XII

La couche Transport – services et protocoles – et ses évolutions*

XII.1 – Introduction

Ces dernières années ont vu une avancée fulgurante dans l'informatique multimédia et les transmissions à haute vitesse, qui *constitue le fait marquant de la fin des années 90.*

De tels sauts technologiques engendrent de nouveaux problèmes et de fortes innovations, en particulier au niveau des architectures et des applications. Ainsi, de nombreux travaux fondamentaux sont encore indispensables pour :

- Le développement des réseaux hauts débits,
- La création de nouvelles applications,
- L'élaboration de nouveaux outils et méthodes de support,
- L'expérimentation sur des plates-formes avancées.

Les débits proposés aux utilisateurs passent de l'ordre des *Kilobit/s* à celui des *Mégabit/s* et bientôt des centaines de *Mégabit/s*. De plus, de nouveaux réseaux alternatifs à hauts débits apparaissent, à la fois dans le monde des liaisons sans fil et dans celui des liaisons satellitaires, pendant que les *informations multimédia*s se développent. La complexité résultante peut facilement être appréhendée si l'on note qu'une vidéo T.V. – Haute Définition nécessite des débits isochrones de l'ordre de *1 Gigabit/s* en mode non compressé et de *10 Mégabit/s* en mode compressé.

---

* Ce chapitre a été rédigé par Philippe OWEZARSKI et Christophe CHASSOT.

Ces nouvelles possibilités bousculeront dans les prochaines années les réseaux, ce qui explique l'importance de l'initiative américaine concernant *l'Internet nouvelle génération et les réactions européennes.* Il faut *remplacer les logiciels communicants existants par ceux de la nouvelle génération.* Sophistiqués, ceux-ci devront supporter les applications du futur à un niveau mondialement distribué, sur tous les supports physiques.

Cependant, peu a été fait et de nombreux travaux de recherche et de conception sont encore nécessaires pour développer de tels systèmes. Il faut *inventer de nouvelles architectures*, de nouveaux mécanismes, de nouveaux réseaux, de nouveaux systèmes et de nouvelles applications, ce qui *implique de relever des défis complexes*.

Les études à développer devant répondre à un certain nombre de critères, nous allons maintenant présenter rapidement les principaux problèmes qui se posent lors de la conception de tels systèmes, par leurs aspects réseaux et architectures.

XII.2 – Problématique du transport

XII.2.1 – Les informations multimédias

Une communication multimédia interconnecte des participants échangeant des données diverses (voix, données, images vidéo) comportant des contraintes temporelles. L'intégration dans les réseaux de ces différents médias pose des problèmes nouveaux, car la nature même des informations communiquées, telle que la vidéo, nécessite par utilisateur des débits importants non encore disponibles. En outre, plus que les débits, c'est l'hétérogénéité des caractéristiques temporelles de transmission de ces informations multimédias qui introduit des contraintes nouvelles en termes de qualité de service et de synchronisation.

Ainsi, après la première génération actuelle, il faut maintenant concevoir les nouveaux mécanismes, protocoles, services et logiciels haute vitesse multimédias, permettant d'atteindre, en préservant toute la cohérence temporelle des flux, des débits de l'ordre de la centaine de Mégabit/s pour des ensembles d'utilisateurs coopérants.

XII.2.2 – L'architecture

Actuellement, l'Internet ne fournit aucune garantie de qualité de service, c'est-à-dire que les vitesses et les performances obtenues par les utilisateurs dépendent totalement de la charge en communication du réseau, ceci au moment où la communication est effective. La solution réseau future, celle qui est en cours d'étude, doit ainsi, en premier lieu, posséder à la fois les intérêts informatiques de l'Internet et les intérêts de qualité de service des réseaux téléphoniques : il faut assurer à tous les utilisateurs l'augmentation simultanée de leurs débits, de leur nombre de correspondants, et des fonctionnalités qui leur sont offertes, car les

nouveaux réseaux pourront comporter des dizaines de milliers d'équipements, du simple téléphone classique ou de l'équipement domotique de base, à l'ordinateur parallèle ou au serveur le plus sophistiqué.

Cette croissance implique qu'il devient indispensable, afin d'assurer la qualité de la coopération globale, de fournir une qualité de communication définie et certifiée.

