

Evaluation du protocole FDDI pour la diffusion d'images en temps réel

B.Cousin, R.Castanet,
Laboratoire LaBRI*
ENSERB
351 cours de la Libération
33405 TALENCE cedex

Résumé

Cet article décrit le protocole FDDI et présente les caractéristiques temporelles nécessaires à la transmission d'images en temps réel. Nous nous intéressons tout particulièrement au mode synchrone de la méthode d'accès au médium du protocole FDDI. Nous prouvons que ce mode garantit la transmission des images en respectant les contraintes temporelles.

Mots clés

Réseau local, protocole FDDI, mode de transmission synchrone, images numériques, validation, temps réel.

1. Introduction

L'accroissement des échanges formelles 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].

Le protocole FDDI ("Fiber Data Distributed Interface") est l'un des plus récents représentants normalisés des techniques de transmission pour réseaux locaux à haut débit [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 ce protocole peut être raisonnablement envisagé pour notre application de transmission d'images. Cette présentation nous permettra de mettre en lumière les caractéristiques fondamentales de fonctionnement du protocole FDDI, 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 techniques de transmission proposées pour le

* Unité de recherche n°1304 associée au C.N.R.S.

réseau local à haut débit FDDI. Enfin, nous étudions l'adéquation des services offerts par le mode synchrone du protocole FDDI vis-à-vis de la transmission d'images.

2. L'image

2.1 Les contraintes temporelles

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. L'ensemble des échantillons forme une suite $\{e_i\}$. Il est donc possible de numéroté successivement chacun des échantillons.

Pour exprimer les contraintes temporelles nous avons besoin de distinguer deux types d'intervalles de temps : l'intervalle de temps séparant deux échantillons numérotés "i et j", noté $T(i,j)$; et l'intervalle de temps séparant l'échantillon numéro "i" de l'origine, noté $T(i)$ (Figure 1). La première est relative car elle dépend des deux échantillons, la deuxième contrainte est absolue.

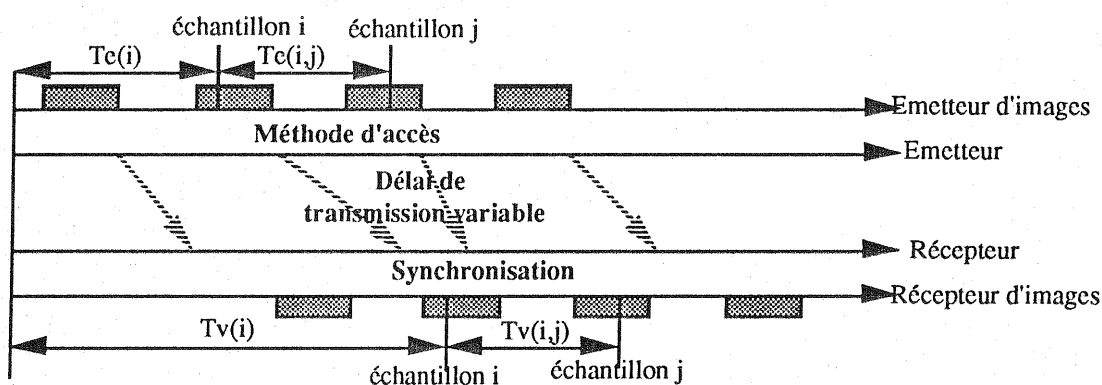


Figure 1 - Contraintes temporelles

On note par T_e l'instant de production des échantillons à l'émetteur, et par T_v 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 :

$$(1) \forall i \quad T_v(i) < T_{max} + T_e(i).$$

$$(2) \forall i,j \quad T_v(i,j) = T_e(i,j).$$

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.

2.2 La transmission

Le récepteur d'images est complètement indépendant de l'émetteur d'images, car ils sont situés sur des sites distincts. Il est donc difficile de respecter les deux contraintes définies ci-dessus.

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 par le transport.

Les techniques de transmission employées actuellement utilise 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 être différent de celui les séparant lors de leur émission (Figure 2). L'horloge du récepteur ne peut plus être asservie directement sur le flot d'images reçues.

