercadio*, sans qui la réalisation informatique de l'événement *INET'96* n'aurait jamais pu être.

L'agenda des trois jours prévoyait de mixer les sessions d'*INET'96* en temps réel et les tables rondes transocéaniques :

Tableau 5 : Mercredi 26 Juin, 13:00 - 23:30

13:00 - 7:00	Introduction
14:30 - 8:30	Séance Plénière d'ouverture
16:30 - 10:30	Rencontres
17:00 - 11:00	Session
18:30 - 12:30	Table ronde, télé-enseignement
20:00 - 14:00	Session

Tableau 6 : Mercredi 27 Juin, 13:00 - 23:30

13:00 - 7:00	Session
14:30 - 8:30	Séance Plénière
16:30 - 10:30	Table ronde : enjeux et stratégie
18:30 - 12:30	Session
20:00 - 14:00	Session

Tableau 7 : Vendredi 28 Juin, 13:00 - 23:30

13:00 - 7:00	Session
14:30 - 8:30	Session
16:30 - 10:30	Séance plénière de clôture
18:30 - 12:30	Renater
19:30 - 13:30	TV5, inauguration du site WEB
21:00 - 13:30	Conclusion

L'objectif pour *RENATER* était de préfigurer une utilisation typique de la future version à haut débit *RENATER 2* du réseau *RENATER*, et de démontrer à des auditeurs utilisateurs français (enseignants, chercheurs, responsables) le bénéfice, qu'eux-mêmes et leurs organismes, pourront retirer de *RENATER 2*. Pour TÉLÉSIA l'objectif était d'analyser la mise en situation de l'application TÉLÉSIA dans un cadre technique de liaisons *IP-ATM* commutées de bout en bout, dans un usage hautement interactif de table ronde avec des critères de qualité élevés.

3.1. La réalisation Technique

Le cahier des charges de cette opération stipulait la mise en œuvre d'une transmission vidéo sur station de travail, de haut de gamme. Un soin particulier a donc été apporté à la réalisation audiovisuelle. Du matériel de qualité a été mis en œuvre afin de produire une image et un son parfait. Sur le site d'*Orsay*, la retransmission se déroulait dans la salle de conférence, et l'équipe audiovisuelle assurait la production pendant toute la durée de l'expérimentation. Le support informatique consistait donc à mettre en place les stations de travail du constructeur *SUN*, à installer les logiciels de gestion de la conférence, de gestion de la connexion avec le réseau de multi-diffusion *FMBONE* et le site *Tunisien*, à mettre au point la configuration réseau globale et à relier l'ensemble avec la régie audiovisuelle.

La qualité de retransmission signifie aussi de pouvoir véhiculer avec les techniques de codage informatique cette production audiovisuelle dans des conditions qui permettent une restitution parfaite. Ainsi, le choix des dernières stations du constructeur *SUN* s'imposait : d'une part, l'application est disponible sur ces stations, d'autre part, *SUN* présentait la dernière version de son processeur *SPARC* : l'*ULTRASPARC*. Ce processeur possède des caractéristiques intéressantes pour les applications de traitement du signal. Il fournit, en effet, des instructions spécialement étudiées pour réaliser des calculs sur des suites de nombres. Ces instructions accélèrent ainsi par un facteur 4 les lourds calculs de compression - décompression audio et vidéo. Malheureusement, l'application TÉLÉSIA n'a pas pu être adaptée à temps pour en tirer

partie. Néanmoins, les premiers essais nous ont montré que l'accélération fournie en standard par cette nouvelle génération de processeur *SPARC* était suffisante.

Figure 59 : L'installation technique d'Orsay

Le cahier des charges de retransmission dans des sites de références, comme *Orsay*, imposait de fournir à la régie audiovisuelle des formats d'images suffisamment grands afin d'être projetés sur un écran géant. Le format *QCIF* habituellement utilisé lors des sessions *Aristote*, même doublé à la réception ne suffisait pas. Nous avons opté pour travailler avec le format *CIF*, puis de l'agrandir localement au format *SuperCif*. Seule, cette génération de station nous permettait d'obtenir une fluidité de qualité, d'environ 15 images/s, là où les stations classiques plafonnent à 7 images/s.

Pour ce qui est des transmissions, le plan initial prévoyait une liaison pratiquement de bout en bout en *IP-ATM* qui permettait aussi d'impliquer le réseau de coopération Européen *ATM PILOT*. A la suite d'un incident sur le câble transatlantique de *Téléglobe*, cette configuration n'a pas pu être mise en œuvre. La liaison *ATM* finale [figure 60] était donc opérée par *Téléglobe*, du palais des congrès au centre *Sprint* aux *États-Unis*, puis par *Sprint* et *France Télécom* des *États-Unis* au centre *Eurogate*, enfin par *France Télécom* jusqu'au centre de *RENATER*.

Cette partie *ATM* correspondait à l'allocation d'un *Chemin virtuel* de 3 Mbits/s. La connexion terminale était réalisée en suivant l'épine dorsale de *RENATER* à 34 Mbits/s jusqu'au centre de l'*IDRIS* du campus universitaire d'*Orsay*. Ce dernier tronçon est constitué d'une infrastructure classique de routeurs *IP*.

Cette modification de dernière heure a influencé de façon importante le comportement de l'expérimentation. Nous voulions initialement tester l'activité de travail coopératif, les tables rondes, sur un réseau *IP-ATM* de bout en bout, afin de mesurer le différentiel, notamment sur les délais, entre un réseau routé et un réseau commuté. L'expérience TÉLÉSIA de *Bordeaux*, en Mars

1996, nous avait fortement sensibilisés, sur l'influence de la complexité des réseaux routés sur les délais de transit des paquets, et la perte de qualité, induite sur la synchronisation des activités.

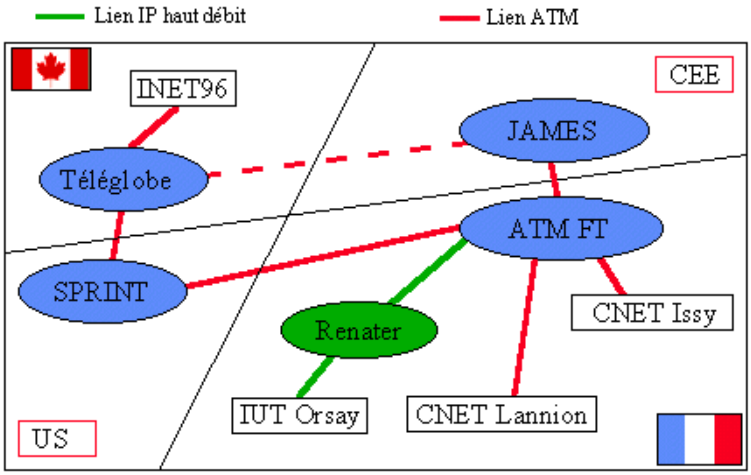


Figure 60 : Liaison transocéanique

3.2. Le site de Montréal

L'équipe en déplacement à *Montréal* disposait au palais des congrès d'une salle de conférence pour la réalisation des tables rondes et pour l'organisation de la technique informatique. L'audiovisuel était constitué d'une table de mixage permettant de retransmettre soit l'audio et la vidéo fournis par la régie de la conférence, soit l'audio et la vidéo réalisés sur place.

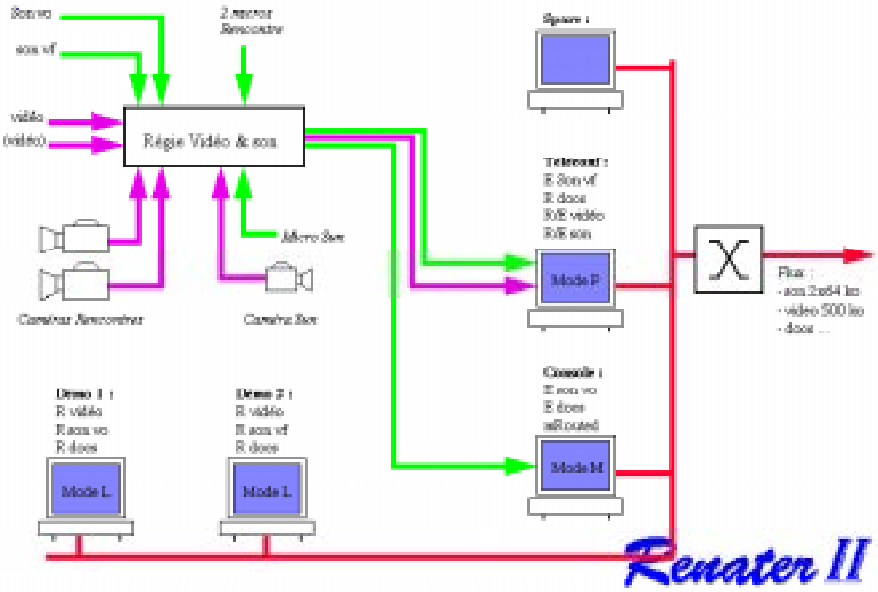


Figure 61 : Synoptique Montréal INET 96

Cinq stations *SUN* ont été louées sur place pour assurer la retransmission de qualité et le contrôle de la conférence :

- deux stations *ULTRASPARC* destinées aux codages et décodages du son et de l'image,
- 3 stations *SPARC* 10 destinées à la gestion du tunnel *multicast* avec le site d'*Orsay*, et la com-

munication entre les équipes de *Montréal* et d'*Orsay.*

Le réseau local *Ethernet* était directement relié au commutateur *ATM* de *Téléglobe*.

3.3. Le site d'Orsay

Le site de référence d'*Orsay* destiné à accueillir les personnalités françaises, se situait dans la salle de conférence audiovisuelle de l'IUT. Ainsi, la réalisation audiovisuelle était entièrement prise en charge par l'équipe d'*Orsay.* L'équipe technique informatique récupérait et fournissait des signaux audio et vidéo. L'équipement informatique était constitué de cinq stations *SUN* :

- 3 stations *ULTRASPARC*, pour le codage et le décodage du son et de l'image, ainsi que la communication interne (*Orsay* - *Montréal*),
- deux stations *SPARC* 10 pour la gestion des tunnels *multicast* entre *Orsay* et *Montréal*, *Orsay* et le réseau de multi-diffusion *FMBONE*, *Orsay* et le site *Tunisien*, ainsi qu'un serveur *WEB* abritant les documents des animateurs Franco-Canadien.

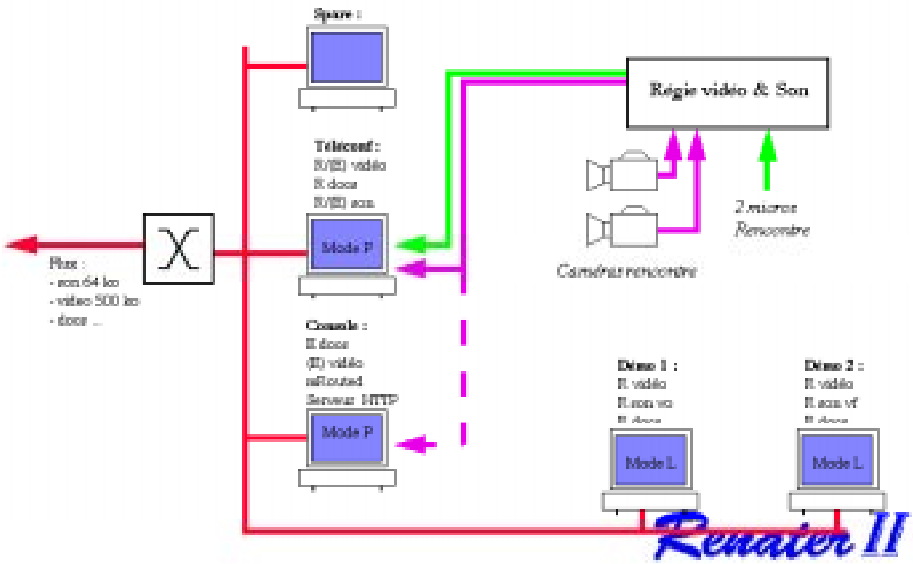


Figure 62 : Synoptique Orsay INET'96

Le réseau *Ethernet* local était relié au centre de communication de l'*IDRIS* par une fibre optique. Le centre de l'*IDRIS* étant connecté directement sur l'épine dorsale du réseau *RENATER*.

3.4. Le déroulement de la conférence

La journée de mardi a été consacrée à la mise en place et à la configuration du matériel informatique. Les premiers tests ont été réalisés avec la régie audiovisuelle pour le réglage de la taille des images, de leurs dispositions sur les écrans, des niveaux des signaux audio et de la coordination entre les deux régies lors des interventions. Pour des raisons de pannes de réseau et de décalage horaire, les tests avec *Montréal* n'ont pu être réalisés complètement ce jour. Les

images reçues de *Montréal* étaient d'une grande instabilité. Les décodeurs les accrochaient difficilement et s'arrêtaient immédiatement, ce qui provoquait une boucle, forte consommatrice de processeur, pour un résultat affiché inexistant. L'étude de la configuration des stations a mis en avant deux aspects : un manque de mémoire virtuelle partagée sur les stations, une intégration incomplète des stations de *Montréal* dans un système de désignation global pour la conférence.

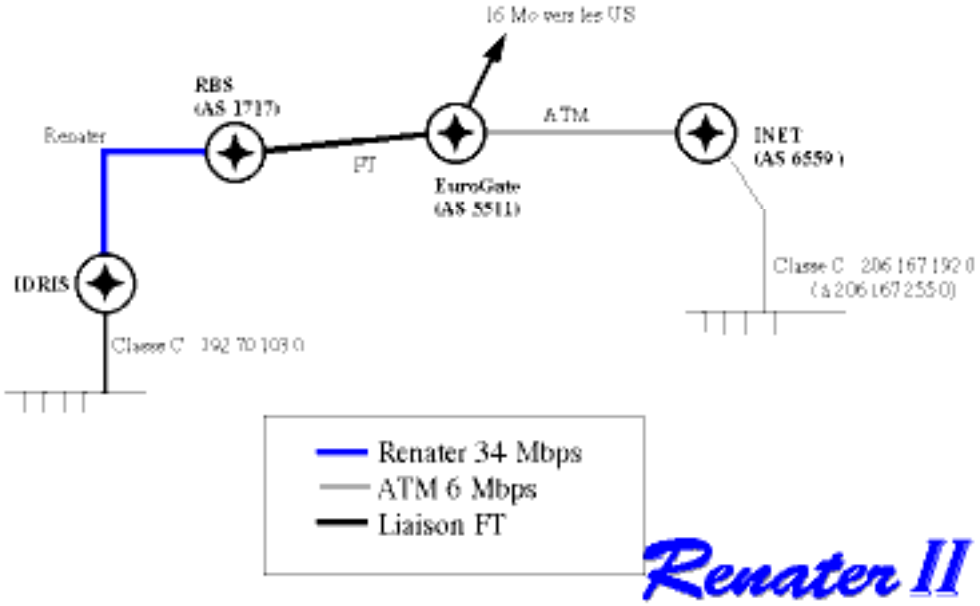


Figure 63 : INET'96 Plan d'adressage

Sur le site d'*Orsay*, un domaine `inet96.idris.fr` avait été créé pour l'occasion, et les stations utilisaient le "Domaine Name Serveur" ou serveur de nom de l'*IDRIS* pour les résolutions de noms. A *Montréal*, aucun serveur de nom n'a été installé et les stations étaient inconnues de l'extérieur et à l'intérieur du réseau local. La connaissance explicite du numéro *IP* des stations participantes ne suffisait pas lors de certains appels au système *UNIX*, concernant l'interface d'accès au réseau. Le compte-rendu négatif était mal interprété. Nous avons donc constitué la liste complète des stations intervenant dans la retransmission de la conférence, puis diffusé cette liste sur l'ensemble des stations des sites d'*Orsay* et de *Montréal*. Il est néanmoins problématique d'avoir à agir ainsi ; seuls, les sites officiels se reconnaissaient. L'accès ouvert au public à travers le réseau de multi-diffusion *FMBONE*, qui faisait partie du cahier des charges de cette retransmission, en a aussi souffert.

En première déduction, nous pouvons dire que la mise en œuvre et l'efficacité des applications distribuées sur un réseau, dépend grandement du niveau de maîtrise dudit réseau. Lorsqu'on parle d'un réseau maîtrisé, contrôlé, cette notion dépasse le simple cadre de l'installation des lignes et des routeurs. Les réseaux intègrent désormais des services avancés nécessaires, et nous le constatons aujourd'hui, indispensables au bon fonctionnement général : désignation, domaines, sous domaines, groupe de diffusion, attribution de numéros de groupe de diffusion, filtrage, par feu, proxy...

Les fonctions de traitement de l'information étaient, aussi bien à *Orsay* qu'à *Montréal* distribuées de la façon suivante :

- une station *ULTRASPARC* pour le codage des images et du son,
- une station *ULTRASPARC* pour le décodage et l'agrandissement des images et le décodage du son,
- une station pour le routeur *multicast* gérant les tunnels entre *Orsay* et *Montréal*, *Orsay* et le *FMBONE*, *Orsay* et la *Tunisie*,
- une station de communication inter-site exécutant un tableau blanc partagé. Nous avions initialement prévu un canal audio, mais les premiers problèmes rencontrés avec le traitement du son à *Montréal*, nous ont convertis à l'usage du tableau blanc. Je rajouterai que dans un contexte de conférence, le tableau blanc a l'avantage d'être silencieux.

