

L a B R I

Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique

U..E.R. de Mathématiques et d'Informatique
Université de Bordeaux I

Unité associée au C.N.R.S. n° 1304

351, Cours de la Libération
33405 TALENCE - Cedex

TECHNIQUES ASYNCHRONES
POUR LA TRANSMISSION
D'IMAGES EN TEMPS REEL

par

B. COUSIN
R. CASTANET
L. KAMOUN

N° 90-97

- Octobre 1990 -

Techniques asynchrones pour la transmission d'images en temps réel

B.Cousin*, R.Castanet*, L.Kamoun+

*Laboratoire LaBRI

+Laboratoire IXL

ENSERB

351 cours de la Libération

33405 TALENCE cedex

Résumé

Cet article présente les caractéristiques générales de la transmission d'images, et les techniques de transmission asynchrone utilisées par les B-ISDN et les HSLAN. Nous présentons tout particulièrement la technique de transmission ATM et le protocole FDDI. Si le mode synchrone de la méthode d'accès au médium du protocole FDDI permet d'avoir l'assurance de transmettre les images en respectant les contraintes temporelles, ATM ne propose qu'une réponse probabiliste.

Abstract

This paper presents the main features of image transmission, and the asynchrone transfer techniques both used by Broadband Integrated Services Data Networks and High Speed Local Area Networks. Specially, we describe the Asynchronous Transfer Mode (ATM) and the Fiber Distributed Data Interface protocol (FDDI). While Media Access Control of the FDDI protocol insures the temporal constraints conform to image transmission requirements, ATM proposes only a statistical answer.

1. Introduction

L'accroissement des échanges formels d'informations et l'émergence de l'image numérisée comme support de communication demandent la mise en oeuvre de techniques de télécommunications de plus en plus efficaces. Cette efficacité doit répondre à la double augmentation du nombre de communications et de la quantité d'informations échangées. Par exemple, une communication téléphonique ne demande qu'un débit de quelques Kbit/s (de 4 à 64 Kbit/s) alors qu'une communication télévisuelle en demande près de mille fois plus ! (2 à 200 Mbit/s) [Guichard 90].

Deux grandes classes de réseaux de télécommunication sont envisageables pour transmettre des images : les réseaux grandes distances et les réseaux locaux. Vu les débits nécessaires à la transmission numérique de films, seules les plus récentes techniques de transmission sont possibles. C'est pourquoi nous nous intéressons tout particulièrement à ATM ("Asynchronous Transfer Mode") comme représentant des techniques de transmission à grande distance, et à FDDI ("Fiber Data Distributed Interface") comme représentant des techniques de transmission pour réseaux locaux [Filipiak 89][FDDI 87]. Les évolutions technologiques actuelles, notamment l'utilisation de la transmission optique et les étendues

couvertes (une centaine de kilomètres, c'est à dire la couverture d'un réseau MAN : "Metropolitan Area Network"), font que l'utilisation de ces deux techniques de transmission peut être raisonnablement envisagée pour nos applications. Enfin, cette confrontation nous semble propice à faire émerger les caractéristiques fondamentales de ces deux techniques de transmission, et ainsi nous permettra de démontrer leur adéquation à la transmission d'images.

Dans les chapitres suivants, nous présentons les critères qui caractérisent la transmission d'images. Nous étudions les nouvelles techniques de transmission, en comparant celles proposées pour les réseaux locaux à haut débit (HSLAN : "High Speed Local Area Network") à celles proposées pour les réseaux B_ISDN ("Broadband_ISDN). Enfin, nous étudions l'adéquation des services offerts d'une part par le protocole FDDI d'autre part par ATM vis-à-vis de la transmission d'images.

2. L'image

L'image et la voix numérisées ont des contraintes temporelles que l'on ne retrouve pas dans les données habituellement traitées en informatique. Ces contraintes temporelles lient les échantillons. On appelle échantillon une portion du signal lorsqu'il est numérisé. Par exemple, un échantillon pourra être un groupe de bits, un octet ou la ligne d'une image. Pour exprimer les contraintes temporelles nous avons besoin de distinguer deux types d'intervalles de temps : l'intervalle de temps séparant deux échantillons i et j , noté T_{eij} ; et l'intervalle de temps séparant un échantillon de l'origine, noté T_{e0i} (Figure 1). La première est relative car elle dépend des deux échantillons, la deuxième contrainte est absolue.