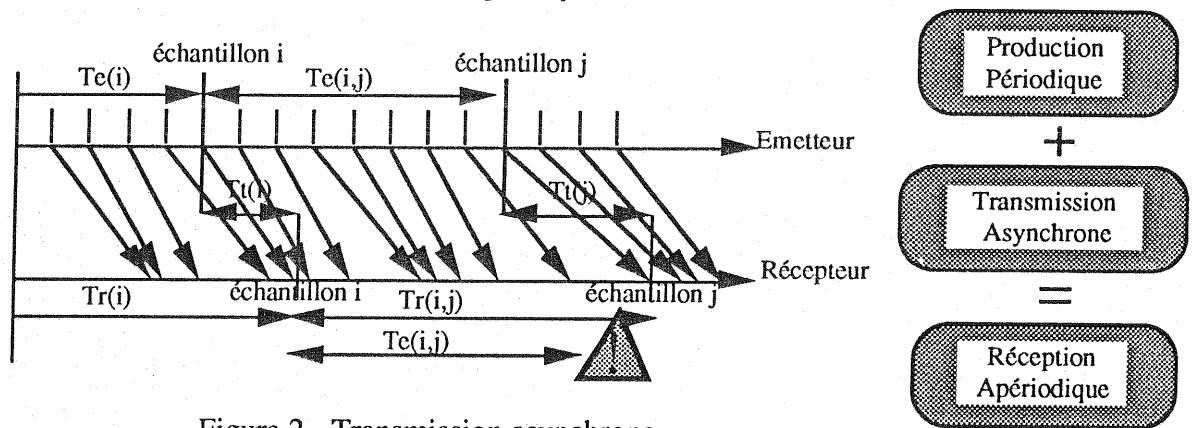


Figure 2 - Transmission asynchrone

La technique de transmission asynchrone permet une meilleure utilisation du support que la technique de transmission synchrone, car les variations de débit des liaisons partageant le support peuvent se compenser. À 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 introduit 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. Une grande précision sera nécessaire pour éviter une trop grande fluctuation ou dérive de l'horloge locale au récepteur d'images. 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 compatible ces insertions ou ces suppressions avec les techniques de compression et de synchronisation pour permettre une bonne restitution de l'image. La technique de correction de la dérive de l'horloge par insertion et suppression, évoquée ci-dessus, nécessite 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 troisièmement, pour pouvoir absorber les variations de la vitesse 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.

L'instant de réception de l'échantillon dépend de l'instant de son émission et de son délai de transmission ($Tr(i) = Te(i) + Tt(i)$). 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 variable et extrêmement difficile à déterminer. Cependant, deux services semblent déterminants pour la transmission des images : le protocole doit assurer un délai maximum de transmission et offrir un débit minimum.

La première contrainte (1) est résolue si le réseau assure un délai maximum de transmission 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 l'ensemble de la transmission des images du film est assuré. La première contrainte permet de contrôler la variation de cette moyenne. Les organes de mémorisation permet d'absorber les pointes de charge c'est à dire lorsque le débit instantané est plus grand que le débit moyen.

2.3 Le groupage et l'éclatement

Le groupage de plusieurs échantillons dans une unité de transmission, ou l'éclatement d'un échantillon dans plusieurs unités de transmission permettent d'adapter la taille des échantillons à une structure compatible avec le réseau de transport. Comme tous les échantillons groupés dans la même unité de transmission sont reçus au même instant, et comme les parties d'un échantillon éclaté dans plusieurs unités de transmission peuvent être reçues à des instants différents, le groupage et l'éclatement produisent des variations importantes dans le délai d'acheminement des différents échantillons. De ce fait, l'intervalle de temps séparant deux échantillons lors de leur réception peut différer considérablement de l'intervalle de temps qui séparerait ces deux mêmes échantillons lors de leur émission (Figure 3).