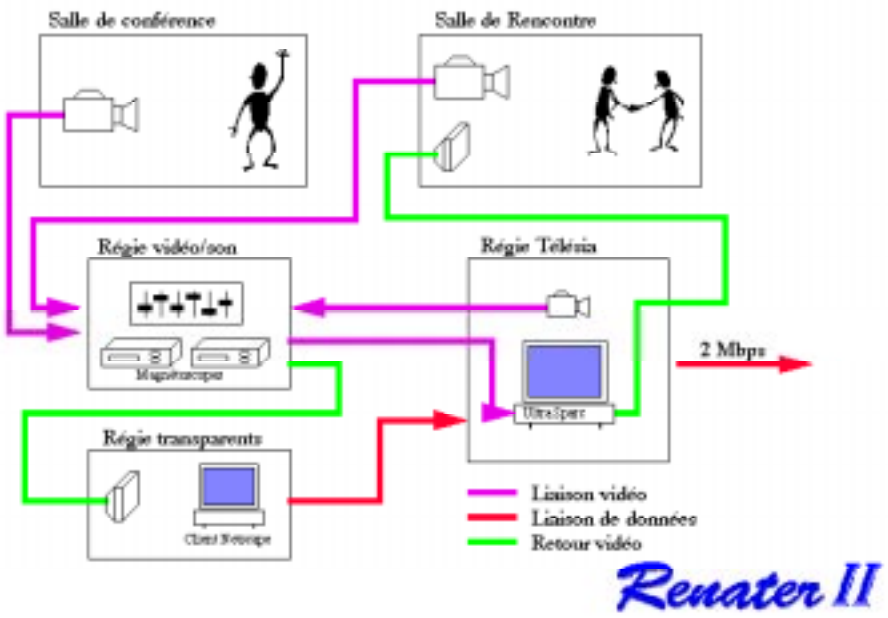


Figure 64 : INET'96 configuration technique

3.4.1. Mercredi 26 Juin

Les tests de l'audio n'ayant aussi pu être réalisés mardi, la matinée de mercredi a été chargée et longue, notamment à *Montréal*, afin que tout soit prêt pour la séance d'ouverture. Les premiers tests sur le son ont révélé des délais de transmission très impressionnants sur un réseau : de l'ordre d'une dizaine de secondes. D'autres effets se sont couplés à ces délais anormaux : une multiplication des paquets produisait un son "**breaké**"[1] comme peuvent en produire les samplers utilisés pour la musique électronique actuelle. L'analyse des statistiques, a posteriori [figure 66], a montré que seul l'audio était affecté par cette multiplication des paquets, ce qui écarte une erreur de configuration du réseau ou une suite d'accidents. L'analyse de ce phénomène est complexe et

1. Technique de répétition d'un échantillon de son. Originellement opérée avec des disques vinyles manipulés à la main, les outils informatiques permettent de créer facilement ce genre de phrase musicale : Baaaaaa...Baaaa..Baaa..Baa. Ba.Ba.B.

nous oriente vers deux causes potentielles : une modification du comportement du pilote asynchrone du périphérique audio, un problème d'ordonnancement des processus par le noyau du système d'exploitation. La suite de la journée nous a fait suspecter le couplage entre la table de mixage du son et de l'interface électrique de la carte de numérisation audio de la station. La mise en prise directe des micros, sur l'entrée de la carte son de la station, a supprimé ce phénomène. Mais, le fait que cela se soit produit très souvent au début des activités journalières, nous avait orientés vers une analyse des conditions de routage *multicast*. Aucune défaillance, ni aucune saturation apparente n'a pu être détectée. Il faudrait sans doute reprendre cette hypothèse dans une analyse spécifique du routage *multicast* entre réseaux hétérogènes *IP* classique et *IP/ATM*. Finalement, la diffusion de la session plénière d'inauguration a débuté vers 14h30 et l'on n'a plus relevé d'incidents sur le plan subjectif.

Les retransmissions de *Montréal* se sont ensuite enchaînées sans difficulté. Nous avons néanmoins noté un décalage entre le son et l'image. Ce décalage relativement classique est dû au délai de codage et décodage de l'image qui nécessite plus de temps que le son. Nous ne nous attendions pas à le constater de cette façon avec les stations *ULTRASPARC*. En effet, le taux d'occupation du processeur était de 50%, ce qui a priori permettait le décodage de l'audio et de la vidéo sans retard pour aucun des flux. Or, et l'analyse des mesures [figure 66] et [figure 68] va le révéler, une plus grande variation des délais de transit affectait le flux audio.

Voici les mesures réalisées sur les deux sites principaux de la conférence *INET'96* : l'IUT d'*Orsay* et le palais des congrès de *Montréal*. La présentation sous forme d'histogramme en trois dimensions est identique à celle des mesures de la session *Aristote* du 13 Juin.

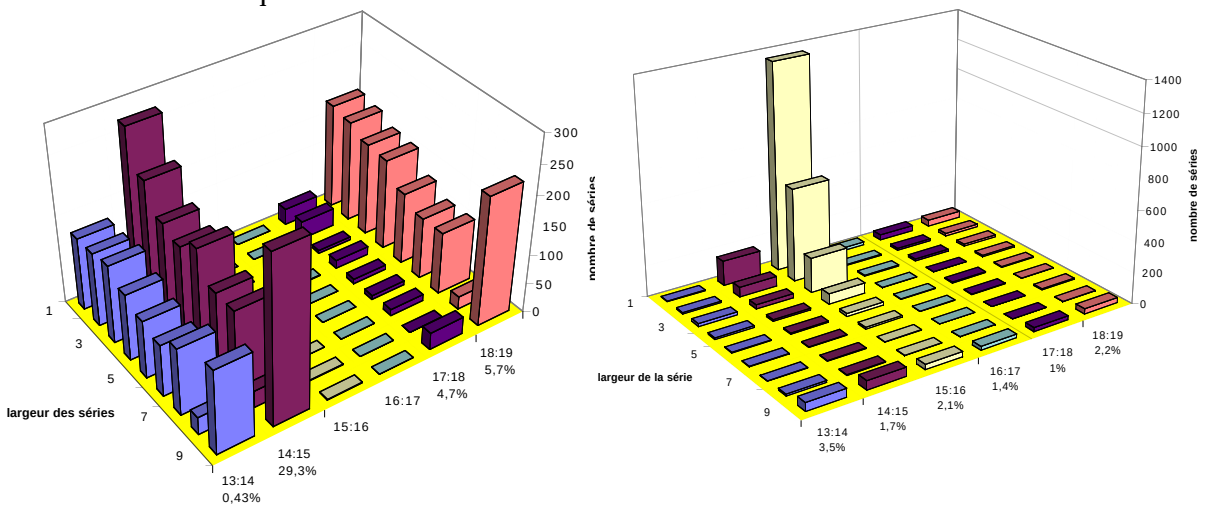


Figure 65 : Orsay 26 Juin, mesures des pertes audio et vidéo

Les pertes du site d'*Orsay* [figure 65] montrent une déformation très importante de l'audio sur la tranche horaire de 14 heures à 15 heures avec notamment un taux de pertes de paquets de 29% et une répartition sur l'ensemble des séries. Ce taux, rapproché de celui du flux vidéo de 1,7% ne peut donc provenir d'accidents provenant du réseau, accidents qui alors affecteraient les deux

flux. Il s'agit ici du phénomène du son "breaké" que nous pouvons mesurer aussi avec le taux important de paquets doublés portant le même numéro de séquence *RTP*. Les tranches horaires 15 heures et 16 heures correspondent aux retransmissions des sessions de *Montréal* qui se sont déroulées sans problèmes avec le branchement en direct des sources sonores sur les stations.

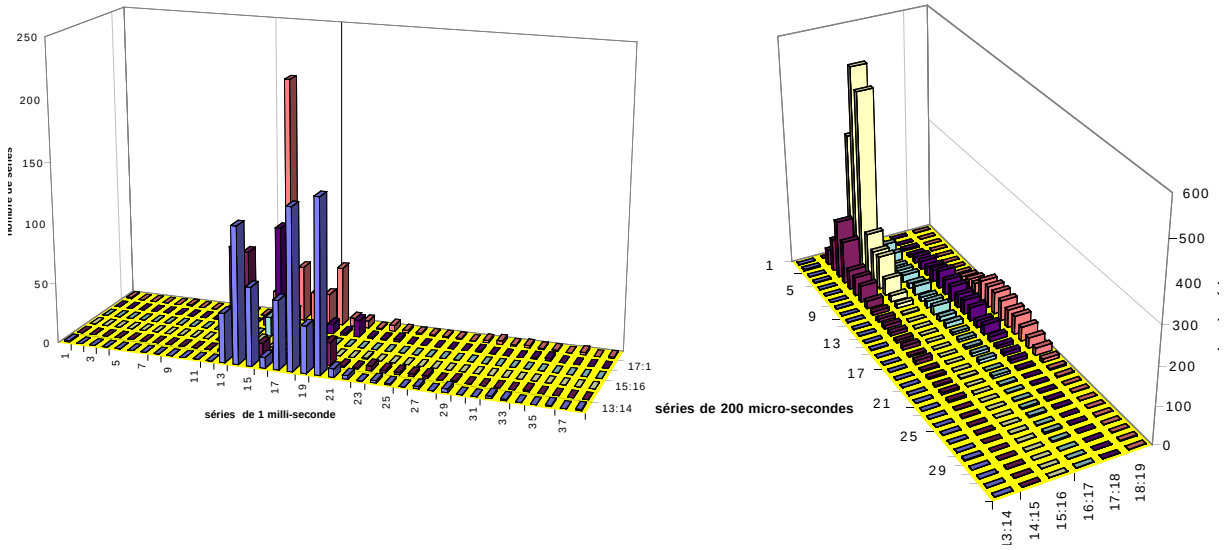


Figure 66 : Orsay 26 Juin, mesures du jitter audio et vidéo

Voici [figure 66] le phénomène de décalage des délais sur le flux audio. Le jitter est situé autour de 17 milli-secondes alors que celui du flux vidéo est rassemblé dans une fourchette de 0,2 à 4 milli-secondes, avec une augmentation en fin de journée.

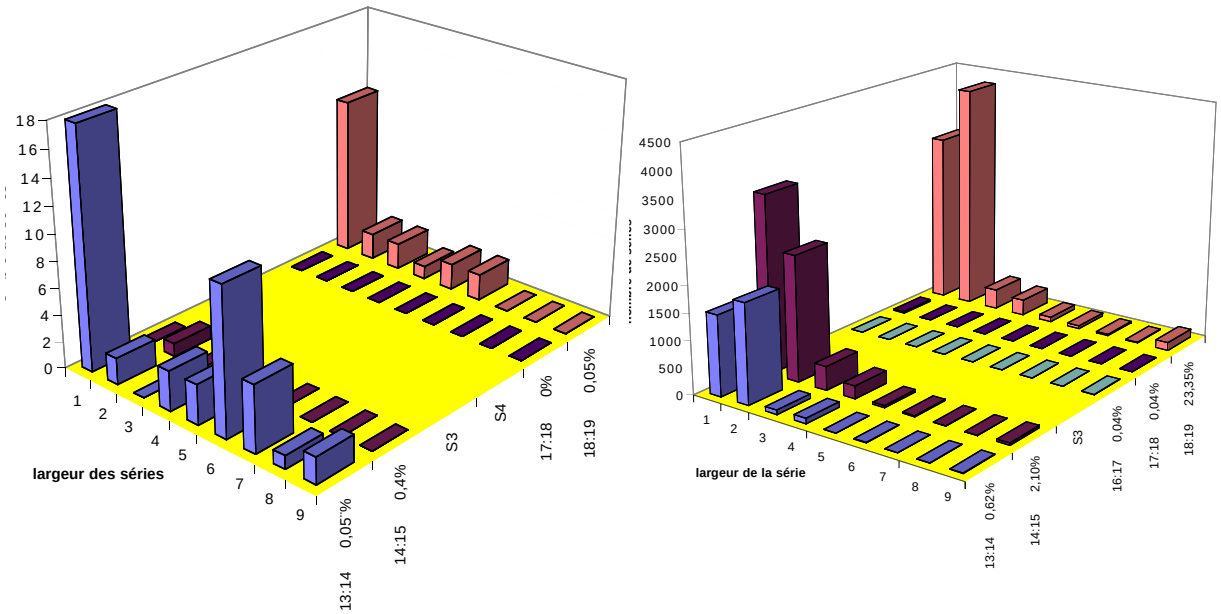


Figure 67 : Montréal 26 Juin, mesures des pertes audio et vidéo

Les pertes du site de *Montréal* [figure 67] sont régulières et pratiquement inexistantes. Les tranches horaires vides correspondent aux retransmissions des sessions de la conférence, qui ne nécessitaient pas de décodage dans le sens *Orsay › Montréal*. Nous constatons un redémarrage

des pertes lors de la dernière heure 18 à 19 heures provenant de la reprise des tests en préparation de la seconde journée.

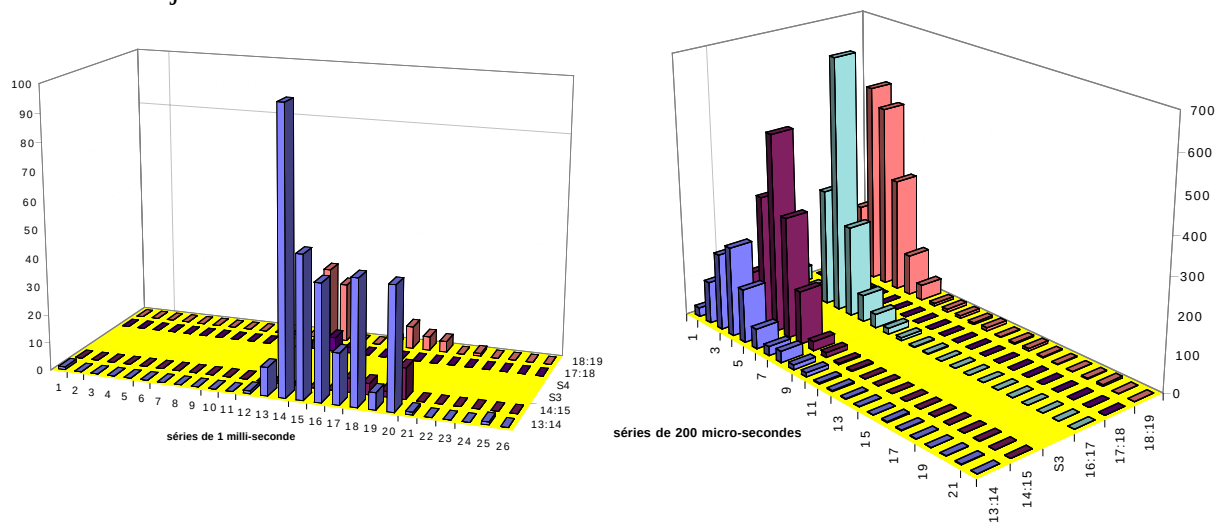


Figure 68 : Montréal 26 Juin, mesures du jitter audio et vidéo

À *Montréal* [figure 68], le phénomène de décalage du jitter audio par rapport à celui de la vidéo est identique. L'échelle est peut-être un peu plus ramassée entre 0,2 et 2 milli-secondes pour le jitter vidéo.

La table ronde a commencé avec un peu de retards, induit par une nouvelle séance de tests avec l'installation audiovisuelle de *Montréal*. Le déroulement de cet événement a bien mis en avant les difficultés et l'acclimatation nécessaire avec l'outil. Nous étions toujours dans la même configuration, et les retards, même peu importants contraignent les participants à l'acquisition d'un savoir faire dans la gestion du droit de parole. Cette table ronde sur le Télé-enseignement rassemblait des enseignants du campus d'*Orsay* et du *CRIM*.

L'usage de ces outils étant plus développé au *Québec* qu'en *France*, les enseignants Québécois ont déjà acquis une habitude des délais dans les échanges de paroles. Ils arrivent ainsi à maîtriser la "prise" et le "lâcher" de la parole. A l'inverse, le manque d'habitude des participants français a provoqué une attente après chaque phrase. Attente correspondant dans une conversation classique à la réception d'un acquiescement positif ou négatif, c'est-à-dire à une demande de parole explicite, soit visuelle, soit sonore. Ce silence était alors interprété par les Québécois, comme un lâcher de la parole. La discussion de cette table ronde s'est ainsi transformée en un échange réduit, presque unilatéral, entre les intervenants de *Montréal* et de ceux d'*Orsay*, alors que de nombreuses personnes situées à *Orsay* étaient bien connues pour leur facilité et leur prolixité dans le discours.

3.4.2. Jeudi 27 Juin

Le déroulement de la journée de mercredi, et notamment l'analyse des différentiels de délais sur les flux audio, nous ont amenés à modifier la distribution des fonctions de codage et de décodage des flux sur les stations de travail. Malgré la réserve de puissance encore disponible, nous avons séparé complètement le traitement de l'audio et de la vidéo. Ainsi, la nouvelle distribution concernant ces flux devenait :

- une station *ULTRASPARC* pour le codage de l'image *CIF* à envoyer,
- une station *ULTRASPARC* pour le décodage et l'agrandissement en *SuperCif* de l'image reçue,
- une station *ULTRASPARC* à *Orsay*, une *SPARC* 5 à *Montréal* pour le codage et le décodage du son.

Les premiers tests se sont révélés très satisfaisants. Les délais s'étaient considérablement réduits. L'effet audiovisuel complet, l'image et le son fluides, gommaient pratiquement le décalage de synchronisation des lèvres. Nous avons, ainsi, décidé de conserver cette configuration pour les retransmissions de la journée, bien que nos expériences, avec l'interface audio des *SPARC* 5 ne se soient pas toujours révélées concluantes. Les pilotes, de la carte son, de ces machines contiennent quelques dysfonctionnements, qui rendent son utilisation non déterministe.