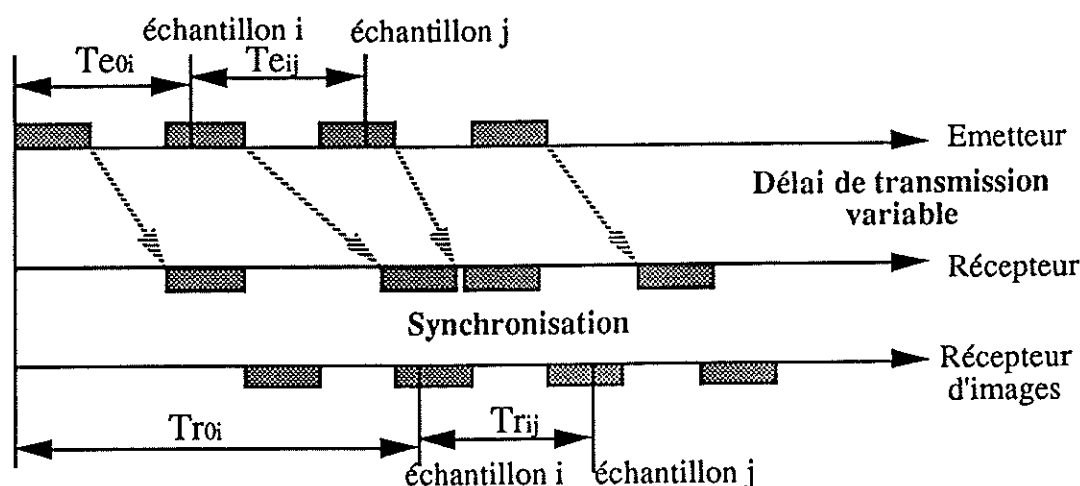


Figure 1 - Les contraintes temporelles de l'image

On préfixe par T_e l'instant de production des échantillons à l'émetteur, et par T_r l'instant où les échantillons arrivent au récepteur. Le bon déroulement d'un film nécessite que deux contraintes soient vérifiées. La première contrainte signifie que le délai d'émission du film doit être humainement tolérable (quasi instantané). On appelle T_{max} le temps que l'on doit attendre pour voir la première image du film. Ce temps est critique si l'utilisateur intervient dans la commande du déroulement du film (interactivité). La deuxième contrainte exprime le fait que les images apparaissent sur l'écran du récepteur à la même vitesse que lors de leur émission. Le film est alors reçu dans son intégralité temporelle.

Ce qui se traduit par les deux relations suivantes :

$$(1) \forall i T_{r0i} < T_{max} + T_{e0i} .$$

$$(2) \forall i,j T_{rij} = T_{eij} .$$

Les contraintes temporelles que nous venons d'évoquer n'existent que si le film doit être visualisé à son arrivée au récepteur (en temps réel!). Elles n'existent pas si le film est diffusé en différé, et donc s'il est stocké à son arrivée au récepteur. La transmission du film peut alors être considérée comme une transmission d'un très gros fichier.

En fait comme ils sont situés sur des sites distincts, le récepteur d'images est complètement indépendant de l'émetteur d'images, il est donc difficile de respecter ces deux contraintes.

Lors d'une diffusion avec le procédé habituel, l'horloge du récepteur d'images est asservie à l'horloge de l'émetteur d'images grâce aux signaux de synchronisation inclus dans l'image. Comme les méthodes de transmission habituelles utilisent une technique **synchrone**, les intervalles de temps entre deux échantillons sont conservés lors du transport. La synchronisation du récepteur d'images sur l'émetteur d'images est donc aisément réalisée, il suffit d'asservir l'horloge du récepteur d'images sur le flot des images reçues, seul un retard constant est ajouté lors du transport.

Les techniques de transmission employées actuellement utilisent de plus en plus la transmission **asynchrone**. Dans cette technique, le délai de transmission des échantillons varie, il dépend de la méthode d'accès, de la technique de résolution des conflits, de la charge, etc. Donc, le temps séparant deux échantillons à la réception peut ne pas être celui les séparant lors de leur émission. L'horloge du récepteur ne peut plus être asservie directement sur le flot d'images reçues.