Le délai de transmission de la plupart des réseaux locaux comme FDDI est fonction du délai d'accès au médium T_a , de la durée d'émission T_d et du délai de propagation T_p . Le délai de propagation dépend de la vitesse de propagation du signal sur le médium, et de la longueur de ce dernier. La nature du réseau étant déterminé, ce délai est fixe. La durée d'émission dépend de la quantité d'informations à transmettre et du débit du réseau. Le délai d'accès dépend à la fois de la charge du réseau et de la méthode d'accès utilisée. Ce délai d'accès est très variable. Pour un échantillon i , ces durées sont associées par la relation : $Tt(i) = Ta(i) + Td(i) + Tp$.

Comme les échantillons, les unités de transmission forment une suite $\{S_i\}$. Il est donc possible de les numéroter de manière unique. Nous noterons par $I(i)$ le numéro de l'unité de transmission associée l'échantillon numéro i . Nous noterons $deb(I)$ le numéro du premier échantillon de l'unité de transmission, et nous noterons $fin(I)$ le dernier.

Nous pouvons constater que si deux échantillons consécutifs n'appartiennent pas à la même unité de transmission alors ils appartiennent à deux unités de transmission consécutives. Ce qui s'écrit par la relation suivante : $\forall i, I(i+1) \neq I(i) \Leftrightarrow I(i+1) = I(i) + 1$.

Par définition, tous les échantillons regroupés dans une même unité de transmission sont envoyés et reçus au même moment : $\forall i, \forall j, I(j) = I(i) \Rightarrow Tr(i) = Tr(j)$. Ceci est dû au fait

que les échantillons d'une même unité de transmission sont délivrés au récepteur qu'après la réception de la totalité de l'unité de transmission.

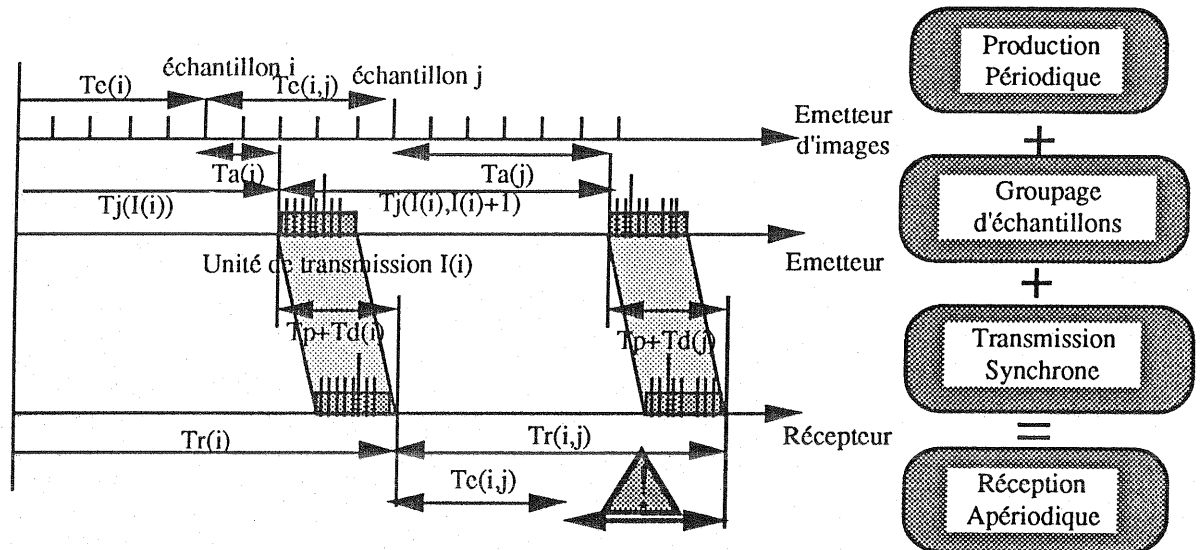


Figure 3 - Groupage

3. FDDI

3.1 Introduction

Dans les réseaux locaux, l'ensemble des stations partagent le même médium. Ce choix a pour conséquence première de faire disparaître les équipements intermédiaires et les retards qu'ils entraînaient. Malheureusement, si les congestions des équipements intermédiaires disparaissent avec eux, le médium, ressource partagée 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.

Le protocole FDDI utilise une méthode d'accès appelée anneau à jeton ou "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.