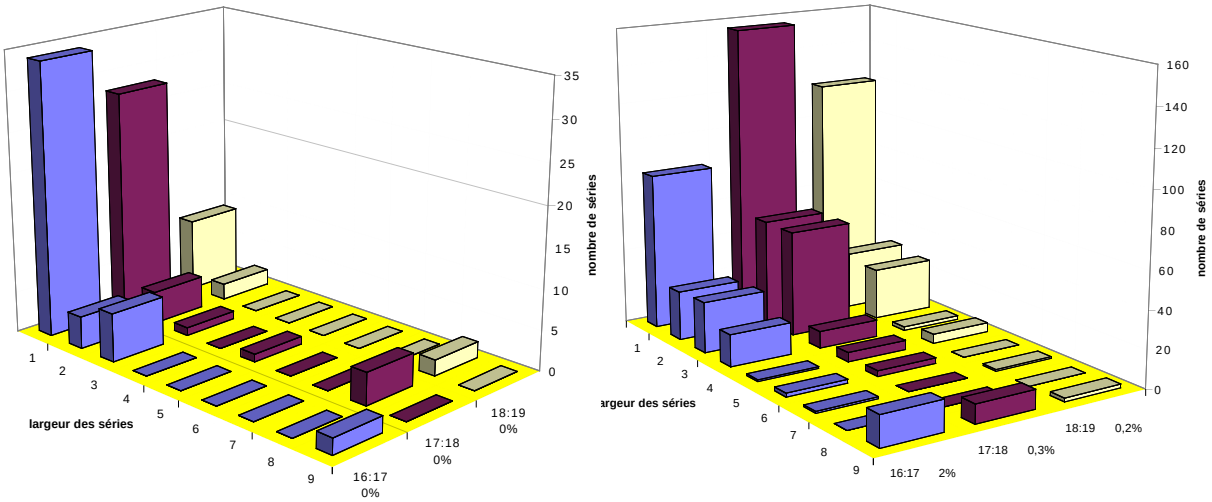


Figure 69 : Orsay 27 Juin, mesures des pertes audio et vidéo

Voici [figure 69], après les réglages et la redistribution des fonctions, les résultats mesurés. Les pertes sont réduites souvent au minimum, mis à part deux accidents dans les tranches de 16-

17 heures et 17-18 heures. Les résultats apparaissent aussi graphiquement dans la mesure du jitter du flux audio :

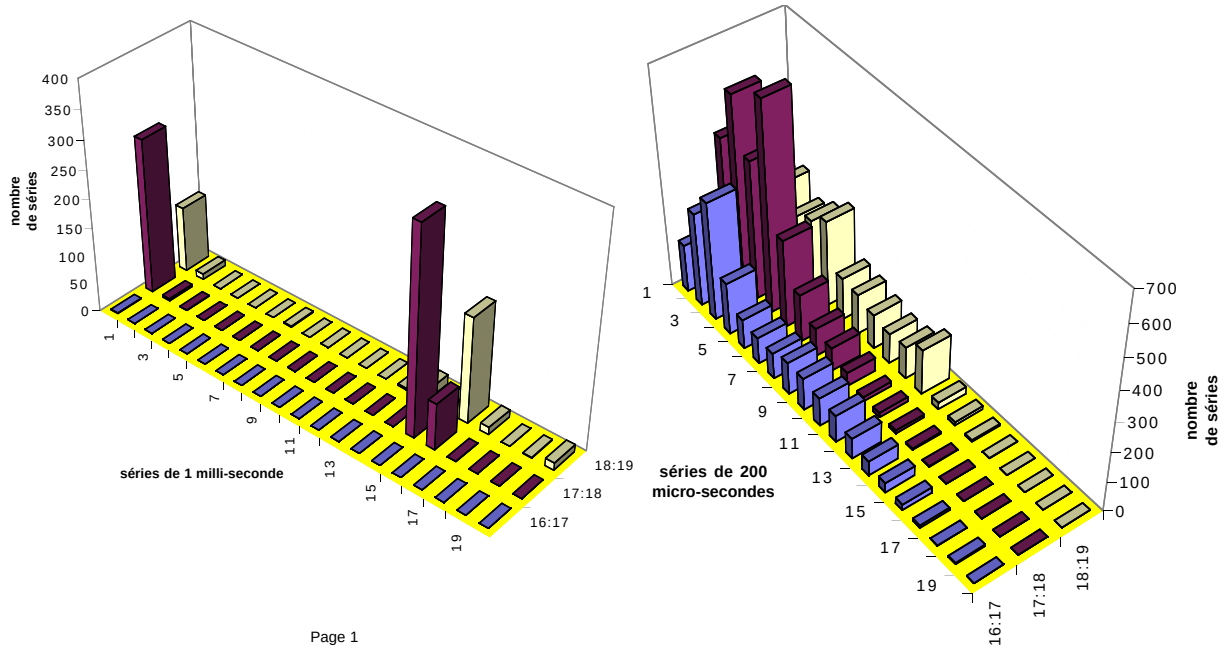


Figure 70 : Orsay 27 Juin, mesures du jitter audio et vidéo

Celui-ci [figure 70], ne reprend pas une configuration régulière ainsi qu'il en est pour le flux vidéo, mais une partie des mesures se situe dans la tranche des premières milli-secondes. Il reste néanmoins, qu'une part non négligeable du jitter varie autour des 15 milli-secondes. Le flux vidéo conserve sa régularité et son étalement dans les 4 premières milli-secondes.

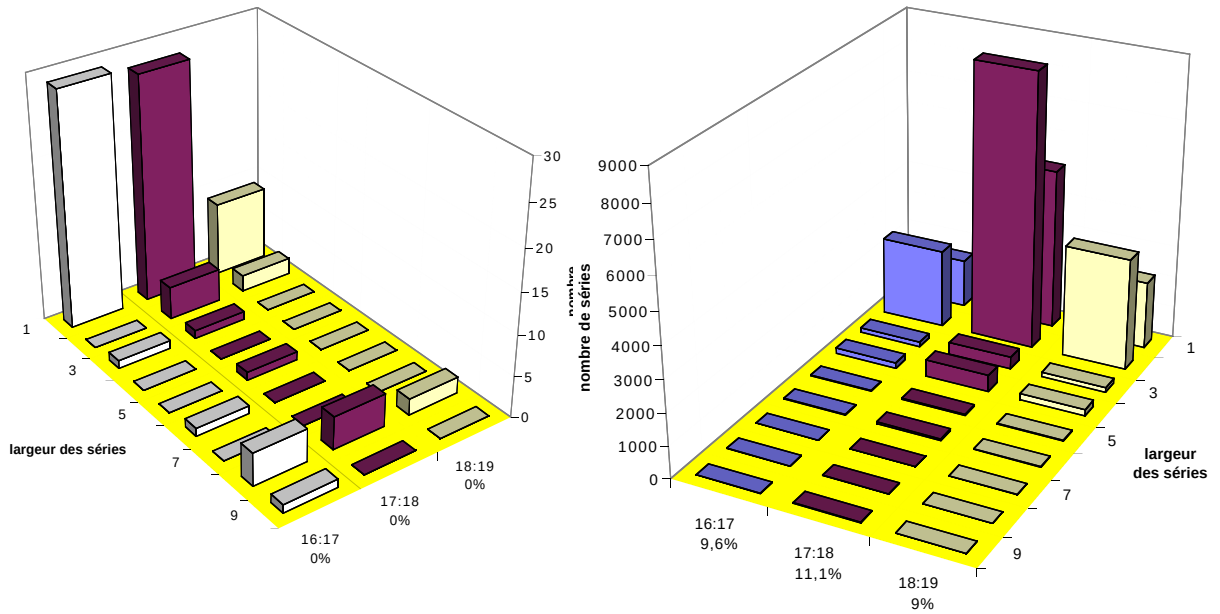


Figure 71 : Montréal 27 Juin, mesures des pertes audio et vidéo

A *Montréal* [figure 71], où les mêmes changements ont été réalisés, les mesures sont identiques, y compris, les accidents de pertes de paquets dans les deux tranches horaires 16-17 heures et 17-18 heures. Les effets de redéploiement du jitter audio [figure 72], sont identiques

à *Montréal* : un pic dans la première milli-seconde, un deuxième pic et groupe autour de la quinzième milli-seconde :

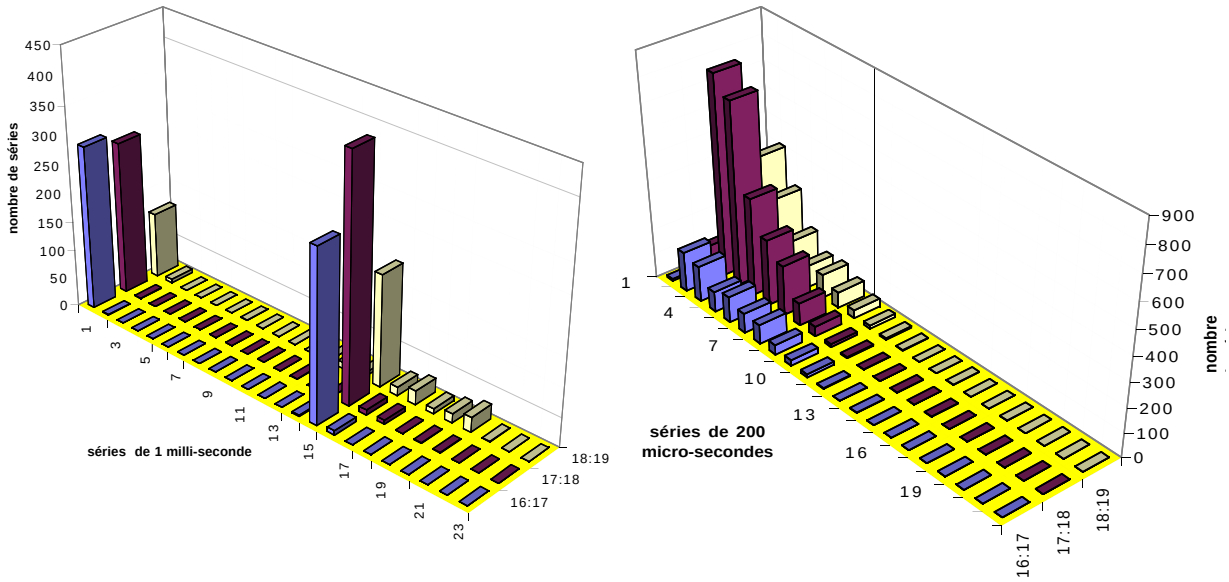
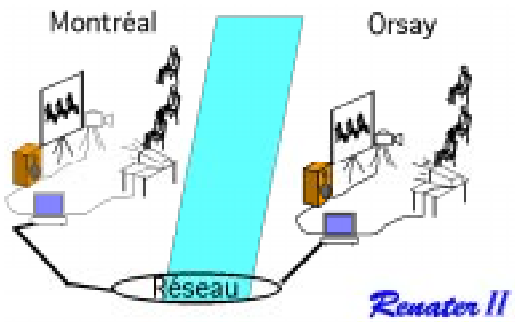


Figure 72 : Montréal 27 Juin, mesures du jitter audio et vidéo

Le jitter vidéo conserve aussi son étalement, un peu plus ramassé encore dans les deux premières milli-secondes.



Le déroulement de la table ronde "Enjeux et Stratégie" a fait intervenir une population très différente de celle de mercredi sur le télé-enseignement. Alors que nous avions des enseignants et des scientifiques précédemment, cette table ronde rassemblait principalement des hommes politiques. Nous insistons sur ce fait, car la perception des problèmes ou caractéristiques techniques des applications de transmissions est différente. L'analyse et les réactions, qui en découlent, sont aussi différentes. Alors que les scientifiques ont une analyse technique, parfois agacée, et une réaction technique, les hommes politiques ont une analyse pratique et adaptent leur discours et sa présentation afin d'être entendus. Dans un cas, l'exercice de présentation des idées est l'étape finale du processus de communication, étape contractuelle, liée à la notoriété et au principe de communication dans le système de conférences du milieu scientifique, mais non déterminante. Mais, étape à laquelle, tous n'ont pas été préparés, car elle n'est pas le principe fondamental de leurs travaux. Concernant la vie politique, elle est l'outil de communication indispensable pour lequel toutes les formes d'adaptation sont acceptées. Il nous

suffit de voir, combien de très bonnes idées politiques ont été remisées par la négligence apportée à la présentation, à la communication avec les citoyens, principaux intéressés.

Figure 73 : Table ronde enjeux et stratégie

Ainsi, lors de cette table ronde, un protocole de circulation de la parole s'est instauré, basé sur la prise et le lâcher de parole explicite. Un protocole oral qui s'apparente à l'usage d'une ligne simple-duplex, nécessitant l'usage d'un bouton "appuyer pour parler". Ce protocole est utilisé par exemple, dans les conversations des **Cibistes**. Les intervenants se sont adaptés en déclarant implicitement l'usage full-duplex et interactif inadéquat. Le bouton "appuyer pour parler" étant remplacé par l'épilogue "A vous *Montréal*" ou "A vous *Orsay*". Le dialogue était assez rigide mais la distribution de la parole, entre les deux moitiés de la table, semblait plus équilibrée. L'objectif de discussion, de dialogue, c'est-à-dire d'échange de propos, de mise en accord, de synchronisation sur les sujets débattus a été atteint.

3.4.3. Vendredi 28 Juin

La journée de Vendredi, outre la séance plénière de clôture de la conférence de l'*IETF*, comportait une retransmission et un enregistrement de l'inauguration mondiale du site *WEB* de la chaîne de télévision Internationale *TV5*. Cette conférence rassemblait des femmes et des hommes politiques Québécois, des responsables de *TV5* Européens à *Orsay* et Nord Américains à *Montréal*. La qualité de la transmission a été particulièrement travaillée pour l'enregistrement réalisé par *TV5* à *Orsay*. La retransmission de jeudi nous avait montré que la qualité des flux était maintenant stable. Mais qu'une disparité d'affichage apparaissait entre *Orsay* et *Montréal*. L'image semblait être décodée plus régulièrement, avec une plus grande fluidité, sans perte, aussi bien à *Orsay* qu'à *Montréal*. Nous verrons, dans le chapitre suivant, avec l'analyse des mesures, que le taux de pertes s'est en effet révélé plus élevé en réception à *Montréal* qu'à *Orsay*. Visuellement, ces pertes, qu'elles soient induites par le réseau ou par le comportement global de la station, du système d'exploitation ou de l'application, étaient visualisées par l'apparition d'un

halo et d'ombres autour des zones mobiles de l'image. Ce phénomène est provoqué par l'affichage de blocs d'images, codés en différentiel[1], non consécutifs.

Notre travail préparatoire a donc consisté à trouver les réglages du débit et du niveau de compression pour chaque type de plan. Nous en avons sélectionné principalement deux :

- le plan général des participants ou éloigné du conférencier, le taux de compression a été fixé à 5, le rafraîchissement maximum à 25 images par seconde,
- le plan rapproché, le taux de compression a été fixé à 6 et le rafraîchissement maximum à 16 images par seconde.

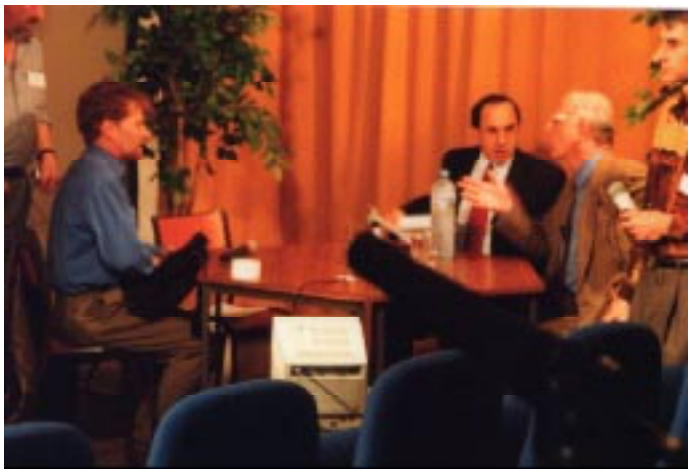


Figure 74 : Table ronde TV5

Dans les deux types de cadrage, le débit a été fixé à 500 Kbits/s. La limitation du rafraîchissement maximum, exprimée en images par secondes, évite au codeur de boucler sur des plans fixes et d'envoyer des informations qui ne sont pas réellement utiles, puisque l'image ne bouge pas. Dans la mesure où il n'existe pas, pour le moment, le moyen de distinguer de façon automatique les variations des plans de cadrage, les réglages étaient modifiés à la main par les opérateurs de la régie informatique. Le résultat final, ainsi que les mesures ont validé ce choix technique.

Il existe des systèmes d'adaptation automatique des débits des flux aux capacités des traitements des applications clientes. Les résultats des ces algorithmes sont assez décevants sur la qualité des transmissions résultantes. Le principe réside dans l'analyse de la congestion du réseau, du tronçon reliant le client ou les clients distants avec le site émetteur. Après l'analyse des conditions de réception, l'application génératrice des flux décide d'adapter son débit aux conditions de congestion. Cela se fait en choisissant un algorithme ou des facteurs de compression plus élevés. Le but étant de diminuer le débit du flux Dans les meilleurs des cas, on obtient une oscillation des débits. Plus souvent, les expériences réalisées montrent que le débit du flux, ainsi piloté, tend à décroître régulièrement. L'image ou le son résultant deviennent

1. Le standard *H261* prévoit le codage des blocs de l'image en différentiel par rapport au temps t-1. Ce principe permet de minimiser les valeurs à transmettre et donc le débit utile. Se référer au standard *CCITT-ITU* [2]

inexploitables ou de bien faible qualité. Le deuxième principe, plus philosophique, induit un nivellement de la qualité globale de l'événement, conférence, cours, réunion, par le bas afin de s'adapter aux plus mauvaises conditions rencontrées. Ce principe ne nous semble pas porteur d'un potentiel d'évolution très fort pour l'activité de coopération humaine.

Quelle est la cause de cette inadaptation de l'algorithme par rapport aux données ? Sans doute manque-t-il un facteur important qui permettrait de relativiser l'implication de l'excès de débit par rapport au constat de congestion. Ce facteur pourrait être le débit global du tronçon parcouru par les paquets. En effet, lorsqu'on émet un flux avec un débit de 200 Kbits/s sur un tronçon à 2 Mbits/s, ce flux représente 10% de la bande passante. Mais ce qu'il importe de comparer, c'est le rapport entre la concession potentielle et la bande passante perdue dans la congestion du réseau. Si le tronçon est surchargé de 10%, ce qui représente la valeur du débit demandé, une baisse de moitié du débit provoquera une baisse de la congestion de moitié, soit 5% du total de la bande passante. Le résultat pour le client sera une réduction de l'information de plus de la moitié, les 5% de pertes globales étant répartis sur l'ensemble des services véhiculés par le tronçon. Ce résultat n'est pas très encourageant et devient encore plus préoccupant lorsqu'on aborde les autoroutes de l'information, constituées de tronçon à 34 Mbits/s. Une perte de 10% représente alors 3,4 Mbits/s. La réduction de moitié du flux fera décroître cette perte de 3,4 à 3,3 Mbits/s soit, globalement sur le tronçon, une perte de 9,7%. Le résultat pour le client devient donc une réduction de l'information de 50%, auxquels il faut ajouter les 9,7% de pertes globales. Autant dire, qu'à cette échelle, une adaptation des flux n'a pas de sens pratique. La réitération régulière de l'algorithme génère une adaptation inexorablement baissière du flux, puisque le niveau de congestion ne sera pas sensiblement modifié, jusqu'à quand ?