La technique de transmission asynchrone permet une meilleure utilisation du support que la technique de transmission synchrone, car les variations de débit des liaisons peuvent se compenser. A la technique de transmission asynchrone correspond une technique d'allocation dynamique de la bande passante du support entre les différentes liaisons en fonction de la charge. Cependant pour être efficace la surcharge introduite par cette gestion dynamique doit être compensée par une meilleure allocation de la bande passante. En effet la technique synchrone utilise une méthode de répartition statique ne nécessitant pas ou peu de gestion.

Si l'on utilise une technique de transmission asynchrone, on peut reconstituer localement au récepteur les informations temporelles manquantes, grâce à des délimiteurs spécifiques insérés explicitement dans le signal lors de l'émission.

La transmission étant asynchrone, la reconstitution temporelle ne peut qu'être basée sur l'horloge locale du récepteur d'images. Cependant des variations et une dérive de l'horloge locale du récepteur d'images vont inévitablement apparaître vis-à-vis de l'horloge d'émission de l'émetteur d'images. Nous appelons variations les fluctuations de la période de l'horloge autour de sa valeur nominale. Par définition les variations ont une moyenne nulle, alors que les effets de la dérive sont cumulatifs.

Un tampon d'**unités de transmission** suffisamment dimensionné suffit pour absorber les variations de l'horloge locale. Si les variations de l'horloge suivent une loi symétrique, et si les variations sont indépendantes entre elles, un tampon de 40 unités de transmission a une probabilité de débordement inférieure à 10^{-6} (2^{-20}), et un tampon de 60 unités a une probabilité inférieure à 10^{-9} (2^{-30}).

La dérive de l'horloge du récepteur d'images vis à vis de l'horloge de l'émetteur est inévitable. En effet, premièrement les communications utilisant comme support l'image durent généralement quelques heures, et cette longue durée met en évidence la moindre dérive de l'horloge. Une dérive de 10^{-4} sur une transmission de plus d'une heure introduit un retard de près d'une dizaine d'images. Vu le débit requis pour la diffusion des images numérisées, la quantité d'informations en jeu est de plusieurs Mégabits. Deuxièmement plus la fréquence d'une horloge est élevée plus sa dérive l'est, or les débits que nous envisageons nécessitent une fréquence très importante.

Trois techniques existent pour résoudre le problème de la dérive. La première technique, déjà évoquée et ici inapplicable, consiste à asservir l'horloge sur le flot des données. La deuxième technique est rendue peu performante par la longue durée et le débit élevé de la transmission. Elle consiste en une mémoire intermédiaire au préalable remplie à moitié entre le flot reçu et le récepteur d'images. Cette mémorisation permet d'adapter le flot de données à l'horloge du récepteur d'images. Elle a pour triple inconvénient d'introduire un retard important, d'être couteuse en mémoire, et d'être très mal adaptée aux différentes durées des transmissions. Dans la troisième technique, la dérive de l'horloge peut être corrigée si l'on supprime ou l'on insère des périodes pour recalibrer le flot sur la réception. Ces ajouts ou ces suppressions de périodes peuvent être effectués soit sur les échantillons (ou les unités de transmission), soit sur des unités prévues à cet effet et intercalées volontairement dans la transmission (unités de transmission martyres). Les suppressions ou les insertions d'unités d'information ne doivent pas altérer la qualité de l'image. En fait elles sont souvent physiologiquement tolérables si elles ne sont pas trop fréquentes. Toutefois il faut prendre garde de rendre compatibles ces insertions ou ces suppressions avec les techniques de compression et de synchronisation pour permettre une bonne restitution de l'image.

Ce phénomène de dérive existe au récepteur d'images entre la vitesse de réception et la vitesse de projection du film, mais aussi dans chaque station intermédiaire entre la vitesse de réception et la vitesse de retransmission.