On note $T_j(I)$ l'instant où le jeton arrive à la station lors de sa $I^{\text{ème}}$ rotation. On notera de même $T_j(I, J)$ l'intervalle de temps séparant les deux jetons numéros I et J (comme précédemment, on a $T_j(I, J) = T_j(J) - T_j(I)$). De ce fait, la durée de rotation du jeton numéro I est notée par $T_j(I, I+1)$. Une station commence à émettre lorsqu'elle reçoit le jeton, donc, $T_j(I)$ est aussi l'instant où l'unité de transmission associée commence à être émise. Comme la méthode d'accès de FDDI est basée sur la prise du jeton, la relation suivante est toujours vérifiée : $\forall i, T_j(I(i)) = T_e(i) + T_a(i)$.

La norme 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 maximum de rotation du jeton ne pouvant dépasser $2 \cdot TTRT$ [Johnson 86]. Le mode asynchrone est réservé aux applications dont les besoins en transmission sont peu prévisibles ou peu contraignants. La bande passante non allouée ou non utilisée par le mode synchrone est automatiquement et instantanément attribuée au mode asynchrone.

On note $T_{as}(I)$ (resp. $T_s(I)$) la durée d'émission en mode asynchrone (resp. synchrone) lors de la $I^{\text{ème}}$ rotation. On note $T_g(I)$ le temps de gestion du jeton lors de cette même rotation. Le temps de rotation du jeton est alors définie par la relation suivante :

$$\forall I, T_j(I, I+1) = T_{as}(I) + T_s(I) + T_g(I).$$

La norme FDDI spécifie que, durant la première rotation du jeton, aucune émission ne peut avoir lieu : $T_{as}(0) = T_s(0) = 0$ ([FDDI 87] pp37 §5.1.5.2). Le but de cette première rotation est de vérifier l'intégrité de l'anneau et d'aligner les temporisateurs de toutes les stations. De même, la norme précise que, durant la deuxième rotation, seule les émissions en mode synchrone peuvent avoir lieu : $T_{as}(1) = 0$. Ceci permet d'obtenir une première estimation de la charge de l'anneau. Pour l'ensemble des rotations suivantes, les émissions en mode synchrone et asynchrone sont autorisées.

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 insuffisant 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.

3.2 La négociation du TTRT

Lors de la phase d'initialisation du protocole FDDI, les 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} ([FDDI 87] pp33 §4.4.4). 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 alors qu'elle partage avec d'autres stations un médium ayant un débit déterminé, on peut soit intervenir sur la fréquence d'accès au médium, soit intervenir 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 (cf §2.3).

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).

3.3 Le TRT et le THT

Pour arriver à fournir le service demandé, à savoir la durée requise de rotation, la norme définit pour chaque des stations du réseau un temporisateur. Ce temporisateur est

appelé TRT : "Token Rotation Timer" ([FDDI 87] pp33 §4.4.4). Il contrôle le temps de rotation du jeton en phase de transfert normale, et permet de détecter un certain nombre de problèmes. Ce temporisateur est initialisé à la valeur négociée TTRT à la réception du jeton. Si ce temporisateur se déclenche avant que le jeton revienne à la station, la variable "Late" est positionnée. On dit que le jeton est en retard, sinon il est dit en avance.

On note TRT(I) la valeur du temporisateur TRT lors de la I^{ème} rotation. Il est défini récursivement par :

$$\begin{aligned} \text{TRT}(0) &= T_j(0,1) ; \text{ (on rappelle que } T_{as}(0)=T_s(0)=0 \text{ donc par définition } T_j(0,1)=T_g(0)) \\ \forall I \neq 0 \text{ si } \text{TRT}(I-1) < \text{TTRT} &\text{ alors } \text{TRT}(I) = T_j(I,I+1) \\ &\text{ sinon } \text{TRT}(I) = \text{TRT}(I-1) - \text{TTRT} + T_j(I,I+1). \end{aligned}$$

A la première rotation le temporisateur est initialisé avec une valeur égale au temps de gestion du jeton, qui par définition est inférieure à TTRT. Pour les rotations suivantes, si le jeton est en avance, c'est à dire s'il arrive avant la périodicité négociée TTRT, le temporisateur vaut exactement le temps de rotation. Si le jeton est en retard, la valeur du temporisateur est égale à la somme du temps de rotation plus le retard de rotation. Cette technique permet de ne pas accumuler les retards, et permet le respect de la périodicité négociée.