Le raisonnement peut paraître simpliste, mais il suffit de se référer à l'usage du réseau *Internet* actuel qui met en œuvre majoritairement les protocoles *TCP-FTP*. Combien de transferts de fichiers sont rompus par des délais d'attente trop longs ? Combien de personnes sont servies, mal servies ? La solution est-elle là, dans un usage partiel, incomplet, car non résultant, de la bande passante ?

Au cours de cette dernière journée, les pertes ont été limitées. Sans doute en partie, grâce aux derniers réglages liés aux conditions de cadrage réalisées par les cameramans. Ces derniers ont, en effet, respecté certaines règles afin d'éviter les brusques variations et également les trop gros plans. Nous ne présentons pas les graphiques qui ne sont pas d'un grand intérêt par rapport à ceux du 27 Juin. Par contre, nous pouvons regarder de plus près, les mesures du jitter audio et vidéo,

des deux sites, et rapprocher cette représentation du phénomène de *larsen* transocéanique qui a perturbé l'inauguration du site *Web* de *TV5* :

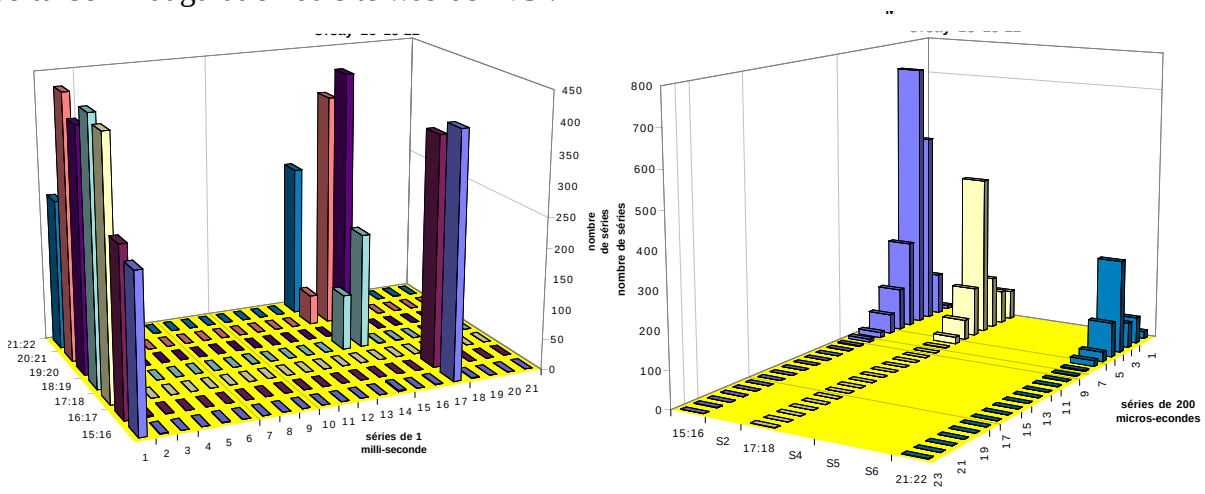


Figure 75 : Orsay 28 Juin, mesures du jitter audio et vidéo

Sur la [figure 75], le jitter vidéo est de plus en plus régulier et confiné dans les deux premières milli-secondes. Le jitter audio présente toujours cette aspect en doubles pics à 1 milli-seconde puis 17 milli-secondes. Cette dernière valeur évoluant avec l'heure de la journée, pour atteindre 14 milli-secondes.

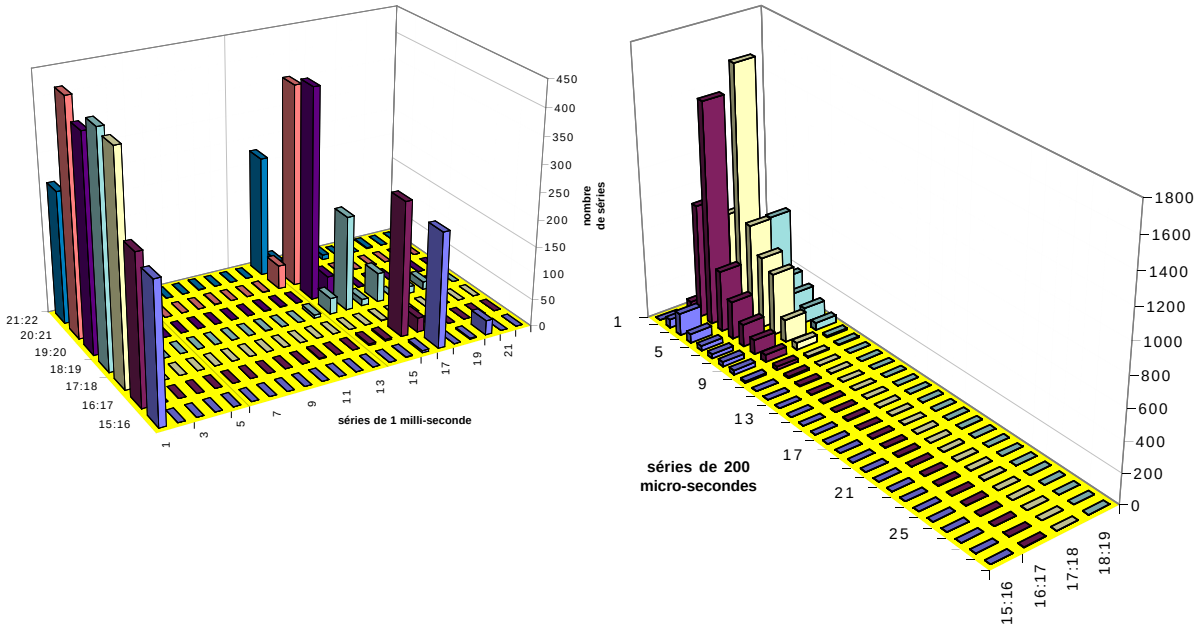
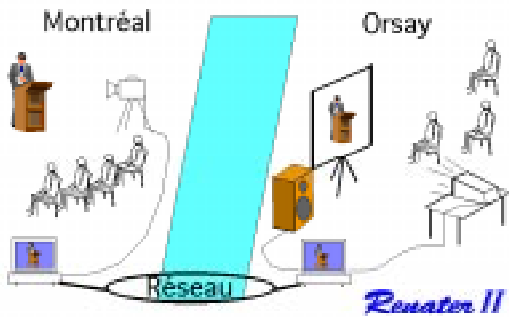


Figure 76 : Montréal 28 Juin, mesures du jitter audio et vidéo

À *Montréal* [figure 76], la réduction de la valeur du second pic du jitter audio est encore plus marquée. Ce pic se situe à 17 milli-secondes dans la tranche horaire de 15 à 16 heures et passe ensuite à 13 milli-secondes, dans la dernière tranche horaire de 21 à 22 heures. Le jitter vidéo conserve le même niveau de régularité.



La retransmission de cette inauguration s'est déroulée dans un mode proche du séminaire, de *Montréal* vers *Orsay*, mais avec un temps dédié aux questions ouvertes pour l'assistance de *Montréal* et les personnalités présentes à *Orsay*. Cette séance interactive a néanmoins été émaillée d'un phénomène soudain de "boucle audio transocéanique" qu'il a été difficile de maîtriser. Lorsque l'effet *larsen* s'est déclenché, la régie audiovisuelle d'*Orsay* a réagi immédiatement en baissant les niveaux du retour de la salle de conférence, mais sans résultat réel. Il a été nécessaire de couper le décodage du son pour stopper efficacement cette boucle d'écho.

L'explication du phénomène n'est pas aisée. Cela correspond à une période, où l'image et le son ont semblé en synchronisation presque parfaite. Les professionnels de *TV5*, plus habitués et sensibles à ces détails de qualité subjective ont confirmé cette impression. L'explication la plus plausible est alors celle d'une boucle réactive rendue possible par l'amélioration du délai de transit des paquets. A cette heure avancée de la journée et de la semaine, vendredi 20:30-21:00, les réseaux se désengorgent. Il est probable, que la réduction des délais d'acheminement, sur la dorsale de *RERIF*, ait permis ce *larsen*. Les mesures, [figure 75]et [figure 76], montrent effectivement une réduction régulière du jitter avec le temps.

3.5. Le bilan technique Réseau

Malgré sa complexité et sa nouveauté, l'opération s'est fort bien déroulée au plan technique. Les enseignements que l'on peut en tirer sont résumés succinctement ci-dessous :

- les 4 opérateurs concernés ont réussi à construire en deux jours le circuit *ATM* entre le Palais des Congrès de *Montréal* et le noeud parisien de *Renater*,
- la bande passante réellement utilisée a été de 1 à 1.5 Mbits/s. Ceci semble être un bon compromis entre la qualité de la vidéo, la capacité des stations de travail (*SUN ULTRASPARC*) à effectuer en temps réel la compression et la décompression des images et du son, et la charge (plus tard les coûts) sur le réseau *ATM*.
- il ne semble pas y avoir eu d'incident sur la partie *ATM* du réseau, de *Montréal* à *Paris*, pendant les 5 jours de fonctionnement, et la superposition du protocole *IP* sur *ATM* n'a pas causé d'ennui,
- la partie *IP* à haut débit (de *Paris* à l'accès au campus d'*Orsay* - *IDRIS*) a été à l'origine d'un nombre trop important de coupures de transmission de la vidéo pendant la conférence. La durée de ces coupures variait de quelques minutes à un quart d'heure. On peut estimer qu'en tout, une heure de transmission a été perdue, sur une durée totale de 20 heures. La plupart de ces interruptions ont eu lieu au moment des pics de charge quotidiens de *RENATER*. Chaque fois que ce fut possible, ces incidents ont été analysés en direct, par téléphone, avec le centre

de supervision opérationnel de *RENATER* (*CSC*) chez *France Télécom*. Presque tous, sont des incidents normaux ou quasi normaux de fonctionnement d'un réseau *IP* de grande taille et fortement chargé, et ne présentent pas d'inconvénient sensible pour les utilisations traditionnelles de *RENATER*.

4. Conclusion

L'équipe TÉLÉSIA a organisé son activité autour de deux pôles forts : l'intégration/développement de nouvelles applications informatiques, l'expérimentation in situ de ces applications. De nombreux résultats sont les fruits des observations constantes, attentives mais subjectives des expérimentations. Avant d'évoluer, sans doute, vers de nouvelles technologies, il nous est paru intéressant de réaliser, dans le cadre de nos expérimentations, quelques mesures qui nous permettront d'asseoir nos conclusions d'une façon moins subjective et de nous aider dans nos prochaines orientations.

C'est pourquoi, en parallèle au rappel de nos observations courantes, nous avons rapproché les mesures de la dernière session d'*Aristote* de l'année 1996 et de la conférence *INET'96*. Ces deux expériences montrent à nos yeux, que les technologies sous-jacentes, que ce soit celles des réseaux, celles des calculateurs, et celles des systèmes d'exploitation ont une influence sur le résultat essentiel d'une activité de coopération : la satisfaction de l'utilisateur final, grâce au confort et à l'efficacité de la présence visuelle et auditive.

Les graphiques présentés mettent bien en évidence des différences de comportement, et démontrent, que les analyses subjectives effectuées sur le champ ont aussi eu une implication mesurable.

Nous allons tenter dans le chapitre suivant d'analyser ces résultats, subjectifs et objectifs, et de les mettre en rapport avec l'état de nos connaissances dans les technologies évoquées.

Chapitre VI Évaluation, interprétation

Au cours des nombreuses expériences que nous avons réalisées, nous avons dû faire face à de nombreuses difficultés : d'ordre technique, de production, de réalisation, de mesures. Aux deux expériences précédemment décrites, nous rajouterons les conclusions que nous avons tirées lors des nombreuses démonstrations, publiques ou professionnelles : la science en fête, les cours en télé-enseignement, les télé-conférences partagées. Chacune, dans son genre, nous a apporté une brique du mur nécessaire aux réalisations de grande envergure comme les sessions *Aristote* ou *INET'96*. Le choix du télé-séminaire peut paraître, de prime abord, réducteur. Son protocole comportemental humain simple présentait l'avantage de nous laisser concentrés sur la réalisation des expériences et l'analyse des résultats subjectifs. Le choix de cette forte implication de l'équipe TÉLÉSIA dans les expérimentations a pu nous faire passer à côté de nombreuses options dans notre travail, d'intégration, de développement, de mesure. L'une des difficultés de la mesure et de l'évaluation, réside dans la dualité permanente entre le subjectif et l'objectif. La mesure des paramètres de fonctionnement comme les délais de transit, les pertes de paquets, les performances intrinsèques des traitements multimedia, permettent de qualifier le service, d'un point de vue technique, en s'appuyant sur des bases que l'on peut qualifier d'objectives. Analyser la façon dont sont perçus le rendu des images, du son et enfin l'activité de coopération relève du subjectif, avec des difficultés pour trouver une référence absolue ou une base commune d'évaluation. Cette analyse n'est donc pas un état de l'art de la technologie des outils de coopération.

Trois axes de travail ont retenu notre attention : l'activité coopérative en elle-même, la technique, la production/réalisation de l'événement.

1. Apprendre

Apprendre, c'est faire quelque chose ensemble. Et, s'il est un aspect qui présente quelques manquements dans le service du télé-séminaire produit pour l'association *Aristote*, c'est bien l'intégration de cette dimension. Sans doute est-ce un travail d'animation ?

Nous avons vu dans le chapitre L'activité coopérative [page 9] comment le processus de mise en relation s'opérait, et comment, avec les outils informatiques dont nous disposons, il est possible de recréer une partie de cette présence humaine indispensable à l'établissement de la communication. Il est une dimension qui n'est pas encore prise en compte : celle du groupe. Qu'est-ce qui définit le groupe ? Comment lui donner vie sur les écrans informatiques des utilisateurs ?

1.1. L'espace commun

Chaque acteur, conférencier ou participant, doit avoir une vision de la salle de conférence virtuelle. L'outil de télé-présence se doit aussi d'apporter cette dimension : être ensemble, participants et conférenciers. La simple liste de désignation, disponible actuellement, ne constitue pas un effet de salle. Une nouvelle métaphore de l'amphithéâtre doit être inventée avec pour outil l'écran informatique, déjà encombré par les documents à lire et l'interface de commande.

Cette métaphore doit être le reflet de l'espace social. Pour le conférencier avoir une mesure de l'écoute de cette salle est indispensable. Il ne fait pas de la télévision, il coopère à un travail d'enseignement. Dans une salle de conférence, les informations de retour sont explicites : les auditeurs dorment, se parlent entre eux : ils s'adaptent. La salle virtuelle n'a aujourd'hui pas d'existence, néanmoins, le sentiment de réceptivité existe. L'outil informatique doit le faire remonter, soit globalement, soit pour chaque individu. On peut imaginer que ce retour de la salle puisse s'exprimer, par un canal audio commun, comme c'est le cas dans les outils mis en place par l'équipe de l'université de *Lyon 1*[1]. Peut-être devons nous être attentifs aux travaux réalisés par le constructeur automobile *Renault* pour son détecteur de veille du conducteur : un algorithme mesure l'état de veille du conducteur par une analyse continue de l'image de son visage. Le contexte matériel de coopération, caméras et calculateurs, est présent, rien n'empêche d'appliquer ce concept pour mesurer l'attention des auditeurs et faire remonter un signal plus ou moins global au conférencier. Mais prenons garde, ce qui fonctionne pour un groupe d'étudiants n'a plus le même sens pour une assemblée d'adultes, la discrétion et la préservation de l'espace privé s'en trouvent atteintes.

Être dans une salle de conférence est un acte social, de présence et de dialogue. Le participant lui aussi doit avoir la perception d'appartenir à un groupe. Même si le contexte du séminaire ne permet pas de réaliser des tâches ensemble, cette présence commune doit pouvoir être ressentie, identiquement, par le participant distant. La réalisation du séminaire *Aristote* prévoit des prises de vue de l'amphithéâtre. Cette action lui fait vivre certains événements, ressentir la salle puisqu'il y en a une. Mais en l'absence complète de salle, l'application ne fournit pas encore la métaphore de l'espace virtuel commun. Actuellement, l'espace distant des séminaires *Aristote* n'est pas pris en compte en local. Cette présence accrue, bilatérale des participants et du conférencier doit permettre d'améliorer l'interaction et de mener, lui-même, le processus coopératif des questions/réponses.

1. Équipe composée d'étudiants en informatique du *CISM*, et de formateurs de l'*INSA* [Note 3. page 17]

1.2. L'effet de présence individuel

L'effet de présence est véhiculé par l'image du conférencier, par l'image des documents qui illustrent son propos et par sa voix. Nous passerons rapidement sur sa voix, nous avons vu le travail réalisé sur l'application et sur le réseau pour l'amélioration de la qualité du rendu sonore. Que pourrait-il rester à travailler ? Pour une utilisation prolongée, certains usages, une meilleure qualité intrinsèque du son peut être obtenue par un échantillonnage plus rapide. Pour améliorer la présence, la stéréophonie nous plongerait un peu plus dans la salle.

L'image par contre, mérite encore toute notre attention. Non pas, sur un plan technique, la chaîne de production/consommation de la vidéo a atteint un niveau de qualité que nous pouvons juger suffisant pour cet usage[1]. Les sessions *Aristote* requièrent désormais un travail de production plus adapté. La réalisation actuelle conserve le formalisme conventionnel des conférences et n'intègre pas l'aspect distant, de même que le travail discret de la production informatique doit désormais induire certaines contraintes nouvelles. Un séminaire n'est pas une séance de cinéma, et personne n'imagine une classe de cours plongée dans le noir systématiquement. La disparition du support papier des documents, induite par la diffusion sur le réseau, modifie aussi la réalisation locale. La disparition du rétro-projecteur, nous fournit l'occasion de re-situer le conférencier sur la scène. Le conférencier a un rôle à jouer et pour cela, il doit aussi être vu, c'est-à-dire dans un premier temps, éclairé hors du champ des vidéo-projecteurs destinés aux documents. Sans revenir sur le fait que l'image du conférencier n'est pas porteuse d'information, il n'est pas question non plus d'en faire cette vignette sombre et floue. Son image doit retrouver sa place et être capable d'apporter à tout moment le réconfort : "il y a quelqu'un qui me parle".