La technique de correction de la dérive de l'horloge par insertion et suppression, évoquée ci-dessus, nécessite au moins la mémorisation d'une image complète au niveau de récepteur. Ce stockage est utilisé premièrement pour synchroniser l'horloge locale si elle est plus rapide que le flot reçu en visualisant une deuxième fois l'image précédente, deuxièmement pour régénérer une partie de l'image manquante ou corrompue lors de la transmission, et enfin pour pouvoir absorber les variations de la vitesse de transmission. Les stations intermédiaires (si elles sont nécessaires) n'ayant aucune connaissance de la sémantique des données transportées résolvent la dérive en insérant ou en supprimant des unités de transmission martyres, et elles absorbent les variations par la gestion interne de files d'unités de transmission.

La perte d'unités de transmission ou la création d'unités de transmission pour être traitée de manière optimale nécessite une identification des unités de transmission. Cette identification permet d'utiliser des techniques de recouvrement des unités de transmission manquantes ou supplémentaires à partir de l'image mémorisée dans le récepteur final.

Le temps absolu de réception de l'échantillon dépend du temps absolu de son émission et de son délai de transmission ($Tr_{0i} = Te_{0i} + Tt_i$). Le délai de transmission de l'échantillon i dépend de la topologie du réseau, de sa charge, de la méthode d'accès utilisée, de la technique de transmission, du mode de transfert, etc. Il est donc éminemment variable et extrêmement difficile à déterminer précisément. Cependant, deux services semblent déterminants pour la transmission des images : le protocole doit assurer un délai de transmission maximum et offrir un débit minimum.

La première contrainte (1) est résolue si le réseau assure un délai de transmission maximum qui est plus petit que T_{max} pour tout échantillon du signal. On note que le temps tolérable d'attente est relativement grand. L'être humain a une vitesse de réaction proche du dixième de seconde, alors que les réseaux que nous envisageons ont un délai moyen de transmission proche de la milliseconde.

La deuxième contrainte (2) est résolue, si en moyenne le débit nécessaire à la transmission des images du film est assuré. La première contrainte permet de contrôler la variation de cette moyenne. Les organes de mémorisation permettent d'absorber les pointes de charge, c'est à dire lorsque le débit instantané est plus grand que le débit moyen.

3. ATM

La technique temporelle asynchrone permet le développement d'une infrastructure de commutation et de multiplexage, souple et universelle, apte à supporter de très hauts débits. Il s'agit d'une technique numérique intermédiaire entre la commutation de paquets utilisés pour les réseaux de transmission de données et la commutation temporelle de circuits des réseaux téléphoniques.

Comme en technique de commutation par paquets, les canaux sont multiplexés dans le temps après avoir été découpés en **cellules** constituées d'une adresse qui identifie le canal et d'un bloc d'information. Le débit de chaque canal est quelconque.

Comme en technique de commutation par circuits, on n'effectue aucun contrôle d'erreur ou de flux. La taille des cellules est fixe, les mécanismes de commutation sont alors simplifiés à l'extrême. Ils permettent de traiter les débits les plus élevés.

Ces choix techniques provoquent les quatre phénomènes suivants. Premièrement, l'absence de mécanisme de contrôle d'erreur entraîne un taux de fautes égal à celui induit par le médium. Les procédés et les supports actuellement utilisés maintiennent ce taux d'erreur particulièrement bas. Deuxièmement, l'absence de contrôle de flux entraîne l'apparition potentielle de congestions au niveau de chacun des commutateurs. Un contrôle global de la charge du réseau permet cependant de vérifier au préalable la disponibilité des ressources requises par l'établissement d'un nouveau canal. Le taux de perte dû aux congestions est ainsi considérablement réduit. Troisièmement, dans chaque commutateur les files d'attente nécessaires à la bonne commutation des cellules entraînent un accroissement du délai de transmission. La petite taille des cellules et l'adaptation du débit nominal du réseau au service demandé, doivent réduire cet accroissement dans des proportions adéquates. Enfin et quatrièmement, la technique de transmission asynchrone introduit inévitablement les phénomènes de retards variables si néfastes pour la transmission de données périodiques.

Le bon fonctionnement d'ATM repose donc essentiellement sur des considérations statistiques. Des calculs prouvent que le taux d'erreurs, de pertes, et l'influence de la charge sur le taux de congestion et la variation du délai de transmission restent dans des valeurs acceptables pour les applications de transmissions d'images envisagées [Boyer 87].