La conception et le développement de ces nouveaux services et protocoles actuels peuvent être classés selon deux approches :

- L'approche "Applications orientées Réseaux"[1] considère que les applications doivent s'adapter au mieux et si possible parfaitement, aux problèmes et aux fluctuations du réseau (7) (15) ;
- La deuxième, "Réseaux orientés Applications"[2] reconçoit les réseaux en y incluant toutes les caractéristiques nécessaires aux nouvelles applications (1) (13).

Ces deux approches, qui n'ont pas encore été complètement évaluées, sont à la base de la conception de la prochaine génération des protocoles et des applications distribuées.

XII.2.3 – La Qualité de Service (QdS) : la deuxième génération de l'Internet

Il faut souligner que, dans le contexte le plus général, garantir une QdS donnée s'avère un problème très difficile dans une grande architecture distribuée. En effet, de nouveaux mécanismes et de nouvelles solutions sont nécessaires, car :

- les flux transportés deviennent moins sensibles aux erreurs logiques,
- les besoins évoluent vers les applications à temps contraint,
- le contrôle d'erreur devient un paramètre variable de la conception,
- les protocoles doivent être allégés sans perte de fonctionnalité,
- des mécanismes de contrôles d'accès, de flux, de débit et de congestion doivent permettre de satisfaire les contraintes temporelles.

Les protocoles actuels de type TCP devenant mal adaptés à ces nouveaux besoins et ceux de type UDP n'étant pas suffisants, les solutions et réalisations devront traiter simultanément tous ces nouveaux problèmes. Pour nous, les logiciels devront manipuler et assurer le transport des objets multimédias les plus généraux, en isolant leurs composantes et en assurant leur synchronisation (donc en les

---

[1] Le terme « application s orientées réseaux » désigne dans cet article et en français le terme « *network aware application* ».

[2] Pour prendre le contre-pied du terme « *network aware application* », cette approche a été baptisée « réseaux orientés applications » (ou « *application aware network* »).

décomposant, les transférant et les recomposant, car ces objets seront distordus lors du transfert). Il faut assurer le maintien de l'isosynchronisme des flux à travers les réseaux, la maîtrise des délais, des gigues et des dérives intra-flux et inter-flux, des protections et des priorités.

XII.3 – Les protocoles actuels de Transport

XII.3.1 – Fonctions de Transport

Le rôle de la couche Transport de toute architecture de réseau commuté (ou d'interconnexion de réseaux tels qu'Internet) est « d'émuler », pour toute instance d'application distribuée, la disponibilité, de bout en bout, d'un canal de communication :

- Dédié aux échanges de données entre les programmes applicatifs considérés ;
- Bidirectionnel, c'est à dire permettant à ses utilisateurs d'échanger des données dans les deux sens ;
- Offrant, comme QdS, soit ordre total et fiabilité totale (ni erreur, ni perte, ni duplicata), soit ni ordre ni fiabilité.

Pour cela, la couche Transport dispose du (des) service(s) offert(s) par le réseau sous-jacent, c'est à dire par la pile des protocoles des niveaux sous-jacents.

En conséquence, les fonctions attendues d'une couche Transport sont :

- de mettre à disposition des applications une API *(Application Programming Interface)* permettant l'accès à deux types de canaux : l'un garantissant ordre total et fiabilité totale du transfert des données, l'autre sans aucune garantie ;
- de prendre en compte, de façon potentiellement simultanée, plusieurs instances d'applications éventuellement différentes ;
- de résoudre tout ou partie des problèmes liés à un transfert de données au travers d'un réseau commuté, en faisant abstraction des problèmes déjà résolus aux niveaux sous-jacents ; en d'autres termes, il s'agit de résoudre les imperfections du réseau, en fonction de la QdS à garantir en termes d'ordre et de fiabilité.

XII.3.2 – UDP et TCP

On distingue deux protocoles de Transport majeurs dans l'Internet : TCP [RFC 793] et UDP [RFC 1323], implantés dans toute machine hôte d'un réseau connecté à l'Internet. Avant d'en étudier les mécanismes principaux, résumons les caractéristiques générales de l'Internet et plus précisément celles du protocole d'interconnexion des différents réseaux de l'Internet : le protocole IP (*Internet Protocol*).