Nous avons souvent dit que la qualité attendue des différents supports de l'information dépendait des usages, et qu'à l'intérieur même d'un usage, elle pouvait varier dans le temps. Le télé-séminaire, et plus encore la télé-formation, en sont les exemples types. L'étudiant, s'il ne reconnaît pas son enseignant, ses habits, ses lunettes, à la fin d'une séance de télé-formation a néanmoins besoin de cette présence à tout moment. La formation, et la réalisation d'une tâche commune, sont des activités dans lesquelles plusieurs phases alternent : travail intensif sur les documents, questions, demande d'aide, écoute. A la fin de chaque phase, l'enseignant doit être présent. Que diriez-vous si votre conférencier avait disparu lorsque vous relevez la tête de vos notes ? Ce serait, certainement la naissance d'un sentiment d'angoisse, d'un brouhaha.

1. Une coopération a été mise en place en 1996 pour intégrer cette chaîne de production/consommation *H261* dans les produits du constructeur français *Bull* avec le *GIE-DYADE* et dans l'outil de test *Rendez-Vous-IVS* du projet *RODÉO* de l'*INRIA Sophia-Antipolis*.

La présence passe aussi par le document, la vie qu'il recèle lorsqu'il change. Avec la mise en œuvre du support électronique, la main, le stylo du conférencier, ont disparu du champ de vision et l'immobilité de l'image ne participent plus à cet effet additionnel. Les travaux ne manquent pas dans ce domaine et l'intégration d'un télé-pointeur au système *Dia_Dif* pourrait être l'étape suivante. Les choix faits dans le système *Dia_Dif* ont été guidés par la recherche d'une intégration des outils de présentation standards. Pourtant, nombreux sont les conférenciers qui construisent leurs transparents avec des outils de traitement de texte. Ces outils ne produisent pas encore d'images et ne peuvent donc pas être intégrés dans la chaîne de traitement prévue. D'un autre côté, il serait intéressant d'étudier l'intégration plus complète des outils de présentation avec l'apparition des "Plug-in"[1] d'interprétation et d'affichage pour les principaux navigateurs du marché.

1.3. L'Interaction

Avec les autres expériences : La Science en Fête, *Bordeaux*, l'*ENPC*, Le *Mans*, nous avons évalué la dimension interactive dans la collaboration humaine : "Je suis avec et je partage le même espace temps".

La mise à disposition de l'application au public, montre bien la rapide adaptation dont sont capables les enfants et les manques, qu'ils vous font remarquer sans ambages. Les nombreuses remarques ont dirigé l'interface vers un protocole de commande dénommé "**main libre**". Ces expériences nous ont aussi incités à développer le système de détection automatique de la parole. Ce système ne nous donne pas entière satisfaction. Ce n'est pas dans son aspect technique qu'il pèche, mais plutôt dans les changements de comportement qu'il provoque. Ainsi, lorsque l'algorithme de détection de la parole décèle un silence, il stoppe le flux audio et libère ainsi la bande passante, ce qui est un des objectifs. A la réception, cette absence de signal est transformée en silence. C'est l'apparition soudaine de ce silence qui perturbe l'auditeur, et lui fait croire à une panne soit de son équipement soit de l'application. L'habitude du téléphone, du bruit continu qui nous entoure, nous a déshabitué du silence et de son interprétation.

La dimension de la distance, a été prise en compte lors du Colloque *Internet* de *Bordeaux*. Cette conférence organisée par le Conseil Régional d'*Aquitaine*, présentait aux PME-PMI les avantages et le parti que l'on peut tirer dans l'usage quotidien des outils de coopération en réseau. Nous avons organisé une présentation conjointe entre la salle du Conseil Régional et nos bureaux de l'*INRIA* à *Rocquencourt*. Les deux salles étaient reliées par vidéo-conférence, les deux conférenciers, *Alain Caristan* et moi-même partagions le même espace de présentation des

1. **Plug-in** : est un code chargé dynamiquement par une application dans le but d'étendre le champs de son action : convertisseur de données en entrée (*Tcl-Tk* en *HTML*), interpréteur spécifique (musicaux avec la norme *MIDI*, de présentation avec *PowerPoint*).

documents. La présentation des outils, TÉLÉSIA et *Dia_Dif* s'est déroulée en alternat entre *Bordeaux* et *Rocquencourt*, démontrant les capacités de coopération dans l'échange implicite réalisées par la prise en main des documents, et par la qualité de la production. Chaque auditeur à *Bordeaux* disposait des moyens d'écoute et d'intervention (haut-parleur, casque, microphone), *Rocquencourt* pénétrait dans la salle.

Mais l'apprentissage le plus intéressant s'est déroulé pendant la mise au point de cette intervention. La production informatique a mis en œuvre le matériel du Conseil Régional, c'est-à-dire, une station *Sparc 5*, à laquelle nous avons simplement ajouté une carte de numérisation de la vidéo. Nous avons alors réalisé un premier test la veille, et un deuxième le matin. L'application TÉLÉSIA a servi de lien audio et nous a montré les limites technologiques actuelles. Paradoxalement, cette mise au point, était le type même de l'activité coopérative. Pendant cette session de tests, les délais de transit variaient de 1 à 2 secondes. Ils nous renvoient en arrière de quelques dizaines d'années lorsque les conversations transatlantiques parcouraient 72000 Km en passant par les satellites. Combien de malentendus au sens propre comme au sens figuré. Mais ce qui est accepté dans un contexte de réjouissance amicale, familiale ne peut l'être dans une véritable activité professionnelle. Ces quelques secondes de délais, qui compliquent le protocole de dialogue, sont autant de raisons de fatigue, de perte de naturel, de perte d'attention et donc d'échec dans l'action commune. Ce délai, encore normal pour toute application de transfert de fichier, rend l'usage interactif impossible. Les quelques outils classiques de tests des routes nous ont montré la complexité du chemin suivi par les paquets pour se rendre de *Rocquencourt* à *Bordeaux*, table 8, et l'engorgement de la plaque régionale *Aquarelle.*

Vous noterez que nous n'avons fait aucune référence à la notion de débit. Cet épisode anecdotique, les sessions *Aristote*, *NH94*, *INET'96*, démontrent que la problématique de l'activité humaine commune ne se réduit pas à la mise à disposition de tuyaux de plus en plus gros. Nous pouvons nous référer aux conclusions que propose *H.J. Stuttgen* [16] qui corroborent nos observations. Le délai entre en ligne de compte dans une conversation lorsqu'il dépasse 0,3 seconde. Au delà de 0,6 seconde, le dialogue est réputé très difficile à maintenir. Face à cette constatation d'ordre physiologique, les réseaux utilisés se complexifient. Le premier niveau macroscopique réside dans l'interconnexion des réseaux : local - longue distance - local. Lorsque l'on se rapproche, à l'intérieur d'un réseau local, vous avez bien souvent des architectures à base

de ponts filtrants, de passerelles et de routeurs par feu. La partie longue distance, par exemple de *Rocquencourt* au conseil régional d'*Aquitaine* traverse 9 routeurs :

```
1  rocq-gwf (128.93.1.100)  2 ms  3 ms  2 ms
2  rocq-gwr (192.93.1.92)  3 ms  3 ms  4 ms
3  inria-rocquencourt.rerif.ft.net(192.93.122.1) 4 ms 5 ms 3 ms
4  193.55.250.33 (193.55.250.33)  4 ms  4 ms  5 ms
5  stamand1.renater.ft.net (192.93.43.115)  5 ms  6 ms  7 ms
6  bordeaux.aquarel.ft.net (193.55.249.237) 56 ms 23 ms 48 ms
7  anc-bordeaux.aquarel.ft.net (193.55.249.82) 28 ms 38 ms 30 ms
8  gw.cr-aquitaine.fr (193.51.11.254) 30 ms 32 ms 52 ms
9  matisse.aquarel.fr (193.51.11.2)  31 ms * 32 ms
```

Tableau 8 : Route Rocquencourt - Bordeaux

Nous remarquons dans le tableau 8 que le délai de latence augmente lorsque les paquets atteignent la plaque régionale *Aquarelle*. *H.J. Stuttgen* considère, que le délai moyen de traversée d'un équipement varie de 10 à 15 milli-secondes. Si nous rapportons cette estimation à notre cas particulier, nous obtenons une variation théorique du délai de 110 à 165 milli-secondes. Aux 9 routeurs de *RENATER*, il faut ajouter les deux ponts *FDDI/Ethernet* du réseau de l'*INRIA* à *Rocquencourt*. Ces chiffres nous amènent à une variation qui atteint la limite acceptable du délai dans une conversation téléphonique. Les organismes comme l'*ITU* tablent sur une acceptation qui ne doit pas dépasser 150 milli-secondes. Maintenant effectuons ce calcul dans le cadre d'une mise en relation multiple, donc utilisant le réseau de multi diffusion *FMBONE*. Dans un premier temps, les paquets *multicast* doivent être traités par le routeur *multicast* de l'INRIA, puis envoyés à la racine du réseau *FMBONE* à l'*EDF* de *Clamart*. Ce qui représente avec le routeur de cette racine 11 routeurs. Puis, les paquets sont envoyés à *Bordeaux* 9 routeurs auxquels il faut ajouter le routeur *multicast* du site, soit 10 routeurs. Ainsi, pour une même destination, avec la fonctionnalité de coopération multiple qu'offre le protocole multicast, le chemin est rallongé et représente 210 à 315 milli-secondes qui dépassent largement le minimum toléré.

Regardons à nouveau les résultats d'*INET'96* et les graphiques. Ils démontrent qu'avec une bande passante moyenne de 1Mbits/s, il est possible de faire passer du son et des images de haute qualité. De cela, personne n'en doutait. *INET'96* à bien mis en avant l'importance de la structure du réseau, des calculateurs et surtout de leur maîtrise. La structure *IP/ATM* souvent décriée[1], critiquée, a pourtant démontré sa nette supériorité lors de nos tables rondes. Certes, et nous ne l'avons pas caché, des délais existaient, qui ont induit quelques comportements anecdotiques lors de nos deux premières tables rondes. Mais, lors de l'inauguration du site WEB de *TV5*,

1. De nombreux papiers ont été écrits sur l'usage des protocoles *TCP/IP* sur les liens *ATM* [8] et [11] dés l'apparition des premiers commutateurs *ATM*. Notons tout de même, que si les protocoles *IP* nécessitent des adaptations pour fonctionner sur des liens extrêmement rapides et longs, de nombreux RFC en témoignent [37], les premiers tests sur *ATM* concernaient surtout des applications fonctionnant en mode connecté. Les tests réalisés à l'*INRIA* lors de l'interconnexion des sites par *Transrel-ATM* en 1994 en a démontré les qualités [10].

l'apparition soudaine du phénomène de *Larsen* pendant les discussions transocéaniques, montre bien, que la synchronisation informatique atteignait un niveau rarement égalé. Est-ce un hasard, ou plutôt est-ce une conséquence, le seul tronçon non *ATM* (la dorsale *RERIF*) s'est désengorgé. Ce vendredi soir, 28 Juin, jour de départ en congé en *France*, l'autoroute du sud et d'*Aquitaine*, avaient sans doute pris le relais.

Cet ensemble d'expériences manque de rigueur scientifique. Des mesures plus pertinentes auraient pu être réalisées sur les délais, notamment en incluant les algorithmes de calcul de temps de propagation présents dans *NTP* [5]. Nous aurions pu alors vous présenter la **preuve** par 9, c'est-à-dire objective, ce qui est humain et subjectif, du moins tenter de le faire. Mais cela n'était pas notre choix de recherche impliquée.

Cet ensemble d'expériences n'est pas suffisamment déterministe. La structure mixte, réalisée par accident pour la conférence *INET'96* ne nous permet pas de répondre de façon radicale à la question : faut-il adopter sans réserve la technologie *IP-ATM* ?

Aussi, nous continuerons à faire appel à notre sentiment subjectif et pratique. Si l'une des causes de l'augmentation des délais et des pertes de paquets sur les réseaux routés actuels réside dans la faiblesse de la fonction de routage des équipements, nous pouvons être inquiets. Les algorithmes développés pour l'amélioration subjective de l'image animée et du son, notamment les nouvelles mises en paquets ont eu pour effet de bord, de faire baisser la taille moyenne des paquets émis sur le réseau et d'augmenter leur nombre. Certes, le principal flux d'information de l'*Internet* concerne le transfert de fichiers transportés par les protocoles *TCP*, mais pour combien de temps ? L'émergence des activités coopératives et interactives va bousculer cette hiérarchie et favoriser un trafic plus irrégulier et plus nerveux.

1.4. Le dernier maillon

Il nous reste un élément à démonter dans cette analyse : la station de travail. Elle porte bien son nom, signe de son inadaptation avec l'abstraction métaphorique nécessaire. Ce n'est pas sur ce point que nous porterons notre avis. Il reste encore bien du travail pour que l'actif que nous sommes puisse être impliqué plus profondément. La virtualité peut en être une des voies, cherchons-lui une application professionnelle au quotidien. Nos remarques et mesures du chapitre La conférence INET'96 [page 104] nous ont amenés à mettre en cause l'ensemble calculateur dans un premier temps. Faisons abstraction des premiers soucis causés par l'inadaptation des pilotes de périphériques du système *Solaris* et de notre application non recompilée. Intéressons nous plutôt, à ce double pic du jitter [figure 70 page 117] et [figure 72 page 118], caractéristique du flux sonore lors de la conférence *INET'96*. Et notamment du manque de synchronisation parole - image le premier jour. On se souvient que l'image et le son

étaient réceptionnés/décodés par la même station : une *ULTRASPARC*. Malgré sa réserve de puissance de calcul, le son qui ne demande aucun traitement particulier[1], parvenait à nos oreilles avec du retard. Cette observation nous a déjà été rapportée par l'équipe du *GRACIM* à *Lyon*. Mais pourquoi n'est-ce pas aussi observable lors des sessions *ARISTOTE* ? Il nous semble que ce phénomène est une conséquence directe des hauts-débits, et de leur interaction avec le système opératoire de la machine : *UNIX*.

L'équipe de *Lyon 1* a pu réaliser des mesures de délais du transit des paquets à l'intérieur du système de la station[2]. C'est-à-dire aux différents points stratégiques :

- arrivée du paquet dans le pilote du périphérique,
- prise en compte du paquet par la pile *IP-multicast*,
- sortie de la pile *IP*,
- prise en compte du paquet par l'application.

Nous remarquons alors que le temps d'attente se situe au moment où l'application doit s'exécuter. Replongeons dans le système *UNIX*. Le paquet remonte les couches protocolaires *IP* et est mis en file d'attente sur un point de synchronisation. Le système alors, réveille le processus en attente sur ce point de synchronisation. C'est le temps du réveil du processus qui est si important.

Mais pourquoi une telle différence entre l'audio et la vidéo ?

Sans doute faut-il reprendre la structure des deux flux. Le flux vidéo est caractérisé par un rythme basé sur le calcul d'une image complète. Cette image codée, compressée est mise en paquets, puis envoyée sur le réseau en une seule opération macroscopique[3]. Nous avons alors un phénomène de rafales de paquets sur le réseau et à la réception. Ces rafales, pour des images *CIF* très mobiles, sont très rapides. La moyenne lissée est de 120 paquets/s, avec des à-coups pouvant monter à 200 paquets/s. Pour le son, le flux est au contraire d'une régularité métronomique 64Kbits/s avec 1 paquet tout les 1/8 de seconde. Il en résulte, qu'à la réception, nous avons un flux tendu entre le pilote du périphérique réseau et l'affichage de l'image sur l'écran bitmap. Ce flux est en mesure de monopoliser le processeur et les ressources du système. Pour le son, le flux certes régulier, n'est pas dense, et l'application est réveillée puis rendormie pour un temps plus long. L'activité faible de ce processus a des répercutions sur les décisions de l'ordonnanceur, et sur la gestion de la mémoire virtuelle de la machine. Cette explication ne nous satisfait pas entièrement. En effet, dès le deuxième jour de la conférence *INET'96*, nous avons modifié la

1. nous utilisions de format *µlaw* directement fourni et joué par la carte de numérisation.
2. De telles mesures ne pouvaient pas être réalisées dans le contexte d'expérimentation publique. Elles demandent des droits d'exécution qui ne sont pas compatibles avec l'usage normal de TÉLÉSIA.
3. Par opération, il ne faut pas lire "appel au système", l'expression "dans la foulée" bien que moins technique est plus descriptive du fonctionnement de l'application à ce moment.

répartition des fonctions de décodage sur les calculateurs. Le son et la vidéo se retrouvaient décodés séparément. Cette modification, si elle a notoirement amélioré le rendu subjectif par une réduction des délais entre le son et l'image, n'a que légèrement altéré la variance du délai de transit [figure 68 page 115] et [figure 72 page 118]. La variance se répartie en deux pics : à 1 milli-secondes et 15 milli-secondes. Quelle est la nature de ce phénomène, qui n'apparaît pas lors des sessions *Aristote*, sur des stations *Sparc 5* ou *Sparc 10* qui décodent les deux flux ?

Sans doute faut-il chercher la réponse dans la structure du code *IP-multicast* du système *UNIX* qui s'exécute partiellement dans un contexte de très forte priorité in-interruptible. Avec les hauts-débits, les rafales de paquets sont plus longues, de 8 à 10 paquets pour une image, en lieu et place de 1 à 2 paquets pour une image pour le codage choisi lors des sessions *Aristote*. Seule une analyse très rapprochée du réseau pourrait nous conforter dans cette cause. La conséquence étant à trouver dans le mode de fonctionnement du noyau du système *UNIX*. Une exécution prolongée dans le mode interruption, ou par une *thread*[1] du noyau UNIX, du processeur doit perturber l'ordonnanceur des processus.

Cela est, à notre avis, le symbole même de l'inadaptation d'un système d'exploitation comme *UNIX* à ce traitement de flux métronomique d'un côté et très tendu de l'autre. En cassant l'isochronisme implicite des technologies *H261* sur les réseaux *RNIS*, par les techniques de mise en paquet des protocoles *IP*, la problématique de la synchronisation s'en trouve rejetée en bout de chaîne sur l'équipement récepteur. Cette synchronisation peut être restituée par l'usage d'estampilles temporelles, ce que propose le protocole *RTP*, et par la mise en œuvre de files d'attentes de sortie des événements à "jouer". Ainsi, ce n'est pas tant la variance des délais qui importe mais plutôt la nécessité de réduire ces délais en deçà d'un maximum de 150 milli-secondes.