Chaque station possède une autre temporisateur, appelé THT : "Token Holding Timer". Ce temporisateur contient la durée maximum pendant laquelle une station a le droit d'émettre en mode asynchrone. Chaque fois qu'un jeton arrive en avance à la station, le temporisateur est initialisé par la valeur de l'avance. Il est défini par :

$$\forall I, \text{ si } \text{TRT}(I) < \text{TTRT} \text{ alors } \text{THT}(I) = \text{TTRT} - \text{TRT}(I) \text{ sinon } \text{THT}(I) = 0.$$

De manière symétrique, on définit la valeur du retard du jeton lors de sa I^{ème} rotation :

$$\forall I, \text{ si } \text{TRT}(I) \leq \text{TTRT} \text{ alors } \delta_j(I) = 0 \text{ sinon } \delta_j(I) = \text{TRT}(I) - \text{TTRT}.$$

3.4 La bande passante utilisable

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 inférieur 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 $l_i = d_i * \text{TTRT}$ bits tous les TTRT. 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 ce gestionnaire 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 que le droit d'émettre au plus $d_i * \text{TTRT}$ 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 $d_i * \text{TTRT}$ bits. Inversement, si le TRT est en retard les mécanismes du

protocole FDDI assure que ce retard ne peut dépasser $2 \cdot TTRT$, 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 contrôlent 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_j 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 entièrement le débit attribué en émission synchrone, le temps gagné sera utilisé premièrement pour assurer les autres transmissions synchrones en récupérant le retard et en rétablissant la fréquence négociée de passage du jeton, deuxièmement pour autoriser les transmissions asynchrones. Le contrôle de la quantité de données émises à chaque réception de jeton n'a pas besoin d'être géré au niveau de l'émetteur de FDDI, le débit nominal de l'émetteur d'images assurent naturellement ce rôle.