XII.3.2.1 – Caractéristiques générales de l'Internet

D'une façon générale, l'Internet peut être défini comme l'interconnexion de réseaux physiques potentiellement hétérogènes en termes de topologie et/ou d'architecture, l'interconnexion de ces réseaux étant réalisée par le biais de « routeurs IP », déployant au plus haut niveau de leur architecture, le protocole IP, et aux niveaux inférieurs, l'architecture de chacun des réseaux auxquels ils sont physiquement raccordés.

Le rôle principal du protocole IP est d'assurer le routage de « paquets IP » d'un hôte émetteur vers un ou plusieurs hôtes récepteurs, sans aucune garantie d'ordre ni de fiabilité. Pour cela, IP met en œuvre une technique de commutation de paquets en mode datagramme, chaque paquet IP comportant « l'adresse IP » des machines source et destinataire, et étant géré de façon indépendante des autres paquets. En outre, IP assure la segmentation et le réassemblage des données trop grandes au regard de la MTU (*Maximum Transmission Unit*) des réseaux traversés. Enfin, IP offre un unique point d'accès par protocole de Transport de l'Internet (l'un dédié à UDP, l'autre à TCP), concrétisé par la présence dans les paquets IP d'un champ de contrôle permettant d'identifier (entre autres) le protocole de Transport véhiculé, mais pas le programme applicatif transporté.

XII.3.2.2 – TCP

TCP est un protocole avec connexion conçu pour fournir un service de transfert de données de bout en bout, en mode flux d'octets, fiable et ordonné, et ce dans un environnement réseau de type Internet.

En conséquence, les mécanismes principaux de TCP sont les suivants : établissement et libération des connexions, multiplexage et démultiplexage, reprise des pertes, contrôle de flux. Notons que dans l'Internet, les adresses de niveau Transport (c'est à dire identifiant chacun des processus applicatif communicant) sont composées de l'adresse IP de la machine sur laquelle s'exécute le processus, et d'un « numéro de port » identifiant le point d'accès au service créé et utilisé par le processus (« *socket* ») parmi tous ceux créés localement. En conséquence, la conversion d'une adresse Transport en adresse Internet est un mécanisme trivial. Notons également que TCP autorise le transfert de données urgentes, c'est à dire non soumises au contrôle de flux.

Outre ces mécanismes, TCP met en œuvre un mécanisme fondamental pour le bon fonctionnement de l'Internet : le contrôle de congestion (algorithme du « *Slow Start* »). Ce mécanisme a pour objectif de diminuer le volume des émissions d'un hôte lorsque intervient la congestion d'un routeur IP intermédiaire, cette congestion étant détectée grâce à l'expiration du « *timer* » associé à un PDU (*Protocol Data Unit*) TCP émis et non encore acquitté.

XII.3.2.3 – UDP

UDP est un protocole sans connexion conçu pour fournir un service de transfert de données de bout en bout, en mode message, sans garantie d'ordre ni de fiabilité, dans un environnement réseau de type Internet.

En conséquence, le seul véritable mécanisme de UDP est d'assurer le multiplexage et le démultiplexage des canaux UDP sur l'unique canal IP.

XII.3.3 – Nouveaux besoins

Initialement conçus pour assurer le transfert de données textuelles sur des réseaux peu fiables ou à bas débit, les protocoles de Transport actuels s'avèrent inadaptés aux nouveaux contextes applicatifs et réseaux. En effet, leurs fonctionnalités ne répondent ni aux besoins des applications multimédias (hauts débits, délais de transit bornés et synchronisation, notamment), ni à la volonté d'optimiser les ressources de communication dans les réseaux de distribution.

Ces dernières années, de nombreux travaux de recherche ont porté sur la conception de nouveaux protocoles de Transport « haute vitesse », destinés, d'une part, à être mis en œuvre dans des environnements réseaux à hauts débits, et d'autre part, à supporter le transfert de gros volumes de données. Ces évolutions ont en particulier, conduit à définir des protocoles moins complexes offrant une fiabilité paramétrable par leurs utilisateurs, ainsi qu'un mécanisme de contrôle de débit (6), (8), (18).