La technique préconisée par les réseaux locaux prend le contre-pied de celle d'ATM. On choisit de partager le même médium par l'ensemble des stations. Ce choix a pour conséquence première de faire disparaître les organes intermédiaires (les commutateurs) et les retards qu'ils entraînaient. Malheureusement, si les congestions de commutateurs disparaissent avec eux, le médium, ressources partagées par l'ensemble des stations devient d'un accès critique. C'est pourquoi les réseaux locaux s'accompagnent de méthodes d'accès au médium (MAC : "Media Access Control") spécifiques.

4. FDDI

Le protocole FDDI utilise une méthode d'accès appelé "Token Ring". Les stations FDDI sont connectées à un anneau où circule un jeton. Une station voulant émettre doit se saisir du jeton. A la fin de son émission, elle relâche le jeton. Chaque station obtient ainsi tour à tour le droit d'utiliser le médium.

La norme du protocole FDDI propose la transmission en mode synchrone. Si FDDI utilise fondamentalement une **technique** de transmission asynchrone (c'est à dire que le délai de transmission est éminemment variable), ce protocole propose deux modes de transmission : le mode asynchrone et le mode synchrone. Le mode synchrone permet d'assurer à une station une bande passante préallouée et le droit d'émettre avec une périodicité moyenne égale

à une valeur négociée entre toutes les stations, appelée TTRT ("Target Token Rotation Time"). De plus le protocole garantit un temps de rotation maximum du jeton ne pouvant dépasser $2 \times \text{TTRT}$ [Johnson 86].

A première vue il semble donc aisé de transmettre de la voix ou de l'image à l'aide du protocole FDDI. Cependant même si l'on fait abstraction du débit qui semble un peu juste pour véhiculer des images dans de bonnes conditions, les variations de charge du protocole peuvent entraîner des variations dans le temps d'acheminement des images.

Lors de la phase d'initialisation du protocole FDDI, l'ensemble des stations négocient la valeur que doit prendre le TTRT, le TTRT choisi étant le plus petit. Le TTRT doit être compris entre les deux valeurs T_{\min} et T_{\max} . La valeur T_{\min} correspond au temps minimum de gestion et de rotation du jeton. Une valeur de TTRT inférieure à T_{\min} ne permettrait même pas au jeton de parvenir à toutes les stations, donc elle est inapplicable. Une valeur TTRT supérieure à T_{\max} serait envisageable sans problème majeur si ce n'était une répartition peu judicieuse de l'accès au médium, car une station possédant le jeton peut alors le conserver très longtemps. De plus une trop grande valeur de T_{\max} retarde la détection des erreurs, puis la reconfiguration de l'anneau.

On remarque que plus la valeur du TTRT est petite plus le temps consacré à la gestion de l'accès au médium devient important. En effet, le nombre de rotations du jeton par unité de temps est inversement proportionnel au TTRT. Le jeton consomme alors une grande partie de la bande passante. On a donc tout intérêt à avoir le TTRT le plus grand possible dans la limite des applications envisagées [Dykeman 88].

Pour assurer à une station un débit donné en partageant une connexion ayant un débit déterminé avec d'autres stations, on peut soit jouer sur la fréquence d'accès au réseau, soit jouer sur la quantité de données émises lors de chaque accès. Donc pour avoir une faible fréquence d'accès (i.e un grand TTRT) il faut pouvoir émettre simultanément beaucoup de données. On aura donc tendance à regrouper plusieurs échantillons de l'image.

Les problèmes de corruption, de synchronisation, et d'adaptation du récepteur au flot de données obligent les stations réceptrices à mémoriser une partie des images. Une mémorisation au niveau de l'émetteur permet d'émettre sur le réseau de grandes trames et donc de ne nécessiter qu'un long TTRT. En fait l'accumulation de ces différentes mémorisations est parfaitement tolérable physiologiquement, un retard de quelques images occasionne un délai de moins d'un dixième de seconde, ce qui est négligeable pour l'être humain. On rappelle que ce retard est appliqué sur toutes les images et donc seul le démarrage du film en est affecté. Ces mémorisations nécessitent néanmoins de grands espaces de mémoire (plusieurs mégabits).

