

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE.**  
*Université de Constantine*  
*Institut d'électronique*

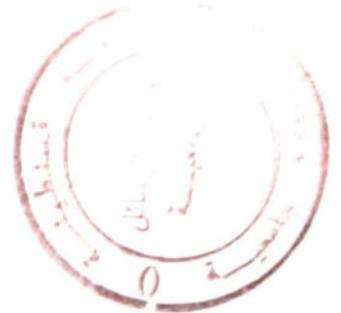
N d'ordre :  
Série :

DAD  
3158

**Thèse**

*Présentée pour obtenir le diplôme de Magister*  
*En électronique, Option : Communications*

*par Mr Dada Abdelmalek*



---

***Etude des réseaux de  
transmission à haut débit***

*Analyse et applications des techniques ATM*

---

*Soutenue le: 16 Décembre 98 devant le jury :*

<i>Président</i>	<i>Dr. Abdellatif Said</i>	<i>Université de Constantine</i>
<i>Rapporteur</i>	<i>Dr. Abdelhak Bennia</i>	<i>Université de Constantine</i>
<i>Examineur</i>	<i>Dr. Khier Benmahammed .</i>	<i>Université de Sétif</i>
<i>Examineur</i>	<i>Dr. Malek Benslama</i>	<i>Université de Constantine</i>

# Sommaire :

<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Notions de réseaux .....</b>	<b>3</b>
1. Introduction .....	3
2. Les réseaux locaux .....	3
3. Les réseaux haut débit.....	5
4. La technologie ATM.....	5
<b>2. Bases conceptuelles des réseaux de transmission .....</b>	<b>6</b>
1. Largeur de bande et limitation en débit. ....	6
2. Supports de transmission .....	7
3. Goulots d'étranglement.....	7
4. Modèle OSI.....	8
5. Le transport dans les réseaux .....	9
6. Paramètres de qualité de service .....	11
7. Congestion .....	11
8. Les protocoles de transmission.....	14
9. Interconnexion de réseaux haut débit.....	15
10. Modélisation et description mathématiques.....	15
11. Conclusion .....	16
<b>3. Principes de la technologie ATM .....</b>	<b>18</b>
1. Introduction.....	18
2. La commutation dans les réseaux.....	18
3. La technologie ATM.....	19
31. Principes du ATM.....	19
32. La cellule.....	21
4. La transmission en ATM.....	24
41. Le multiplexage en ATM.....	24
4.2. Le transport du multiplex.....	26
5. La commutation ATM .....	26

6. Les classes de services en ATM .....	28
6.1. Souplesse .....	29
7. Conclusion .....	30
<b>4. Analyse de la commutation ATM .....</b>	<b>31</b>
1. Introduction .....	31
2. La commutation ATM .....	32
2.1. Architecture des commutateurs ATM .....	33
2.2. L'approche de Clos .....	34
2.3. Réseau ATM compatible .....	36
2.4. Conclusion .....	38
3. Analyse des retards dans les réseaux ATM .. ..	39
3.1. Choix du modèle .....	39
3.2. Processus de base .....	40
3.3. Conclusion .....	43
4. Contrôle de la congestion sur les réseaux ATM .....	44
4.1. Contrôle et analyse .....	45
4.2. Algorithme .....	45
4.3. Présentation de l'algorithme d'origine .....	51
4.4. Exemples numériques .....	53
4.5. Conclusion .....	54
5. Conclusion .....	55
<b>5. Les réseaux haut débit et applications ATM .....</b>	<b>59</b>
1. Introduction .....	59
2. FDDI .....	59
3. DQDB .....	61
4. RNIS .....	62
4.1. Les concepts de base du RNIS .....	62
4.2. RNIS à large bande .....	63
4.3. Normalisation RNIS-LB .....	64
4.4. Evolution des normes large bande .....	65
4.5. Conclusion .....	65

<i>5.Analyse des tendances vers le réseau ATM</i> .....	66
<i>51.Services professionnels</i> .....	66
<i>52.Services résidentiels</i> .....	68
<i>53.Analyse des besoins</i> .....	69
<i>6.Les recherches et les avancées technologiques</i> .....	71
<i>7.Conclusion</i> .....	72
<b><i>Conclusion générale</i></b> .....	<b>74</b>
<b><i>Bibliographie</i></b> .....	<b>78</b>
<b><i>Annexes</i></b> .....	<b>83</b>
<i>Annexe A : Abréviations</i> .....	83
<i>Annexe B : Glossaire</i> .....	85
<i>Annexe C : La connexion sur un réseau ATM</i> .....	88

## *Introduction générale:*

Au cours des dernières années, le monde des transmissions a subi une évolution remarquable. Les nouvelles générations d'applications multimédias, découlant de la puissance toujours croissante des processeurs, sont extrêmement gourmandes en débits, et ont besoin d'une large variété de services que doivent maintenant offrir les systèmes de communication. Les réseaux sont donc obligés d'évoluer de manière à satisfaire ces nouvelles exigences, en devenant de véritables super-autoroutes de l'information.

Envisager l'augmentation des débits sur un réseau classique, seule n'est pas suffisante pour pouvoir accueillir des applications multimédias et permettre des communications interactives où les débits iront de quelques Kbit/s à quelques centaines de Mbit/s suivant l'application. Ces incertitudes imposent le développement de nouvelles techniques de transmission ouvertes aux évolutions prévisibles et imprévisibles des besoins futurs.

A travers cette thèse on tentera d'aborder les réseaux de transmissions à haut débit et en particulier les techniques de commutation et de transmission ATM. Dans un premier temps, on débutera par une présentation des notions de réseaux, pour décrire ensuite les réseaux de transmissions sous plusieurs aspects, on étudiera les bases de la conception des réseaux, les points de blocage et les obstacles de limitation des débits, qui empêchent les réseaux actuels à recevoir des applications multimédias. Dans un deuxième temps, on présentera les techniques de commutation et de transmission, ainsi que les avancées technologiques et on exposera les solutions apportées par l'ATM, une nouvelle technique dédiée aux applications multimédias.

On analysera aussi, à travers cette thèse, les problèmes générés par cette nouvelle technique, par des études des techniques de commutations, une analyse du phénomène des retards par des modélisations approximatives basées sur des processus aléatoires. On proposera une modification d'un algorithme pour le contrôle de la congestion dans les réseaux ATM, causé par le dépassement de la capacité du canal.

On terminera, par un exposé des architectures des réseaux haut débit, une présentation de quelques applications ATM, à travers les réseaux de transmission, et une description de l'apport de cette technique dans les réseaux futurs.

---

La **station** du réseau est l'élément de base qui interface l'utilisateur avec le réseau. Pour lui permettre d'utiliser des espaces disques plus importants, des périphériques évolués, et de communiquer et partager ses données avec d'autres utilisateurs. La station communique à travers le réseau local grâce au **serveur du réseau**.

Sur le serveur est chargé le **gestionnaire** du réseau local. C'est le cœur du réseau, pilotant l'ensemble du réseau et de ses applications. Sur ce serveur se trouvent également connectés des éléments périphériques, telles que des imprimantes, des unités de stockage, etc. L'ensemble est partagé par les utilisateurs du réseau et devient une **ressource du réseau**.

Pour leur permettre de communiquer avec le serveur, les utilisateurs sont reliés à celui-ci par le **média** (paires torsadées, câble coaxial, etc.), constituant le support physique des communications entre le serveur et les stations, et permet d'y faire transiter à haute vitesse des données résultant d'un dialogue entre deux éléments du réseau. Ce câblage peut être utilisé sous différents aspects d'architecture, comme un câble coaxial unique appelé bus, ou une architecture d'étoile avec de la paire torsadée: cela représente la **topologie** du réseau local.

Une fois la station (ou les stations) et le serveur reliés au réseau physique, encore faut-il établir des règles communes pour permettre l'échange des informations au niveau des applications. Il faut d'abord faire circuler des données (sous forme de caractères de huit bits ou octets) entre ces éléments du réseau en les mettant d'accord sur un **protocole** commun d'échange des données. Chacun envoie vers l'autre des données regroupées dans des paquets (suite d'octets), qui vont générer la **transmission**.

A chaque élément du réseau est affectée une adresse spécifique qui permet d'adresser la communication à un élément précis du réseau. Le protocole permet ensuite de s'assurer que les données sont bien échangées, et émises vers le bon destinataire. Il faut cependant au préalable pouvoir ouvrir un dialogue entre deux éléments (une station et un serveur par exemple), de la même façon que l'on engage une conversation, c'est la **commutation**. On définit alors une **session**, organisant le début et la fin d'un dialogue.

D'autre part, un réseau local gère à travers un même câblage un grand nombre d'éléments, d'où une quantité importante d'informations circule sur ce câble. Cela définit le *débit* offert sur le câble d'un réseau, avec des *méthodes d'accès* appropriées, le réseau supporte des débits très importants, dépassant les 2.Mbits/s, on parle alors de réseaux à *large bande*.

### ***1.3. Les réseaux haut débit:***

Le réseau d'entreprise d'aujourd'hui peut être composé d'un grand nombre de stations et de serveurs, dont le nombre et la complexité sont difficiles à gérer. Mais arrivés à maturité, les réseaux locaux se structurent petit à petit au sein du réseau d'entreprise. L'interconnexion de réseaux locaux implantés sur plusieurs sites, met en œuvre des techniques de transmission qui diffèrent certes, mais convergent obligatoirement vers un seul modèle de réseau dit '*OSI*' pour *Open Systems Interconnexion*. Ces techniques ont abouti à la construction de réseaux locaux, métropolitains et publics fonctionnant à des *hauts débits*.

### ***1.4. La technologie ATM***

L'évolution des techniques justifiées par la montée en puissance des micro-ordinateurs permettent le développement de nouvelles applications haut débit supportées par des réseaux à large bande et intégrant des données de nature hétérogènes, telle que le *multimédia*.

L'avènement du multimédia, a exigé la mise en place de nouvelles techniques plus adaptées à véhiculer de telles types de données où ni les débits ni la largeur de bande des applications sont connues à l'avance.

L'*ATM*, un mode qui s'impose par les hautes performances et souplesse qu'il offre, aux applications multimédias ayant des débits variables, trouve chaque jour un nouveau champ d'application.

## CHAPITRE 2:

### *Bases conceptuelles des réseaux de transmissions*

Ce chapitre décrit d'une façon sommaire, les concepts de base des réseaux de transmission, résume les fondements de conception, tout en analysant les points de blocages qui empêchent les réseaux actuels à suivre l'augmentation des débits exigée par certaines applications.

#### 2.1. Largeur de bande et limitation en débit :

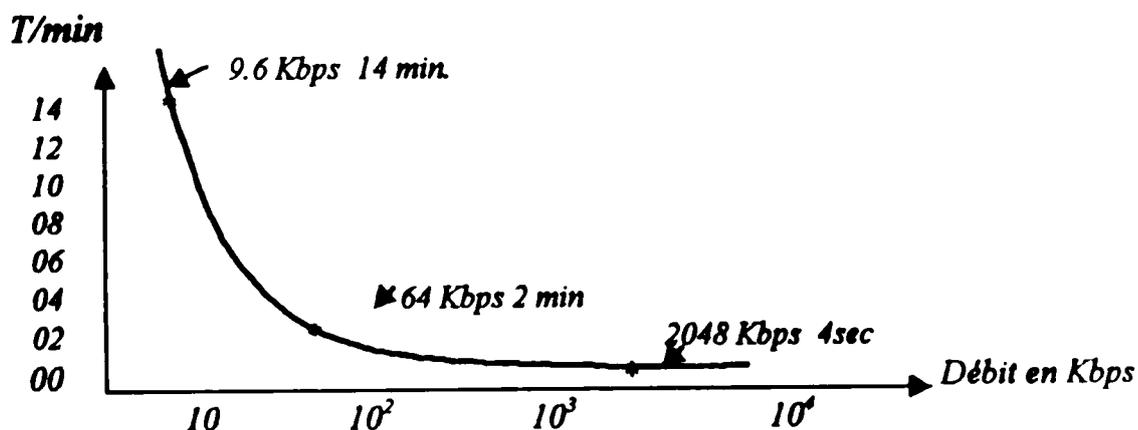


Figure 2.1. Temps de transfert d'un Mega-octet

Le débit maximum permis sur un canal a été toujours un paramètre de première importance. En 1928, Nyquist détermina les limites d'un canal de transmission de largeur de bande  $B$  en Hz et un débit  $R$  en Bauds.

$$R \leq 2.B \quad (2.1.)$$

En 1948, Shannon, a pu déterminer le débit  $D$  d'une liaison ayant un certain rapport signal sur bruit.

$$D = B \cdot \log_2 (1 + S/N) = 3,32 \cdot B \cdot \text{Log}_{10}(1 + S/N) \quad (2.2)$$

Il est clair que le débit d'information binaire peut être augmenté si la bande passante du canal de transmission est plus large et si le bruit est faible [2,5,8,9]. Pour un  $S/N$  de 30 dB, un circuit de 3100 Hz de largeur de bande devrait permettre un débit de 30 Kbps.

Les techniques de modulation [8,9,10,11], permettent une exploitation rationnelle et optimale de la bande passante d'un canal de transmission.

## 2.2. Supports de transmission:

Chaque support de transmission dispose d'une bande passante, caractérisant le spectre des fréquences qu'il peut accueillir [3,5]. La limitation de cette bande est due essentiellement à la nature du média installé, le tableau ci-dessous résume les caractéristiques des médias les plus utilisés.

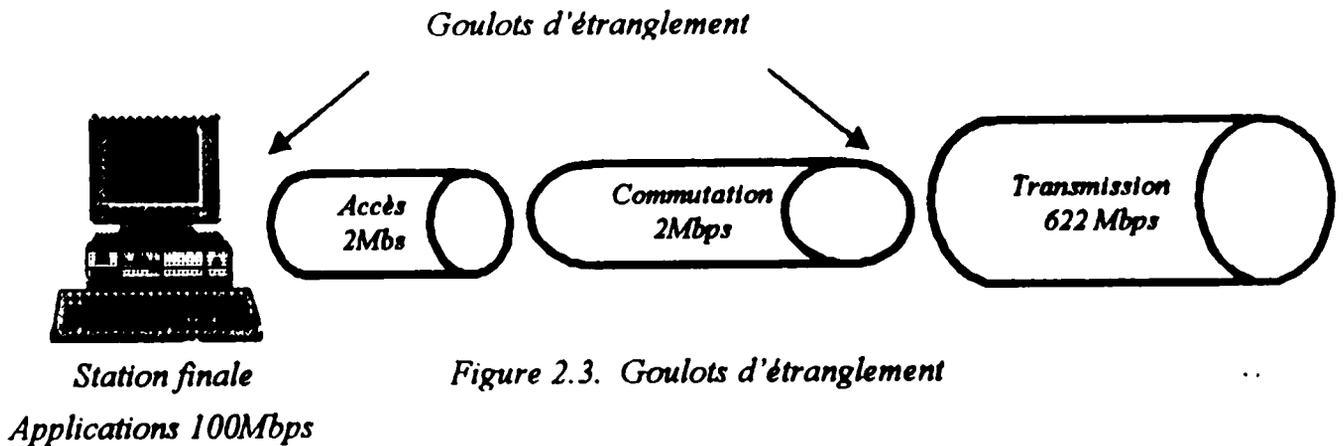
<i>MEDIA</i>	<i>PAIRE TORSADÉE</i>		<i>CABLE COAXIAL</i>		<i>FIBRE OPTIQUE</i>	
	<i>Non Blindé</i>	<i>Blindé</i>	<i>Bande de base</i>	<i>Large Bande</i>	<i>Multimode</i>	<i>Monomode</i>
<i>Bande Passante</i>	<i>De 100 Kbps à 100 Mbps</i>		<i>Jusqu'à 100 Mbps</i>		<i>Très élevé du 100 Gbps</i>	
<i>Transmission</i>	<i>Faible</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Bonne</i>	<i>Bonne</i>	<i>T. Bonne</i>	<i>T. Bonne</i>
<i>Sécurité</i>	<i>Faible</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Faible</i>	<i>Bonne</i>	<i>Parfaite</i>	<i>Parfaite</i>
<i>Pas Répéteurs</i>	<i>100 m</i>	<i>200 m</i>	<i>500m</i>	<i>1 Km</i>	<i>1 Km</i>	<i>10 Km</i>
<i>Installation</i>	<i>Simple</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Complexe</i>	<i>Complexe</i>	<i>Complexe</i>
<i>Coût</i>	<i>Faible</i>	<i>Moyen</i>	<i>Elevé</i>	<i>Elevé</i>	<i>Très élevé</i>	<i>Très élevé</i>
<i>Distances</i>	<i>Faible</i>	<i>Faible</i>	<i>Modérée</i>	<i>Importante</i>	<i>Importante</i>	<i>Importante</i>

Tableau 2.2 Supports de transmission

## 2.3. Goulots d'étranglement :

Les réseaux de télécommunications sont interactifs, mais très limités en débits d'informations accessibles à la station finale (serveur, utilisateur, etc.). L'interconnexion de

plusieurs réseaux ayant des débits différents crée au niveau des accès des 'goulots d'étranglement', [6] caractérisés par des variations brusques de débits, dans le réseau commuté, et surtout dans le réseau de distribution.



Les débits varient selon les applications dans la limite de la bande passante du réseau. Un service vidéo interactif de type 'Video on Demand' [15], qui consomme l'équivalent de 30 à 100 communications téléphoniques simultanées pour un seul poste de travail ne peut s'accommoder de ces goulots d'étranglement.

## 2.4. Modèle OSI:

Les applications haut débit, ainsi que les communications interactives nécessitent une transmission en temps réel entre la source et la destination de différents flots de données intégrés ou séparés. Parmi ces applications on note le vidéo téléphone, les vidéoconférence (requérant l'échange de grandes quantités d'information dans un temps bref et un fort débit), la transmission d'images fixes ou animées ( par exemple graphiques générées en temps réel permettant de visualiser les résultats de gros programmes de simulation), la transmission de documents multimédias, ainsi que les applications standards de l'OSI; transfert de fichiers, terminal virtuel, utilisées à des débits élevés et sur de grandes distances.

Avec les différentes natures des communications nécessaires pour mettre en œuvre un réseau de transmission, la normalisation joue un rôle prépondérant. L'ISO (*International Standards Institute*), organisme principal en la matière, a très tôt défini un modèle de référence du réseau en sept couches superposées appelé modèle OSI (*Open Systems Interconnexion*), dans le but de rationaliser les différentes fonctions que doit remplir un réseau [2,6,13,21].

7	<i>APPLICATION</i>	<i>Les hautes couches : Gestionnaire de réseaux,</i>
6	<i>PRESENTATION</i>	<i>Gestion de fichiers,</i>
5	<i>SESSION</i>	<i>Applications, et administrations.</i>
4	<i>TRANSPORT</i>	<i>Protocole niveau « 4 » TCP, TP4, SPX, etc.)</i>
3	<i>RESEAU</i>	<i>Protocole Niveau « 3 » ( IP, IPX, etc.)</i>
2	<i>LIAISON</i>	<i>Méthode d'accès (Ethernet, Token Ring, FDDI, etc.)</i>
1	<i>PHYSIQUE</i>	<i>Câblage coaxial, Paire torsadée, Fibre Optique</i>

Tableau.2.4 : Hiérarchie des réseaux imposée par le modèle 'OSI'.

Chaque application multimédia, exige un certain nombre de paramètres: Vitesse de transmission minimale, tolérance d'erreurs, etc. qui forment les paramètres de qualité de service (QoS : § 2.6) exigences auxquels les réseaux doivent répondre.

## 2.5. Le transport dans les réseaux :

La couche transport est responsable de la transmission fiable de données entre les stations finales d'un réseau.

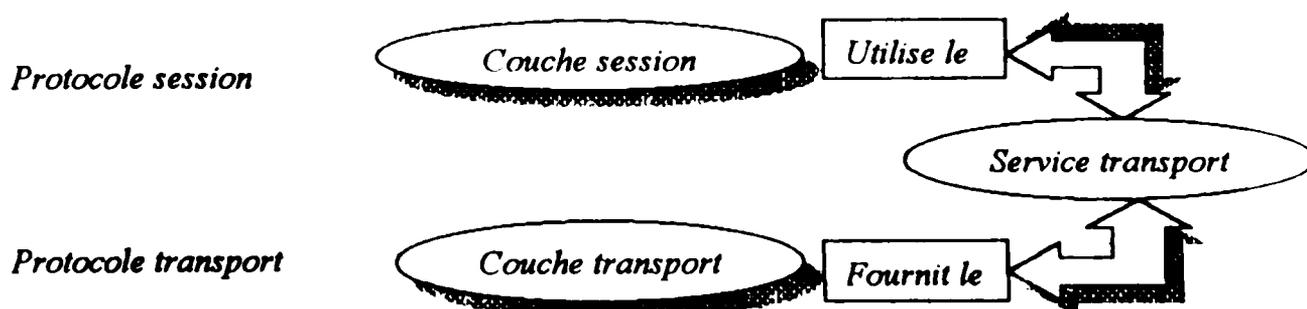


Figure 2.5 : Service transport OSI

Située entre la couche traitement et le réseau de transmission, la couche transport apparaît comme une couche charnière dont la finalité est de réaliser une jonction adéquate entre les besoins applicatifs et les caractéristiques du réseau. Le service transport est assuré par un protocole établi entre deux entités terminales. Il a été classé en trois types [2,4,5,6,7,21]:

A	<i>Service parfait. Perte et duplication négligeables. Exemple: Réseaux locaux,</i>
B	<i>Paquets délivrés sans aucun problème. Possibilité de congestion, d'erreurs logicielles, etc. Exemple: réseaux publics X25</i>
C	<i>Service peu fiable, des paquets sont perdus , ou dupliqués. Exemple: réseaux longue distance, par ondes hertziennes, etc.</i>

Tableau 2.5.a : types de service offerts par la couche réseau au protocole transport.

Le protocole de transport dépendra donc du type auquel la couche réseau appartient et de la situation à résoudre. Plus le service réseau est mauvais, plus le protocole transport est complexe. Dans ce contexte, il a été divisé en cinq catégories:

0	A	<i>Classe de base. Pour les couches réseaux fiables et de hautes performances. Pas de contrôle d'erreurs ni de flux.</i>
1	B	<i>Rétablissement après Interruption involontaire, resynchronisation des communications. Aucun contrôle de transmission, confié à la couche réseau.</i>
2	A	<i>Pour des réseaux fiables. Transmission multiplexée point à multi-points.</i>
3	B	<i>Combinaison de classes 1 et 2. Réinitialisation et multiplexage. Contrôle de transmission.</i>
4	C	<i>Manque de fiabilité, contrôle de perte, duplications et demandes de réinitialisation.</i>

Tableau 2.5.b : Les différentes classes de protocole de transport

Suite aux évolutions technologiques de ces dernières années, les nouvelles applications ont des besoins variés et difficiles à satisfaire sans une révision du service transport standard. Au début du présent paragraphe, il a été montré l'intérêt du protocole transport fourni aux applications dans le but d'assurer l'augmentation du débit de transmission, on distingue à l'heure actuelle deux générations de protocoles :

La première concerne les protocoles tels que TCP et OSI/IP4 [21,22] ; ils ne sont pas conçus pour être performants en terme de débit, mais pour fournir aux utilisateurs un support de communication fiable et totalement ordonné.