Cependant, aucune de ces évolutions ne permet de prendre en compte les exigences spécifiques des applications multimédias au niveau de la couche Transport, en particulier la synchronisation (spatiale ou temporelle) des flux multimédias tels que l'audio ou la vidéo. En cela, elles n'abordent la problématique du multimédia distribué qu'en termes de hauts débits, laissant aux utilisateurs du service le soin de gérer l'ensemble des contraintes de synchronisation.

Dans ce contexte, plusieurs propositions d'architecture de communication « orientée multimédia » ont été formulées. Toutes visent à prendre en compte et à satisfaire les caractéristiques et les contraintes des applications multimédias, mais diffèrent (en particulier) pour ce qui concerne les fonctionnalités de la couche Transport.

Deux approches majeures se sont opposées ces dernières années dans la conception de ces architectures.

La première approche préconise une gestion des contraintes applicatives par l'application elle-même. En cela, elle requiert de la part du service de Transport un minimum de QdS (UDP convient). Cette approche repose sur l'hypothèse que l'application est apte à s'adapter aux fluctuations du réseau (14), (2), (3). Clairement, son coût réside dans l'accroissement de la complexité des logiciels applicatifs qu'elle engendre. Notons cependant que des investigations visant à diminuer cette complexité ont été menées dans le cadre du projet Esprit HIPPARCH, et auxquelles

fait référence (15). Toutefois, des protocoles comme RTP (*Real-Time Transport Protocol*) [SCHULZRINNE 96] ou RTCP (*Real-Time Transport Control Protocol*) ont été conçus et sont utilisés dans cette approche, car, même s'ils n'apportent aucun gain au niveau de la qualité du service offert par rapport à UDP, ils donnent tout de même des informations temporelles très utiles à l'application pour connaître l'état du réseau et des connexions. L'application peut ainsi plus facilement réagir et s'adapter aux fluctuations sur le réseau que lorsque UDP est utilisé : C'est le cas, par exemple, pour VIC (Vidéo Conference) (17), un logiciel de visioconférence qui fonctionne selon ce principe. Cependant, en se basant sur un service Transport « best effort », l'application doit intégrer elle-même les fonctions permettant de s'adapter aux fluctuations du réseau. Pour cela, beaucoup d'applications utilisent des codages spécifiques comme les FEC (*Forwarding Equivalent Class*) qui vont permettre, grâce à un certain niveau de redondance de l'information, adaptable en fonction de l'état du réseau, de regénérer l'information originelle même si le message reçu était perturbé par des pertes, duplications, ou si elle a été corrompue. A titre d'exemple, l'application de visioconférence IVS (*INRIA Videoconference System*) (20) utilise ce type de technique de codage.

A l'opposé, la deuxième approche propose d'accroître la complexité des services et protocoles de Transport de façon à prendre en compte les besoins applicatifs. L'application se voit ainsi offrir un service de Transport lui permettant, via une API étendue, de spécifier ses besoins au moyen de paramètres de QdS significatifs de son point de vue. L'objectif de cette approche est de faciliter le développement des logiciels applicatifs, au prix d'une sophistication de la couche Transport. Cette approche a été suivie au travers de plusieurs projets : RACE CIO (16), BERKOM (10), OSI95 (9), TENET (19), QoS-A (4) ou encore CESAME, en France (11).

La suite de ce chapitre présente, à titre d'exemple, une solution qui se situe dans le cadre de cette deuxième approche. Plus spécifiquement, elle consiste en la proposition d'une nouvelle architecture de Transport utilisant une extension de la notion classique de connexion : la « connexion d'ordre partiel et de fiabilité partielle. »

XII.4 – Les concepts d'ordre et de fiabilité (OF) partiels multimédias

XII.4.1 - Les liens entre UDP et TCP

Comme nous l'avons rappelé en section XII.3, les protocoles de Transport les plus utilisés à l'heure actuelle sont fondés sur l'alternative conceptuelle suivante :

- Soit ils sont avec connexion (tels que TCP) et assurent à leurs utilisateurs un transfert de données sans déséquencement, exempt d'erreur, de perte et de duplicata ; en cela, ces protocoles peuvent être qualifiés de « fiables et ordonnés »;

- Soit ils sont sans connexion (tels que UDP) et ne garantissent ni le séquencement, ni la fiabilité du transfert des données, celles-ci étant traitées en tant que datagrammes indépendants les uns des autres ; en cela, ces protocoles peuvent être qualifiés de « non fiables et sans ordre ».