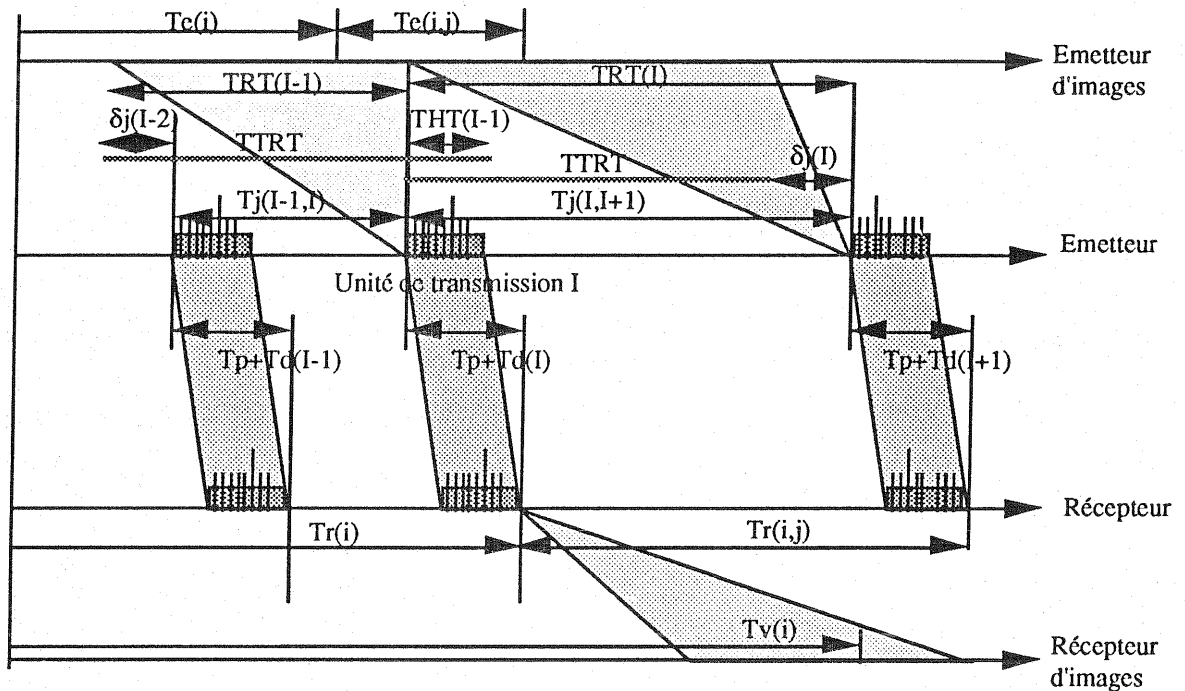


Figure 4 - Constitution des unités de transmission

On propose donc de constituer les unités de transmission ainsi (Figure 4). On note $J(I)$ l'ensemble des numéros des échantillons transportés par l'unité de transmission de l'émetteur d'images associée au jeton numéro I , c'est à dire l'unité de transmission numéro I . $J(I)$ est défini par la propriété de bonne constitution :

$$\forall I, \forall i \in J(I), T_j(I) - TRT(I-1) \leq T_e(i) < T_j(I) - \delta_j(I-1)$$

L'unité de transmission est constituée des échantillons compris entre la fin de la précédente unité de transmission ($T_j(I) - TRT(I-1)$) et l'instant d'arrivée du jeton moins le retard de celui-ci ($T_j(I) - \delta_j(I-1)$).

Par définition, on a $J(I) = [deb(I), fin(I)]$, c'est à dire l'intervalle formé de tous les numéros compris entre le premier échantillon et le dernier (cf définition §2.3).

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_j 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 est faible plus le délai de transmission est petit et donc les retards dus à la transmission sont faibles. Cependant, nous avons déjà relevé qu'alors l'efficacité du protocole FDDI baisse. Les

calculs entrepris indiquent que la valeur idéale se trouve 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 $l_i = d_i * TTRT$ bits à chaque rotation du jeton.

Ainsi, au prix d'un léger retard égal à TTRT dû 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 supposer le temps de rotation maximum garanti de $2 * TTRT$.

4. Evaluation

A l'aide des définitions et des propriétés définies dans le chapitre précédent, nous retrouvons un résultat démontré dans [Johnson 87] qui prouve que le temps maximum de rotation est le double de la durée de rotation négociée :

$$\forall i, T_j(i, i+1) < 2 * TTRT$$

Le temps de rotation du jeton est inférieur à deux fois la temps de rotation demandé.

Preuve :

Par définition de T_j : $\forall i, T_j(i, i+1) = T_{as}(i) + T_s(i) + T_g(i)$.

Par définition du mode de transmission synchrone : $\forall i, T_s(i) + T_g(i) < TTRT$.

Par définition du mode de transmission asynchrone : $\forall i, T_{as}(i) < TTRT$.

Donc on a : $T_j(i, i+1) < TTRT + TTRT$. (cqfd)

Pour démontrer la propriété de bonne visualisation, nous avons besoin de la propriété de bon stockage. Elle est définie par :

$$\forall i, T_v(0) = Tr(0) + 2 * TTRT \Rightarrow T_v(\text{fin}(I(i))) < Tr(i) + 2 * TTRT - \delta_j(I(i)-1) < T_v(\text{deb}(I(i)+1))$$

Si l'instant de visualisation du premier échantillon est retardé du double du temps de rotation négocié alors l'instant de réception des échantillons est encadré par l'instant de visualisation du premier et du dernier échantillon de la même unité de transmission.

Preuve :

D'après la propriété de bonne constitution des UT on sait que :

$$\forall I, \forall i \in J(I), T_j(I) - TRT(I-1) \leq T_e(i) < T_j(I) - \delta_j(I-1)$$

Donc pour $i = \text{fin}(I)$ on a : (1) $\forall I, T_j(I) - TRT(I-1) \leq T_e(\text{fin}(I)) < T_j(I) - \delta_j(I-1)$,

et pour $i = \text{deb}(I')$ on a : (2) $\forall I', T_j(I') - TRT(I'-1) \leq T_e(\text{deb}(I')) < T_j(I') - \delta_j(I'-1)$.