La seconde génération, qui nous intéresse, tient compte des dernières évolutions technologiques. Ces protocoles, plus performants que les précédents, sont destinés à des domaines d'applications variés. XTP et ATM/AAL illustrent ce type de protocoles.

Quels que soit leurs objectifs, les protocoles de transport actuels sont tous basés sur l'un des modes opératoires suivants : le mode connecté ou le mode non connecté [20,21].

## 2.6. Paramètres de qualité de service :

<i>Paramètres</i>	<i>Débit</i>	<i>Délai</i>	<i>Taux d'erreurs</i>
<i>Voix</i>	<i>64 Kbps</i>	<i>150 ms ± 5%</i>	<i>1%</i>
<i>Vidéo</i>	<i>140 Mbps</i>	<i>150 ms ± 5%</i>	<i>0.1 %</i>
<i>Vidéo avec compression</i>	<i>34 Mbps</i>	<i>150 ms ± 0.5 %</i>	<i>0</i>
<i>Terminal Virtuel</i>	<i>Faible</i>	<i>Faible</i>	<i>0</i>
<i>Transfert de masse</i>	<i>Important</i>	<i>1 s</i>	<i>0</i>
<i>Messagerie multimédia</i>	<i>Important</i>	<i>1 min ~ 1 heure</i>	<i>0</i>

Tableau 2.6 : Exemple de paramètres de Qualité de service

Le tableau ci-dessus, résume les valeurs des paramètres de qualité de service QoS. En ce qui concerne les applications haut débit, les paramètres les plus significatifs sont le débit, le temps de transit et le taux d'erreur, mais aussi la variation du temps de transit et la variabilité

du débit. Il est impératif de suivre l'évolution de la valeur des paramètres QoS durant toute la durée de la transmission, et même de pouvoir renégocier des nouvelles valeurs suite à la demande du réseau ou de l'application.

La voix numérisée a besoin d'un débit de 64 Kbit/s par connexion. Le délai maximum de bout en bout permis pour une application de voix est de l'ordre de 150 ms  $\pm 5\%$ . D'autre part, le taux global de perte de paquets ne devrait pas dépasser 1%.

Les images vidéo nécessitent aussi un délai de transmission du même ordre que celui de la voix numérisée. Le taux d'erreurs résiduelles (c'est à dire le pourcentage de trames erronées ou perdues) est de l'ordre de  $10^{-3}$ . La transmission d'images avec compression, impose des contraintes plus strictes en ce qui concerne les délais et le taux d'erreurs. Pour une application type vidéoconférence les débits vont de 34 Mbit/s à 70 Mbit/s. La transmission d'images de télévision haute définition nécessite un débit allant de 140 à 560 Mbit/s.

L'utilisation des paramètres de qualité de service permet d'exprimer les caractéristiques d'une connexion de transport: Les paramètres QoS permettent aux utilisateurs du service de transport de disposer d'une méthode pour spécifier leurs exigences et au fournisseur du service de transport de disposer d'une base pour le choix du protocole. Après que l'application ait formulé ses besoins en terme de paramètres QoS, l'entité transport teste localement la possibilité d'assurer la qualité de service (à partir d'informations sur la qualité du service réseau). Si le réseau peut fournir les services requis, l'entité transport transmet ces paramètres à l'entité homologue afin de négocier la qualité de service avec l'application désirée.

Les valeurs adoptées sont par la suite utilisées pour allouer les ressources au niveau des entités transport locales et distantes. Les paramètres de qualité de service définis dans la recommandation. 84b du UIT,[4], sont cités ci-après:

1. Délai d'établissement de connexion de transport.
2. Probabilité d'échec d'établissement de connexion de transport.

3. Débit.
4. Temps de transit.
5. Taux d'erreurs résiduelles.
6. Probabilité d'incidents de transferts .
7. Délai de libération de connexion de transport.
8. Probabilité d'échec et de libération d'une connexion de transport.
9. Protection des connexions de transport.
10. Priorité d'une connexion de transport.
11. Probabilité de rupture d'une connexion de transport.

## 2.7. Congestion.

Quand plusieurs paquets se présentent à la fois à l'accès du réseau, les performances de ce dernier se dégradent. Cette situation est appelée *Congestion*, Quand le nombre de paquets déposés dans le réseau est inférieur à la capacité de transport, ils sont correctement transmis, exceptés ceux qui subissent des erreurs de transmission [2,14,23]. Toutefois, si le trafic augmente, les interfaces ne sont plus capables de supporter la charge, et c'est la perte des paquets.

La congestion peut survenir pour différentes raisons :

- Complexité et lenteur des procédure de traitement des paquets.
- insuffisance de la capacité mémoire tampons des accès.

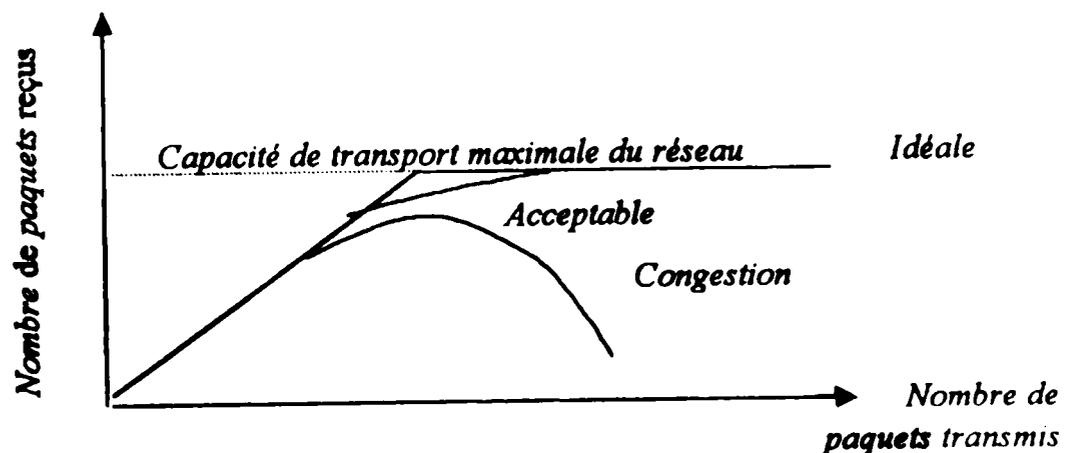


Figure 2.7. Congestion dans les réseaux

Un contrôle de congestion s'impose pour assurer le transport des paquets. Plusieurs solutions sont proposées :

*Préallocation de tampons:* Le paquet d'appel progresse à travers le réseau en créant un circuit virtuel au fur et à mesure de sa progression. Quand il atteint sa destination, la route à suivre par les paquets de données suivants a été établie.

*Destruction des paquets:* A l'opposé du premier procédé, au lieu de réserver tous les tampons à l'avance, on n'en réserve aucun. Si le paquet arrive, sans trouver de tampons disponible il est détruit. Les algorithmes mis en place, avertissent les interlocuteurs et gardent en mémoire une empreinte du paquet détruit, pour le réclamer dès disponibilité des circuits mémoires.

*Contrôle isarithmique:* Dans cette méthode appelée isarithmique, parce qu'elle conserve constant le nombre de paquets, elle impose des jetons de circulations sur le réseau. Un paquet à émettre doit d'abord capturer un jeton, restitué une fois arrivé au destinataire. Cette règle simple assure que le nombre de paquets n'excédera jamais le nombre de permis initial.

*Contrôle de flux:* Traite le trafic point à point entre un émetteur et un récepteur. Cela consiste à s'assurer qu'un émetteur rapide ne transmette pas plus de données que le réseau ne peut en traiter. Le contrôle de flux est le plus adapté à résoudre le problème de congestion car le trafic informatique est irrégulier.

## ***2.8. Les protocoles de transmission :***

L'existence des réseaux à haut débit est nécessaire mais non suffisante pour l'application haut débit. A première vue, les protocoles semblent à peu près équivalents. Ils permettent d'obtenir un canal réel ou virtuel de transmission parfait à partir d'une ligne qui peut provoquer des erreurs de transmission. Plusieurs facteurs peuvent intervenir dans l'efficacité d'un protocole: Environnement d'implémentation, Architecture du matériel et système d'exploitation. On trouve

aussi, cadence des trames d'acquittement, mode d'exploitation des lignes, taux d'erreurs sur la ligne, etc.[30,31,32,33]

Il faudra optimiser en particulier au niveau de la couche transport afin d'éviter un ralentissement de la transmission [37,38]. En effet des expérimentations ont montré que pour certaines implémentations ; le débit utile au niveau de l'application ne dépasse pas 3 Mbps, ralentissement dû au protocole, plutôt qu'à la vitesse de transmission sur le réseau.

La recherche de nouveaux protocoles a principalement deux motivations : les performances souvent moyennes des protocoles standards et la recherche de nouvelles fonctionnalités. Les concepteurs des nouveaux protocoles visent à améliorer les performances même s'il s'agit de réduire les fonctionnalités [6].

## ***2.9. Interconnexion de réseaux haut débit :***

La diversité des architectures des réseaux, des protocoles, des topologies, et des médias en exploitation, impose une certaine discipline pour assurer la compatibilité des réseaux, et de préserver la propagation des débits jusqu'aux applications. Ceci nous mène droit sur l'interconnexion de réseaux haut débit [16].

L'interconnexion des réseaux haut débit, implique des serveurs, des supports, des protocoles et des techniques de transmission souvent divergentes. Le modèle OSI, s'impose en vue d'assurer la compatibilité des protocoles inter-couches. La plupart des machines existantes sont attachées à des réseaux locaux interconnectés par des liaisons haut débit. Les réseaux ATM ont l'avantage de fournir des débits plus élevés sur des distances plus grandes. Ils seront donc utilisés pour l'interconnexion des réseaux FDDI ou DQDB ( chapitre 5).

## ***2.10. Modélisation et description mathématiques :***

La conception ainsi que l'évaluation des performances des réseaux, sont basées sur la modélisation mathématique. Par exemple, dans un nœud de réseau de télécommunications, un

grand nombre de canaux de données partagent les ressources de bande passante et de buffers disponibles à ce nœud [32,33,34].

Savoir estimer le délai d'attente et la probabilité de perte de paquets au niveau d'un nœud constitue donc un aspect important du contrôle du réseau. Deux problèmes se posent : 1) trouver des modèles mathématiques qui représentent aussi fidèlement que possible les caractéristiques principales du trafic réel [24,25]. 2) analyser ces modèles et calculer des bornes ou des approximations qui soient à la fois performantes et facilement implémentables [28,45].

L'utilisation des techniques de description est une étape essentielle dans la conception des systèmes de communications complexes avant de passer au stade de l'implantation. elles offrent un cadre permettant de vérifier si les systèmes conçus ont, ou n'ont pas, les propriétés attendues et de faire une évaluation prévisionnelle des performances. Parmi les techniques de description, nous pouvons distinguer celles permettant une analyse qualitative : les modèles basés sur les réseaux de Pétri, et celles basées sur une analyse quantitative : les files d'attente, et les chaînes de Markov [19,23,25].

Les modèles basés sur les réseaux de Pétri permettent la représentation des mécanismes principaux des systèmes tels que le parallélisme, la synchronisation et la compétition. Tandis que les réseaux de files d'attente et les chaînes de Markov sont des techniques utilisées pour analyser les performances des systèmes.

## ***2.11. Conclusion:***

La mise au point des applications haut débit nécessite d'abord l'existence d'un moyen efficace pour effectuer la transmission de données avec un coût minimal. Il s'agit donc d'abord de spécifier les mécanismes appropriés qui vont permettre le développement d'un système fournissant les services requis, et par suite de décrire les besoins transport de ces applications.

La plupart des applications citées, supportent des flots de données variés et ayant des caractéristiques différentes; il est donc difficile de trouver un réseau qui répond à tous les besoins simultanément. Depuis les années 60-70, des réseaux indépendants sont utilisés pour le téléphone

et la télévision; la transmission de données utilisait les liaisons téléphoniques ou télex à des débits très faibles. Chaque réseau était optimisé pour l'application supportée et ne pouvait pas transmettre efficacement d'autres types de trafic. Le défi reste tout de même de concevoir et de mettre en œuvre les mécanismes permettant de garantir les paramètres de qualité de service requis par chacune de ces applications.

L'objectif premier de la conception de l'ATM, était de s'accommoder de ces obstacles et de réussir des transmissions fiables à des hauts débits, en mettant au point des nouvelles techniques de commutation à travers des réseaux existants et évolutifs vers des technologies plus développées telle que la fibre optique et les circuits VLSI.

## **CHAPITRE 3 :**

### ***Principes de la technologie ATM***

#### ***3.1.Introduction :***

Des applications nécessitant des hauts débits de transmission sont en cours de développement. Ces nouvelles applications supportent une intégration de plusieurs types de trafic ayant des caractéristiques différentes, comme par exemple la transmission simultanée de données, de voix numérisée ou d'images vidéo. L'implantation de telles applications et d'applications plus "classiques" comme le transfert de fichiers ou la messagerie électronique sur des réseaux à haut débit pose un problème délicat à cause des besoins différents de ces applications [4,7]. Le problème a plusieurs aspects selon le niveau considéré.

En ce qui concerne les couches les plus basses (Modèle OSI : § 2.4 ), [6,21] c'est à dire la transmission et la commutation, il s'agit de réaliser des supports de transmission ayant des bandes passantes très larges et de construire des commutateurs permettant de fonctionner à des débits de plusieurs milliers de paquets par seconde [12].

L'ATM est née d'un besoin en souplesse et en flexibilité dans la conception des réseaux de transmission futurs. Le présent chapitre en se basant sur l'analyse du chapitre précédent, tente de justifier l'investissement ATM parmi les techniques actuelles.

#### ***3.2.La commutation dans les réseaux:***

L'objectif de la commutation est d'établir la liaison physique qui permet d'acheminer les flux de données d'une source à une autre. Il s'agit souvent de commander des matrices de commutateurs et de créer ainsi un chemin entre les deux sources.[5]

Deux modes étaient classiquement utilisés: la commutation de circuits et la commutation par paquets. En commutation par paquets, ce sont les paquets qui constituent l'unité de commutation, cette possibilité réduit les délais d'acheminement et augmente le rendement des liaisons. La dimension des paquets est volontairement limitée afin qu'ils puissent tenir dans la mémoire interne du commutateur de paquets pour être retransmis. La commutation par paquets est parfaitement adaptée au trafic interactif.[12,13,15]

La commutation de circuits et la commutation par paquets diffèrent sous plusieurs aspects. La différence principale provient du fait que la commutation de circuits réserve par avance la totalité de la bande passante offerte par la liaison, tandis que la commutation par paquets ne consomme que ce qui est strictement nécessaire.

L'évolution des techniques de VLSI, a permis de concevoir des systèmes de commutation capables d'acheminer des débits de l'ordre du Gbps. Parmi ces techniques, on cite la commutation ATM.

### ***3.3.La technologie ATM :***

L'année 1983 marqua l'introduction de la technique de commutation par paquets rapide (FPS) et du multiplexage temporel asynchrone (ATD). Lors de la réunion du CCITT à Séoul Février 1988, il fut décidé de retenir, pour la très grande souplesse qu'elle apportait, une technique universelle pour les réseaux haut débit, caractérisée par des paquets de longueur fixe ( cellules ) et dénommée ATM (*Asynchronous Transfer Mode*)

#### ***3.3.1.Principes du ATM:***

L'ATM est une technique de multiplexage et de commutation de paquets permettant d'obtenir des débits de transmission élevés en simplifiant les procédures de contrôle [17]. Dans l'ATM l'information à transférer est segmentée en petites cellules ( *cells* ) de taille fixe égale à 53 octets, quelle que soit l'information transportée. La petite taille des cellules permet un partage

souple de la bande passante : ceci diminue les délais d'accès au réseau ainsi que les délais dans les nœuds et les commutateurs et facilite le réglage dynamique des débits pour les applications demandant des débits variables.

Le transport est asynchrone en ce sens ; les cellules n'ont pas une position repérée dans le temps, à la différence des octets d'une liaison synchrone qui occupent une position fixe dans une trame. Toutes les spécificités de l'ATM découlent de cette absence de lien entre l'information véhiculée par le train de cellules et le vecteur temps.

Les cellules seront identifiées et commutées à l'aide d'une étiquette dans l'entête composée de deux champs le VPI et le VCI (*Virtual Path Identifier* et *Virtual Channel Identifier*). L'ATM est une technique "orientée connexion" (Annexe C) : lors de l'établissement de connexion les informations de contrôle sont utilisées pour le choix de la route et par suite les VCI des différentes liaisons sont alloués et les ressources nécessaires pour cette connexion sont réservées [36]. Un mécanisme de contrôle de l'admission (*Admission control*) est responsable de l'acceptation ou du refus d'une connexion. Sur une connexion ATM, les cellules pourraient être altérées, ou perdues mais beaucoup plus rarement reçues hors séquence. Le modèle d'erreur de bout en bout est donc seulement celui d'un pourcentage de perte de données.

Durant la phase de transfert de données, les cellules sont injectées par l'émetteur selon le débit dans la limite des ressources réservées. L'ATM fournira donc une connexion de type "flot de données" ou "*stream*" où les cellules seront transmises en séquence avec un pourcentage d'erreur très réduit. Toutefois, un mécanisme de contrôle de régulation ou de contrôle de congestion est requis pour empêcher un "dépassement de quota" par les clients : dans ce cas les cellules en surplus peuvent soit être rejetées avant le point d'accès au réseau (ou dans une passerelle intermédiaire) soit être transmises avec une priorité inférieure. Si le taux de perte dû au contrôle de congestion devient inacceptable pour une application ayant un débit ajustable (par exemple une application vidéo avec compression adaptative), elle devra réguler son débit [31,34] (en changeant par exemple le niveau de la compression et par suite la qualité de la transmission) afin d'optimiser le débit global tout en conservant un taux d'erreur réduit.

Les connexions ATM offrent aux utilisateurs un service flexible de transfert de données: les débits de transmission peuvent varier selon les besoins des utilisateurs. Ce service est fourni à tous les types de trafic qui seront transmis sur un réseau ATM. Les différents besoins des applications seront traités par une couche d'adaptation d'une façon transparente au niveau ATM. Le rôle de cette couche est donc d'adapter le service de base - flot de données ATM - aux différents profils requis par les utilisateurs.

Parmi les fonctions de contrôle que devrait assurer la couche d'adaptation citons la détection et la correction d'erreur de bout en bout, la segmentation, le réassemblage de paquets, le contrôle de flux et la réduction de l'impact des variations du délai de transmission des cellules sur la qualité de service fournie à l'utilisateur. La classe de service requise par l'application détermine les fonctions de contrôle à appliquer.

### 3.3.2. La cellule:

La cellule est l'unité de transfert normalisée et se compose de deux parties :

- Un en-tête, ou étiquette.
- Un champs d'information, ou charge utile.

48 octets pour la charge utile portant l'information engendrée par un émetteur, et 5 octets pour l'entête qui contient les informations nécessaires au transfert de la cellule.

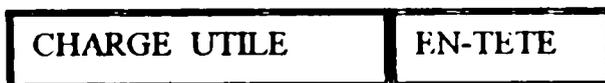


Figure 3.3.2.a: format d'une cellule ATM

#### L'entête:

Deux configurations de l'entête sont utilisées selon que l'on considère l'interface entre l'utilisateur et le réseau (UNI : *User Network Interface* : interface réseau-usager) ou l'interface entre nœuds d'un même réseau ou de deux réseaux différents (NNI : *Network Node Interface* : interface

de nœuds de réseau). Elles contiennent un certain nombre de champs et sont représentées sur la figure 3.3.2.b.

Présent seulement à l'interface entre le réseau et l'utilisateur, le champ GFC (*Generic Flow Control* : contrôle générique de flux) peut être utilisé par le réseau pour contrôler, le flux de certaines connexions et arbitrer l'accès au réseau de plusieurs terminaux. Il y a donc deux classes de connexions: celles qui sont contrôlées par le GFC et celles qui ne le sont pas.

L'entête contient un identificateur logique de niveau 2 constitué de deux parties indépendantes : l'identificateur de conduit virtuel VPI (*Virtual Path Identifier*) et l'identificateur de voie virtuelle (*Virtual Channel Identifier*). Le chemin suivi par la cellule dans le réseau ATM est entièrement défini par cet identificateur.

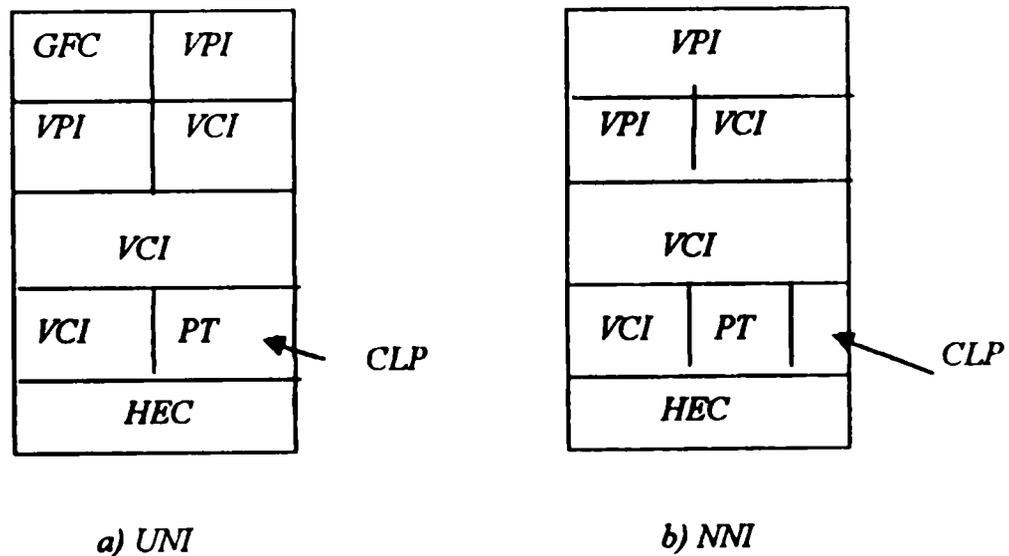


Figure 3.3.2.b : Format de l'en-tête de la cellule

Un champ de 3 bits PT (*Payload Type* : type de charge utile) permet de définir 8 types de cellules ayant le même identificateur, donc appartenant à la même connexion. Sept sont aujourd'hui normalisées [4]. Outre les cellules réservées à l'utilisateur, il faut mentionner les cellules

de maintenance permettant de surveiller la qualité de la connexion et de signaler les congestions éventuelles qu'elle peut rencontrer dans les éléments du réseau.