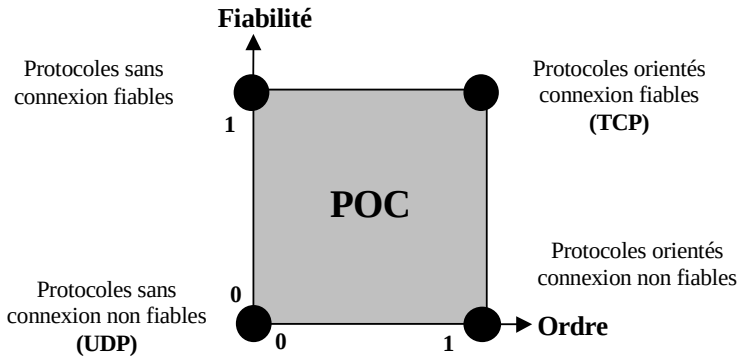

Figure XII.1. Espace des protocoles d'ordre partiel et de fiabilité partielle

Cette classification souligne un vide conceptuel entre les deux familles de protocoles, suggérant une extension du concept de connexion en termes d'ordre et de fiabilité (figure XII.1). Cette extension, la « connexion d'ordre partiel et de fiabilité partielle » (*POC: Partial Order Connection*), a été introduite et développée dans (1) et (12). Nous la présentons maintenant avant d'en montrer l'intérêt pour le transport des flux multimédias.

XII.4.2 – POC : une famille de nouveaux protocoles

XII.4.2.1 – Le concept de connexion d'ordre partiel et de fiabilité partiels

Une POC est une connexion de Transport permettant de définir et de mettre en œuvre tous les services d'ordre partiel et de fiabilité partielle entre deux entités communicantes. Concrètement :

- Les données véhiculées au travers d'une POC peuvent être remises à l'utilisateur récepteur selon une séquence différente de celle de soumission par l'utilisateur émetteur, à condition qu'elle respecte un ordre partiel particulier, échangé en tant que paramètre de QdS lors de l'établissement de la connexion ;
- De façon analogue, ces mêmes données peuvent ne pas être remises à l'utilisateur récepteur si les pertes correspondantes sont acceptables pour

celui-ci ; au même titre que l'ordre partiel, la fiabilité partielle représente un paramètres de QdS, échangé lors de l'établissement de la connexion.

Notons que ce nouveau concept étend et unifie les deux approches traditionnelles de la notion de connexion représentées par UDP et TCP, qui apparaissent alors comme deux cas extrêmes de cette proposition.

XII.4.2.2 – POC : un support adapté au transfert des flux multimédias

L'intérêt d'un service de Transport garantissant une fiabilité partielle est facile à comprendre. Tout d'abord, le paramètre « fiabilité » est relativement simple à exprimer pour l'utilisateur du service : il peut, par exemple, s'exprimer en termes de pourcentage maximum de pertes acceptables, ou en nombre maximum de pertes consécutives acceptables. Par ailleurs, il permet aux utilisateurs de spécifier et d'obtenir toutes les garanties possibles en termes de fiabilité, depuis l'absence de garantie jusqu'à une garantie totale : en cela, un tel service permet de prendre en compte, au niveau Transport, les différences de QdS requise en termes de fiabilité pour le transfert du texte, du son ou de l'image (fixe ou animée), par exemple.

Une application de visioconférence audio/vidéo a été choisie pour illustrer les principes et mécanismes des connexions POC pour la gestion de l'ordre et de la fiabilité partiels. La visioconférence est classiquement une application dont les deux flux (audio et vidéo) requièrent des QdS différentes. D'autre part, l'ordre des délivrances est important, car il existe des relations de sérialisation entre les différents objets (entre les différentes images qui composent le flux, par exemple) et des relations de parallélisation entre des objets appartenant à des flux distincts : ainsi, délivrer en premier une image ou le message son associé est souvent sans influence sur la qualité finale, mais dans le cas où le décalage entre les flux audio et vidéo devient trop élevé, il est important de bien gérer les délivrances de sorte à assurer une synchronisation logique à l'application qui lui permette de mettre des mécanismes de synchronisation voix / image. Les relations d'ordre entre les objets traités par l'application de visioconférence peuvent être détaillées par un Réseau de Petri, comme sur la figure XII.2.