Les applications de vidéo-conférence, et plus généralement de multimedia, ont un comportement typique de contrôle de processus. C'est sans doute le sens qu'ont voulu donner les auteurs du protocole *RTP* en lui conférant ce nom. Si nous n'avons pas pu démontrer cela, de façon déterministe, avec l'expérience *INET'96*, les mesures de variance du jitter du chapitre [La conférence INET'96 page 104], par leur irrégularité, nous ont sensibilisé formellement sur cette inadaptation du système opératoire *UNIX* pour les applications multimedia. Nous pouvons en effet nous demander si, avec la disponibilité des systèmes *UNIX V.4* et de leur capacité multi ordonnanceur, des solutions pourront apparaître. Que va donner la cohabitation entre un

1. Les **threads** sont des contextes d'exécution internes à un processus ou au noyau lui même. Ce contexte, plus léger que celui du processus, permet d'exécuter du code multi-processé. Les *threads* sont particulièrement bien adaptées aux machines multi-processeurs. Le système CHORUS est un exemple type d'application de *threads* gérées par le noyau et complètement intégrées dans l'environnement des ressources système d'un processus *UNIX*.

ordonnanceur temps-réel, un basé sur les échéances ou un temps de traitement minimal, et un ordonnanceur temps partagé ?

Les architectures de système à micro-noyau temps réel comme CHORUS, n'offrent-ils pas une réponse, n'ont-ils pas une place à prendre avec leur capacité à mixer le temps-réel dur, l'activité *UNIX* plus "molle" et la répartition implicite des calculs ?

Chapitre VII Conclusion

Au fil de ces quelques pages, nous avons tenté de montrer comment et pourquoi la mise en situation pouvait apporter de bénéfice au développement et à la mise au point de techniques émergentes. Comment la plate-forme des séminaires *X-Aristote* en offrant un contenu, donc un intérêt et une communauté d'utilisateur curieux et critiques a accéléré la maturation des outils comme TÉLÉSIA mais aussi du réseau Internet *RENATER* et de multi-diffusion *FMBONE*. En prenant en charge cette phase adolescente, pré-opérationnelle, l'association Aristote et l'équipe TÉLÉSIA ont démontré la valeur de l'accompagnement "in situ" des travaux de recherche, de l'initiative, et des retours explicites qui émaillent ce document. A ce jour, les critiques qui nous parviennent ne concernent plus l'outil avec ses qualités ou ses défauts, mais sa large disponibilité, preuve que les participants ont transcendé la technique, intégré l'usage pour ne s'intéresser qu'à l'activité. Que ce soit dans des activités régulières de séminaire ou ponctuelles de table ronde, l'application et le service TÉLÉSIA ont démontré la nécessité du haut débit pour l'*Internet*, du réseau de multi-diffusion *FMBONE*, et de l'intégration du système d'information. Nous disions en introduction qu'elles avaient ceci de commun : la fonction de projection des personnes, des situations, autrement dit la télé-présence.

L'activité de table ronde, et d'une façon moins spectaculaire le télé-séminaire, nous permettent de participer à une action commune, soit de réflexion, soit de formation, dans un instant partagé. Nous avons apprécié, avec les cours de l'*ENPC* et la conférence de *Bordeaux*, comment le jeu d'images croisées et une production minimale nous faisaient pénétrer dans l'univers momentané de nos interlocuteurs. Ainsi, le temps de chaque expérience, nous construisions cette scène de théâtre, où chaque acteur, conférencier, auditeur, animateur, écrivait le scénario en jouant son rôle et en se donnant la réplique.

L'activité de l'équipe TÉLÉSIA repose sur deux principes : **la recherche impliquée**.

- la recherche de la qualité par l'identification des meilleures techniques à intégrer ou développer, l'adaptation aux situations,
- l'implication "in situ" de cet assemblage de moyens qui deviendra un outil au service des usagers.

Nous avons démontré dans les chapitres précédents, comment notre volonté de mettre en correspondance, de synchroniser des activités humaines, s'était confrontée à des difficultés. Soit la technique inexistante, déficiente ne permettait pas l'établissement du lien, soit sa qualité médiocre l'altérait et rendait le suivi, la continuation de l'action pénible. Nous avons vu comment par des procédés simples de présentation de l'information sur les réseaux, le niveau de qualité pouvait être augmenté et permettre de franchir une étape supplémentaire dans cette projection de soi dans l'univers de travail commun.

Certes, nous n'avons pas ménagé les critiques sur les résultats de nos travaux. Soit d'un point de vue objectif, soit d'un point de vue subjectif. Pour le son, mais plus encore pour l'image animée, nos travaux apportent une amélioration subjective qui apparaît très clairement, mais participent aussi à une dégradation globale qui se mesure objectivement. Nous avons pu apprécier aussi, que le contexte le plus favorable de fonctionnement de ces algorithmes, correspondait à un usage dans lequel le flux en question tient le rôle premier.

Ces critiques sont indispensables. Elles remettent en cause le développement pour lui-même et l'immédiateté des résultats. Elles repoussent un peu plus en avant la nécessité de l'expérimentation par la montée en puissance de nos exigences qualitatives. Nos développements sont probants mais dans un contexte où le son, l'image, doivent être de qualité, spacieu(se), fin(e), précis(e).

La nature humaine a horreur du vide et pour contrer ce sentiment anxiogène, elle a inventé le dialogue et plus généralement la communication. Nous l'avons vu en début d'année lors des secours en mer du *Vendée globe challenge*, la première réaction des secouristes consiste à "faire du bruit" à l'aide de balises, la sémantique étant : nous sommes là confiance ! La première réaction des rescapés, une fois hors de danger, a été d'envoyer un fax. Bien sûr, il y a d'autres moteurs qui priment, la recherche d'une nourriture, le besoin de perpétuer l'espèce humaine. Cette nécessité impérieuse de mise en relation, y compris dans des conditions d'éloignement important, nous pousse à éprouver de nouvelles activités que nous ne pouvions pas aborder, aussi par indisponibilité des infrastructures, de réseau, de calculateurs. Du télé-séminaire au protocole rigide, nous allons pouvoir aborder la télé-réunion, ou la télé-formation, le télé-apprentissage, le télé-guidage. Autant d'activités socialement innovantes qui font appel à une plus grande synchronisation et à un plus grand discernement des nuances, tout en se confrontant à de nouvelles difficultés techniques à résoudre et en ouvrant d'autres portes. Les techniques de réseaux de paquets routés ont fait leurs preuves fonctionnelles. La richesse des services, en ligne ou en différé, démontre leurs capacités à transporter, outre des paquets, des services qui s'intègrent déjà dans les rouages économiques. Les principes et la réalisation actuelle du routage de l'*Internet* ne permettent pas d'extraire la communication interactive, de personne à personne, du domaine de l'expérimentation. Ce n'est pas faute de savoir-faire dans les applications !

L'adoption et l'adaptation du protocole *H261*, conçu initialement pour des réseaux de communications isochrones, à un niveau asynchrone par une mise en paquets intelligente, nous démontrent la pertinence de ces choix. Le choix de *H261*, mais surtout, plus généralement, celui de la transmission par paquets routés, nous montrent son caractère d'universalité pour traiter des informations, jusque-là réservées aux canaux analogiques. La solution de facilité apparaît avec le remplacement de l'analogique par la numérisation de ces informations. Mais elles ignorent ces

techniques de réseaux et l'intégration dans le système d'information. Ainsi, risquent-elles de rester isolées en n'étant que ce qu'elles sont encore : de la radio et de la télévision.

Mais ce n'est qu'une omission culturelle. De nouveaux intervenants ou éditeurs, guidés par une logique économique, induiront de profondes modifications de ces techniques avec des contenus réellement innovants. Les premières traces de ce changement peuvent être perçues nettement dans la notion de réservation de ressources qui implique d'autres aspects jusqu'alors inconnus : de quel droit, de quelle autorité, pour quel coût ; qui font sortir le réseau *Internet* de sa forme mutualiste. Elle peut être perçue aussi, dans le mélange des accès concurrents qui apparaissent : la télévision et l'*Internet* sur le câble. Ces techniques sont opérées avec succès, le couplage nécessite sans doute de savoir sortir de son domaine, de dépasser des objectifs fixés à terme, de se laisser guider par l'imagination et non par les techniques. D'autres communautés d'utilisateurs riches d'idées et de disponibilités souhaitent êtres associées à l'expérimentation, la conception de nouvelles techniques.

Poser notre regard sur le monde qui nous entoure et nous montre des chemins, c'est le principe de l'expérimentation que nous avons choisi.

Chapitre VIII Références Bibliographiques

[1] **Anne Marec**; **Un monde bouleversé par la technologie**; CNED Canal Education N°6;

[2] **CCITT**; **Video Codec for Audio-visual Services at px64kbits/s**; CCITT Recommandation H261;

[3] **Chantal D'Halluin**; **La présence à distance c'est possible**; CNED Canal Éducation N°6;

[4] **David L. Mills**; **Network Time Protocol, Specifications, Implementation and Analysis**; RFC 1305;

[5] **David L. Mills, Electrical Engineering Dep. of U. Delaware**; **On the Chronometry and Metrology of Computer Network Timescale and their Application to the Network Time Protocol**; ACM, SIGCOMM, Computer Communications Review;

[6] **Didier Le Gall**; **MPEG: a Video Compression Standard for Multimedia**; Communications ACM (Special issue on multimedia), Vol 34, No 4,April 1994;

[7] **Doll**; W.J. Torkzadeh; G. Torkzadeh; **The Measurement of End User Computing Satisfaction**; MIS Quaterly, Vol 12, No 2,June 1988;

[8] **Douglas E. Comer**; John C. Lin; **TCP Buffering and Performance Over an ATM Network**; Department of Computer Sciences, Purdue University Technical Report CSD-TR-94-026;

[9] **Gaston Bachelard**; **La Psychanalise du feu**; folio - essais; ISBN 2-07-032325-0;

[10] **Georges Aziza**; Denis Joiret; **Evaluation du service Transrel-ATM à l'INRIA**; Rapport interne INRIA, Janvier 1995;

[11] **Grenville J. Armitage, BELLCORE**; Keith M. Adams, U. Melbourne; **How Inefficient is IP over ATM Anyway ?**; IEEE Network. January/February 1995;

[12] **Guy Pujolle**, PRISM Versailles; **Internet Large Bande/RNIS Large Bande : différence, similitude, stratégie, convergence**; DNAC96, Décembre 1996 Versailles;

[13] **H. Schulzrinne GMD Fokus**; S. Casner Precept Software; R. Frederick, Xerox Palo Alto Center; V. Jacobson Lawrence Berkeley National Laboratory; **RTP RFC 1889**;

[14] **H. Schulzrinne GMD Fokus**; **RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control**; IETF;

[15] **H. Shulzrinne GMD Fokus**; S. Casner Precept Software; **RTP draft IETF 02**; IETF;

[16] **Henrich J. Stüttgen, IBM European Network Center**; **Network Evolution and Multimedia Communication**; IEEE95 Multimedia, Fall 1995;

[17] **Ismail Dalgic, U. Stanford**; Fouad A. Tobagi, U. Stanford; **Constant Quality Video Encoding**; Proceedings IEEE ICC'95 Seattle June 1995. Department of Electrical Engineering Stanford University;

[18] **Jacques Prévost**, Alain Caristan, Sébastien Gibergue; **Bilan de l'action de retransmission de la conférence annuelle de l'Internet Society de Montréal à Orsay (Juin 1996)**; Renater Juillet 1996;

[19] **Jean-François Perret**; Anne-Nelly Perret-Clermont; Département de psychologie de l'université de *Neuchâtel* (*Suisse*); **Accès au savoir et processus d'apprentissage**; CNED Canal Éducation N°6;

[20] **Jean Yves Babonneau, INRIA**; Gilles Brillet, CNET; Yves Ruggeri, CNET; **National Host, définition et préparation de la conférence de Madrid du 19 et 20 Octobre 1994**; Documents internes INRIA Rocquencourt;

[21] **J. Terence Mayes**, Institut for computer-based learning Heriot-Watt University; Edinburgh; **Understanding teleteaching**; IDC95, Madère;

[22] **Lagarde**; Michard; **Lagarde & Michard XVII siècle**; Édition Bordas;

[23] **Larousse**; **La grande encyclopédie Larousse**; Volume 56;

[24] **LICEF**; **Base de données réparties**; Université du Quebec, Télé-université;

[25] **Lucia Gradinariu**, Françoise Sandoz, Gérard Beuchot, Patrick Prévot; **Interactive Teletraining Using Real-Time Computer Mediated Communication: Usability Evaluation from Experiences**; GRACIMP INSA and Lyon 1 University;

[26] **Lucien Cruchant**; **La Qualité**; Collection que sais je ?; 2779

[27] **M. Wahl, Critical Angle Inc.**; T. Howes Netscape Communications Corp.; S. Kille, ISODE Consortium; **Lighweight Directory Access Protocol (v3)**; Network working Group Internet draft;

[28] **Marie-Laure Barbier**; Francesca JAL JA; Annie Piolat, Centre de recherche en psychologie cognitive; **Effets du système informatisé de communication sur une tâche d'écriture coopérative**; Applica'93, 3rd European Congress Lille-France, 22, 23 et 24 Mars 1993;

[29] **Pierre Jardiller**; **L'organisation humaine du travail**; Collection Que sais je ?; 125

[30] **Pierre Léonard, INRIA**; Alain Caristan, INRIA; Pierre De La Motte, IFATEC; Andrzej Wozniak, INRIA; **The Tele-seminar Networking with TÉLÉSIA**; IDC95, Madère; <http://magoo.inria.fr/Telesia/telesia-pub.html>;

[31] **Philippe Quéau**; **Pour une éthique du virtuel**; CNED Canal éducation n°6 ISSN 1257 2888

[32] **R.Fielding**; H.Frystyk; T. Berners-Lee; **Hypertext Transfer Protocol - HTTP/1.1**; HTTP Working Group; November 22; 1995 <draft-ietf-http-v11-spec-00.ps>

[33] **Ronnie T. Apteker, U. Witwatersand**; James A. Fisher, U. Witwatersand; Valentin S. Kisimov, U. Witwatersand; Hanoch Neishlos, U. Witwatersand; **Video Acceptability and Frame Rate**; IEEE Multimedia Fall 1995;

[34] **T. Berners-Lee**; Masinter; L. and M. McCahill; **Uniform Resource Locators (URL)**; RFC 1738; CERN; Xerox PARC; University of Minnesota, December 1994. <ftp://ds.internic.net/rfc/rfc1738.txt>

[35] **T. Berners-Lee**; D. Connolly; **Hypertext Markup Language - 2.0.**; RFC 1866; Network Working Group; November 1995.

[36] **Thierry Turletti, INRIA**; Christian Huitéma, INRIA; **Packetization of H261**; draf-ietf-avt-video-packet-02 September 1994;

[37] **Van Jacobson** LBL; R. Braden ISI; L. Zhang PARC; D. Borman; **TCP Extensions for High Performance**; Network Working Group RFC 1323;

[38] **V. Srinivasan Rao**; **Dimension of Satisfaction in Tele-conferencing: An Exploratory Analysis**; HICSS94;

[39] **Y. Yaacovi, Microsoft**; M. Wahl, Critical Angle Inc.; K. Settle; T. Genovese, Microsoft; **Lightweght Directory Access Protocol : Extension for Dynamic Directory Services**; ASID Working Group Internet draft;

Chapitre IX Bibliographie

- **Ahmed Labiad**; **Administration automatique des séminaires TÉLÉSIA sur internet**; Ministère de l'éducation National; Greta tertiaire Paris Centre - 6bis, Place des Vosges - 75004 Paris; Juillet 1996;

- **A.M. Laulan**; A. Marshall; **Etude des mutations observées dans les entreprises, influence des technologies d'informations, innovations techniques et modèles de production typographique**; Journées COMICS 92; Juin 1992

- **Andreas Vogel, CRC for distributed systems technology**; Brigitte Kerhervé, Université de Quebec à Montréal; Gregor von Bochmann, Université de Montréal; Jan Gecsei, Université de Montréal; **Distributed Multimedia and QOS: A Survey**; IEEE Multimedia Summer 1995;

- **Anna Watson, UCL UK**; Martina Angela Sasse, UCL UK; Jane Hughes, UCL UK; **Evaluating the Potential of Multicasting Conferencing for Distance Education: A Case Study of Remote Language Tutoring**; Department of computer University College of London, Project ReLaTe 1996;

- **Anna Watson, UCL UK**; **f multimedia videoconferencing used in a remote language teaching application**; Department of Computer Science University College of London Projet ReLaTe ;

- **Arthur A. Webster**; Coleen T. Jones; Margaret H. Pinson; Stephen D. Voran; **An Objective Video Quality Assesment System Based on Human Perception**; Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, Proceedings 1-4 February 1993;

- **Brian D. Marky DEC**; **Emerging Hypermedia Standards**; Usenix Summer 91 Nashville;

- **Christian Brault**; **Norme MIDI Tome I**; Sybex;

- **Christophe Deveaux**; **Bilan d'évaluation préliminaire du réseau experimental de visocommunication médicale Béthune-Salengro**; Centre Hospitalier Régionnal Universitaire de Lille, Unité LOGINAT;

- **Corinne Potiron, INRIA**; **La communication entre individus au sein d'une visio-conférence**; Rapport de stage INRIA.;

- **David L. Mills, Member IEEE**; **Internet Time Synchronisation: The Network Time Protocol**; IEEE Transactions on Communications, Vol. 39, No 10 October 1991;

- **Dick C.A. Bulterman, CWI**; Guido van Rossum, CWI; Robert van Liere, CWI; **A Structure**

for Transportable Dynamic Multimedia Document; Usenix Summer 91 Nashville;