Un champ de 1 bit CLP (*Cell Loss Priority*: priorité de perte de cellules) permet de différencier, pour les cellules d'une même connexion, deux niveaux de priorité.

Enfin, le dernier octet de l'entête contient un code cyclique HEC (*Header Error Correction* : correction d'erreur dans l'entête) permettant de corriger une erreur isolée sur un bit de l'entête et de détecter un nombre d'erreurs supérieur ou égal à 2, auquel cas la cellule est rejetée. Il joue un rôle essentiel dans la mesure où le routage des cellules et l'intégrité même des connexions dépendent de l'interprétation de l'entête.

### *La charge utile:*

<i>Classes</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
<i>Types d'application</i>	<i>Voix, Vidéo à débit Constant</i>	<i>Vidéo à débit variable</i>	<i>Données en mode connecté</i>	<i>Données en mode non connecté : SMDS</i>
<i>Types d'AAL</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3,4,5</i>	<i>3 et 4</i>

Tableau 3.3.2 : Types de couches d'adaptation ATM

Elle véhicule l'information engendrée par une source. Celle-ci doit être adaptée au transfert ATM. D'autres fonctions sont nécessaires pour que l'information émise puisse être récupérée et exploitée par le destinataire avec la qualité de service requise: détection et correction d'erreurs et de perte de cellules, récupération des horloges de service. Ces fonctions d'adaptation

sont mises en œuvre dans les équipements terminaux, émetteurs et récepteurs et par des couches d'adaptation à l'ATM, appelées AAL (*ATM Adaptation Layer*), portées par un champ de la charge utile. Le nombre d'octets alloués à l'information d'utilisateur est donc strictement inférieur à 48. Ces couches sont situées entre la couche ATM et les couches applicatives. Elles sont spécifiques des services et ont fait, à ce jour, l'objet de la normalisation résumé par le tableau 3.3.2.

### ***3.4. La transmission en ATM:***

#### ***3.4.1. Le multiplexage en ATM:***

Les cellules engendrées par des émetteurs différents sont multiplexées sur des liaisons de débit physique généralement (mais non nécessairement) élevé. Ce multiplexage s'effectue par l'intermédiaire de files d'attente, comme le montre le schéma de la figure 3.4.1. Le multiplex, qui en résulte, est une suite infinie de cellules dont certaines, munies d'un identificateur universel, sont vides d'information. Il faut noter que le multiplex ATM est synchrone au niveau physique, mais asynchrone au niveau informationnel puisque le contenu des charges utiles n'a aucun lien avec la position temporelle des cellules [19,20,29].

La file d'attente est l'organe essentiel qui conditionne toutes les propriétés de l'ATM. Un réseau ATM est en fait un réseau de files d'attente. De longueur finie, une file d'attente peut déborder lorsque le trafic qu'elle reçoit est trop important et excède les prévisions qu'on peut en faire. Il y a alors perte de cellules sur une ou plusieurs connexions empruntant la file. Il faut s'arranger en pratique pour que la probabilité d'un tel événement soit négligeable, c'est à dire inférieure à une valeur déterminée (typiquement  $10^{-9}$ ) dépendant du service considéré.

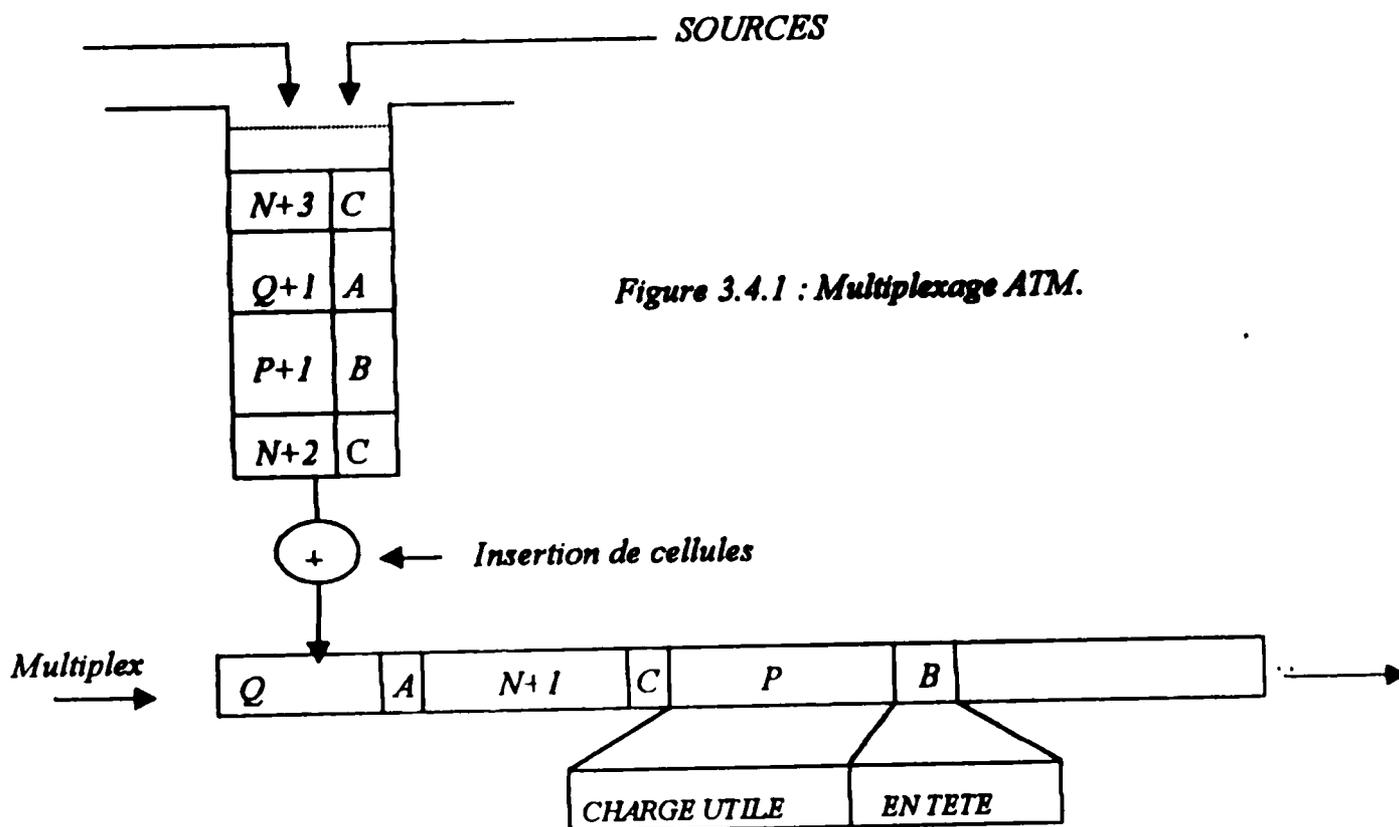


Figure 3.4.1 : Multiplexage ATM.

Il existe plusieurs modèles de files d'attente suivant la façon dont les cellules sont traitées. Pour toute file d'attente, la probabilité de débordement est fonction de la longueur  $L$  de la file, de la durée  $T_c$  de la cellule (temps de service), du nombre moyen  $\mu$  de cellules reçues pendant la durée  $T_c$  (charge de la file) et aussi de la loi stochastique d'arrivée des cellules. Comme cette loi dépend du service considéré, la probabilité de perte en dépend également. A strictement parler, l'ATM n'est donc pas indépendant du service transporté.

Une file d'attente introduit une gigue dans les connexions qui la traversent, puisque le temps de traversée des cellules (durée d'attente plus temps de service) est aléatoire et dépend de l'occupation de la file. Il en résulte l'absence de transparence temporelle et la non transmission de l'horloge de service par la couche ATM. Lorsqu'elle est nécessaire, la restitution de cette horloge se fait par une couche AAL spécifique. C'est le cas pour les services DBR (*Deterministic Bit Rate* : débit binaire déterministe) avec la couche AAL1 (Annexe C).

Le multiplexage ATM est d'une très grande souplesse puisqu'il n'est pas hiérarchique et opère dynamiquement sur tous les types de trafic et de services.

### ***3.4.2. Le transport du multiplex:***

Un multiplex ATM, muni de cellules de maintenance et de supervision, peut être transmis directement, en tant que tel, sur tout support offrant une qualité suffisante pour que le code HEC soit efficace.

Son asynchronisme lui permet également d'être transporté dans des trames plésiochrones PDH (*Hierarchie numérique plésiochrone*) ou dans des conteneurs synchrones SONET ou SDH (*Hierarchie numérique synchrone*) [44].

Dans ce cas, certaines fonctions de la couche physique PDH ou SDH sont utilisées, notamment pour la supervision de la qualité des trains binaires et pour la reconfiguration des liaisons en cas de panne.

Il importe de distinguer le débit physique du multiplex et le débit d'un circuit virtuel, qui ne tient compte que des cellules qui lui sont affectées. Le débit physique peut varier avec le support de transmission. Il peut atteindre plusieurs Gbits/s sur des liaisons par fibre optique monomode.

### ***3.5. La commutation ATM:***

Si l'ATM est une technique globale, intégrant la transmission et la commutation, l'aspect commutation est essentiel. L'ATM n'offre, en effet, aucun intérêt pour une transmission point à point ne nécessitant pas de commutation [26,27].

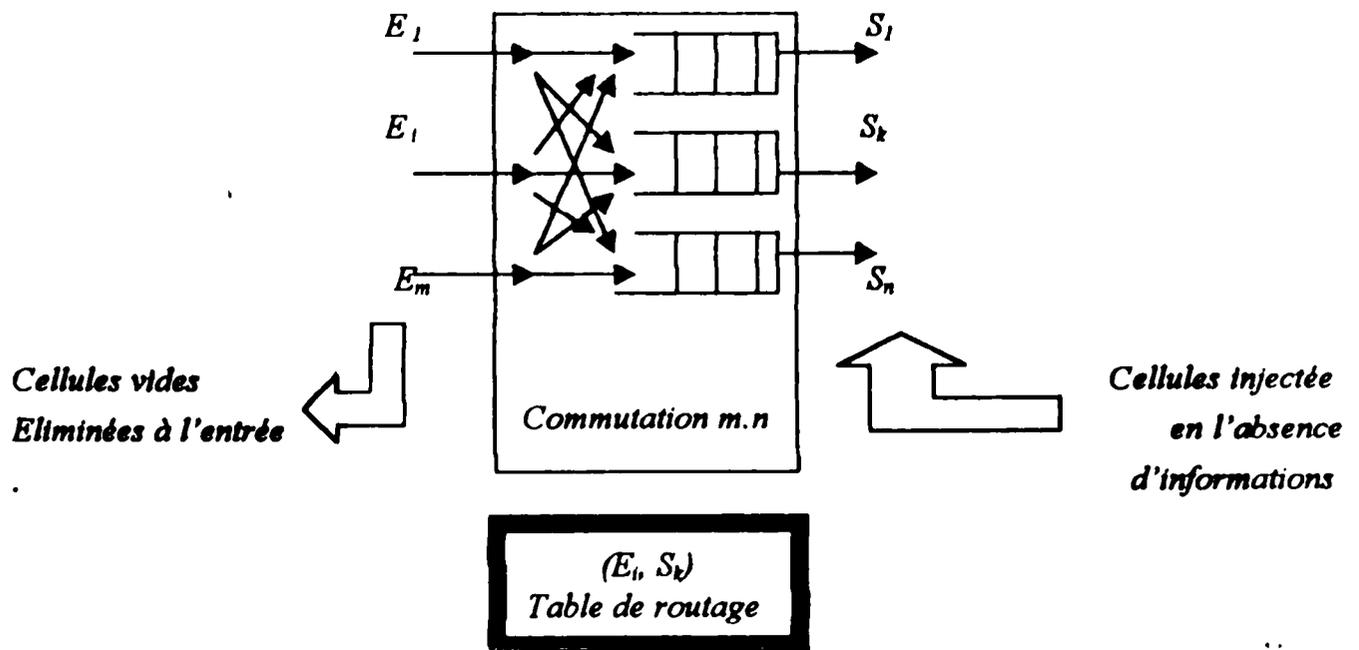


Figure 3.5 : Commutation ATM

La commutation est temporelle asynchrone et opère sur des cellules ou, ce qui est équivalent, sur des connexions virtuelles. Les cellules sont commutées entre un accès d'entrée et un (ou plusieurs) accès de sortie en fonction de leur identificateur et après validation de leur HEC. Lorsque plusieurs cellules de connexions différentes doivent être simultanément aiguillées vers le même accès de sortie, il y a contention et certaines cellules doivent être retardées avant d'être réémises.

Tout commutateur ATM contient donc des files d'attente et de nombreuses architectures ont été proposées pour en optimiser les performances et le coût [16,43,44]. Un schéma de principe fait l'objet de la figure 3.5. La station de commande du commutateur contient une table de routage chargée à l'établissement des connexions et permettant d'aiguiller les cellules reçues vers les différents accès de sortie. Les cellules vides sont éliminées à l'entrée et ne participent pas à la charge du commutateur. Des cellules vides sont injectées en sortie en l'absence d'information.

La commutation des cellules est rapide parce qu'elle est effectuée par des composants physiques sans protocole logiciel, Il n'y a ni contrôle d'erreurs sur le champ d'information, ni régulation de flux, comme c'est le cas avec la commutation de paquets traditionnelle [14].

### ***3.6. Les classes de services en ATM:***

Lorsqu'une connexion est établie (annexe c), elle résulte d'une négociation entre l'utilisateur et le réseau qui stipule la classe de service retenue. Une classe de service est définie par les paramètres d'usage de la connexion et sa qualité de service.

Nous avons vu (au § 2.6) quels étaient les paramètres d'usage. Quant à la qualité de service, elle se mesure principalement par:

- le taux (probabilité) CIR (*Cell Loss Ratio*) de perte de cellules,
- La tolérance CDV de gigue.

A l'heure actuelle, trois principales classes de service sont spécifiées, sinon mises effectivement en œuvre dans les réseaux:

- Classe DBR (*Deterministic Bit Rate*: débit binaire déterministe)
- Classe SBR (*Statistical Bit Rate*: débit binaire statistique)
- Classe ABR (*Available Bit Rate*: débit binaire disponible).

Le tableau 3.6 résume la situation en indiquant, pour chaque classe, les paramètres d'usage, la qualité de service et le débit de la connexion.

Dans la classe DBR, le débit à la source est nominalement constant et la tolérance CDV faible. Elle est utilisée pour les services en temps réel: parole, audio, vidéo. Dans les deux autres classes, le débit est variable, voire sporadique et la tolérance CDV peut être relativement grande. La classe ABR est particulièrement adaptée aux services de données. Le débit instantané varie entre une valeur maximale PCR et une valeur minimale MCR. Lorsque le réseau ne dispose pas des ressources nécessaires, un contrôle de flux est activé pour réduire le débit de la source mais sans tomber au-dessous du MCR qui est garanti.

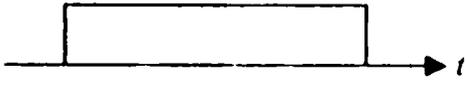
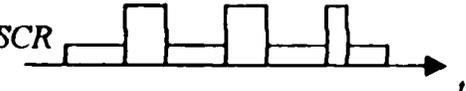
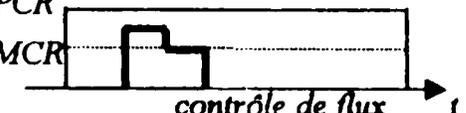
	Description de trafic	QoS	Débit de la connexion
DBR Débit binaire déterministe	$(T, \tau)$	$.CLR \leq 10^n$ .Tolérance de gigue petite.	PCR 
SBR Débit binaire statistique	$(T, \tau)$ $(T_n, \tau_n, MBS)$	$.CLR \leq 10^n$ .Tolérance de gigue limitée.	PCR SCR 
ABR Débit binaire disponible	$(T, \tau)$ $(T_m, \tau_m)$	$.CLR \leq 10^n$ .Tolérance de gigue non spécifiée	PCR MCR 

Tableau 3.6 : Classes de services ATM

### 3.6.1. Souplesse:

L'ATM est assez souple pour véhiculer et manipuler des paquets de données: voix, vidéo, à des débits fixes. Bien qu'à des débits variables: signaux vidéo avec compression, cela est rendu possible grâce à la technologie d'adaptation de l'ATM avec les divers services dont il est le support [36].

La technologie des couches utilisée en ATM, est le cœur des adaptations sur les réseaux RNIS-LB (Réseau Numérique à Intégration des Services - Large Bande). Et qui permet l'adaptation des débits élevés et les niveaux utilisés par l'ATM. L'utilité de l'ATM réside dans le fait qu'une fois les couches d'adaptation définies et implémentées, plusieurs types de trafics peuvent être acheminés par le système, ce moyen permet à l'ATM de s'imposer en tant que mode de transfert universel.

Le multiplexage utilisé en ATM apparaît dans le système physique de transmission qui transporte les cellules, il peut apparaître aussi bien ailleurs: au niveau de la cellule ATM, avec des cellules en provenance d'autres sources mélangées ensemble et des protocoles combinés à

l'intérieur d'un seul canal ATM virtuel. Il est aussi possible d'avoir à transmettre des données à plusieurs destinataires à travers un seul protocole. Véhiculer une information à travers ces protocoles et multiplexages exige une connaissance très approfondie des représentations des données [38].

### **3.7. Conclusion :**

La souplesse d'usage de l'ATM et son aptitude à transporter tous les services connus à ce jour, lui confèrent un avantage probablement décisif pour fédérer, dans un premier temps, les réseaux spécialisés existants, notamment les réseaux de données et peut être, dans un deuxième temps, unifier les télécommunications. La cellule devenant ainsi l'unité de transport universelle.

La gestion d'un réseau ATM est sûrement plus complexe que celle d'un réseau classique en raison de la très grande richesse des services qu'il peut offrir à ses usagers et à son opérateur.

L'ATM, outre sa souplesse, flexibilité et transparence, s'impose par sa capacité à gérer les problèmes de congestion à travers les points d'accès au réseau, ainsi que par la nouvelle technologie de commutation basée sur des cellules qu'il met en application.

Cette technique, qui fait appel aux avantages de la commutation classique (de circuits et par paquets), fait l'objet de plusieurs travaux de recherches, [17,23,24,25]. Son étude ou plutôt son approximation est basée sur la modélisation probabiliste, cas des processus aléatoires.

Parmi les points que soulèvent cette nouvelle technique ; la taille des systèmes de commutation en mémoires et en circuits d'aiguillages [26]. L'optimisation de ces deux grandeurs laisse apparaître un second obstacle, qui est ; les retards cumulés sur les nœuds ATM [46]. Au prochain chapitre, on tentera une approche analytique à ces problèmes, en vue d'une optimisation rationnelle.

## **CHAPITRE 4 :**

### ***Analyse de la commutation ATM***

#### ***4.1. Introduction:***

La révolution technologique apportée par l'informatique et les télécommunications, a réalisé un rêve, où chacun pourra être relié à travers le monde d'une façon beaucoup plus complète que par le téléphone pour transmettre ; voix, image et données.

L'ATM, est l'un des modes de transmission envisagé pour les autoroutes de l'information de l'an 2000. Son étude pose de nombreux problèmes techniques. Les problèmes que soulèvent ses possibilités futures de transfert de l'information sont aussi nombreux que complexes et variés.

De nombreux travaux de recherches se sont axés sur l'étude du comportement des cellules d'une même communication lors de la traversée du réseau. Ce qui exige un dimensionnement parfait du réseau.

Le présent chapitre analyse un thème qui a fait la force de la technique ATM. En effet l'ATM prend de l'avance grâce à la technique de commutation de cellules, ainsi qu'au multiplexage à travers des réseaux de files d'attente mises en place.

Ce chapitre, aborde ces problèmes sur trois fronts : la description des techniques de commutation, la modélisation et l'analyse du problème des retards sur les réseaux ATM. Finalement, il propose l'amélioration d'un algorithme pour prévenir les situations de congestion. Les théories de probabilités et la modélisation sont utilisés conjointement pour évaluer les performances des réseaux.

## ***4.2. La commutation ATM:***

La technique de transmission temporelle asynchrone (ATM) est en pleine explosion. On peut même penser que, à terme, un grand nombre de réseaux de transmission seront fondés sur l'ATM. L'ATM est un ensemble de compromis techniques, parmi ceux ci, le choix essentiel a été le découpage de toutes les informations en cellules de 53 octets chacune. Chaque cellule est une entité dont l'en-tête assure l'acheminement. De plus, toutes les cellules d'une même communication empruntent la même route à travers le réseau ATM: cette contrainte assure la conservation de l'ordre d'arrivée des cellules conformément à celui de l'émission et facilite la détection de perte des cellules.

L'un des problèmes majeurs est alors la résolution des conflits lors de la traversée des carrefours indispensables à l'acheminement de ces cellules. Ce problème fait l'objet d'étude de plusieurs thèses [23,28,29,30]. Toutefois ils abordent sommairement le problème de l'architecture des commutateurs.

L'objet de la première partie du présent chapitre est d'attirer l'attention sur le fait qu'un dimensionnement suffisant des artères d'entrée et de sorties d'un commutateur n'implique pas nécessairement la même propriété au niveau des bus internes du commutateur. Ceci conduit à étudier une notion de "compatibilité ATM" dont on note qu'elle n'est pas satisfaite par certaines structures de commutateurs [26]. Dans le cas spécifique des réseaux ATM, cette incompatibilité pourrait conduire à des blocages inacceptables si l'on se tient à  $1E-9$  (voir § 3.4.1 ) quant à la probabilité de blocage de bout en bout.

Cette propriété de Compatibilité ATM, est assez facile à obtenir quand le nombre d'entrées et de sorties est faible.

### 4.2.1. Architecture des commutateurs ATM:

La situation est la suivante. Il y a  $m$  artères à l'entrée et  $n$  artères à la sortie (très souvent  $m=n$ ). sur chaque artère d'entrée circulent, sans discontinuité, des cellules de longueur fixe. Chacune des cellules non vides doit être dirigée vers une artère de sortie bien précise. Les cellules vides peuvent ne pas être écoulées et permettent de rattraper certains retards.