C'est à partir de ce Réseau de Petri que les principes de gestion de l'ordre et de la fiabilité partiels vont être exposés. Supposons que, dans cet exemple, la QdS minimale sur un flux s'exprime par un nombre maximal de pertes sur une séquence, et par un nombre maximal de pertes consécutives. Ainsi, en cas de perte acceptable, détectée lors de la réception d'un objet ordonné logiquement après l'objet attendu, l'objet initialement attendu est déclaré perdu au plus tôt (aucun essai de recouvrement n'est initié), et l'objet qui vient de parvenir à l'entité Transport réceptrice est délivré à l'utilisateur (délivrance au plus tôt). Si, par contre, la perte n'est pas acceptable par rapport à la fiabilité définie par l'utilisateur, un certain nombre de retransmissions peuvent être essayées. Tout objet reçu par l'entité Transport réceptrice est donc délivré au plus tôt en accord avec l'ordre et la fiabilité partiels ; si cet objet n'est pas délivrable au regard de l'ordre partiel, il est vraisemblable qu'un problème a perturbé les objets qui le précèdent logiquement, et

donc, si au regard de la fiabilité partielle les objets manquants peuvent être perdus, alors ils seront considérés comme perdus, et l'objet reçu ne sera pas retardé (délivrance au plus tôt) (1).

En fait, il existe deux approches pour la gestion des principes de fiabilité partielle : une gestion média par média et une gestion par groupe de médias. Dans la gestion média par média, l'entité réceptrice d'un flux ne peut utiliser les mécanismes de fiabilité partielle que sur le flux qu'elle gère, et pas sur les autres flux de la multiconnexion. En revanche, avec une gestion par groupe de médias, l'entité réceptrice d'un flux peut, pour mettre en œuvre le principe de délivrance au plus tôt, provoquer des pertes sur d'autres flux au moment des synchronisations logiques inter-flux (13).

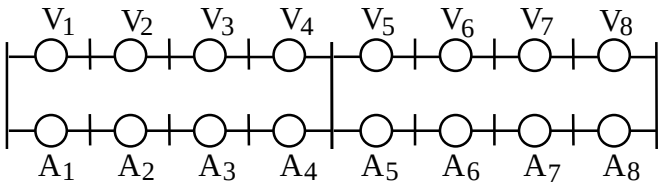

Figure XII.2. Exemple d'ordre partiel

Prenons pour illustrer ces propos l'exemple de la figure XII.2 qui représente le Réseau de Petri des compositions série/parallèles pour une multiconnexion audio / vidéo. Supposons que le nombre maximal de pertes acceptables sur un flux et par période soit d'un élément. Supposons de plus que les objets V1, A1, A2 et A3 aient été reçus par l'entité Transport réceptrice et délivrés à l'application. Supposons maintenant que l'entité réceptrice du Transport reçoive l'objet V4 ; en respectant l'ordre partiel sur la connexion vidéo, la délivrance de l'objet V4 à l'utilisateur ne peut se faire, car il faudrait pour cela déclarer perdus les objets V2 et V3. Or deux pertes par période et par flux sont interdites. L'objet V4 est donc mémorisé en attendant. Si l'objet V3 arrive, il peut être délivré à condition de déclarer perdu l'objet V2. Pour ne pas ralentir les transmissions, le Transport à ordre partiel délivre dès que possible les objets reçus et / ou mémorisés ; il déclare donc au plus tôt la perte de l'objet V2 (dès qu'il reçoit V3), et délivre en suivant l'objet V3, et l'objet V4 qui avait été stocké : principe de délivrance au plus tôt permis grâce à une perte au plus tôt. Ceci illustre en fait une gestion par média des principes d'ordre et de fiabilité partiels.