D'après la définition de TRT, on sait que $\forall I, TRT(I) = T_j(I, I+1) + \delta_j(I-1)$,

et donc d'après la définition de T_j , on sait que : $\forall I, T_j(I+1) - TRT(I) = T_j(I) - \delta_j(I-1)$.

Si on pose $I' = I+1$ alors les équations (1) et (2) permettent d'écrire :

$$(3) \forall I, T_e(\text{fin}(I)) < T_j(I) - \delta_j(I-1) \leq T_e(\text{deb}(I+1))$$

D'après la définition de T_v , on peut écrire :

$$\forall i, T_v(i) = T_e(i) + T_v(0) - T_e(0)$$

L'équation (3) se réécrit alors :

$$\forall I, T_v(\text{fin}(I)) < T_j(I) - \delta_j(I-1) + T_v(0) - T_e(0) \leq T_v(\text{deb}(I+1))$$

D'après la condition de départ de l'instant de visualisation : $T_v(0) = Tr(0) + 2 * TTRT$.

$$\Rightarrow \forall I, T_v(\text{fin}(I)) < T_j(I) - \delta_j(I-1) + Tr(0) + 2 * TTRT - T_e(0) \leq T_v(\text{deb}(I+1))$$

D'après la définition de Tr , on a : $\forall i, Tr(i) = T_j(I(i)) + T_d(i) + T_p$.

$$\Rightarrow \forall i, T_v(\text{fin}(I(i))) < T_j(I(i)) - \delta_j(I(i)-1) + T_j(I(0)) + T_d(0) + T_p + 2 * TTRT - T_e(0) \leq T_v(\text{deb}(I(i)+1))$$

Toujours d'après la définition de Tr, et si on suppose que $\forall i, Td(i)=Td$.
 $\Rightarrow \forall i, Tv(\text{fin}(I(i))) \leq Tr(I(i)) - \delta_j(I(i)-1) + T_j(I(0)) + 2*TTRT - Te(0) \leq Tv(\text{deb}(I(i)+1))$.
 D'après la condition de départ de l'instant d'émission : $Te(0) = T_j(I(0))$,
 $\Rightarrow \forall i, Tv(\text{fin}(I(i))) \leq Tr(I(i)) - \delta_j(I(i)-1) + 2*TTRT \leq Tv(\text{deb}(I(i)+1))$. (cqfd)

On prouve, alors, la propriété de bonne visualisation :

si $Tv(0) = Tr(0) + 2*TTRT$ alors $\forall i, Tr(i) \leq Tv(i)$.

L'échantillon est reçu au récepteur avant d'être visualisé au récepteur d'images si l'instant de visualisation du premier échantillon est retardé du retard maximum des unités de transmission de données.

Preuve :

Démonstration par récurrence

- Pour $i=0$, la relation est vérifiée car

si $Tv(0) = Tr(0) + 2*TTRT$ alors $Tr(0) < Tv(0)$. (cqfd)

- Supposons la relation du lemme vérifiée pour $i \in [0, n]$, deux cas se présentent :

-- Soit les échantillons n et $n+1$ appartiennent à la même unité de transmission

" $I(n)=I(n+1)$ " alors :

$Tv(n+1) = Tv(n) + Tv(n, n+1)$: d'après la définition de Tv.

$Tv(n+1) = Tv(n) + Te(n, n+1)$: d'après la propriété de bonne visualisation.

$Tv(n+1) > Tv(n)$: car Te est strictement croissante.

$Tv(n+1) > Tr(n)$: d'après l'hypothèse de récurrence.

$Tv(n+1) > Tr(n+1)$: car $Tr(n)=Tr(n+1)$ si $I(n)=I(n+1)$. (cqfd)

-- Soit les échantillons n et $n+1$ n'appartiennent pas à la même unité de transmission

" $I(n) \neq I(n+1)$ ", alors on sait que " $I(n+1)=I(n)+1$ ", car les échantillons et les unités de transmission sont numérotés de manière strictement consécutive.

$Tr(n+1) = T_j(I(n+1)) + T_d(n+1) + T_p$: par définition de Tr.