La seule contrainte est que le nombre de cellules devant être dirigées vers une artère de sortie donnée est compatible avec le débit de cette artère, cette compatibilité n'excluant pas une surcharge durant un intervalle de temps très court, cette surcharge est absorbée par une mémoire tampon placée en tête de l'artère de sortie. Pour simplifier, nous supposerons par la suite que toutes les artères, en entrée et en sortie, ont le même débit, que l'on appellera  $D$ . on se donne aussi un coefficient de sécurité  $\rho$  de surcharge (par exemple  $\rho=0.8$ ) [39,42,42] et on suppose que, sur chaque artère en entrée, le nombre de cellules non vides est inférieur ou égal à  $\rho D$  et de même pour les cellules non vides destinées à une même artère de sortie.

Pour assurer la commutation, on dispose d'artères de liaison et d'éléments de commutation. Pour simplifier, on va supposer aussi que chaque élément de commutation admet la structure suivante (figure 4.2.1)

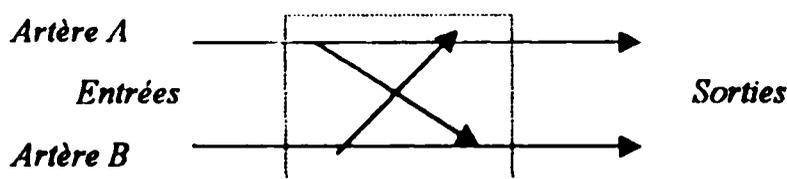


Figure 4.2.1 : Unité de commutation ATM 2x2 –Élément d'aiguillage-

Par la suite, pour faciliter l'expression, nous appellerons **aiguillage** de tels éléments de commutation.

On conçoit facilement qu'à base de tels dispositifs élémentaires, on puisse construire des modules de commutation plus complexes. De plus, à chaque aiguillage peut être associée une mémoire tampon (*Buffer*) qui accueille les cellules issues de l'artère A, destinées à l'artère B mais qui n'ont pas encore de place sur cette artère B.

#### 4.2.2.L'approche de Clos:

On considère donc le cas où il y a 4 artères numérotées de 1 à 4, qui traversent le réseau de Clos [28] (figure 4.2.2). Chaque artère rencontre un premier aiguillage: les cellules qui sont destinées, en sortie, à une artère de même parité continuent leur route ; les autres sont orientées vers un bus de liaison qui rejoint une artère de l'autre parité. Ensuite, chaque artère rencontre un deuxième aiguillage qui oriente chaque cellule vers l'artère de sortie adéquate.

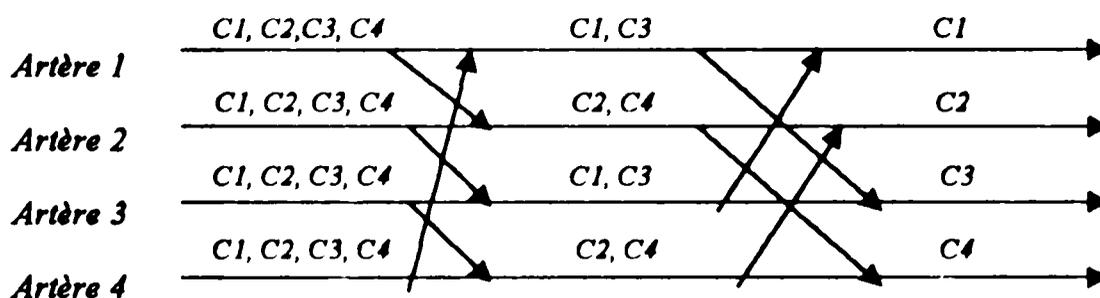


Figure 4.2.2 : Les cellules de type  $C_i$  sont destinées en sortie à l'artère  $i$

L'avantage essentiel de ce dispositif est de nécessiter assez peu d'aiguillage. dans ce cas, 8 aiguillages suffisent alors que le système qui sera étudié plus loin en exige 12 (sinon  $4.4=16$ ) pour un même résultat. De plus, ce gain dans le petit nombre d'aiguillages nécessaires est d'autant plus sensibles que le nombre d'artères en entrée et en sortie est grand.

Par contre, ce dispositif possède un inconvénient qui peut se révéler majeur dans le cas des réseaux ATM, il concerne la mémoire tampon.

Considérons la situation suivante : à un instant donné, l'artère 1 reçoit un débit  $d$  destiné à l'artère 4 et l'artère 2 reçoit un débit  $d'$  qui doit ressortir par cette même artère 2. Entre le premier et le deuxième aiguillage, ces débits  $d$  et  $d'$  doivent circuler sur la même portion interne de l'artère 2.

Pour certains types de communication, ceci ne pose pas de problème car la probabilité d'avoir assez longtemps  $d+d'$  supérieur à  $D$  est quasi-négligeable. Par contre, notamment dans le cas des réseaux ATM, cette probabilité peut s'avérer trop élevée pour être acceptable.

Cette probabilité est actuellement difficile à évaluer de façon précise car on ne dispose pas suffisamment d'informations sur les caractéristiques des communications qui utiliseront les réseaux ATM. Toutefois, on peut penser qu'il y aura une probabilité  $q$  non négligeable que certaines communications utilisent, à elle seule, un peu plus de la moitié du débit  $D$  une artère durant un délai  $\tau$ . La probabilité pour que de telles communications empruntent la même artère à l'intérieur du réseau de Clos décrit ci-dessus, durant un délai supérieur à  $\tau/2$ , est supérieure à  $q^2/2$  (puisque la moitié des communications sont dans cette situation de conflit potentiel) : il y a peu de chance que  $q^2/2$  soit inférieur au nombre typique  $1E-9$ .

Or, si le débit  $d+d'$  sur une artère est supérieur à  $D$  durant un délai  $\tau/2$ , la mémoire tampon doit avoir un espace supérieur à :

$$(d+d'-D) \tau / 2, \quad (4.1)$$

Ce qui peut être considérable (plusieurs milliers de cellules, sinon plus) alors que les mémoires rapides actuellement disponibles n'offrent que 64, 128 ou, au mieux, 256 octets.

De plus, nous nous sommes limités à une situation simplifiée à l'extrême mais il est facile de concevoir d'autres blocages plus subtils dus au fait que quelques communications à haut débit utilisent temporairement la même artère d'un réseau en dépassant la capacité interne de cette artère.

Enfin, nous n'avons pas tenu compte de la formation inévitable de trains de cellules, ce qui ne peut qu'augmenter les risques de blocages.

### 4.2.3. Réseau « ATM compatible » :

Ceci nous conduit à introduire la "notion de compatibilité" ATM. Si  $D$  est le débit d'une artère et  $\rho$  un coefficient de sécurité, avec  $\rho < 1$ , on dira qu'un système de commutation est « ATM compatible » si, pour chaque artère interne de ce système, le flux théorique qui traverse cette artère est à chaque instant, inférieur ou égal à  $\rho D$  sachant, par ailleurs, que cette contrainte est assurée pour les artères en entrée et en sortie.

Ce flux théorique ne tient pas compte des trains des cellules dus aux retards pris lors de la traversée des carrefours précédents. Ce flux théorique est la somme des débits crêtes des communications actives autorisées, sur l'artère considérée, à l'instant donné.

Il est facile de concevoir un système de commutation qui respecte cette compatibilité ATM à condition d'y mettre un nombre d'aiguillages suffisant.

En effet, appelons  $a(k)$ ,  $1 \leq k \leq m$ , les  $m$  artères d'entrée et  $b(k)$ ,  $1 \leq k \leq n$ , les  $n$  artères de sortie. Il suffit de mettre  $n$  aiguillages, sur chaque artère d'entrée.

Plus précisément, soit  $p(j,k)$  le  $j$ -ième aiguillage,  $1 \leq j \leq n$ , de l'artère  $k$ ,  $1 \leq k \leq m$ ; il suffit de faire passer l'artère de sortie numérotée  $j$  par tous les aiguillages  $p(j,k)$ ,  $1 \leq k \leq m$  (et ceux-là seulement) pour assurer une commutation ATM compatible. Il faut alors  $m.n$  aiguillages.

Dans la situation évoquée plus haut, à savoir  $m=4$  et  $n=4$ , il faut donc 16 aiguillages au lieu de 8. On note que, en fait, le dernier aiguillage de chaque artère d'entrée est un simple accès à l'artère de sortie : en fait il n'y a donc que  $m(n-1)$  vrais aiguillages : cela fait tout de même 12 aiguillages au lieu de 8 pour notre exemple.

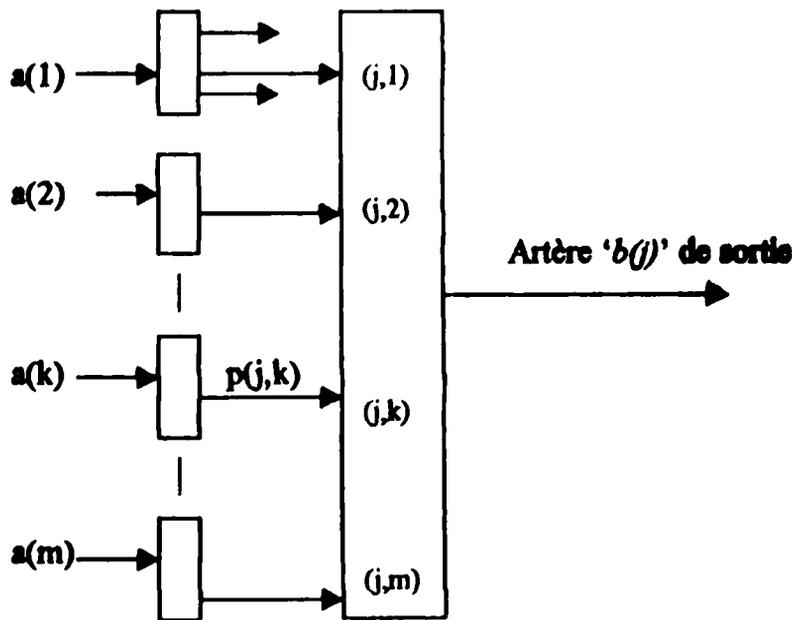


Figure 4.2.3 Commutation sur réseau ATM compatible

### Disponibilité d'un réseau 'ATM compatible' :

Il ne faudrait pas croire qu'un réseau ATM compatible, au sens introduit précédemment, ne peut pas connaître de blocage. En effet, même si, sur chaque artère, interne ou externe, la somme des débits théoriques instantanés est, à chaque instant, inférieur à  $\rho D$ , il peut y avoir des blocages dus à la formation de trains de cellules : ceci provient des retards pris lors de la traversée de carrefours successifs.

### Cas où $m$ et $n$ sont grands :

Tant que  $m$  et  $n$  sont petits, imposer  $m.n$  aiguillages (ou  $m(n-1)$  aiguillages) à l'intérieur du commutateur reste d'un coût raisonnable. Par contre, si  $m$  et  $n$  sont très grands, il peut être intéressant d'améliorer le modèle. Pour ce faire, trois voies sont possibles.

On peut d'abord essayer de construire des variantes de réseaux telles que la probabilité de ne pas respecter la compatibilité ATM soit très faible. L'inconvénient majeur de cette méthode

[13], est de nécessiter des hypothèses sur les types de flux qui emprunteront les réseaux ATM et ces hypothèses seront toujours susceptibles d'être en cause alors qu'il sera difficile de modifier le matériel une fois mis en place.

Une deuxième voie [16], probablement plus réaliste, est de diminuer  $m$  et  $n$  par une meilleure organisation du réseau global. Plus précisément, on peut imaginer que, par exemple, l'ensemble des artères qui vont de Constantine à Alger, soit découpé en sous ensemble disjoints. Comme si les villes de départs ou d'arrivées étaient distinctes. Les commutateurs fonctionneraient alors par sous ensemble : l'un des sous ensemble contiendrait essentiellement les communications qui, allant de Constantine à Alger ; sont destinées vers l'étranger.

Il est clair que le choix des sous ensembles et, notamment, de leur taille est un problème complexe qui dépasse largement le cadre de la présente sensibilisation à ce problème.

Notons, par ailleurs, que même si les liaisons entre les aiguillages sont assurées par des bus distincts les uns des autres, les blocages évoqués précédemment peuvent avoir lieu au niveau des aiguillages : Par contre, et c'est la troisième voie envisageable [17,18], on peut éviter les blocages précités, si les aiguillages ont une vitesse de service deux fois plus rapide que celle des artères en entrée et en sortie.

En fait la technologie actuellement disponible permet d'envisager des aiguillages 8 fois, voire 16 fois, plus rapides que les artères d'entrées et de sorties. En combinant les techniques, on peut, par exemple, multiplexer 64 artères en entrée et 64 artères en sortie avec 64 aiguillages dont chacun a un débit 8 fois plus rapide que chaque artère en ayant un réseau ATM compatible.

#### **4.2.4. Conclusion :**

La commutation par cellules de taille fixe, est la base de l'architecture ATM et constitue l'innovation de cette technique, le dimensionnement des liaisons et des circuits de commutation et leurs architectures, vise en premier lieu à réduire au maximum les retards et les congestions.

Le problème est localisé au niveau des cellules ayant déjà été acceptées sur le multiplex et qui exigent une opération de commutation sur une artère de sortie pour arriver à destination. Trop attendre un traitement ou détruits par manque d'espace mémoire sur les buffers, constituent des handicaps pour les travaux de recherches sur la technologie ATM.

### ***4.3. Analyse des retards dans les réseaux ATM :***

#### ***4.3.1. Choix du modèle :***

Dans les réseaux ATM, le flux des arrivées des cellules en provenance de l'ensemble des communications à faible débit peut être modélisé par un flux poissonnien [47,48,49] : si le nombre de telles communications est de quelques centaines, la pertinence d'une telle modélisation n'est pas contestable, du moins en première approximation.

La plupart des algorithmes mis au point [25,30], s'adaptent immédiatement au cas où on remplace cette hypothèse d'arrivées poissonniennes par une autre loi d'arrivées dans la mesure où il y a indépendance du nombre d'arrivées entre  $t$  et  $t+1$  par rapport aux événements antérieurs à l'instant  $t$ .

Or, dans de très nombreux travaux, on suppose que les arrivées sont du type 0-1, ou géométriques, au sens : entre  $t$  et  $t+1$  il y a arrivée d'une cellule avec la probabilité  $\mu$  ( $0 < \mu < 1$ ) et pas d'arrivée avec la probabilité  $(1-\mu)$ . Les algorithmes mis au point dans [25,30] sont utilisables avec une telle hypothèse et conduisent à des calculs informatiques nettement plus rapides que ceux associés à une loi d'arrivées poissonniennes.

La question c'est donc de savoir si l'hypothèse des arrivées 0-1, est une simplification raisonnable. Il n'y a évidemment pas de réponse universelle à une telle question. Pour faire avancer la réflexion, nous allons étudier, dans deux cas particuliers révélateurs, ce qui se passe si on remplace l'hypothèse poissonnienne en supposant donc implicitement qu'on est dans un cas où

elle est incontestable par l'hypothèse d'arrivées 0-1, et retenir le modèle le plus descriptif des retards sur le multiplex ATM.

### 4.3.2. Processus de base :

#### Processus 1 :

Nous allons commencer par le cas le plus simple des modèles, que nous rappelons brièvement. Ce modèle est un processus markovien  $X$  qui évolue à temps discret et qui est à valeurs entières. Sa loi d'évolution est définie par la relation :

$$X(k+1) = [X(k) - 1]^+ + A(k)$$

où  $y^+ = \sup\{0, y\}$  et  $A(k)$  est une variable aléatoire entière indépendante de  $X(k)$  et de loi fixe.

Ce processus  $X$  modélise les retards pris par les cellules ou encore le nombre de cellules en attente à l'accès à une artère de débit fixe sur laquelle il n'y a pas d'autres cellules, la loi de  $A(k)$  déterminent la loi du flux des arrivées.

L'étude du régime stationnaire de  $X$  dans le cas où  $A(k)$  suit une loi de Poisson de paramètres  $\mu$ . On montre, par exemple que, en régime stationnaire, l'espérance de  $X(k)$  vaut :

$$\beta = \mu + \mu^2 / 2(1 - \mu) \quad (4.2)$$

Considérons maintenant le cas où on suppose que  $A(k)$  suit la loi 0-1 suivante :

$$\text{Proba}[A(k)=1] = \mu \quad \text{et} \quad \text{Proba}[A(k)=0] = 1 - \mu$$

Des calculs élémentaires montrent que, en régime stationnaire, la loi associée de  $X$  est :

$$\text{Proba}[X(k)=1] = \mu \quad \text{et} \quad \text{Proba}[X(k)=0] = 1 - \mu$$

Les algorithmes proposés, montre que la convergence vers ce régime est stationnaire est très rapide : pour les applications aux réseaux ATM, c'est donc évidemment ce régime stationnaire qui joue le rôle le plus important. Or, on vient de noter que la loi stationnaire associée aux arrivées 0-1 est profondément différente de la loi stationnaire associée aux arrivées poissonniennes.

Notamment, dans le cas 0-1, l'espérance de  $X(k)$  tend vers  $\mu$  tandis que le cas poissonnien, cette même espérance tend vers  $\beta$  (défini ci dessus) et  $\beta$  tend vers l'infini quand  $\mu$  tend vers la valeur cruciale 1 alors que la moyenne de la loi des arrivées est la même dans les deux cas.

### *Processus 2 :*

Nous allons maintenant considérer le cas de l'exemple limite [47]. Rappelons d'abord brièvement ce modèle : c'est un processus de markov  $X$ , qui évolue à temps discret et qui est à valeurs entières. Soit  $\eta$  un entier fixé,  $\eta > 1$  : nous allons nous limiter au cas  $\eta=2$ . L'évolution du processus  $X$  est défini comme suit :

Pour  $k$  multiple de  $\eta$  (donc,  $k$  est pair) :  $X(k+1) = A(k) + X(k)$

Pour  $k$  non multiple de  $\eta$  (donc,  $k$  est impair) :  $X(k+1) = A(k) + [X(k) - 1]^+$

Où  $A(k)$  est une variable aléatoire entière indépendante de  $X(k)$  qui suit la loi de Poisson de paramètre  $\mu$ ,  $0 < \mu < 1/2$ . Ce processus modélise le nombre de cellules en attente à l'accès à une artère de débit fixe et soumise à un flux d'arrivées qui est le mélange d'un flux fixe de période  $\eta=2$  et d'un flux poissonnien de paramètre  $\mu$ .

Les études décrivent et montrent, par exemple, que, en régime stationnaire, l'espérance de  $X(k)$  vaut :

$$\beta = \mu / (1 - 2\mu) \quad (4.5)$$

considérons le cas où  $A(k)$  suit la loi 0-1 suivante :

$$\text{Proba}[A(k)=1] = \mu \text{ et } \text{Proba}[A(k)=0] = 1-\mu$$

Nous allons en reprendre l'étude complète en utilisant la démarche proposée dans [16].

On pose :

$$R=X(k\eta), U=X(k\eta+1), V=X(k\eta+2), Y=(U-1)+, A=A(k\eta), B=A(k\eta+1).$$

La loi d'évolution expliquée plus haut donne  $U=R+A$  et  $V=Y+B$ . on pose :

$$r_k = \text{Proba}[R=k] \text{ et de même pour } u_k \text{ et } v_k$$

On a :

$$u_0 = (1-\mu)r_0$$

$$u_j = (1-\mu)r_j + \mu r_{j-1}, \text{ pour } j > 0.$$

$$v_0 = (1-\mu)(u_0 + u_1),$$

$$v_1 = \alpha(u_0 + u_1) + (1-\mu)u_2$$

$$v_j = \mu u_j + (1-\mu)u_{j+1}, \text{ pour } j > 1.$$

En régime stationnaire  $r_j = v_j$

$$r_0 = (1-\mu)r_0 + (1-\mu)^2 r_1,$$

$$r_1 = \mu r_0 + 2\mu (1-\mu)r_1 + (1-\mu)^2 r_2,$$

$$r_j = \mu^2 r_{j-1} + 2\mu (1-\mu)r_j + (1-\mu)^2 r_{j+1}, j > 1.$$

L'étude classique de cette suite définie par récurrence donne :

$$r_0 = (1-2\mu)/(1-\mu)$$

pour  $j > 0$  :

$$r_j = \frac{1-2\mu}{\mu(1-\mu)} \left(\frac{\mu}{1-\mu}\right)^{2j},$$

L'espérance de cette loi géométrique vaut :

$$E(R) = (1-\mu)\mu/(1-2\mu)$$

On remarque donc que si l'on remplace la loi de Poisson de moyenne  $\alpha$  par la loi 0-1 de même moyenne, l'espérance des retards en régime stationnaire passe de

$$\frac{\alpha}{1-2\alpha} \rightarrow (1-\alpha) \frac{\alpha}{1-2\alpha} \quad (4.8)$$

### 4.3.3. Conclusion :

Les retards que prennent les cellules d'une communication dans la traversée d'un réseau ATM, est un problème crucial : si ces retards sont trop élevés, les buffers ne peuvent pas accueillir toutes les cellules en attente et une partie de celles-ci sont perdues, ou du moins l'apparition de congestion.

Les modèles proposés à travers les références bibliographiques, donnent les lois du nombre de cellules en attente aux divers carrefours et donc la loi du nombre de cellules détruites ainsi que la probabilité d'apparition de congestion, sont en fonction de la taille des buffers.

Dans le seul but de ne pas encombrer le fascicule, on s'est limité à rappeler les modèles utilisés. De plus amples détails sont cités dans les références bibliographiques : [16,17,18] ainsi que [46,47,48,49], sur lesquels on s'est basé.

Il n'est pas possible de résumer ces travaux en quelques lignes. Nous avons simplement attiré l'attention sur deux points. D'une part, on n'utilise jamais le fait que les arrivées à un système de commutation au cœur du réseau sont poissonniennes ou géométriques car de telles hypothèses semblent tout à fait irréalistes sur un réseau ATM.

D'autre part, on a commencé par étudier le système comme s'il n'y avait pas de blocage : ceci est pénalisant puisque certaines cellules qui seraient détruites dans la réalité ne le sont pas dans certains modèles théoriques. Toutefois, cette pénalisation est extrêmement légère et donc refuser cette simplification du modèle est une complication théorique inutile. L'excès de cellules, crée des congestions, un handicap pour les communications interactives et temps réel.

#### 4.4. Contrôle de la congestion sur les réseaux ATM :

La commutation ATM, et malgré toute l'innovation qu'elle met en application, crée des nouveaux obstacles, outre les problèmes de compatibilité et des retards sur les réseaux ATM, la congestion, demeure un obstacle, provoqué par des blocages au niveau des nœuds UNI et NNI des réseaux ATM. Dûs essentiellement à des surcharges sur les accès aux multiplex, l'approximation de ce phénomène fait également appel aux processus basés sur les files d'attente.