Nous allons maintenant illustrer ces deux mêmes principes par rapport à une gestion par groupe de médias. Supposons pour cela que l'objet V5 soit reçu par l'entité réceptrice du Transport. Cet objet n'est pas délivrable au regard de l'ordre car A4 n'est pas arrivé, et qu'il y a une synchronisation logique qui apparaît entre les deux flux audio et vidéo après les objets A4 et V4. Aussi, si on autorise une gestion

de la fiabilité par groupe de médias, l'arrivée d'un objet du flux vidéo peut provoquer la déclaration de pertes sur le flux audio, dans le cas où cela permet de délivrer plus rapidement certains objets reçus. Dans cet exemple et en mettant en œuvre ce principe, l'arrivée de V5 provoque la déclaration de perte de A4 (ce qui est autorisé au regard de la fiabilité sur le flux audio), et l'objet V5 est délivré au plus tôt. Cette gestion de la fiabilité par groupes de médias nécessite donc que l'architecture de l'entité réceptrice du Transport (figure XII.3) intègre un gestionnaire de multiconnexions multimédias (5).

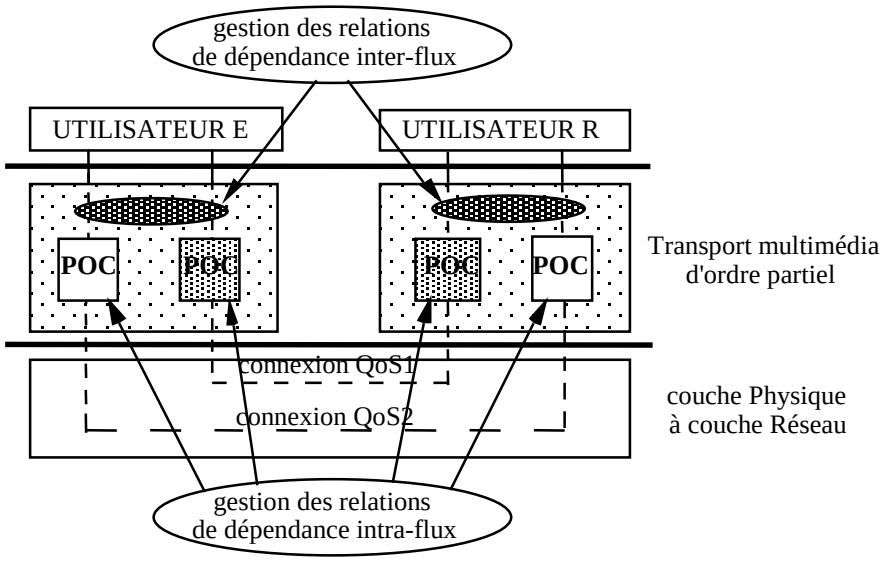

Figure XII.3. Architecture d'un Transport à ordre partiel

XII.5 – Conclusion et perspectives

Les nouveaux services et protocoles multimédias se développent actuellement selon deux approches : l'une "Application orientée Réseau", qui considère que les applications doivent s'adapter aux problèmes du réseau ; la deuxième, "Réseau orienté Application", qui enrichit les réseaux actuels en y incluant toutes les caractéristiques nécessaires au Transport des nouvelles applications.

Ce chapitre a plus volontiers développé la deuxième approche. Il a, en particulier, montré comment, à partir d'une analyse des besoins des informations multimédias, un ensemble de nouveaux protocoles a été obtenu. De plus, ces protocoles définissent et font partie d'une architecture de communication originale.

Il a aussi été montré comment les résultats obtenus étendent conceptuellement les protocoles actuels, les protocoles orientés connexion, tel TCP, et les protocoles sans connexion, tel UDP, constituent deux cas particuliers de la solution proposée.

La nouvelle architecture a été développée et son comportement précisé. Les améliorations en termes de ressources informatiques nécessaires et les gains en termes de valeurs temporelles, à la fois pour les délais et l'interactivité, ont été démontrés, notamment dans (21).

Pour les prochaines années, il faut concevoir et proposer des systèmes distribués multimédias coopératifs qui permettront à un ensemble d'agents, partout dans le monde, de communiquer et de traiter les informations multimédias en temps réel.

Un tel but, à la fois très futuriste et très proche, nous paraît constituer un enjeu fondamental, mais les problèmes posés sont bien plus délicats à appréhender :

- l'architecture deviendra plus complexe à cause des différentes contraintes liées aux nombreux participants,
- les besoins incluront différentes modalités, telles que les droits et les rôles.