- **Don Hoffmann, Sun Microsystem**; Gerard Fernando, Sun Microsystem; Steve Kleiman, Sun Microsystem; Vivek Goyal, USC; **RTP Payload Format for MPEG 1 / MPEG 2 Video**; draft-ietf-avt-mpeg-01.txt;
- **Douglas E. Comer**; John C. Lin; **Probing TCP Implementations**; USENIX Summer 1994 Conference Proceedings. Department of Computer Sciences Purdue University;
- **François Armand, Chorus Systèmes**; et les autres; **CHORUS, a new Technology for Building UNIX Systems**; EUUG Autumn 1988 Conference Proceedings, Cascais Portugal;
- **Françoise Colaïtis, CCETT**; Francis Kretz, CCETT; **Standardizing Hypermedia Information Objects**; IEEE comunications Magazine, May 1992;
- **Frédéric Buissez**; Ulrich Lang; Alain Caristan; Lei Wang; **PAGEIN, Pilot Application in a Gigabit European Integrated Network**; R2031/NLR/IR/DS/R//031-032/b1;
- **H. Shulzrinne, GMD Fokus**; S. Casner, Precept Software; **RTP: A Transport Protocol for Real Time Application**; draft-ietf-avt-rtp-06.txt;
- **ISO**; **X500 ISO/IEC 9594**; ISO;
- **ISO**; **Experimental Interchange of Multimedia and Hypermedia Information**; ISO/IEC JTC1/SC2WG12 Working Document S3;
- **ISO**; **Experimental Interchange of Multimedia and Hypermedia Information Objects**; ISO/IEC JTC1/SC2WG12 Working Document E3;
- **ITU**; **CCITT / ISO Standards**; http;
- **ITU-T Study Group 15**; **H222 draft**; ITU;
- **ITU-T Study Group XV**; **H320 : Narrow Band Bisual Telephone Systems and Terminal Equipment**; ITU 1994, Mars 1993;
- **ITU-T Study Group XV**; **H331 : Broadcasting Type Audiovisual Multipoint Systems and Terminal Equipment**; ITU March 1993;
- **ITU-T Study Group XV**; **H242 : System for Establishing Communication between Audiovisual Terminals using Digital Channels upto 2Mbits**; ITU March 1993;
- **ITU-T Study Group XV**; **H233 : Confidentiality systems for Audiovisual Services**; ITU March 1993;

- **ITU-T Study Group XV**; **H221 : Frame Structure for a 64 to 1920 Kbits Channel in Audiovisual Teleservices**; ITU March 1993;
- **ITU-T Study Group XV**; **H231 : Multi-point Control Units for Audiovisual Systems Using Digital Channels upto 2 Mbits**; ITU March 1993;
- **ITU-T Study Group XV**; **H230 : Frame Synchronous Control and Indication Signals for Audiovisual Systems**; ITU March 1993;
- **James Gettys**; Thomas M. Levergood; Andrew C. Payne; G. Winfield; **AudioFile: A network - Transparent System for Distributed Audio Application**; Dec Cambridge Research Laboratories, June 11 1993;
- **Jean Chrisostome Bolot, INRIA**; Andréas Vega Garcia, INRIA; **Control Mechanism for Packet Audio in the Internet**;
- **Jean Yves Babonneau, INRIA**; Alain Caristan, INRIA; **Schéma Directeur des Moyens Informatiques de l'INRIA 1991 - 1994**; INRIA;
- **Louis Pouzin**; **The Cyclade Computer Network - Towards Layered Network Architecture**; Monograph Series of the ICC, 2, Elsevier Publishing Company, Inc, New York, NY. ISBN 0-444-86482-2;
- **Lucia Gradinariu, CISM Claude Bernard University Lyon**; Gérard Beuchot, Dep. Informatique INSA de Lyon; Patrick Prevot, Dep. productique INSA de Lyon; **Experimenting Prototype Scenarios for Accessing and Exchanging Multimedia Information**; Université de Lyon;
- **Lucia Gradinariu, CISM LYON**; Patrick Prevot, GRACIMP INSA Lyon; **Distant and Local Aspects of Exchanging Real-time Multimedia Information within Distributed Class-room communication Subsystem**; Université de Lyon;
- **Lucia Gradinariu, CISM Lyon**; Gérad Beuchot, Dep; Informatique INSA Lyon; **Conferencing Framework: applications and communications aspects**; Université de Lyon;
- **Lucia Gradinariu**, Marc Jouineau, CISM; Frédéric Arnaud, Françoise Sandoz GPR-INSA; **Session de Télé-enseignement et bilan pédagogique**; 4° Journée du réseau ROCAD, 7 Décembre 1995;
- **Mary Elizabeth Watson Fritz**; Kunihiko Higa; Sridhar Narasimhan; **Telework: exploring the bordeless office**; Proceedings of the twenty-Seventh Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 1994;

- **Naél Hirzalla, u ; Hottawa**; Ben Falchuk, U. Hottawa; Ahmed Karmouch, U. Hottawa; **A Temporal Model for interractive Multimedia Scenarios**; IEEE95;
- **Nail Kavak, Telia Research**; **Data Communicaton in ATM Networks**; IEEE Network. May/June 1995, Page 28;
- **OMG**; **Object Managment Architecture Guide, Revision 2.0**; OMG TC Doc 92.11.1;
- **OMG**; **The Common object Tequest Broker: Architecture and Specifications, Revision 1.1**; OMG TC Doc 91.12.1;
- **R. Atkinson, Naval Research Laboratoriy**; **Default IP MTU for use aver ATM AAL5 : RFC 1626**; IETF, Network Working Group. May 1994;
- **Randall Landry, IEEE Member**; Ioannis Stavrakakis, IEEE member; **Queuing Study of a 3 Priority Policy with Distinct Strategies**; IEE/ACM Transactions October 1993;
- **Stéphane Eranian**; **Un service de synchronisation distribué tolérant les pannes : implantation dans CHORUS**; Chorus Systèmes, université Denis Diderot Paris VII;
- **Steven Bedford**; Lennart Fahlén; **A spatial model of interaction in large virtual environments**; Proceedings of the third European Conference on Computer-Supported Cooperative Work, 13-17 September 1994, Milan Italy;
- **Thierry Turletti, INRIA**; **H261 Software Codec for Video-conferencing over the Internet**; Research Report 1834;
- **Thierry Turletti, INRIA**; Christian Huitema, INRIA; **RTP Payload Format for H261 Video Streams**; draft-ietf-avt-h261-01.txt Juillet 1995 ;
- **Ulrich Lang**; Alain Caristan; Lei Wang; Andrea Rozek; **PAGEIN, Pilot Application in a Gigabit European Integrated Network**; R2031/RUS/AWS/DS/L/007/b2 ;
- **Vicky Hardman, UCL UK**; Mark Handley, UCL UK; Martina Angel, UCL UK; Anna Watson, UCL UK; **Reliable Audio for Use over the Internet**; ucl UK;
- **Victoria Belloci**; Abigail Sellen; **Design for Privacy in Ubiquitous Computing Environments**; Proceedings of the third European Conference on Computer-Supported Cooperative Work, 13-17 September 1994, Milan Italy;

Chapitre X Annexes

1. Analyse du comportement de *RERIF*

```
- ----------- net test a.w. ---------------
send from crow.inria.fr to ftp.urec.fr
- ----------------------------------------
stat len = 100
packet size  = 1024
send interval = 128ms
big loss >  10packets
- -------------------------------
write stat on 100 packets min/mean/max:119.96/128.00/130.41
read stat on 100 packets min/mean/max:89.88/158.68/3070.28
max_hole = 23
out of order packets = 0
received 100 packets on 124 expected; 24.00 % lost
- -------
write stat on 100 packets min/mean/max:119.96/128.00/130.52
read stat on 100 packets min/mean/max:77.47/128.13/185.45
max_hole = 0
out of order packets = 0
received 100 packets on 100 expected; -0.00 % lost
- -------
write stat on 100 packets min/mean/max:115.24/128.00/144.72
read stat on 100 packets min/mean/max:2.50/127.87/1068.49
max_hole = 0
out of order packets = 0
received 100 packets on 100 expected; -0.00 % lost
- -------
out of order(max_last=352 <--> current  = 351
write stat on 100 packets min/mean/max:119.94/128.00/130.19
read stat on 100 packets min/mean/max:0.15/127.99/1129.65
max_hole = 1
out of order packets = 1
received 100 packets on 100 expected; -0.00 % lost
- -------
write stat on 100 packets min/mean/max:119.93/128.00/130.50
read stat on 100 packets min/mean/max:2.25/128.02/1136.91
max_hole = 0
out of order packets = 0
received 100 packets on 100 expected; -0.00 % lost
- -------
write stat on 100 packets min/mean/max:119.98/128.00/130.54
read stat on 100 packets min/mean/max:2.44/127.98/1049.00
max_hole = 0
out of order packets = 0
received 100 packets on 100 expected; -0.00 % lost
- -------
write stat on 100 packets min/mean/max:119.94/128.00/130.52
read stat on 100 packets min/mean/max:51.02/128.08/207.92
max_hole = 0
out of order packets = 0
received 100 packets on 100 expected; -0.00 % lost
- -------
write stat on 100 packets min/mean/max:111.07/128.00/138.98
```

```
read stat on 100 packets min/mean/max:2.18/153.59/2427.02
max_hole = 18
out of order packets = 0
received 100 packets on 120 expected; 20.00 % lost
- -------
write stat on 100 packets min/mean/max:119.89/128.00/131.32
read stat on 100 packets min/mean/max:2.94/127.99/1075.55
max_hole = 0
out of order packets = 0
received 100 packets on 100 expected; -0.00 % lost
- -------
write stat on 100 packets min/mean/max:119.86/128.00/130.44
read stat on 100 packets min/mean/max:89.15/129.24/267.53
max_hole = 1
out of order packets = 0
received 100 packets on 101 expected; 1.00 % lost
- -------
write stat on 100 packets min/mean/max:119.95/128.00/130.44
read stat on 100 packets min/mean/max:58.12/128.01/196.45
max_hole = 0
out of order packets = 0
received 100 packets on 100 expected; -0.00 % lost
- -------
write stat on 100 packets min/mean/max:92.98/128.00/167.10
read stat on 100 packets min/mean/max:1.53/128.01/1089.44
max_hole = 0
out of order packets = 0
received 100 packets on 100 expected; -0.00 % lost
- -------
write stat on 100 packets min/mean/max:119.96/128.01/131.35
read stat on 100 packets min/mean/max:98.25/127.98/152.12
max_hole = 0
out of order packets = 0
received 100 packets on 100 expected; -0.00 % lost
- -------
write stat on 100 packets min/mean/max:119.94/127.99/142.99
read stat on 100 packets min/mean/max:95.55/128.00/164.27
max_hole = 0
out of order packets = 0
received 100 packets on 100 expected; -0.00 % lost
- -------
write stat on 100 packets min/mean/max:119.85/128.00/131.46
read stat on 100 packets min/mean/max:80.91/156.19/2559.79
max_hole = 19
out of order packets = 0
received 100 packets on 122 expected; 22.00 % lost
- -------
write stat on 100 packets min/mean/max:119.89/128.00/131.34
Cread stat on 100 packets min/mean/max:1.52/128.01/1276.87
max_hole = 0
out of order packets = 0
received 100 packets on 100 expected; -0.00 % lost
- -------
```

2. *RERIF*, histogramme des pertes

- ---------- big loss histogram ----------
    125ms
    119ms
    129ms
    130ms
    134ms
    125ms
    119ms
    129ms
- ------ 3070ms ----------> +0ms
    169ms
    89ms
    130ms
    130ms
    121ms
    128ms
    129ms
|||||||
    128ms
    134ms
    133ms
    119ms
    127ms
    126ms
    131ms
    129ms
- ------ 2427ms ----------> +89349ms
    137ms
    283ms
    89ms
    266ms
    120ms
    1029ms
    4ms
|||||||
    114ms
    130ms
    128ms
    129ms
    152ms
    105ms
    126ms
    127ms
- ------ 2559ms ----------> +90112ms
    378ms
    259ms
    130ms
    130ms
    119ms
    133ms
    130ms
|||||||

3. Mesures de la mise en paquets *H261*

```
Q1
nombre envoi 4979 taille min 1260 max 7291 moyenne 3298.08 o
Frames/sec  5.7226 taille moy/image 9827.13o  debit 449.894 Kb/s
nb paquets 17327  min 38 max 1465 moyenne 965.644 o
paquets/sec 59.339 debit reseau 458.403 Kb/s

paquets/image 10.3692 paquets/envoi 3.48002 envois/image 2.97965

nombre de FIN 0
nombre de BuilH261Header 1671
nombre de ContH261Header 0

repartition des paquets par tranches de 100 octets :


  100  200  300  400  500  600  700  800  900 1000 1100 1200 1300 1400 1500
    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
  806 1803  636  259  116  113  355  954 1123 1248 1148 1162 1355 2879 3370


Q5
nombre envoi 544 taille min 269 max 5509 moyenne 1885.25 o
Frames/sec  1.0411 taille moy/image 3373.6o  debit 28.0979 Kb/s
nb paquets 1075  min 33 max 1463 moyenne 971.62 o
paquets/sec 3.68151 debit reseau 28.6162 Kb/s

paquets/image 3.53618 paquets/envoi 1.9761 envois/image 1.78947

nombre de FIN 0
nombre de BuilH261Header 304
nombre de ContH261Header 0

repartition des paquets par tranches de 100 octets :


  100  200  300  400  500  600  700  800  900 1000 1100 1200 1300 1400 1500
    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
   33   73   58   44   30   35   47   69   64   38   38   45   31  129  341

Q8

nombre envoi 4869 taille min 45 max 3142 moyenne 453.448 o
Frames/sec  16.4521 taille moy/image 459.583o  debit 60.4887 Kb/s
nb paquets 5082  min 29 max 1463 moyenne 451.379 o
paquets/sec 17.4041 debit reseau 62.8468 Kb/s

paquets/image 1.05787 paquets/envoi 1.04375 envois/image 1.01353

nombre de FIN 0
nombre de BuilH261Header 4804
nombre de ContH261Header 0

repartition des paquets par tranches de 100 octets :
```

```
  100  200  300  400  500  600  700  800  900 1000 1100 1200 1300 1400 1500
    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
   83  575 1167 1027  742  450  304  174  135   88   43   31   41   49  173
```

4. Mesures fournies par la pile *RTP*

```
Bilan paquets: jetes   0  perdus  56 :   0  18   9   2   1   2   0   0   0   0
hors seq  40  variation  95   :    24   0   6   4   2   1   3   0   0   0
cbos   0  doubles   0  der seq recue 128 sortie 19903  Jitter 2845
moyenne de desequencement   2  fenetre actuelle   2


Bilan paquets: jetes   0  perdus  19 :   0   7   3   2   0   0   0   0   0   0
hors seq  33  variation  51   :    26   2   2   0   3   0   0   0   0   0
cbos   0  doubles   0  der seq recue  64 sortie 19967  Jitter 3079
moyenne de desequencement   1  fenetre actuelle   2


Bilan paquets: jetes   0  perdus  24 :   0   5   3   3   1   0   0   0   0   0
hors seq  28  variation  54   :    17   5   2   1   1   2   0   0   0   0
cbos   0  doubles   0  der seq recue  64 sortie 20031  Jitter 2605
moyenne de desequencement   1  fenetre actuelle   1
```

5. Mesures de la pile *RTP*, après traitement

```
Releve de la station: 131.196.20.2   debut 09:00:00 fin 10:00:00
Canal: 0 video  3455 paquets
131.196.20.2/0/09:00:00A000 Pertes: 334 = 9.67%  174 43 7 7 2 0 1 1 0
jetes: 4 = 0.12% doublons 0 cbos 0
Jitter min 790 max 594083
131.196.20.2/0/09:00:00B001 qjt= 0 0 0 1 2 1 2 3 3 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0
 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Canal: 1 controle  13562 paquets
131.196.20.2/1/09:00:00A002 Pertes: 43 = 0.32%  29 5 0 1 0 0 0 0 0
        jetes: 0 = 0.00% doublons 2 cbos 0
 Jitter min 37917 max 1792651
131.196.20.2/1/09:00:00B003 qjt= 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0

Canal: 2 audio 50879 paquets
131.196.20.2/2/09:00:00A004 Pertes: 2134 = 4.19%  965 196 35 9 9 12 16 19 27
        jetes: 0 = 0.00% doublons 0  cbos 0
 Jitter min 713 max 940092
131.196.20.2/2/09:00:00B005 qjt= 24 59 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 2 2 0 0 1 3 1 0
 1 1 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

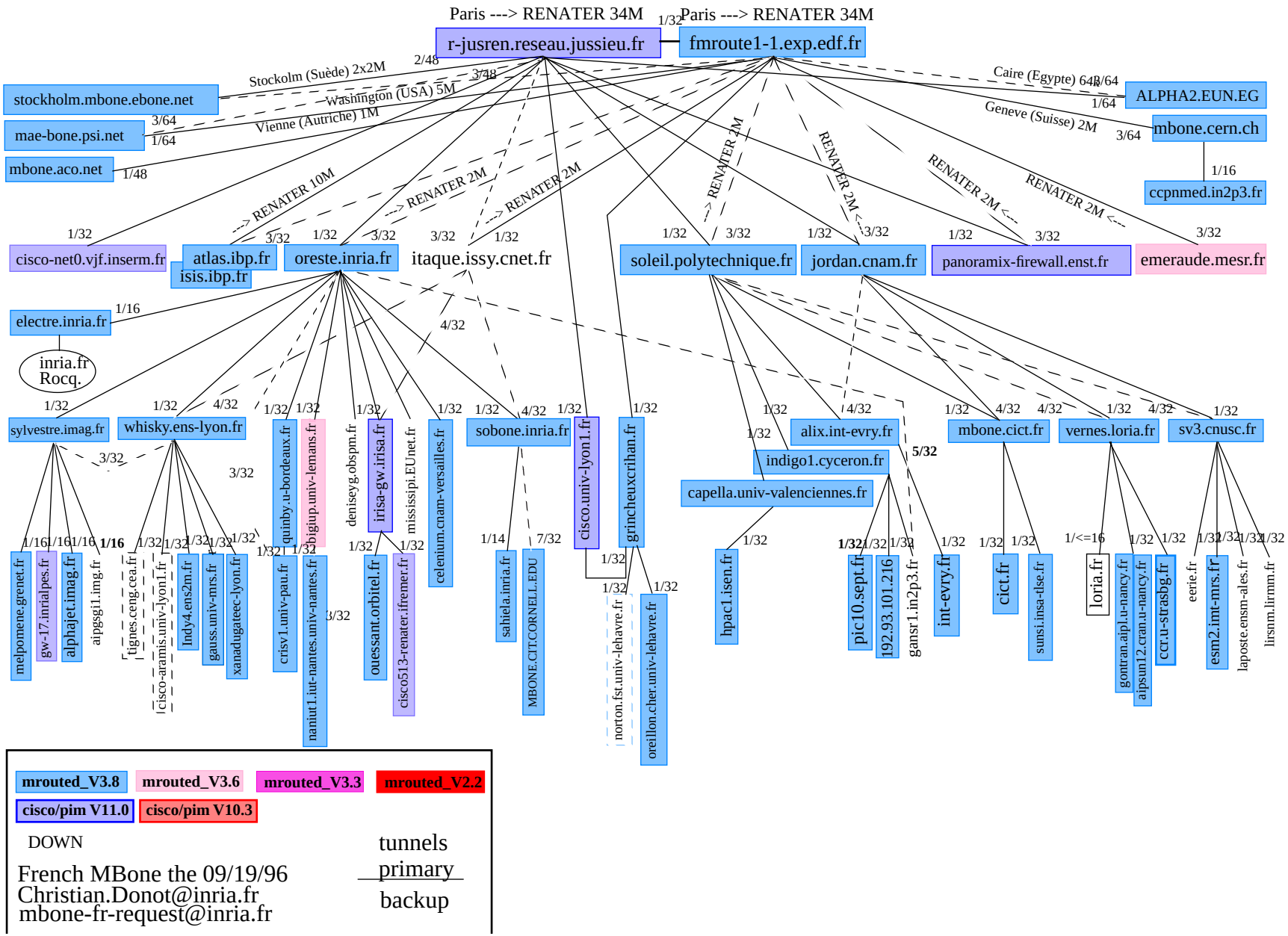
6. Script de lancement de TÉLÉSIA