La caractérisation statistique du multiplexage sur une liaison ATM, et les paramètres de qualité de service introduits pour la modélisation de la congestion, sont essentiellement : la durée de la congestion, la capacité de transmission de la ligne et le nombre des cellules qui arrivent pendant la durée de congestion.

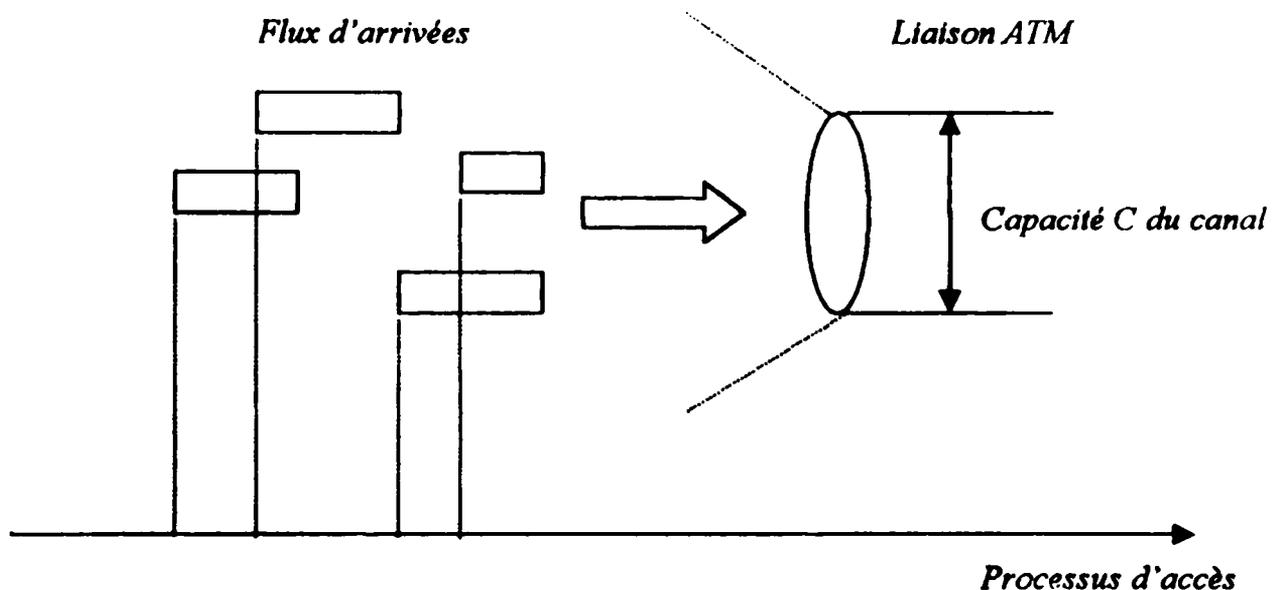


Figure 4.4 : Accès à un multiplex

contrôlé circule de la source vers la destination, et le feed-back circule en sens inverse. Une seconde caractéristique importante de l'algorithme est qu'il ignore complètement tout ce qui se passe à l'intérieur du réseau et ne repose que sur l'échange d'information entre la source et la destination. L'algorithme est supposé donc être totalement indépendant de l'information en circulation à travers le nœud du réseau, seul le trafic émis au niveau de la source est soumis au contrôle de ARB.

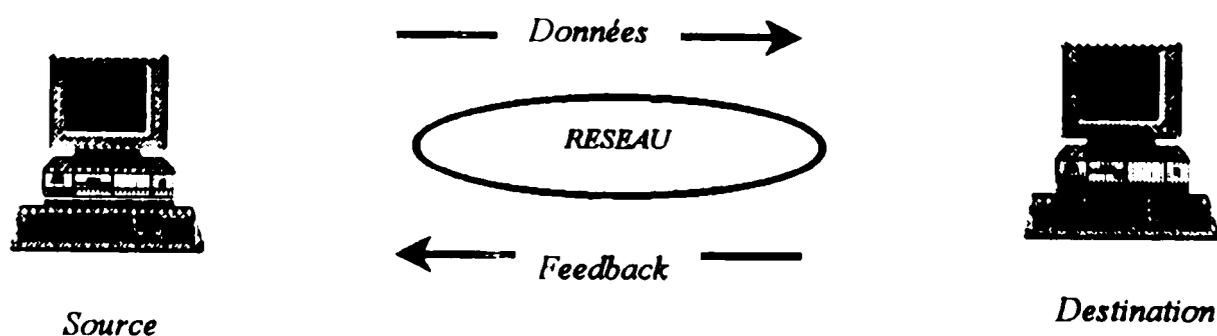


Figure 4.4.2.a : Contrôle en 'Feed-back'

L'algorithme repose sur un échange périodique d'information entre la source et la destination. La source émet un paquet de requêtes toutes les  $M$  unités (par exemple  $M=150\text{ms}$ ), la période  $M$  étant connue aussi par la destination. Emettre une requête consiste simplement à marquer un paquet de données de manière spéciale, pour qu'il soit reconnu par la destination comme étant une requête. Nous appelons intervalle de mesure le temps qui sépare deux paquets consécutifs, soit émis au niveau de la source, soit reçus au niveau de la destination. Dès que la destination reçoit une requête, elle envoie en retour un paquet d'information sur le dernier intervalle de mesure. A la réception de ce paquet de réponse, la source adapte en conséquence le trafic soumis au réseau. Ce mécanisme est illustré par la figure 4.4.2.b.

Le contrôle au niveau de la source porte sur la variable  $R_s(n)$ , qui est le taux maximum d'émission autorisé par l'algorithme dans l'intervalle  $n$ , entre l'émission de la  $n$ -ième et de la  $(n+1)$ -ième requête. Nous supposons que la source est saturée ( pratiquement, il y a toujours des données à transmettre), et  $R(n)$  est dans ce cas simplement le taux émis par la source durant tout l'intervalle  $n$ .

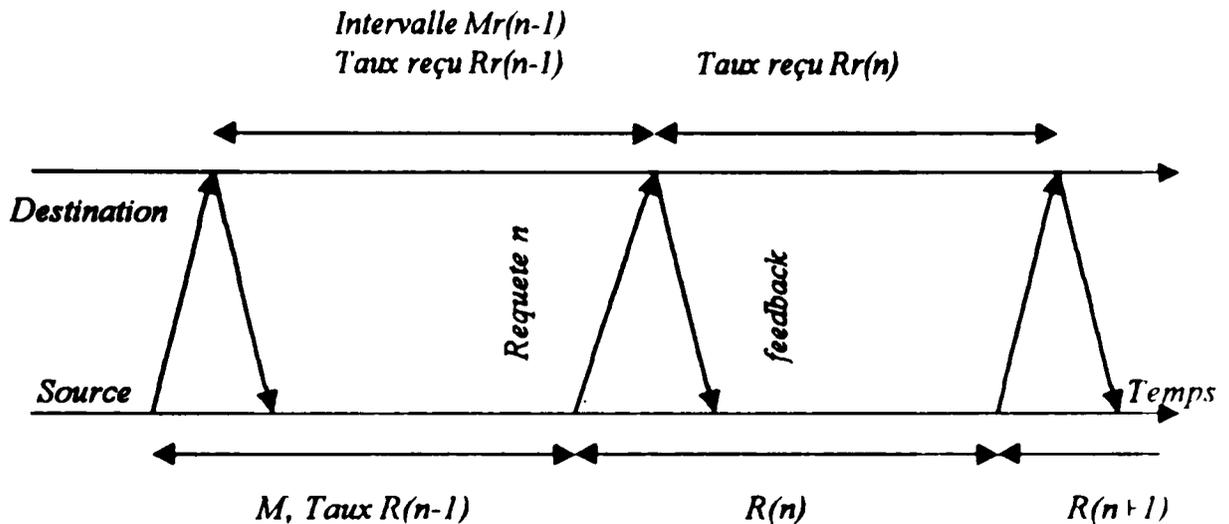


Figure 4.4.2.b : Algorithme source destination

Le  $n$ -ième paquet de feedback, en réponse à la  $n$ -ième requête, contient les informations sur le  $(n-1)$ -ième intervalle de mesure, mais ne peut être pris en compte par la source que pour l'intervalle  $(n+1)$ . Le taux d'émission  $R_s(n+1)$  est donc défini en fonction des mesures de l'intervalle  $(n-1)$ .

### Phases du contrôle :

Le contrôle du taux  $R_s(n)$  se fait suivant un algorithme distribué entre la source et la destination.

Le rôle principal de l'algorithme de destination est de calculer une estimation du délai d'attente subi par un paquet de requête dans le réseau. Notons  $d_t(n)$  le délai total du  $n$ -ième paquet de requête de la source jusqu'à la destination. Nous supposons que  $d_t(n)$  est la somme d'un délai de propagation fixe  $d_p(n)$  et d'un délai d'attente  $d_q(n)$  dans les buffers du réseau qui varie selon l'encombrement :  $d_t(n) = d_p + d_q(n)$ . Soit  $M_r(n-1)$  l'intervalle de temps au niveau de la destination qui sépare la réception du  $(n-1)$ -ième et du  $n$ -ième paquet de requête. L'intervalle de temps qui sépare l'émission de ces deux paquets par la source est égal à  $M$ , on a donc

$$d_q(n-1) + M_r(n-1) = M + d_r(n)$$

ce qui entraîne, en notant  $\Delta T(n-1) = M_r(n-1) - M$  la différence des intervalles de temps entre source et destination :

$$d_q(n) = d_q(n-1) + \Delta T(n-1)$$

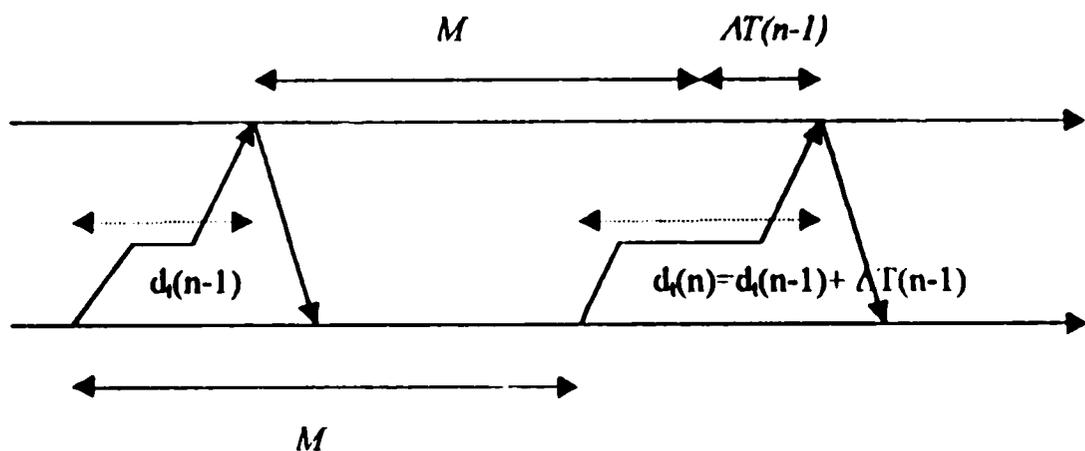


Figure 4.4.2.c : Mesures de variations de délais

L'équation précédente donne le moyen de calculer une valeur estimée  $d_r(n)$  du délai  $d_q(n)$  en mesurant les intervalles de temps  $M_r(n-1)$ . Avec une valeur initiale  $d_r(0) = 0$ , on pose :

$$d_r(n) = d_r(n-1) + \Delta T(n-1)$$

la valeur estimée  $d_r(n)$  est alors égale à  $d_q(n)$  à une constante d'erreur près, car les deux suivent les mêmes variations. Un autre paramètre calculé par la destination est le taux moyen  $R_r(n-1)$  de réception des données sur l'intervalle  $M_r(n-1)$ . L'algorithme effectué par la destination à la réception du  $n$ -ième paquet de requête est le suivant :

*Calculer le taux moyen reçu  $R_r(n-1)$  depuis la précédente requête.*

*Mesurer la variation de délai  $\Delta T(n-1) = M_r(n-1) - M$*

*Calculer la valeur estimée  $d_r(n) := d_r(n-1) + \Delta T(n-1)$*

*Si  $d_r(n) < 0$ , réinitialiser  $d_r(n) := 0$ .*

*Envoyer un paquet de feed-back contenant l'information :  $d_r(n)$ ,  $R_r(n-1)$ .*

L'algorithme de la source est exécuté au début de chaque intervalle de mesure, au moment d'envoyer un nouveau paquet de requête. On définit deux modes de fonctionnement T1 et T2, selon que le réseau semble être chargé ou non. Le mode T1 est le mode normal d'utilisation, lorsque le réseau est en bonne condition et que le délai estimé  $d_e(n)$  ne dépasse pas un certain seuil de tolérance  $T_q$  (« *threshold on queueing delay* ), avec  $0 < T_q < M$ . si la valeur  $d_e(n)$  est stable ou diminue, la source est alors autorisée à augmenter le taux d'émission  $R_s(n)$  d'une valeur  $R_{inc}$ . Lorsque  $d_e(n)$  dépasse le seuil  $T_q$ , le mode devient T2 et le taux d'émission autorisé  $R_s(n)$  est réduit, la nouvelle valeur  $R_s(n+1)$  étant le minimum de  $\theta R_s(n)$  et  $\theta R_s(n-1)$ , avec un paramètre  $\theta < 1$ .

Si le paquet de feed-back n'est pas encore reçu au moment d'effectuer ces opérations, et donc si le taux  $R_s(n-1)$  n'est pas connu, des mesures plus sévères sont prises pour réduire le taux  $R_s(n)$ . Nous supposons dans la suite que cette situation ne se produit pas. L'algorithme exécuté au moment de l'émission du paquet de requête  $n+1$  est le suivant :

*Si  $d_e(n) \leq d_e(n-1)$  et le mode est T1, alors  $R_s(n+1) = R_s(n) + R_{inc}$ ,  
et le mode reste T1. Dans ce cas on a  $d_e(n-1) < T_q$  car  
le mode de l'intervalle précédent est T1, et donc  $d_e(n) < T_q$   
Si  $d_e(n) > T_q$ , ou si le  $n$ -ième paquet de feed-back n'a pas été reçu,  
alors,  $mode := T2$  et  $R_s(n+1) = \theta \min\{R_s(n); R_s(n-1)\}$ .  
Dans tous les autres cas,  $R_s(n+1) := R_s(n)$  et le mode = T1.*

### ***Modélisation par une chaîne de Markov:***

Sous le contrôle de l'algorithme ARB, on considère un modèle simple de connexion, illustré par la figure 4.4.2.d. Comme mentionné, il n'existe en général qu'un seul point de congestion pour une connexion donnée, et les ressources disponibles en ce point déterminent les performances sur la connexion tout entière. Nous représentons un seul nœud intermédiaire, qui correspond au point de congestion sur cette connexion.

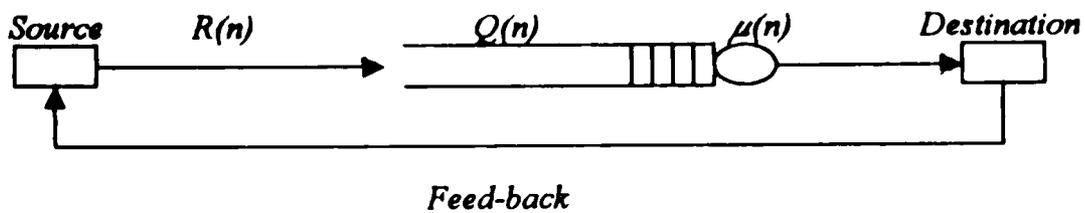


Figure 4.4.2.d : Connexion avec un point d'étranglement

Soit  $\mu(n)$  le taux de service disponible au nœud intermédiaire pendant le n-ième intervalle de mesure. Nous supposons que  $\mu(n)$  est constant durant tout cet intervalle, entre l'arrivée dans la file d'attente des paquets de requête  $n$  et  $n+1$ , mais peut varier d'un intervalle au suivant : la bande passante disponible pour la connexion considéré varie en fonction des autres connexions qui passent par ce nœud. Nous représentons les variations de  $\mu(n)$  par une marche aléatoire dans un intervalle  $[\mu_m, \mu_M]$ .

Nous faisons l'hypothèse que la valeur estimée  $d_s(n)$  du délai d'attente  $d_q(n)$  du n-ième paquet de requête est exacte, et nous posons  $d(n) = d_s(n) = d_q(n)$ . Soit  $Q(n)$  la longueur de la file d'attente au moment où le n-ième paquet de requête  $y$  est admis, on a donc :

$$d(n) = Q(n) / \mu(n)$$

Il va de soit, que les valeurs de  $R_s(n)$ ,  $\mu(n)$  et  $Q(n)$  sont à valeurs dans  $\mathbb{N}$ . on peut compter par exemple  $R_s(n)$  et  $\mu(n)$  en nombres entiers de cellules/s et  $Q(n)$  en nombre de cellules. L'évolution du système décrite ci-dessous, avec le calcul de  $R_s(n+1)$ ,  $\mu(n+1)$  et  $Q(n+1)$  en fonction du passé du système jusqu'au temps  $n$ , découle simplement de la définition de l'algorithme ARB donnée plus haut, avec l'hypothèse que le paquet de feed-back  $n$  est bien reçu par la source avant le début de l'intervalle  $n+1$ .

1)  $R_s(n+1)$  se calcule en fonction de  $R_s(n-1)$ ,  $R_s(n)$ ,  $d(n-1)$ ,  $d(n)$ , et  $Op(n)$  étant le mode d'opération, égal à T1 ou T2, de la manière suivante : le taux moyen reçu  $R_s(n-1)$  a pour expression :

$$R_r(n-1) = \frac{MR_r(n-1)}{M + d(n) - d(n-1)}$$

Le nouveau taux d'émission  $R_r(n+1)$  est alors donné par :

Si  $d(n) > Tq$ , alors  $R_r(n+1) = \theta \min\{R_r(n-1), R_r(n)\}$ .

Si  $d(n) \leq d(n-1)$ , et  $Op(n) = T1$ , alors  $R_r(n+1) = R_r(n) + Rinc$ .

Dans les autres cas,  $R_r(n+1) = R_r(n)$ .

2) Si  $d(n) > Tq$ , alors  $Op(n+1) = T2$ , sinon,  $Op(n+1) = T1$ .

3) Nous calculons enfin  $Q(n+1)$  en fonction de  $Q(n)$ ,  $R_r(n)$ , et  $\mu(n)$ . lors du  $n$ -ième intervalle, les données arrivent dans la file d'attente avec le taux  $R_r(n)$ , et le taux de service est égal à  $\mu(n)$ , pendant une durée égale à  $M$ . L'évolution de la longueur de la file d'attente est donc simplement donnée par :

$$Q(n+1) = \text{Sup}\{[Q(n) + M(R_r(n) - \mu(n))]\}$$

On voit que le processus défini par les grandeurs :  $\{Q(n-1), Q(n), R_r(n-1), R_s(n), \mu(n-1), \mu(n), Op(n)\}$  est une chaîne de Markov sur un espace d'états inclus dans  $N^6$  sur deux modes  $\{T1 ; T2\}$  opérationnels. Une propriété remarquable de la chaîne de Markov ainsi définie est que les variables  $R_r(n)$  et  $Q(n)$  sont bornées [47,48]: il existe donc une valeur maximum finie du taux d'émission autorisé par l'algorithme, ainsi qu'une longueur maximum finie de la file d'attente. L'état initial de ce processus est tel que  $Q(n)=0$  et  $R_r(n)=0$  pour  $n=0$ . L'étude du comportement du processus est détaillée dans [47,48], où il est montré la convergence du système vers un régime stationnaire.

#### ***4.4.3. Présentation de l'algorithme d'origine :***

L'algorithme que nous venons de définir n'est pas rigoureusement l'algorithme ARB original tel qu'il est présent, dans [23,24,25,28]. Nous n'en avons conservé que les grandes lignes, et avons apporté quelques modifications pour simplifier l'analyse de performances et faire

le rapprochement aux réseaux ATM. Nous faisons ici quelques remarques sur l'algorithme ARB original en mentionnant les modifications apportées.

L'algorithme ARB tire son nom de "*Adaptive Rate-Based*" du fait que le contrôle porte principalement sur le taux d'émission de la source  $R_s(n)$ , et que ce contrôle s'effectue en fonction du taux moyen  $R_r(n)$  mesuré, à la destination. Le taux moyen reçu  $R_r(n)$  peut être la bande passante disponible pour la connexion au point d'étranglement du réseau, mais peut être aussi le taux maximum avec lequel l'application à l'arrivée est capable de traiter les données reçues. L'algorithme prend ainsi en compte non seulement l'état du réseau, mais aussi la capacité, de réception des données par l'application de destination. L'objectif est d'atteindre un taux d'émission  $R_s(n)$  qui soit le plus proche possible du taux  $R_r(n)$  maximum, sans surcharger ni le réseau ni l'application à l'arrivée. Toutefois, on ne peut pas se baser uniquement sur un mécanisme de comparaison de taux: si  $R_r(n)$  est le seul paramètre de feed-back, il peut se produire une augmentation de délai progressive et non détectée qui conduit à la congestion. Dans un modèle de contrôle de flux similaire [23 et 25] ont ainsi montré qu'un algorithme qui se borne à comparer le taux émis et le taux reçu entraîne l'instabilité du système. Ce mécanisme d'adaptation de taux doit donc être complété par un contrôle sur les délais de transmission.

Dans notre modèle de l'algorithme ARB modifié, nous avons considéré que la détection de signes de congestion repose uniquement sur l'estimation  $d_r(n)$  de délais de transmission, en fonction d'un seuil de tolérance  $T_q$ . Ce mécanisme d'estimation de délais est complété dans l'algorithme initial par la comparaison de  $R_r(n)$  avec le taux moyen émis par la source pendant le même intervalle de mesure. Si le taux reçu  $R_r(n)$  est sensiblement inférieur au taux moyen émis  $R_s(n)$ , le taux d'émission maximum  $R_s(n)$  est réduit. Or, s'il n'y a pas de perte de paquets sur la connexion, il est facile de voir qu'une comparaison de taux moyens émis et reçus entre deux paquets de contrôle est équivalente à une comparaison des délais de transmission de ces paquets: un seuil de tolérance sur la différence entre  $R_r(n)$  et  $R_s(n)$  correspond à un seuil de tolérance sur la différence  $T(n)$  de délais.