Une fois le TTRT fixé, sachant le débit moyen d_i requis par chaque station i pour transmettre les images en temps réel, on doit borner le nombre de bits émis par chaque station à chaque réception du jeton, pour assurer qu'on ait toujours la relation suivante : (3) $\sum_i d_i \leq D$. C'est à dire que la somme des débits émis soit inférieure au débit efficace du réseau D . Ceci permet d'éviter la surallocation du médium. Le débit efficace est obtenu à partir du débit nominal moins le débit utilisé pour gérer le réseau, essentiellement l'encapsulation des trames et la gestion du jeton. Si le protocole était parfaitement synchrone alors la station i devrait émettre tous les TTRT secondes $l_i = d_i \times \text{TTRT}$ bits. C'est le gestionnaire du réseau ("Network management") qui a la charge d'assurer le respect de la relation (3), chaque station demandant une transmission en mode synchrone doit faire auprès de lui la réservation du débit moyen requis [FDDI 88].

Malheureusement la charge du réseau peut faire varier le moment où le jeton apparaît à une station, la capture du jeton lui donnant alors le droit d'émettre. Ce moment est mémorisé

par le temporisateur TRT ("Token Rotation Timer") local à chaque station, il peut être en avance ou en retard par rapport à la période négociée TTRT. Logiquement, chaque station i pour respecter la relation (3) n'aurait alors le droit d'émettre au plus $d_i \times \text{TRT}$ bits. Cette quantité est extrêmement difficile à gérer car le TRT varie à chaque rotation du jeton en fonction de la charge. De plus, les implantations de FDDI ne permettent pas d'obtenir la valeur du TRT. On risque alors de dépasser le débit d_i attribué à chaque station i , et donc d'enfreindre la relation (3), si on n'adapte pas la longueur de la trame au temps de rotation du jeton.

Cependant, si le TRT est en avance, cela signifie que le réseau est sous-chargé, donc il est licite d'émettre $d_i \times \text{TTRT}$ bits. Inversement, si le TRT est en retard les mécanismes du protocole FDDI assurent que ce retard ne peut dépasser $2 \times \text{TTRT}$, même si toutes les stations émettent la totalité de leur débit synchrone. De plus, l'instant de mise à jour des différents temporisateurs du protocole FDDI qui contrôle la périodicité de rotation du jeton font que ce retard est non cumulatif. Ainsi, la mémorisation préalable et permanente dans le récepteur d'au moins l_i bits permettrait d'absorber le retard maximum.

En fait, le protocole s'autorégule, car si le temps entre deux passages du jeton s'accroît la surcharge induit par le jeton diminue. De plus, si une des stations n'utilise pas à plein le débit attribué en émission synchrone, le temps inutilisé sera récupéré premièrement pour assurer les autres transmissions synchrones en récupérant le retard et en rétablissant la fréquence négociée de passage du jeton, deuxièmement et ultérieurement pour autoriser les transmissions asynchrones. Le contrôle de la quantité de données émises à chaque réception de jeton n'a pas à être géré au niveau de l'émetteur-FDDI, le débit normal de l'émetteur d'images assure naturellement ce rôle.

En conclusion, nous proposons d'utiliser le mode synchrone du protocole FDDI pour transmettre les images d'un film. L'application doit connaître le débit moyen d_i nécessaire à la transmission du film, et doit en faire la demande de réservation pour la durée du film auprès du gestionnaire de réseau pour s'assurer de la bonne allocation du support. Un processus de négociation du TTRT doit alors être lancé. Bien entendu plus la valeur du TTRT requis sera faible plus le délai de transmission sera petit et donc les retards dus à la transmission seront faibles, cependant nous avons déjà relevé qu'alors l'efficacité du protocole FDDI baisse. Des calculs entrepris semblent indiquer que la valeur idéale se trouvait aux alentours d'une vingtaine de millisecondes [Cousin 90]. Indépendamment du fait que la valeur négociée du TTRT doit être comprise entre des valeurs T_{\min} et T_{\max} pour assurer le bon fonctionnement global du réseau, notre application peut se satisfaire d'une large gamme de valeurs du TTRT. L'application aura le droit d'émettre au plus $l_i = d_i \times \text{TTRT}$ bits à chaque rotation du jeton.