$Tr(n+1) = T_j(I(n)) + T_j(I(n), I(n+1)) + T_d(n+1) + T_p$: par définition de Tj.

$Tr(n+1) = Tr(n) + T_j(I(n), I(n+1))$: par définition de Tr et si on suppose $\forall i, Td(i)=Td$.

$Tr(n+1) < Tr(n) + 2*TTRT - \delta_j(I(n)-1)$: d'après la propriété de rotation du jeton.

D'après la propriété de bon stockage :

$\forall i, Tv(\text{fin}(I(i))) < Tr(I(i)) + 2*TTRT - \delta_j(I(i)-1) < Tv(\text{deb}(I(i)+1))$

Donc $Tr(n+1) < Tv(\text{deb}(I(n)+1))$.

Par définition des fonctions deb et fin, si $I(n) \neq I(n+1)$ alors $\text{fin}(I(n))=n$ et $\text{deb}(I(n)+1) = n+1$.

On en déduit que $Tr(n+1) < Tv(n+1)$. (cqfd)

5. Conclusion

La topologie en anneau du protocole FDDI nécessite de contrôler l'accès au médium, et autorise l'application 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 $2*TTRT$.

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.

Comme la norme le spécifie, un dépassement de la durée de transmission apparaît lorsque le temporisateur THT expire en cours d'émission d'une trame, et si l'on autorise l'émetteur à poursuivre cette émission jusqu'à la fin de la trame. Une étude complémentaire prenant en compte le dépassement de la durée de transmission asynchrone (overrun) est en cours pour évaluer le comportement du protocole FDDI vis-à-vis de la transmission d'images dans ce cas de figure.

Bibliographie

- [Cousin 90] B.Cousin, "Techniques asynchrones pour la transmission d'images en temps réel", rapport de recherche LaBRI n° 90-87, Talence, octobre 1990.
- [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.
- [Ichihashi 91] T.Ichihashi, Y.Yokayama, K.Hiramatsu, K.Kashima, Y.Koi, "Evaluation of FDDI-II cycle synchronization mechanisms", Third conference on High Speed Networking, Berlin-Germany, march 1991.
- [FDDI 87] "FDDI Token Ring Media Access Control", ANSI X3.139, 1987.
- [FDDI 88] "FDDI Station Management", ANSI X3T9.5, 1988.
- [Guichard 90] J.Guichard, G.Eude, "Visages", L'écho des Recherches n°140, 1990.
- [Johnson 86] M.J.Johnson, "Reliability Mechanisms of the FDDI High Bandwidth Token Ring Protocol", Computer Networks and ISDN Systems n°11, North Holland, 1986.
- [Johnson 87] M.J.Johnson, "Proof that timing requirements of the FDDI Token Ring protocol are satisfied", IEEE transactions on communications vol COM35 n°6 pp620-625, june 1987.
- [Lam 78] S.S.Lam, "A new measure for characterizing data traffic", IEEE transaction on communications, vol COM 24 n°1, january 1978.
- [Ross 89] F.E.Ross, " An overview of FDDI : the fiber distributed data interface", IEEE journal in selected area on communications vol JSAC 7,n°7 pp1043-1051, september 1989.
- [Sevcik 87] K.C.Sevcik, M.J.Johnson, "Cycle properties of the FDDI token ring protocol", IEEE transactions on softw&are engineering, vol SE13 n°3, march 1987.
- [Supernet 89] "The Supernet family for FDDI", AMD databook, march 1989.

Bernard Cousin a obtenu son doctorat en informatique en 1987 à l'université de Paris VI. Il est maître de conférences à l'ENSERB dans le département d'informatique de cette école d'ingénieur de Bordeaux. Après s'être intéressé à la modélisation et à la validation de protocoles à l'aide de Réseau de Petri, sa recherche s'oriente actuellement vers l'étude de protocoles adaptés à la transmission d'images numériques.

Richard Castanet est actuellement professeur à l'ENSERB. Il a passé sa thèse d'état en 1974 à l'université de Paris-Orsay. Il s'intéresse tout particulièrement au test de protocoles et aux techniques de transfert d'images.