```
#!/bin/sh

# script execute the telesia application with the complete environment
# for the Aristote session October, 24rd.
# Release 0.1 15/5/96
# Release 0.2 21/10/96
```

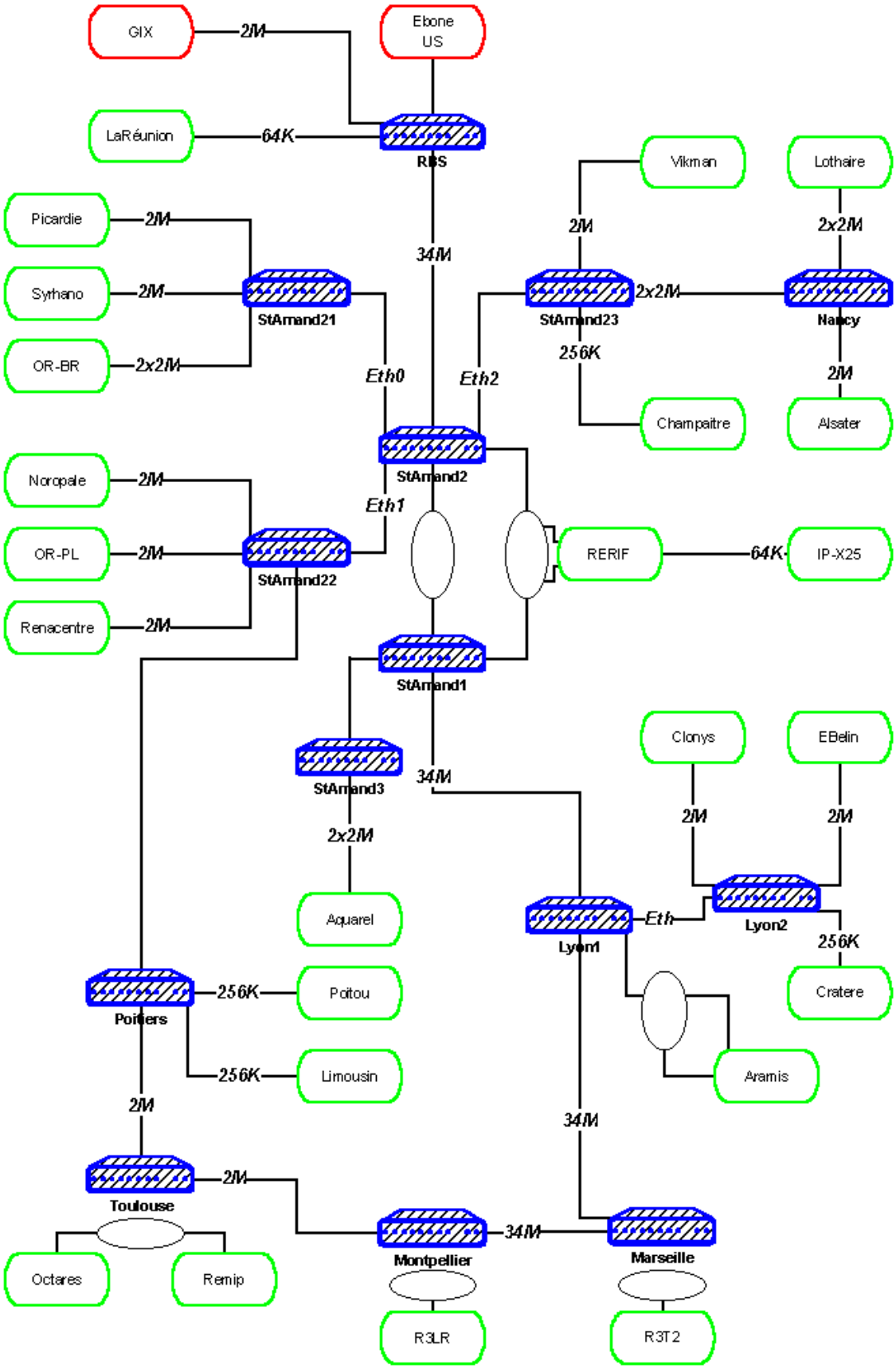
```
# Copyright Mars, Avril, October 1996 (C) Pierre LÈonard, Alain Caristan,TELE-
SIA

trap "kill -9 0" 9 2 3

# environment test
PASGOOD=0
for i in telesia doc_server doc_client dia_cast_ar http_get ;do
    SEARCH=`(type telesia) | grep "not found" | wc -l`
    if test $SEARCH = 1 ;then
     echo the $i binary is not available
     PASGOOD=1
    fi
done
if test $PASGOOD = 1 ;then
     echo "Some binaries are not available. Check the telesia"
     echo "environment, and try again."
     exit 6
fi

if test -f "$TELESIA_FILE" ;then
     echo "teledia : the conference parameters are:"
     cat $TELESIA_FILE
     echo "And are changed by: $*"
else
    if test -f .telesia.default ;then
#    echo "teledia : the conference parameters are:"
#    cat .telesia.default
#    echo "And are changed by: $*"
     rm .telesia.default
    else
     echo "teledia: no configuration file."
     echo "A .telesia.default file will be created"
    fi
fi
TELESIA_SPATH=/tmp
if test -d "$TELESIA_SPATH" ;then
     echo "The slides will be recorded here: $TELESIA_SPATH"
     echo "I hope you will get enough place around 6 Mb"
else
     echo "The slides directory $TELESIA_SPATH is not valid"
     exit 2
fi

if test "$XENVIRONMENT" = "" ;then
     echo "The XENVIRONMENT variable is not set"
     echo The good place for the Telesia resources file
     echo could be /usr/lib/X11/app-defaults/Telesia, we will try.
     XENVIRONMENT=/usr/lib/X11/app-defaults/Telesia
fi
if test ! -f "$XENVIRONMENT" ;then
     echo The Resources file Telesia is not here $XENVIRONMENT
     echo find it good place
     exit 3
fi

ftp -n magoo.inria.fr <<EOF
```

```
user semaris semaris;
get parametres /tmp/parametres
bye
EOF

. /tmp/parametres
rm /tmp/parametres

echo $ADR $TTL

export TELESIA_FILE TELESIA_SPATH XENVIRONMENT

telesia -I$ADR -T$TTL -P -nodia
```

7. Cartographie du FMBONE



8. Topologie de RENATER



Chapitre XI Table des Matières

Chapitre I Introduction 5
Prologue 5
1. Introduction 6
2. Conventions typographiques 8

Chapitre II L'activité coopérative 9
1. Le travail coopératif, l'activité organisée 9
2. Les outils de coopération 14
3. Le champ d'activité que l'on étudie 17
3.1. Nos contributions 19
3.1.1. La présence 19
3.1.2. La télé-présence 21
3.2. Création de l'illusion 25

Chapitre III TÉLÉSIA 27
1. Choix technologiques 28
1.1. Architecture de l'application 29
1.2. Le son, PCM, ADPCM, GSM 30
1.3. L'image animée, H261 32
1.4. Les documents, Dia_Dif 33
1.4.1. Contraintes 34
1.5. L'Administration du séminaire 34
1.5.1. Les fonctionnalités 35
1.6. Usage : réunion libre, séminaire 36
1.6.1. La télé-réunion 36
1.6.2. Le télé-séminaire 37
1.7. L'accès au réseau 38
1.7.1. La pile IP 39
1.7.2. La pile RTP 39
1.7.3. La pile RTCP 40
2. Mise en œuvre 41

Chapitre IV TÉLÉSIA : Réalisation 47
1. La pile IP 48
2. La pile RTP 48
3. la pile RTCP et l'asservissement 51
4. Le système de mesure 53
4.1. La mise en paquets H261 53
4.2. L'accès au réseau, RTP 53

5. L'audio et la mise en paquets, TEAP.....54
5.1. Une nouvelle mise en paquets.....56
5.2. L'utilisation du protocole RTP dans TEAP.....59
5.3. Résultats 59
5.4. Conclusions sur l'audio.....61
6. La vidéo H261 et la mise en paquets 62
6.1. Discussion 64
6.2. Une nouvelle mise en paquets.....65
6.3. L'utilisation de RTP 66
6.4. Résultats 68
6.4.1. L'analyse du rendu de l'image.....68
6.4.2. L'analyse objective 68
6.4.2.1. Les mesures réalisées sur le reportage.....69
6.4.2.2. Les mesures réalisées sur la conférence.....72
6.5. Conclusion sur la vidéo H261 73
7. Les documents, Dia_Dif.....74
7.1. Description du système.....74
7.1.1. Description statique.....74
7.1.2. La description dynamique 75
7.1.2.1. L'émission d'une commande 75
7.1.2.2.a. La version V0 76
7.1.2.3.b. La version V1 77
7.1.2.4. La réception des commandes.....79
7.2. La synchronisation.....80
7.3. L'administration du séminaire 81
7.4. Le séminaire 81
7.5. Les intervenants 83
7.6. L'exécution du séminaire 85

Chapitre V Les expérimentations 87

1. La conférence National Host 1994 87
1.1. Le consortium CNET - INRIA 88
1.2. Le GIP-RENATER 90
1.3. La conférence du 19 et 20 Octobre 1994 90
2. Les séminaires Aristote 94
2.1. La session du 13 Juin 1996.....95
2.2. La réalisation technique.....95
2.3. Les mesures 98
2.3.1. Les conditions de mesure 98
2.3.2. Le Cnusc de Montpellier.....100

2.3.3. Le Sept de Caen 101
2.3.4. L'université d'Évry 102
2.3.5. Le laboratoire Infobiogen 103
3. La conférence INET'96 104
3.1. La réalisation Technique 107
3.2. Le site de Montréal 109
3.3. Le site d'Orsay 110
3.4. Le déroulement de la conférence 110
3.4.1. Mercredi 26 Juin 112
3.4.2. Jeudi 27 Juin 116
3.4.3. Vendredi 28 Juin 119
3.5. Le bilan technique Réseau 123
4. Conclusion 124

Chapitre VI Évaluation, interprétation 125

1. Apprendre 125
1.1. L'espace commun 126
1.2. L'effet de présence individuel 127
1.3. L'Interaction 128
1.4. Le dernier maillon 131

Chapitre VII Conclusion 135

Chapitre VIII Références Bibliographiques 138

Chapitre IX Bibliographie 141

Chapitre X Annexes 145

1. Analyse du comportement de RERIF 145
2. RERIF, histogramme des pertes 147
3. Mesures de la mise en paquets H261 148
4. Mesures fournies par la pile RTP 149
5. Mesures de la pile RTP, après traitement 149
6. Script de lancement de TÉLÉSIA 149
7. Cartographie du FMBONE 152
8. Topologie de RENATER 153

Chapitre XI Table des Matières 154

Chapitre XII Table des figures 157

Chapitre XIII Table des tableaux 160

Chapitre XII Table des figures

Figure 1 : Éléments constitutifs de la présence 20
Figure 2 : Mise en œuvre de la télé-présence 22
Figure 3 : Description organique de l'application 30
Figure 4 : Télé-réunion, distribution de la parole 36
Figure 5 : TÉLÉSIA fonctionnel, contrôle et asservissement 38
Figure 6 : Les paramètres de TÉLÉSIA 41
Figure 7 : Paramètres d'exécution de TÉLÉSIA 42
Figure 8 : TÉLÉSIA : panneau principal 43
Figure 9 : Commandes métaphoriques des codeurs 44
Figure 10 : Panneau de réglage du son 44
Figure 11 : Panneau de réglage de la vidéo 45
Figure 12 : Panneau de réglage de l'image reçue 46
Figure 13 : Architecture de l'interface réseau 49
Figure 14 : Synchronisation d'un flux 50
Figure 15 : Architecture des codeurs et des décodeurs audio 55
Figure 16 : Distribution des échantillons dans les paquets IP [TEAP mode] 57
Figure 17 : Formule de distribution 58
Figure 18 : Schéma de mise en paquets 58
Figure 19 : Impact d'une perte d'un paquet 59
Figure 20 : Structure d'un paquet audio TEAP 59
Figure 21 : Répartitions relatives des pertes de paquets en fonction de la taille 61
Figure 22 : Architecture du codeur décodeur vidéo 62
Figure 23 : Mise en paquets originale 64
Figure 24 : Nouvelle mise en paquets 66
Figure 25 : Structure du paquet H261 67
Figure 26 : En-tête H261 67
Figure 27 : Défauts d'une image avec et sans la mise en paquets 68
Figure 28 : Comparaison du débit généré en Kbit/s 69
Figure 29 : Comparaison de la taille moyenne des paquets 70
Figure 30 : Comparaison du débit en paquets/s 70
Figure 31 : Mise en paquets originale : répartition par taille de paquets 71
Figure 32 : Nouvelle mise en paquets : répartition par taille de paquets 71
Figure 33 : Mise en paquets originale : répartition par taille de paquets 72
Figure 34 : Nouvelle mise en paquets : répartition par taille de paquets. 73
Figure 35 : Architecture globale 74
Figure 36 : Dia_Dif, Télé-chargement des ensembles de documents 76
Figure 37 : Dia_Dif, Télé-chargement et visualisation des documents 76

Figure 38 : Dia_Dif, Version V0, commande d'affichage **77**
Figure 39 : Dia_Dif, Version V1, commande d'affichage **78**
Figure 40 : Dia_Dif, Schéma d'asservissement **79**
Figure 41 : Dia_Dif, génération automatique des séminaires **81**
Figure 42 : Dia_Dif, création d'un séminaire **82**
Figure 43 : Dia_Dif, création d'une intervention, l'intervenant **83**
Figure 44 : Dia_Dif, création d'une intervention, les acétates **84**
Figure 45 : Dia_Dif, panneau de choix direct des documents **85**
Figure 46 : Dia_Dif, navigation séquentielle **86**
Figure 47 : NH 19, 20 Octobre 1994, synoptique de Madrid et Lannion **92**
Figure 48 : Synoptique École Polytechnique, séminaires Aristote **97**
Figure 49 : Cnusc mesures des pertes audio et vidéo **100**
Figure 50 : Cnusc, mesures du jitter audio et vidéo **100**
Figure 51 : Sept, mesures des pertes audio et vidéo **101**
Figure 52 : Sept, mesures du jitter audio et vidéo **101**
Figure 53 : Université d'Évry, mesures des pertes audio et vidéo **102**
Figure 54 : Université d'Évry, mesures du jitter audio et vidéo **102**
Figure 55 : Laboratoire Infobiogen, mesures des pertes audio et vidéo **103**
Figure 56 : Laboratoire Infobiogen, mesure du jitter audio **103**
Figure 57 : Laboratoire Infobiogen, mesure du jitter vidéo **104**
Figure 58 : Production et image de Qualité à Orsay **105**
Figure 59 : L'installation technique d'Orsay **108**
Figure 60 : Liaison transocéanique **109**
Figure 61 : Synoptique Montréal INET 96 ..... **109**
Figure 62 : Synoptique Orsay INET'96 ..... **110**
Figure 63 : INET'96 Plan d'adressage **111**
Figure 64 : INET'96 configuration technique **112**
Figure 65 : Orsay 26 Juin, mesures des pertes audio et vidéo **113**
Figure 66 : Orsay 26 Juin, mesures du jitter audio et vidéo **114**
Figure 67 : Montréal 26 Juin, mesures des pertes audio et vidéo **114**
Figure 68 : Montréal 26 Juin, mesures du jitter audio et vidéo **115**
Figure 69 : Orsay 27 Juin, mesures des pertes audio et vidéo **116**
Figure 70 : Orsay 27 Juin, mesures du jitter audio et vidéo **117**
Figure 71 : Montréal 27 Juin, mesures des pertes audio et vidéo **117**
Figure 72 : Montréal 27 Juin, mesures du jitter audio et vidéo **118**
Figure 73 : Table ronde enjeux et stratégie **119**
Figure 74 : Table ronde TV5 ..... **120**
Figure 75 : Orsay 28 Juin, mesures du jitter audio et vidéo **122**

Figure 76 : Montréal 28 Juin, mesures du jitter audio et vidéo..... 122

Chapitre XIII Table des tableaux

Table 1 : Tests de la nouvelle mise en paquets 60
Tableau 2 : Détail des champs de l'en-tête 67
Table 3 : Différence entre le reportage et la conférence 72
Tableau 4 : National Host 19, 20 Octobre 1994, allocation des VP 91
Tableau 5 : Mercredi 26 Juin, 13:00 - 23:30 106
Tableau 6 : Mercredi 27 Juin, 13:00 - 23:30 106
Tableau 7 : Vendredi 28 Juin, 13:00 - 23:30 107
Tableau 8 : Route Rocquencourt - Bordeaux 130