Ainsi, au prix d'un léger retard égal à TTRT du à une mémorisation au niveau du récepteur d'images, on s'aperçoit qu'il est inutile de demander un temps de rotation égal à la moitié du délai de transmission requis, comme le laisserait présager le temps de rotation maximum garanti de $2 \times \text{TTRT}$.

5. Conclusion

Au vue de cette étude, nous pouvons constater que les deux techniques de transmission évoquées (ATM et FDDI), bien que présentant à première vue de très nombreuses dissemblances, notamment structurelles, résolvent les mêmes problèmes de manière similaire. Il en est ainsi de la conservation du synchronisme de la transmission ou de la minimisation des retards induits par les équipements intermédiaires.

Cependant la topologie en anneau du protocole FDDI, nécessite et permet de contrôler l'accès au médium, et favorise la gestion d'une méthode d'accès favorable à la transmission d'images par la création des deux modes de transmission asynchrone et synchrone. Le mode de transmission synchrone assure à une station un débit moyen et le droit d'émettre avec une

périodicité moyenne égale à une valeur négociée entre toutes les stations, appelée TTRT. De plus ce mode garantit un temps de rotation maximum ne pouvant dépasser $2 \times \text{TTRT}$.

La technique de transmission utilisée par ATM est dans l'impossibilité technique d'offrir le même service. En effet, s'il est possible de pré-allouer sur l'ensemble des liaisons constituant le chemin entre l'émetteur et le récepteur d'images un certain nombre de cellules de manière récurrente pour véhiculer les échantillons des images du film, il est impossible d'éviter les pertes occasionnées par la congestion au niveau des commutateurs ATM. Toutefois des études, effectuées pour des transmissions vocales, ont montré que la probabilité d'apparition des congestions et donc de pertes est extrêmement faible [Boyer 87].

Il est illusoire de vouloir transmettre des images sur une trop grande distance. On constate de plus que pour permettre la transmission d'informations synchrones avec des techniques asynchrones il faut transmettre les informations temporelles de manière explicite, disposer au niveau du récepteur d'espaces de mémorisation susceptibles d'absorber les inévitables variations du délai de transmission. Ces mémorisations impliquent un retard systématique peu favorable aux applications interactives. Enfin, le débit important requis par la transmission d'images impose l'utilisation d'une grande quantité de mémoires à accès rapide. Cependant la mémorisation, nécessaire au niveau du récepteur d'images pour permettre l'utilisation de la technique de transmission asynchrone, peut être utilement exploitée pour détecter puis corriger les pertes, les corruptions et les duplications de tout ou partie des images du film. Une étude complémentaire est en cours pour l'évaluation du comportement du protocole FDDI et de la technique ATM pour la transmission d'images.

Bibliographie

[Boyer 87] P.Boyer, J.Boyer, J.R.Louvion, L.Romoeuf, "Modelling the ATD transfer technique", Traffic engineering for ISDN, Como, 1987.

[Cochennec 85] J.Y.Cochennec, P.Adam, T.Houdoin "Asynchronous time-division Networks : Terminal Synchronization for video and sound signals", GLOBECOM'85, 1985.

[Cousin 90] B.Cousin "Evaluation du protocole FDDI pour la transmission d'images", rapport de recherche LaBRI, à paraître.

[Dykeman 88] D.Dykeman, W.Bux "Analysis and Tuning of the FDDI Media Access Control Protocol", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol 6 n°6, July 1988.

[FDDI 87] "FDDI Token Ring Media Access Control", ANSI X3.139, 1987.

[FDDI 88] "FDDI Station Management", ANSI X3T9.5, 1988.

[Filipiak 89] J.Filipiak "Structured systems analysis methodology for design of an ATM network architecture", IEEE Journal on Selected Areas in Communications n°7, 1989.

[Guichard 90] J.Guichard, G.Eude, "Visages", L'écho des Recherches n°140, 1990.

[Johnson 86] M.Johnson "Reliability Mechanisms of the FDDI High Bandwidth Token Ring Protocol", Computer Networks and ISDN Systems n°11, North Holland, 1986.

[Lam 78] S.S.Lam "A new measure for characterizing data traffic", IEEE transaction on communications, vol COM 24 n°1, January 1978.