L'objectif de l'algorithme ARB est d'empêcher les réseaux d'atteindre un état de congestions. Si malgré tout la congestion se produit, un mécanisme de "time-out" est prévu pour réagir: si le paquet de feed-back n'est pas reçu par la source au bout d'un certain temps  $T_{out}$ , le taux  $R_s(n)$  est divisé par 2. Dans les études de simulation menées dans [23 et 25] pour les conditions normales d'utilisation de l'algorithme, on observe que le délai de retour ne dépasse jamais  $T_{out}$ , et le mécanisme de *time-out* n'intervient donc pas. Pour cette raison, nous ne considérons pas de mécanisme de *time-out* dans notre modèle. D'autre part, dans la version originale de ARB, l'ajustement du taux  $R_s(n)$  en fonction des informations du paquet de feed-back se fait dès que ce paquet est reçu par la source. Nous avons supposé au contraire que le changement de  $R_s(n)$  est effectué au début de l'intervalle de temps.

#### 4.4.4. Exemples numériques :

Nous présentons pour conclure quelques résultats de simulation qui illustrent le comportement de la chaîne définie précédemment. Les paramètres du modèle sont les suivants:  $M=150\text{ms}$ ,  $T_q=20\text{ms}$ ,  $R_{inc}=35\text{cellules/s}$ ,  $\mu_m=230.10^3\text{cellules/s}$ ,  $\mu_M=240.10^3\text{cellules/s}$ . La durée de simulation est égale à  $T=30\text{s}$ .

Nous considérons les valeurs suivants pour  $\theta$ :  $\theta=0.5$ ,  $\theta=0.8$ , et  $\theta=0.9$ . Dans chaque cas, nous calculons la longueur  $Q(n)$  de file d'attente, comparée au seuil de tolérance  $\mu(n)T_q$  correspondant au délai  $T_q$ , et le taux  $R_s(n)$  comparé à la bande passante  $\mu(n)$ .

On remarque sur les courbes de  $Q(n)$  que le délai  $d(n)$  oscille constamment entre 0 et  $T_q$ , avec des pics qui sont de l'ordre de grandeur de  $T_q$ . L'algorithme réagit donc manière à satisfaisante l'augmentation de délai et empêche  $d(n)$  de devenir trop grand, mais présente un problème d'oscillation, avec des variations rapides et répétées de  $d(n)$ .

Sur les courbes comparées de  $R_s(n)$  et  $\mu(n)$ , on observe le mécanisme d'adaptation de taux ("*bandwidth tracking*") fonctionne correctement:  $R_s(n)$  suit  $\mu(n)$  de relativement près, et cette adaptation est meilleure, dans ce modèle, pour un paramètre  $\theta$  proche de 1.

#### 4.4.5. Conclusion :

Le calcul des meilleurs paramètres  $\theta$  et  $R_{inc}$  pour un modèle donné est un problème difficile. D'une manière générale pour ce type d'algorithme de contrôle de flux, il existe un compromis entre adaptabilité rapide face à des changements d'état du réseau, et stabilité du comportement stationnaire. Si l'on désire l'adaptabilité, rapide de l'algorithme, le taux  $R_s(n)$  doit pouvoir varier rapidement pour que la source puisse s'adapter au plus vite aux conditions du réseau, et on doit donc avoir un taux de décroissance  $\theta$  assez petit pour que  $R_s(n)$  soit fortement réduit si nécessaire, et une valeur  $R_{inc}$  assez grande pour que  $R_s(n)$  augmente rapidement pour utiliser la bande passante disponible. Mais avec  $\theta$  petit et  $R_{inc}$  grand, on peut avoir de brusques variations de  $R_s(n)$  qui produisent des oscillations importantes de  $Q(n)$ . Inversement, si l'on désire un comportement stationnaire le plus régulier possible, par exemple dans le cas où  $\mu(n)$  varie peu, le taux  $R_s(n)$  lui aussi doit varier peu pour éviter les brusques oscillations, et il faut alors choisir une valeur de  $\theta$  proche de 1 et un paramètre  $R_{inc}$  petit. On peut aborder ce problème de compromis par optimisation des paramètres, ou par une adaptation dynamique du contrôle comme celle proposée dans [50,51,52].

On peut ainsi poursuivre l'étude de l'algorithme ARB par la recherche des paramètres optimaux pour un modèle donné. D'autres extensions envisageables sont les modèles avec plusieurs connexions multiplexées dans un même canal et contrôlées chacune par ARB, ou encore plusieurs points de congestion possible entre source et destination. Toutefois, l'analyse de tels systèmes devient très complexe et n'a pas été abordée dans la bibliographie disponible.

La congestion est un point paralysant de l'ATM. On a proposé à travers ce paragraphe une approche algorithmique pour un contrôle de flux. Cet algorithme se base sur des conclusions de thèses de recherches. Il fait appel à une technique très simple de contrôle, mais qui a pu donner de très bons résultats sur d'autres réseaux. L'approche aux réseaux ATM, est réalisé par des hypothèses. L'originalité du travail, est cette modification ou adaptation, en partant du principe qu'un système de commutation par paquets mal conçu, crée des retards dans l'écoulement des

données, très paralysant pour les communications interactives et temps réel, et qui provoque également des surcharges au niveau des nœuds d'accès.

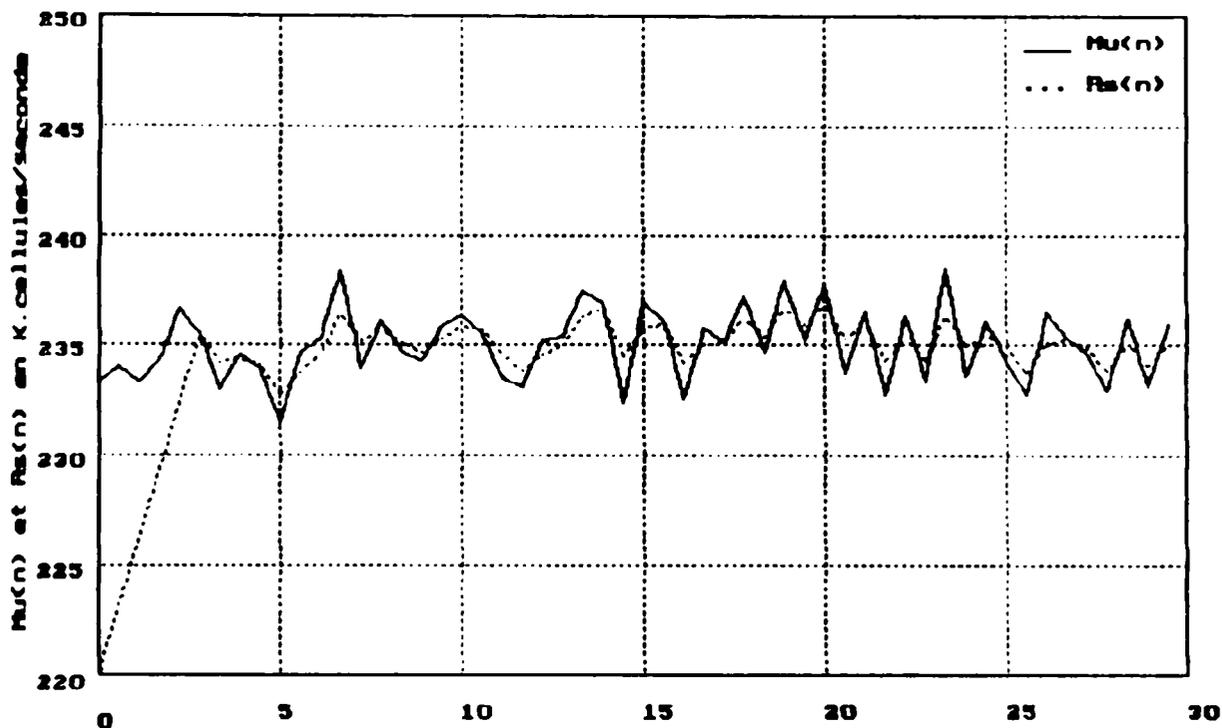
#### ***4.5. Conclusion :***

l'évaluation des réseaux de transmission est en général, basée sur les processus de Markov et les files d'attente, et que seules des mesures statistiques dans des conditions optimales peuvent donner une idée sur l'ordre des grandeurs des paramètres à évaluer.

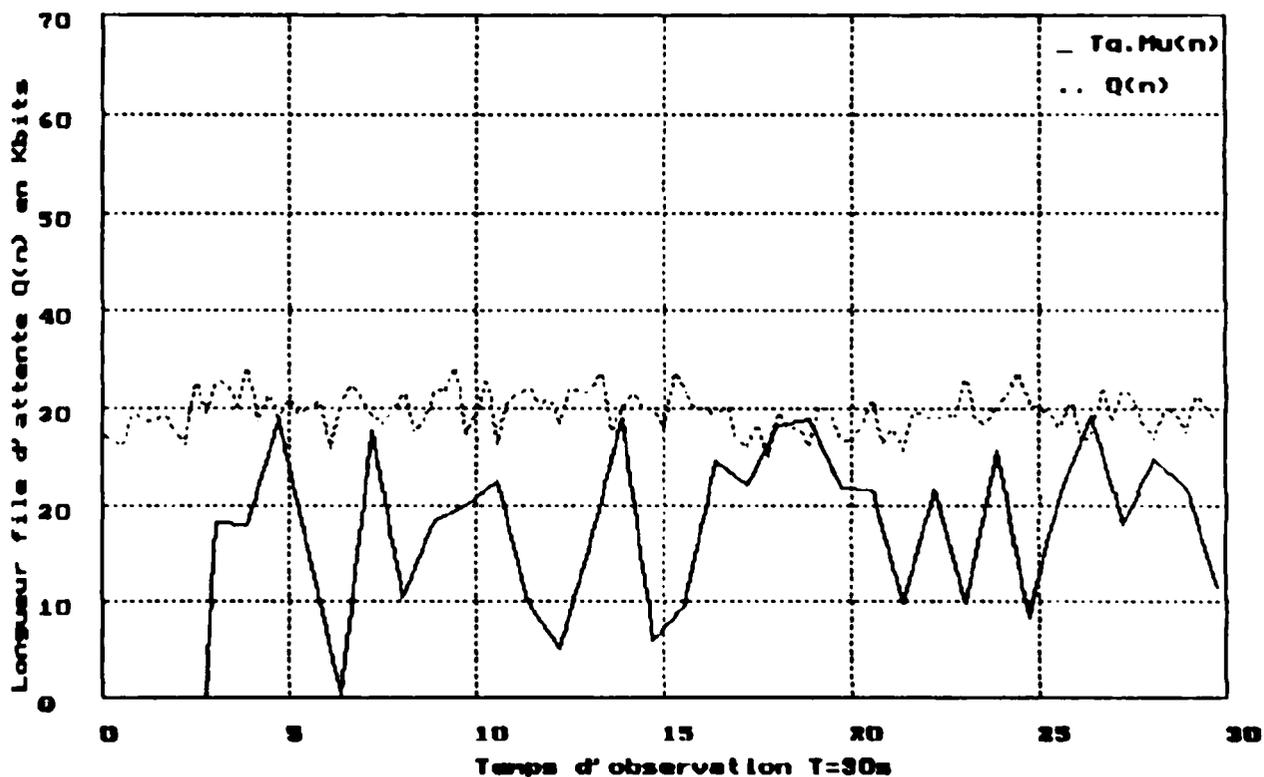
Il est donc important de comprendre l'intérêt de disposer d'une écriture explicite des valeurs des probabilités qui régissent ces phénomènes de blocage, tels que les retards, les surcharges, les congestions, etc.

L'étude des systèmes de commutation et des phénomènes de retards, ainsi que le contrôle de la congestion, objets de ce chapitre, est loin d'être simple, et fait l'axe d'orientation de plusieurs sujets de recherches [13,27,30,44,45,46]. Il faut donc comprendre que ces recherches permettent en particulier de minimiser les probabilités de pertes de cellules dans un commutateur ATM.

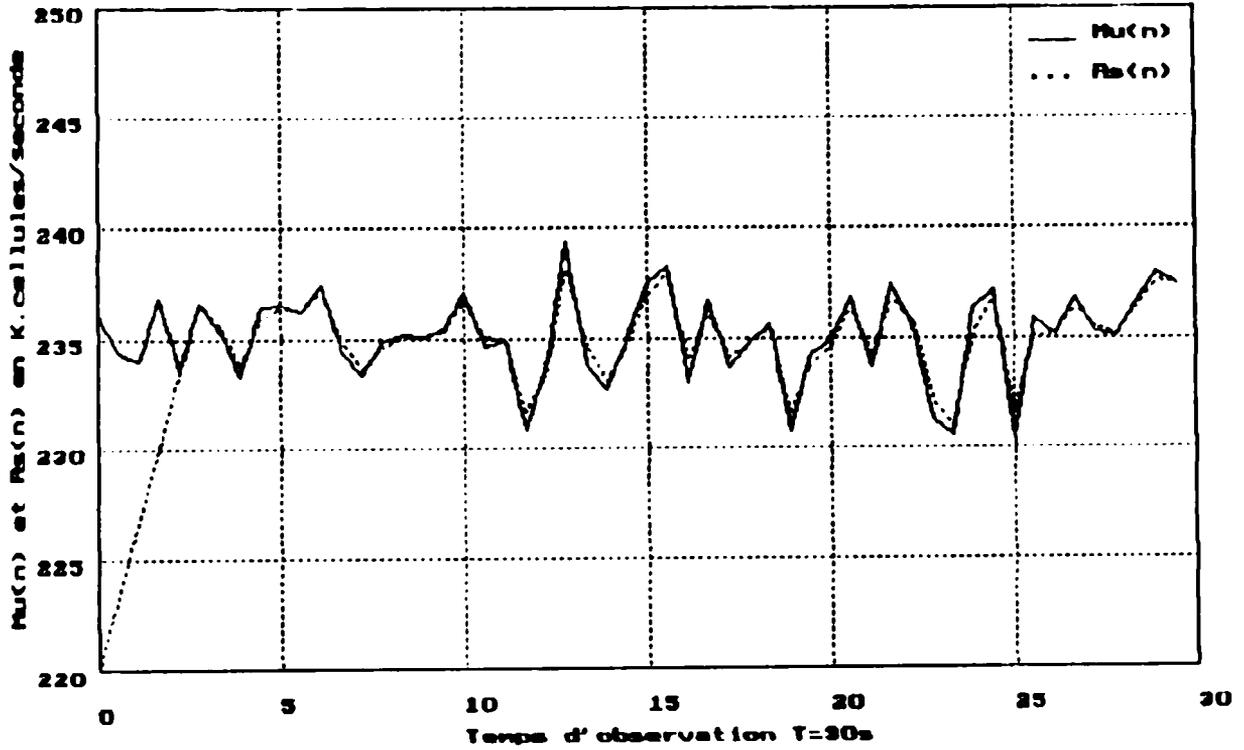
Contrôle de la congestion rapport= 0.5



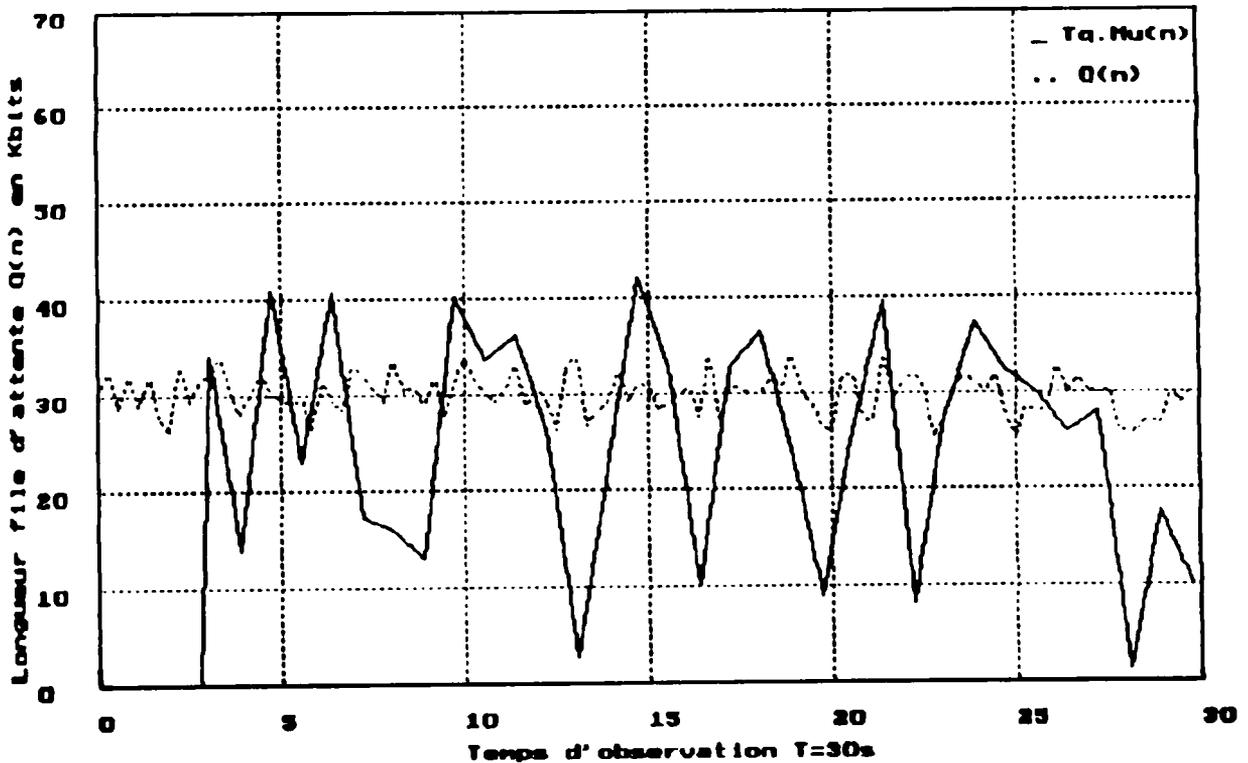
Comparaison: file d'attente et  $T_a \cdot \mu(n)$  pour un rapport= 0.5



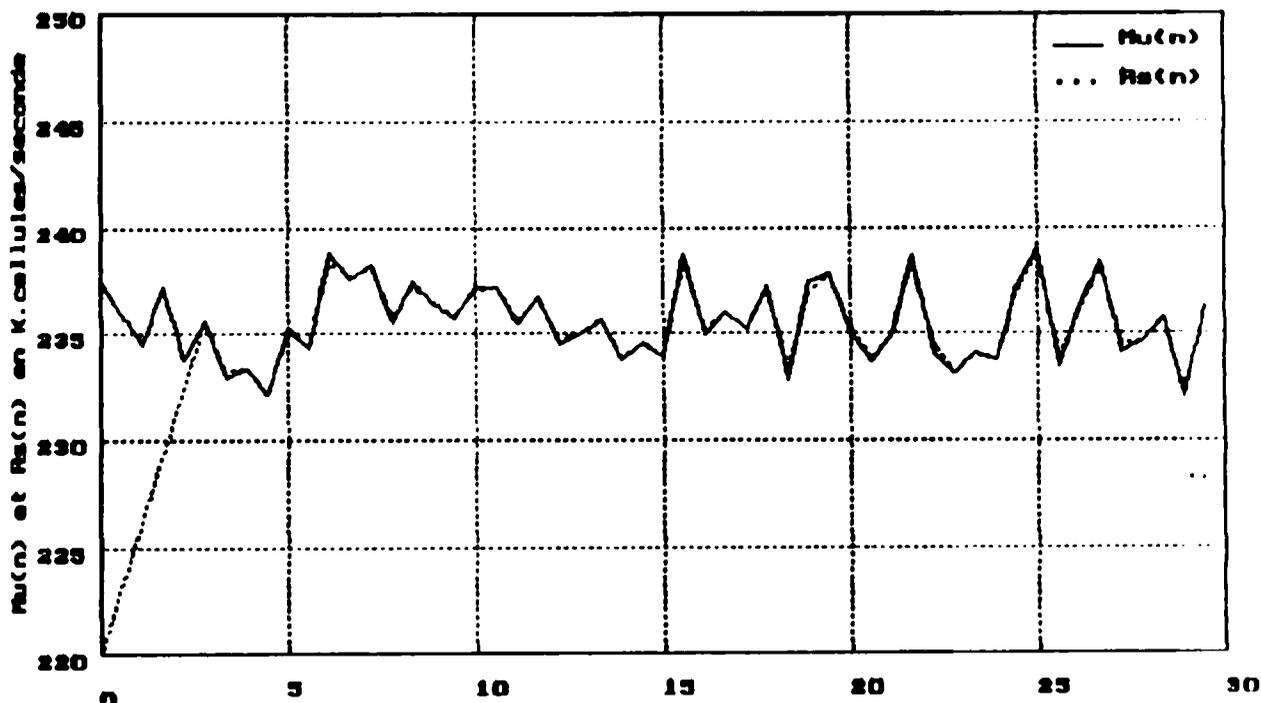
Controlé de la congestion rapport= 0.8



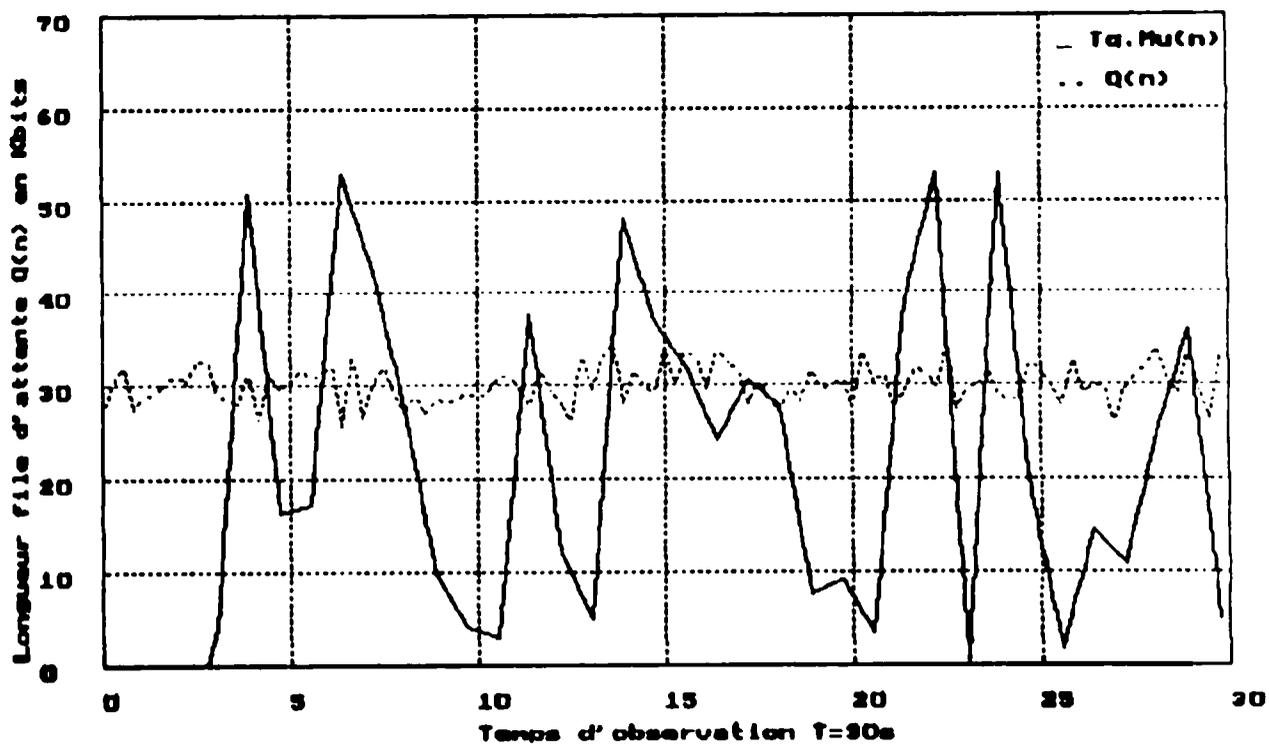
Comparaison: file d'attente et  $T_q \cdot \mu(n)$  pour un rapport= 0.8



Contrôle de la congestion rapport= 0.9



Comparaison: file d'attente et  $T_q \cdot \mu(n)$  pour un rapport= 0.9



## CHAPITRE 5:

### Réseaux haut débit et applications ATM

#### 5.1. Introduction:

Les réseaux de transmission ont connu une évolution rapide durant la décennie précédente. Les avancées ont porté sur plusieurs domaines de la technologie et ont abouti au développement des réseaux à haut débit ayant des vitesses de transmission pouvant dépasser les 100 Mbit/s tels que: FDDI, DQDB, et le RNIS large bande (B-ISDN).