En conséquence, ces systèmes, d'une part, posent de nouveaux problèmes dans de nombreux thèmes de recherche et, d'autre part, constituent un champ de recherche de toute première importance.

Nous pensons que cette nouvelle approche peut être étendue afin de permettre une résolution élégante et performante de nombre de ces problèmes. D'ailleurs, cette approche va être développée dans le cadre du projet européen GCAP *(General Communication Architecture and Protocols*), qui prévoit de concevoir et mettre en œuvre une architecture de Transport multimédia, multicast et multiréseaux déployable par le mécanisme des réseaux actifs.

Bibliographie

(1) AMER P. D., CHASSOT C., CONNOLLY C., CONRAD P. ET DIAZ M., "Partial Order Transport Service for Multimedia and other Applications". *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol.2, n° 5, Oct. 1994.

(2) BOLOT J.C. ET TURLETTI T., "Adaptive error control for packet video in the Internet", Proc. ICIP '96, Lausanne, Sept. 1996.

(3) BOLOT J.C. ET TURLETTI T., "Experience with rate control mechanisms for packet video in the Internet", *Computer Communication Review*, vol. 28, no.1, January 1998.

(4) CAMPBELL A., COULSON G. ET HUTCHINSON D., "A Quality of Service Architecture", *ACM Computer Communications Review*, April 1994.

(5) C. CHASSOT, M. DIAZ, A. LOZES, "From the partial order concept to partial order multimedia connections", Journal of high speed network (JHSN), 1995

(6) CLARK D.D., LAMBERT M.L. ET ZHANG L., "NETBLT: a bulk data transfer protocol". RFC 998, March 1987.

(7) CLARK D. D. AND TENENHOUSE D. L., "*Architectural considerations for a new generation of protocols*", in Proceedings ACM SIGCOMM, Philadelphia, September 1990.

(8) CHERINTON D.R. ET WILLIAMSON C.L., "VMTP as the Transport layer for high-performance distributed systems", *IEEE Communications Magazine*, pages 37-44, June 1989.

(9) DANTHINE A. Ed., "The OSI95 Transport Service with Multimedia Support", Research Reports ESPRIT, Project 5341, OSI95, Vol.1, Springer Verlag, 1994.

(10) DELGROSSI L. ET SANDVOSS J., The BERKOM-II Multimedia Transport System, Aug. 1993.

(11) DIAZ M. ET PAYS G., "The Cesame Project : Formal design of high speed multimedia cooperative systems". *Annals of Telecommunications*, tome 49, n° 5-6, Mai-Juin 1994.

(12) DIAZ M., LOZES A., CHASSOT C. ET AMER P. D., "Partial Order Connections. A new concept for High Speed and Multimedia Services and Protocols", *Annales des Télécommunications*, tome 49, n°5-6, Mai-Juin 94.

(13) DIAZ M., DRIRA K., LOZES A. ET CHASSOT M., "Definition and Representation of the Quality of Service for Multimedia Systems", 6th International Conference on High Speed Networking, HPN'95, Palma de Mallorca Balearic Islands., Spain, September 11-15, 1995.

(14) DIOT C., HUITEMA C. ET TURLETTI T., "Network Conscious Applications". HPCS Workshop. Mystic. Aug 1995.

(15) DIOT C., CHRISMENT I. ET RICHARDS A., "Application level framing and automated implementation". *IFIP High Performance Networking VI*, R. Puigjaner Ed., Chapmann & Hall, p. 211-228, 1995.

(16) HENCKEL L., "Multimedia Communication Platform : Specification of the Enhanced Broadcast Transport Service", CIO RACE Project 2060, September 1993.

(17) http://www.lbl.gov

(18) PROTOCOL ENGINES INCORPORATED. "XTP protocol definition, Revision 3.6". January 1992.

(19) TENET group. "Recent and Current Research", University of California, Berkeley, April, USA, 1994.

(20) T. TURLETTI, Controle de Transmission pour Logiciel de Videoconference, Thèse de doctorat, *http://www-sop.inria.fr/rodeo/*, Apr. 1995.

(21) OWEZARSKI P., DIAZ M., CHASSOT C., "A time efficient architecture for multimedia applications", *Special Issue on IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.16, n°3, April 1998