Ces débits sont atteints à travers des réseaux qui font appel à des techniques de commutation très évoluées telle que l'ATM.

#### 5.2. F.D.D.I:

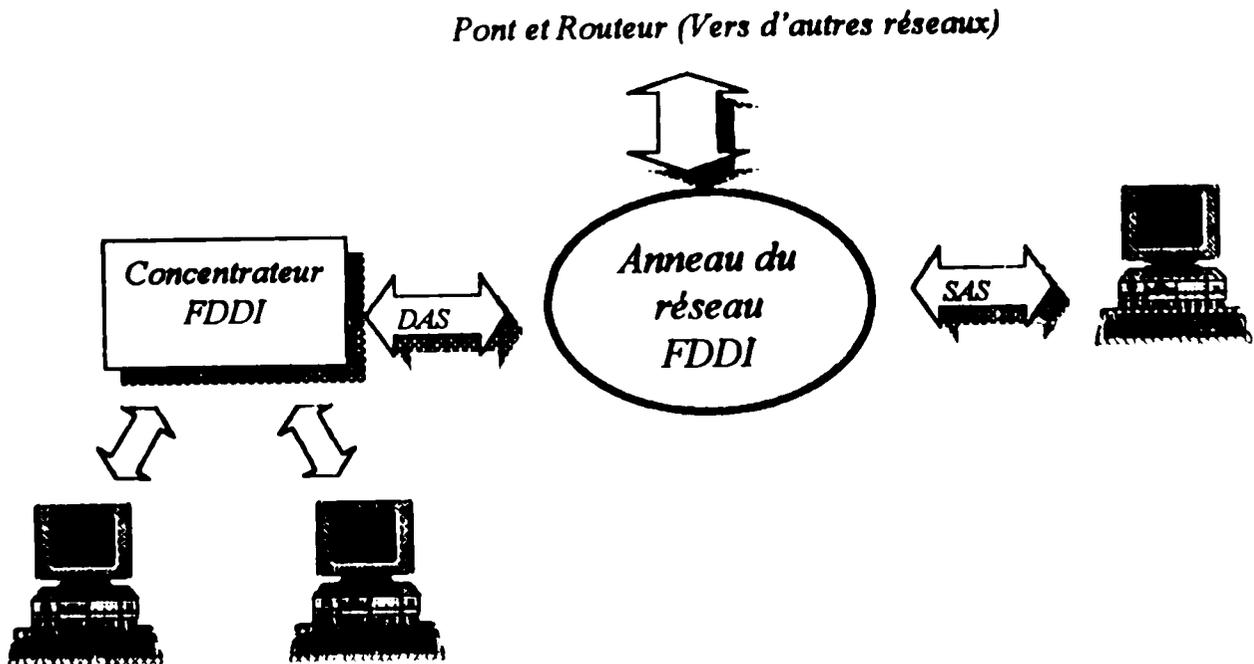


Figure 5.2. Configuration d'un FDDI

---

F.D.D.I (*Fiber Distributed Data Interface*) est un réseau local utilisant les fibres optiques comme support de transmission et fonctionnant à un débit de 100 Mbit/s. F.D.D.I est un anneau à jeton reconfigurable pouvant avoir un diamètre maximal de 100 kilomètres et supporter jusqu'à 500 stations [1,2,3].

F.D.D.I utilise un protocole de jeton (*Timed Token Rotation Protocol*) pour fournir deux classes de priorités pour un service de commutation de paquets: le trafic synchrone ayant un temps de réponse borné et le trafic asynchrone utilisant la bande passante résiduelle et par suite n'ayant pas de garantie sur le temps de réponse. Deux types de trafic asynchrone sont définis: en mode restreint et non restreint. Le mode restreint (à l'opposé d'un mode non restreint) permet l'utilisation de la bande passante disponible pour le trafic asynchrone par quelques stations privilégiées possédant le jeton "restreint" afin de permettre des "dialogues" entre ces stations.

F.D.D.I a été conçu initialement pour l'interconnexion de super-calculateurs. Pourtant, le champ d'applications de F.D.D.I s'est rapidement élargi et inclut actuellement l'utilisation pour réseaux locaux ou en réseaux de stations de travail haute performance.

F.D.D.I II est une version "améliorée" de F.D.D.I ajoutant une troisième classe de service: le trafic isochrone pour lequel un délai de transmission fixe est assuré. La bande passante de F.D.D.I II peut donc être partagée en 16 canaux (*Wide Band Channels*) pour fournir un service de commutation de circuits avec une capacité de 6.144 Mbit/s chacun. [34].

Afin de supporter les deux modes de commutation (de paquets et de circuits) une structure de commutation hybride est utilisée: une trame de taille fixe est générée toutes les 125  $\mu$ s par une station maître. Dans la trame, des slots (WBC) sont réservés au trafic isochrone, l'accès au reste de la bande passante étant contrôlé par le protocole de jeton temporisé. En intégrant ces deux modes de transmission F.D.D.I II peut supporter la transmission de données multimédias.

F.D.D.I (I et II) est une bonne solution pour un réseau local 100 Mbit/s. Cependant, l'efficacité d'un anneau à jeton diminue avec la vitesse de transmission et avec la taille du réseau. Ceci est dû à l'augmentation du temps de transit du jeton entre les stations, temps pendant lequel

aucune station ne peut émettre. Ces limitations deviennent importantes avec des vitesses de l'ordre du Gbps. Des analyses [23,24,25] montrent que pour un débit d'un Gbps, l'utilisation maximale est de l'ordre de 1/2 de la capacité au niveau physique pour un anneau de 50 stations ayant un diamètre de 100 Km et des paquets de 1 Koctets. Il faudra donc chercher des solutions autres que F.D.D.I pour des débits supérieurs à 100Mb/s. Par ailleurs, le retard de F.D.D.I II par rapport à F.D.D.I et l'incompatibilité avec F.D.D.I limitent sérieusement le déploiement de cette deuxième version.

### 5.3. DQDB:

DQDB (*Distributed Queue Dual Bus*) utilise deux bus unidirectionnels A et B, (figure 5.3). Chaque station peut communiquer avec les autres stations en envoyant l'information sur l'un des deux bus selon la situation de la destination. Cette solution est préférable à l'anneau quand la distance entre les stations est grande parce qu'elle permet d'éviter les délais de circulation du jeton entre les stations. La transmission sur les bus est discrétisée: des slots de taille fixe (53 octets) sont générés par les stations terminales sur les deux bus. Les paquets à transmettre ont généralement une taille beaucoup plus grande et seront segmentés et transmis sur plusieurs slots [37].

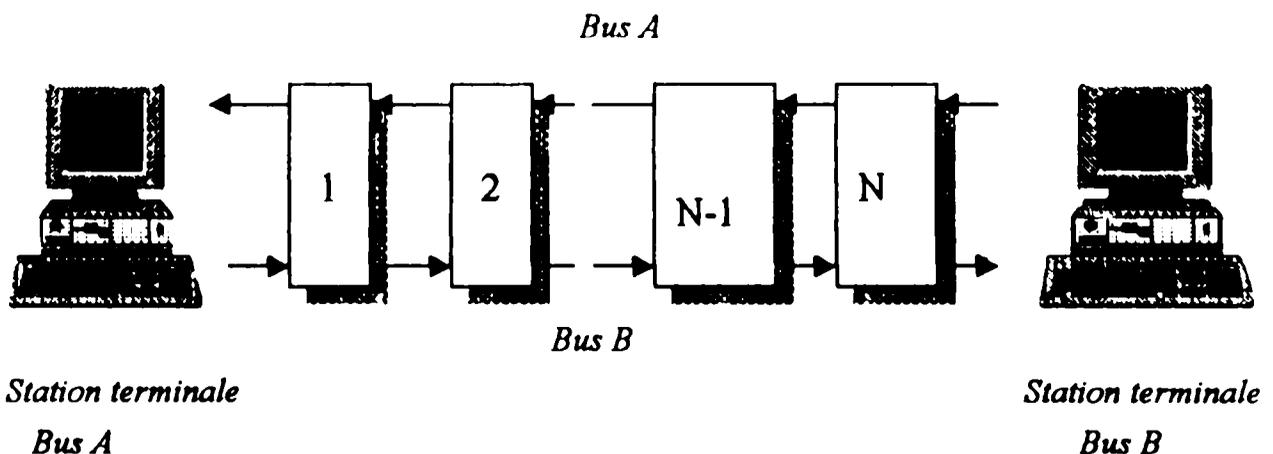


Figure 5.3. Réseau DQDB

La politique d'accès est basée sur l'émulation d'un mécanisme de file d'attente distribuée permettant à chaque station de savoir durant quel slot libre elle pourra transmettre. Pour cela DQDB utilise deux bits de contrôle par slot, le B/F (occupé/libre) et REQ (requête d'émission).

Une station ayant un segment à transmettre sur le bus A positionnera le bit REQ du premier slot ayant le bit REQ à zéro sur le bus B. Deux compteurs permettant l'émulation d'une file FIFO de requêtes. La station met une requête dans la file (incrémente le compteur correspondant) à chaque passage de slot ayant REQ=1 sur le bus B. Une requête locale ne peut être enregistrée qu'après le service de la précédente requête locale. La première requête dans la file est éliminée (le compteur est décrémenté) à chaque passage d'un slot libre sur le bus A. Si cette requête est locale le bit B/F de ce slot est mis à 1 et le segment correspondant sera transmis dans le slot. Si non le slot sera utilisé par les stations en aval.

Ce mécanisme [37] permet d'éviter le monopole des slots libres par les stations situées le plus en amont, pourtant il pourra y avoir des situations où des stations sont plus avantagées que d'autres à cause du délai de propagation sur le bus. D'autre part, le protocole d'accès étant distribué, il n'y a pas une limite à priori sur le nombre de stations qui pourront être attachées au réseau. Contrairement à FDDI, le débit utile maximal qui pourrait être atteint ne se dégrade pas avec l'augmentation de la distance ou de la capacité des lignes.

## **5.4. RNIS:**

### **5.4.1. Les concepts de base du RNIS :**

L'idée directrice du RNIS est d'offrir directement aux utilisateurs une liaison numérique pour assurer la transmission de flots d'informations binaires de toutes natures: la voix, des données informatiques, du son, des images, etc. Cette liaison numérique supporte plusieurs canaux de communication indépendants et multiplexés. Des canaux types ont été définis, leur appellation est référencée par une lettre, ce sont les canaux [2,3]:

**A:** une voie téléphonique analogique offrant 4 KHz de bande passante.

**B:** un canal numérique à 64 Kbit/s pour la voix numériques ou des données

**C:** un canal numérique à 8 ou 16 Kbit/s

**D:** un canal à 16 ou 64 Kbit/s pour la signalisation hors bande

**E: un canal à 64 Kbit/s pour la signalisation interne au RNIS**

**H: des canaux numériques de débits 384, 1536 ou 1920 Bit/s.**

**La combinaison de ces canaux n'est pas arbitraire. Pour le moment, les trois combinaisons suivantes ont été normalisées :**

**1.l'accès de base: 2B+D**

**2.les accès primaires: 30B+D pour l'Europe ( 23B+D pour les Etats-Unis et le Japon ).**

**3.l'accès hybride: A+C**

**L'accès de base est plutôt destiné aux particuliers et aux petites entreprises. Chaque canal B peut être utilisé indifféremment comme canal de transmission de données par paquets ou comme canal d'un circuit commuté téléphonique numérique.**

**La signalisation relative aux canaux B est transmise sur le canal D. De cette manière, la totalité de la capacité de transmission des canaux B est à la disposition des utilisateurs.**

### ***5.4.2.RNIS à large bande:***

**Les éléments nécessaires pour édifier un futur réseau à large bande commencent à être disponibles. L'élément fondamental est le câble de fibre optique de grande capacité utilisable dans les réseaux de transport et de distribution. Dans la plupart des cas, ces éléments ne sont pas introduits spécialement pour fournir des services à large bande. Il est donc intéressant d'étudier les applications et les services qu'un tel réseau fournira.**

**L'expression large bande recouvre des débits d'accès dépassant 2 Mbit/s (ou 1,5 Mbit/s aux Etats-Unis).**

Les applications à large bande englobent toutes les utilisations de cette nouvelle dimension du réseau. Il s'agit notamment de l'interconnexion de réseaux locaux, de la visiophonie et des visioconférences. Un type de connexion ou un service peut servir à plusieurs applications.

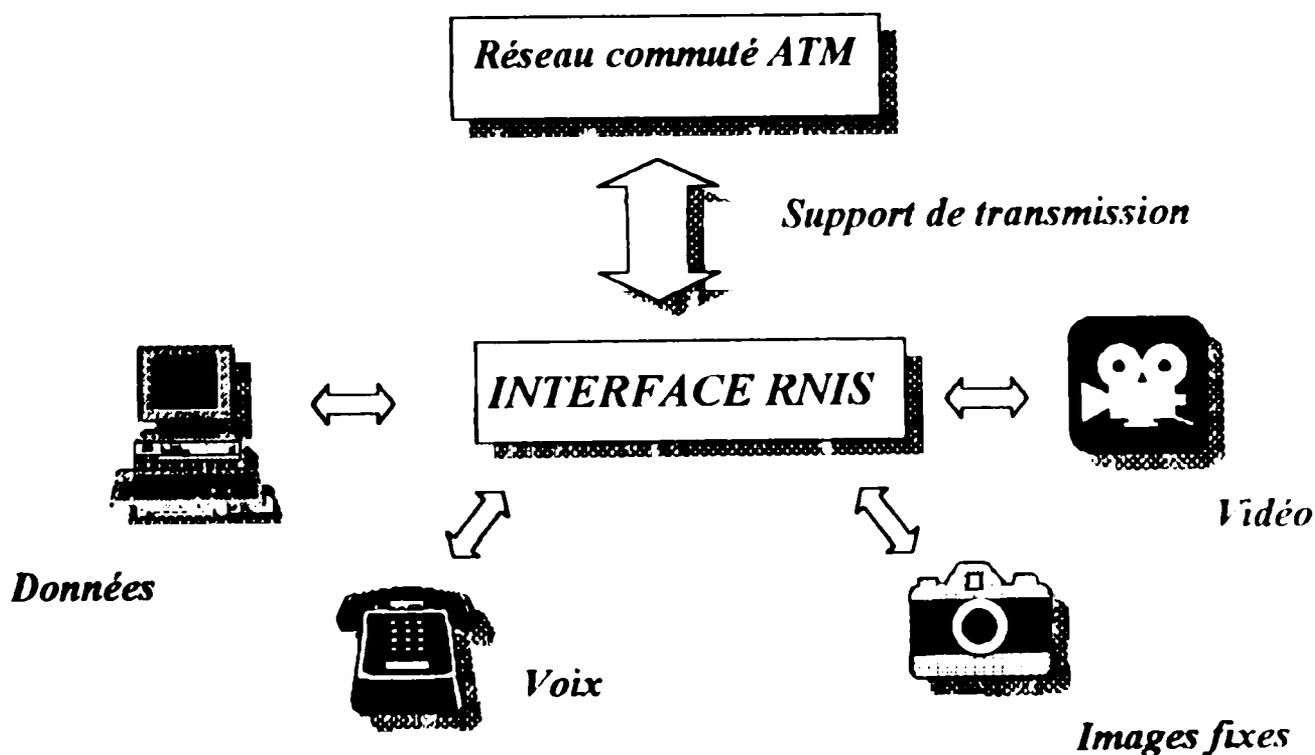


Figure 5.4.2 Concepts de base d'un réseau RNIS

### 5.4.3. Normalisation RNIS-LB :

Le RNIS à large bande (RNIS-LB) est le point de convergence de deux tendances complémentaires dans le domaine des télécommunications. La première est le concept de réseau à intégration de services qui donne aux usagers la possibilité d'accéder à tous les services de télécommunications présents et futurs par l'intermédiaire d'une seule et même interface, avec des procédures de traitement d'appel communes. Ce concept a conduit à la définition des normes RNIS en 1984 et 1988 [4].

Deuxièmement, il y a l'essor rapide des terminaux d'utilisateurs et notamment des terminaux capables de gérer des applications comportant des traitements de données à haut débit. Les

terminaux actuels, en particulier les ordinateurs personnels et les stations de travail, peuvent traiter et présenter rapidement de gros volumes d'informations sous une forme condensée, aisément exploitable.

#### ***5.4.4. Evolution des normes large bande:***

C'est en Janvier 1985 lors de la réunion de la commission d'études XVIII du CCITT, que fut soulevé pour la première fois le problème de la normalisation RNIS-LB. Bien qu'ils eussent avancé lentement pendant cette période, les travaux aboutirent à deux grandes décisions, déterminantes pour l'avenir du RNIS-LB. Ces décisions concernaient les aspects de commutation et transmission du RNIS-LB, ainsi l'ATM fut adopté.

#### ***Le modèle de référence:***

Etant donné la complexité et l'interaction des concepts qui entrent dans la spécification des différents aspects du RNIS-LB, d'où la nécessité d'un modèle de référence protocolaire. L'accord sur un modèle à couches qui permet d'associer chaque fonction à un groupement fonctionnel spécifique favorise l'entente mutuelle indispensable aux travaux de normalisation. Pour citer un exemple, le modèle actuel fait une distinction nette entre les fonctions ATM qui ont une interaction avec la couche physique sous-jacente et celles qui sont indépendantes[50,51,52].

#### ***5.4.5. Conclusion:***

Il convient de considérer le RNIS-LB comme un ensemble de nouvelles technologies (Transmission par fibre optique et ATM) introduites dans un RNIS existant. Pour compliquer davantage, le RNIS n'en est lui-même qu'à ses débuts et de nombreux aspects restent à normaliser.

Depuis des années, le réseau téléphonique constitue l'infrastructure principale des télécommunications internationales. Ce réseau, conçu pour la transmission analogique de la voix, est inadapté à la transmission de données, d'images, etc. Les besoins de services de

communications variés exprimés par les utilisateurs ont conduit à des études, au niveau international, qui entraîneront, à terme, le remplacement d'une partie des réseaux existants à travers le monde, par un nouveau système fondé sur la transmission numérique intégrale entre les usagers, et ce dès le début du XXI<sup>e</sup> siècle. Ce nouveau système, baptisé Réseau Numérique à Intégration de Service RNIS, a pour objectif principal l'intégration dans un même réseau de services relatifs aux applications vocales et à d'autres formes de services de communication.

### ***5.5. Analyse des tendances vers le réseau ATM:***

Avant la fin de ce siècle, les usagers pourront bénéficier des télécommunications à large bande. Ce paragraphe décrit, en premier lieu, les principaux facteurs qui régissent l'évolution des réseaux. Puis il analyse les besoins des utilisateurs en matière d'applications large bande.

Le mode de transfert asynchrone (ATM) s'impose aujourd'hui comme une technologie qui permettra l'entrée des télécommunications dans l'ère du multimédia et qui propulsera cette industrie dans le nouveau millénaire. L'ATM, propose dès aujourd'hui, des solutions complètes pour bâtir les autoroutes de l'information qui constitueront de monde de demain [17].

Le monde des télécommunications, auquel s'adresse l'ATM, peut être analysée en deux segments distincts : le milieu des services professionnels et celui des services résidentiels et semi-professionnels.

#### ***5.5.1. Services professionnels :***

C'est le monde des moyennes et grandes entreprises. Les services concernés peuvent être offerts par les constructeurs industriels ou mis en place par les entreprises qui, dans ce cas, utilisent l'infrastructure déjà en place.

Les techniques de communication utilisées jusqu'à présent dans les applications professionnelles étaient largement dépendantes du type d'informations : réseaux X.25 ou relais de trame (*Frame relay*) pour les informations de type paquet sur réseau commuté ou liaisons louées, modem, ou multiplexeur pour les informations de type circuit. Les exigences des utilisateurs évoluent selon deux grandes tendances :

**Le besoin d'une plus grande capacité** émanant de l'augmentation constante des débits d'informations nécessaires tant sur le site de travail (LAN) qu'entre différents sites (WAN). Cette tendance est liée à l'introduction massive de l'informatique dans les secteurs de l'industrie et les architectures de type client-serveur et des applications de travail réparti. Tous ces facteurs poussent à la mise en place de réseaux de communications à fort débit.

**La recherche d'une plus grande simplicité** pour transporter et gérer la très grande variété d'informations désormais utilisées : données multimédia de toutes sortes, voix, image, vidéo, etc. En particulier, de nombreuses applications professionnelles font désormais appel à l'image dans différents secteurs (presse, médecine, cinéma, etc.) où s'exprime un besoin de débits élevés et d'interconnexion multisite à haut débit.

L'intérêt essentiel de l'ATM est de répondre efficacement à ces deux tendances, tant dans les réseaux locaux que dans les réseaux de longue distances. L'ATM s'avère ainsi la meilleure technique pour fédérer sur un même support des informations de natures très différentes, quels que soient les débits demandés ou l'étendue des réseaux considérés (figure 5.5.1).

L'introduction de l'ATM pour ces services est nécessaire à plusieurs niveaux :

- Les réseaux locaux (LAN) ATM qui offrent, directement sur les stations de travail, en complément des techniques traditionnelles (Ethernet, FDDI, DQDB), la connectivité ATM ou l'interconnexion dans l'entreprise des différents réseaux locaux.

- Les réseaux inter entreprises (WAN), gérés par les opérateurs ou les entreprises elles mêmes, utilisent les techniques d'accès existantes (relais de trame, MAN/SMDS) ou ATM, et concentrent les différents flux, sous forme d'ATM, vers les réseaux publics d'infrastructure [43].

- Les réseaux publics d'infrastructures, et avec l'introduction de commutateurs ATM appuyant des réseaux de transmission existants (PDH, SDH, SONET) et assurant l'offre de services ATM, d'abord mis en œuvre comme des réseaux superposés (*overlay*), intégrant ensuite tous les services et assurant l'interconnexion et l'interfaçage avec les autres réseaux de services existants (téléphone, transmission par paquet, etc.)

Débit binaire (Mbit/s)

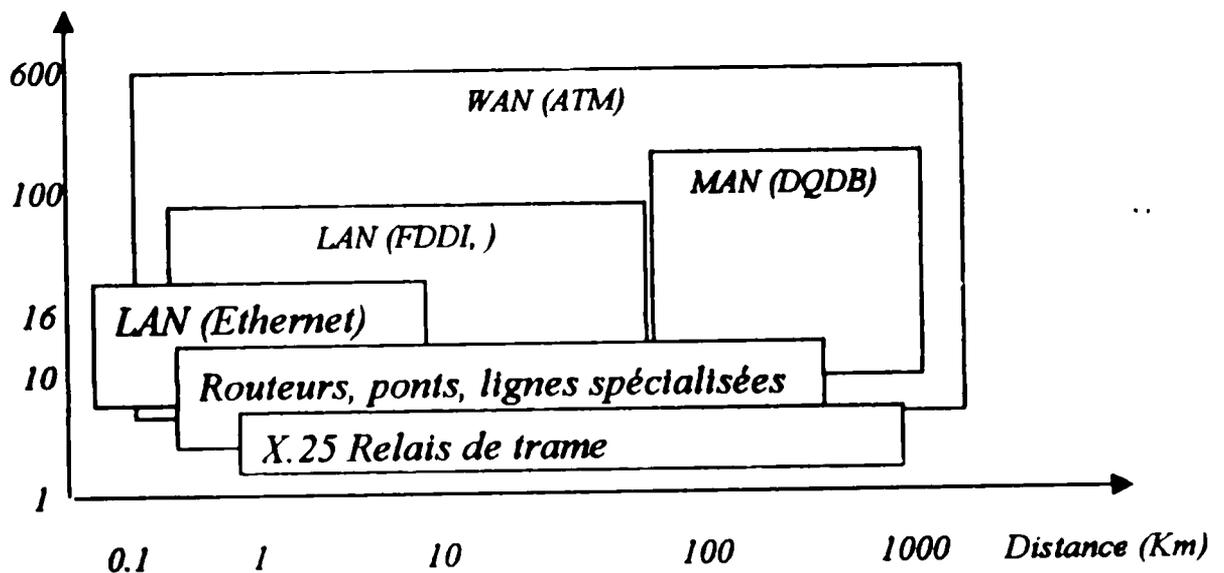


Figure 5.5.1 : Large bande : l'ATM et les autres technologies

L'ensemble des éléments de réseau destinés aux services professionnels migre ainsi progressivement vers l'ATM, technique de fédération et de convergence.

### 5.5.2. Services résidentiels :

Aujourd'hui essentiellement constitué de services téléphoniques, ce monde se prépare à des mutations importantes :

La concurrence croissante entre les opérateurs de télécommunications, d'une part, et entre ceux-ci et les opérateurs de CATV (la télévision câblée) d'autres part, stimule l'innovation en

matière d'offre de services. La plupart des nouveaux services envisagés s'appuieront sur l'image interactive, où le contenu du service est composé à la demande par le client final (*Video on Demand*).

De nombreux fournisseurs offrent de nouveaux services 'en ligne' aux clients résidentiels : télé-achat, télé-enseignement, etc. certains de ces services sont d'ailleurs aujourd'hui préfigurés par le réseau Internet. Tous ces secteurs voient dans l'image et l'accessibilité totale par le réseau de télécommunications, le moyen décisif de révolutionner leur activité en changeant complétement la taille des marchés accessibles.

Or les réseaux existants ne sont pas, aujourd'hui, en mesure de faire face à cette évolution. Les réseaux CATV proposent des vitesses plus importantes mais sont optimisés pour des services diffusés et n'ont que des possibilités limitées d'interactivité.

Cette approche permet en outre d'envisager d'amener jusque chez le client final une interface numérique basée sur l'ATM. qui raccordera au travers d'un convertisseur de type *Set Top Box*, tous les terminaux (TV, téléphone, PC, Fax, etc.). une sorte de 'réseau local individuel' sera ainsi créée et la voie ouverte à toutes sortes d'applications résidentielles, comme la sécurité, le télétravail, etc.

### ***5.5.3. Analyse des besoins :***

Les télécommunications à large bande sont devenues une réalité pour certains usagers qui sont reliés à des réseaux locaux d'entreprise (LAN), à des réseaux privés de proximité ou aux quelques réseaux de données publics. L'évolution des réseaux de télécommunications répond toujours à des besoins et des exigences par la mise en place de nouvelles technologies.

#### ***Les besoins des usagers :***

D'une façon générale, les usagers du monde multimédia ont des besoins très simples en matière de services et de réseaux de télécommunications :

- Des services de transport à différentes vitesses et selon différents modes de transmission, avec une mise en place rapide pour permettre de nouvelles applications.

- La fourniture de tous les services à travers une interface de réseau unique pour des raisons de commodité.

- Des tarifs et des coûts raisonnables, facilitant l'extension à des nouvelles applications.

### ***Le progrès technologique :***

La satisfaction des besoins des usagers passe par la disponibilité de techniques appropriées :

Les techniques de transmission ne constituent pas en elles-mêmes, un goulot d'étranglement pour la fourniture de services à large bande. Les systèmes de transmission à fibre optique peuvent écouler couramment des débits de l'ordre de 100 Mbps. Mais la technique ATM est une solution d'une nouvelle génération de commutateurs à large bande. Elle permet non seulement de commuter de hauts débits binaires, mais également de mettre en œuvre des services de réseau à bande étroite et à large bande. L'ATM est donc la technique adoptée à l'échelle mondiale pour les systèmes de commutation de la prochaine génération, déjà disponibles dans un nombre de réseaux.

La mise en place de cette nouvelle technique exige, une étude des besoins et des conditions des applications large bande existantes et futures, auxquelles devront répondre les services de réseaux.

- L'échange d'informations et de données entre PC, pour toutes sortes d'applications.
- Partage de ressources et de périphériques à travers un réseau.
- La vidéo sur demande.

### ***Bande passante :***

Des applications différentes réclament un nouveau dimensionnement des largeurs de bande. Dans le cas de la vidéo transmission, la qualité d'une image est déterminée par la performances des codeurs/ décodeurs vidéo et par la bande passante disponible. Et comme la transmission de données multimédia est généralement de nature sporadique, la bande passante ne devrait être disponible et payable que lorsqu'elle est réellement nécessaire.

L'ATM peut, de par sa nature, remplir idéalement cette condition. Des services à des débits variables (VBS) sont proposés, mais également des services à débit binaire constant (CBS) et des services à débit binaire disponible (ABR).

### ***5.6. Les recherches et les avancées technologiques :***

La recherche sur les réseaux à haut débit porte essentiellement sur la technologie et les applications. Le premier axe regroupe l'ensemble des techniques nécessaires à la construction de réseaux à haut débit et notamment la transmission et la commutation de données à plusieurs Gbps. L'émergence de ces réseaux à haut débit ouvre la porte au développement d'un nouveau type d'applications réseaux à hauts débits et intégrant la transmission de données, voix, vidéo et des images entre les entités applications .

Cependant, l'existence de ces nouveaux réseaux n'est pas suffisante pour permettre aux applications de bénéficier de l'augmentation des débits déjà réalisée au niveau de la transmission à travers le réseau. Le deuxième axe de recherche, concernant le développement des applications haut débit, porte donc sur le contrôle de transmission de bout en bout et sur l'optimisation des couches hautes.

Les travaux de recherche [26,27,28] concernant la transmission et la commutation des données à haut débit. Les recherches en transmission ont pour but la construction de systèmes

capables de moduler des lasers à plusieurs Gbps. En commutation, il s'agit de concevoir et d'implémenter des commutateurs de paquets pouvant traiter plusieurs millions de paquets par seconde. Le mode de multiplexage asynchrone ou ATM semble le mieux adapté pour supporter une intégration de trafics ayant des caractéristiques différentes et a été recommandé par le CCITT pour être utilisé dans le futur RNIS à large bande.

### ***5.7. Conclusion :***

Les réseaux haut débit sont de plus en plus performants et font appel aux techniques de transmission les plus avancées, L'augmentation des débits ne cesse de croître, des défis sont relevés chaque jour en vue de surmonter les limites. Industriels et exploitants se penchent pour mettre en application les dernières théories.

Une étape supplémentaire de l'évolution vers le réseau à large bande est l'introduction des services ATM commutés à la demande selon les normes internationales. On doit pouvoir établir des communications multimédias à large bande et à bande étroite entre les utilisateurs reliés à l'accès ATM.

Pour les commutateurs, l'ATM est, sans conteste aujourd'hui, la solution. Pour l'accès, plusieurs solutions peuvent être envisagées. Les plus cohérentes et prometteuses, à la fois sur le plan technique et économique, pour de larges déploiements, utilisent l'ATM comme technique de transport sur un réseau de distribution tout optique ou hybride (fibre et coaxial). Ainsi, demain, un même réseau d'accès et d'infrastructure, basé sur l'ATM, permettra d'offrir l'ensemble des services téléphoniques, ainsi que les services multimédias et la vidéo interactive

L'ATM est, progressivement introduit dans l'ensemble de la chaîne de la communication (serveurs, réseaux publics, réseaux d'accès, réseau local résidentiel et terminaux), qui rend possible l'apparition de ces services innovants de communication et d'information.

---

Le futur RNIS large bande apportera la souplesse nécessaire à la fourniture d'une grande variété de services, allant du service téléphonique de base à la transmission de données à haut débit, en passant par la visiophonie et la distribution de programmes de télévision de grande qualité.

## *Conclusion générale*

### *Objectifs :*

Nous avons abordé au cours de cette thèse quelques uns des problèmes importants qui se posent pour les réseaux de transmissions haut débit. Ainsi, notre travail, s'est fixé pour objectifs :

Elaboration d'une étude approfondie des réseaux de transmissions haut débit.

Analyse des points de blocage des réseaux actuels.

Evaluation des besoins des applications multimédias.

Etude descriptive des techniques ATM.

Approche analytique des techniques de commutation à travers les réseaux ATM.

Proposition d'un algorithme pour le contrôle de la congestion.

Etude architecturale des réseaux haut débit.

Présentation des applications des techniques ATM.

Pour atteindre ces objectifs, notre travail a été réparti en chapitres. Dans le premier, on a essayé sous forme d'un bref exposé de définir et de situer chaque élément prenant part à la mise au point des réseaux de transmissions.

Au cours du second chapitre, on a abordé par un ordre d'enchaînement hiérarchique, les points qui empêchent les réseaux actuels à suivre l'augmentation des débits et accueillir des applications multimédias. On a pu décrire les points les plus prépondérants, analysé l'importance que détient chaque niveau du modèle OSI et définir l'utilité d'un protocole de transport. On a pu aussi approcher et prendre connaissance des besoins des applications multimédias en matière de débit et de qualité de service.

Le troisième chapitre, a été consacré à la présentation des solutions proposées par l'ATM, une nouvelle alternative aux techniques actuelles en matière de commutation, capable de s'accommoder d'un grand nombre d'obstacles, objets du second chapitre.

La technique ATM, et malgré la grande souplesse qu'elle apporte aux problèmes rencontrés sur les réseaux actuels, présente certains aspects problématiques qui peuvent se révéler paralysants, si aucune analyse du moins approximative ne soit mise au point en vue d'approcher ces problèmes par des modèles mathématiques basés sur les processus aléatoires et les files d'attente. La première partie du quatrième chapitre se voulait une analyse des techniques de commutation ATM, par une description des systèmes d'aiguillage. En seconde partie du même chapitre, les retards rencontrés sur les réseaux ATM, ont fait l'objet d'une analyse mathématique, en vue de déterminer les modèles les plus représentatifs du problème. La troisième partie proposa une modification d'un algorithme pour le contrôle de la congestion.

A travers les diverses architectures des réseaux de transmissions haut débit, objets du cinquième chapitre et qui mettent en applications plusieurs techniques protocolaires et se basent sur différents supports et topologies de transmission ; on a pu constater la souplesse, la flexibilité et la transparence qu'apporte l'ATM et prendre connaissance de ses domaines d'applications. On a mis l'accent sur le RNIS-LB, comme modèle d'un réseau basé sur l'ATM et évolutif vers le futur.

### *Analyse des travaux :*

Sachant que les réseaux haut débit ont pour but de supporter à un niveau continental les nouvelles applications informatiques, et pour réaliser de tels réseaux, il est impératif de concevoir des techniques de transmission et de commutation, capables de garantir de très hautes performances.

Des progrès énormes ont été réalisés en technologie de transmission, gonflants les débits des lignes jusqu'au Gigabit par seconde. Toutefois, les systèmes de communication actuels sont généralement incapables de préserver ces hauts débits tout au long du passage du niveau physique jusqu'à celui de l'application, d'où l'apparition des goulots d'étranglement.

Le grand défi dans la conception des systèmes à hautes performances provient justement de ces points de ralentissement, qui sont difficiles à identifier. La localisation de ces obstacles, a motivé plusieurs projets de recherche [21,22,23,24] et [27,28,29,30], qui situent le problème au niveau de la commutation et du transport, qui forment les couches basses du modèle OSI.

### *Perspectives futures:*

A travers cette thèse, il a été démontré l'intérêt que détient la technologie ATM dans la réussite d'une communication multimédia. L'ATM est né d'un besoin exprimé par les industriels, exploitants, et chercheurs, elle apporte une solution optimale et rationnelle en vue de sauvegarder les acquis actuels (installations, équipements, etc.) et tout en assurant des transmissions fiables et à haut débit jusqu'aux applications. Notre étude se voulait une base pour les recherches futures orientées vers les réseaux de transmissions.

Dans ce contexte, cette étude peut être élargie pour prendre d'autres axes de recherches : Evaluation algorithmique des performances ATM, Etude de la synchronisation en bande, nouvellement exploitée sur les réseaux ATM, Sécurité des transmissions sur les réseaux ATM, Contrôle de la congestion, ne sont que des exemples de sujets de recherches.

Maîtriser ces divers obstacles soulevés au cours d'une transmission haut débit : retards, commutation, congestion, etc. a abouti à l'élaboration de réseaux optimaux, fonctionnant sur les techniques ATM, les plus fiables, sur le plan des performances.

L'ATM, est venu concrétiser une alliance des télécommunications et de l'informatique, deux disciplines qui se confondent souvent sur le parcours du progrès. Les techniques ne cessent d'évoluer chaque jour, et de nouvelles perspectives s'affichent à l'horizon pour donner naissance à de nouvelles applications.

Le monde du multimédia basé sur l'ATM, naquit de cette force, pour allier confort et convivialité, progrès et simplicité, et s'impose résumé de toutes les techniques, son, image,

vidéo, données, etc. et la liste reste ouverte, pour accueillir dans le futur, de nouvelles dimensions de la vie quotidienne: brochures et chaînes TV, etc.

Cette force d'alliance, et ce monde du multimédia a envahi toutes les entreprises, bureaux, foyers et ne cessent de conquérir de nouveaux espaces, pour résumer l'univers en un écran de PC.

---

## ***BIBLIOGRAPHIE :***

- [1] P. Rollin *Réseaux locaux : Normes et protocoles* Edition Hermes. 1993
- [2] A. Tanenbaum. *Réseaux, architectures, protocoles, applications.* InterEditions 1990.
- [3] P. Gomez, P. Bichon. *Comprendre les réseaux d'entreprise.* Chihab-Eyrolles. 1995.
- [4] International Telecommunication Union *List of recommendations ITU-T*  
Geneva April 1996
- [5] P-G Fontolliet *Système de télécommunications. Base de transmission.*  
Editions Dunod 1983
- [6] Michel Rudnianski *Architectures de réseaux. Le modèle OSI. Rôle et fonctionnalités.*  
Editions Tests 1986.
- [7] M. Boisseau, M. Demange et J. M. Munier. *Réseaux hauts débits.*  
Editions Eyrolles 1995.
- [8] G. R. Cooper, C. D. McGillem. *Modern Communications and spread Spectrum*  
McGraw-Hill Book Company 1986.
- [9] R. E. Blahut. *Digital Transmission of Information*  
Addison Wesley Publishing Company 1990.
- [10] W. Tomasi, *Advanced electronic communications systems.* Prentice hall, 1992.
- [11] Y. Takasaki. *Digital Transmission Design and Jitter Analysis.*  
The Artch House. 1991
- [12] H. R. Muller, M. M. Nassehi, J. W. Wong, E. Zurfluch, W. Bux, P. Zafiropulo.  
*New access schemes for Gbit/s for LANs and MANs.*  
Rapport de recherche Université de Sophia antipolis. Juin 1990.
- [13] M. P. Clark *Networks and telecommunications : Design and Operation*  
Editions John Willey and sons 1991.
- [14] B. Marti et Co - Auteurs *Télématiques : techniques, normes et services.*  
Editions Dunod 1990.

- [15] M. Billot *Providing reliability on demand in distributed VOD servers*  
N=1139 IRISA October 1997
- [16] F. Baccelli, M. Klein, M. Lebourges, S. Zuyev *Géométrie aléatoire et architectures de réseaux de communications*  
Rapport de recherche. Université de Nice Sophia Antipolis. 1995.
- [17] M. de Prycker, *La technologie ATM.*  
Pages: 71-76. Numéro télécom 95 Revue des télécommunications 1995.
- [18] F. Guillemin, G. Rubino, B. Sericola, A. Simonian, *Transient characteristics of  $M/M/\infty$  system applied to statistical multiplexing on an ATM link.*  
N=874 IRISA Octobre 1994.
- [19] L. Fernando Rust da Costa Carmo *Méthodes de synchronisation dans les systèmes répartis multimédias. Une approche intégrant relations de causalité et contraintes temporelles.*  
Thèse de doctorat. Université Paul Sabatier Toulouse 1994.
- [20] B. Cousin, G. Viho *Masquage de la perte de synchronisation pour les applications multimédias répartis.*  
Rapport de recherche Université de Rennes 1995.
- [21] R.J. Cypser. *Communications for Cooperating Systems: OSI, SNA, and TCP/IP.*  
Addison Wesley Publishing Company 1992.
- [22] C. Castelluccia, Walid Dabbous. *HIPPCO: A high protocol performance optimizer*  
Rapport de recherche. Université de Nice Sophia Antipolis. 1995.
- [23] D. Artiges, *Contrôle et évaluation des réseaux de télécommunication*  
Thèse de doctorat. Université de Nice-Sophia Antipolis. 1996.
- [24] S. Zuyev, P. Desnogues, H. Rakotoarisoa *Simulations of large telecommunication networks based on probabilistic modeling*  
Rapport de recherche. Université de Nice Sophia Antipolis. 1996.
- [25] M. Philippe Jacquet. *Contribution de l'analyse d'algorithmes à l'évaluation de protocoles de communication.*  
Thèse de doctorat. Université de Paris-Sud Centre d'Orsay 1989.
- [26] P. Leguesaron, J. Pellaumail. *Commutation et réseaux ATM.*  
N= 888 IRISA Décembre 1994.
- [27] A. Dupuis, F. Guillemin and B. Sericola, *Asymptotic results for the superposition of a large number of data connections on an ATM link.*  
N=1045 IRISA Septembre 1996.

- [28] A. Bui *Etude analytique d'algorithmes distribués de routage*  
Thèse de doctorat. Université Paris 7 1993.
- [29] C. Chaouiya *Outils pour la validation de contraintes de synchronisation dans des systèmes distribués*  
Thèse de doctorat Université Nice-sophia Antipolis 1992
- [30] J.M. Lasgouttes *Contribution à l'analyse de réseaux stochastiques et application aux systèmes de transport*  
Thèse de doctorat. Ecole polytechnique Paris 1995.
- [31] T. Turlitti *Contrôle de transmission pour logiciel de vidéoconférence sur l'Internet.*  
Thèse de doctorat. Université de Nice Sophia Antipolis. 1995.
- [32] W. Dabbous, C. Huitema *XTP implementation under Unix*  
Rapport de recherche. Université de Nice Sophia Antipolis. 1993.
- [33] C. Castelluccia, I. Chriment, W. Dabbous, C. Diot, C. Huitema, E. Siegel, R. De Simone.  
*Tailored Protocol development using ESTEREL*  
Rapport de recherche. Université de Nice Sophia Antipolis. 1993.
- [34] T. Turlitti *H.260 Software Codec for Video-Conferencing over the Internet.*  
Rapport de recherche. Université de Nice Sophia Antipolis. 1993.
- [35] W. dabbous, B. Kiss *A reliable multicast protocol for a white board application*  
Rapport de recherche. Université de Nice Sophia Antipolis. 1993.
- [36] J. Dupraz, M. De Prycker, *Principes et avantages du mode de transfert asynchrone*  
Revue des télécommunications. Numéros 2/3 Volume 64. Printemps 1990
- [37] Rosa M. Leao Rust Carmo *Le réseau DQDB: Spécification, modélisation et évaluation de performances de mécanismes pour des services temps réel.*  
Thèse de doctorat. Université Paul Sabatier Toulouse 1994.
- [38] W. Dabbous *Etude des protocoles de contrôle de transmission à haut débit pour les applications multimédias.*  
Thèse de doctorat. Université Paris XI 1991.
- [39] M. Dacier, *Vers une évaluation quantitative de la sécurité informatique.*  
Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse 1994.
- [40] J. Zhou, B. Cousin. *Multi video scheme videoconferencing applications.*  
N=978 IRISA Décembre 1995.

- [41] J.P Banatre, L. Bryce *A security proof system for networks of communicating process.*  
N= 744 IRISA Juin 1993
- [42] C. Bidan, V. Issarny *Un aperçu des problèmes de sécurité dans les systèmes informatiques.*  
N= 959 IRISA Octobre 1995
- [43] F. Guerber, J.M. Jezequel, F. Andre. *Conception et implantation d'un Serveur SMDS sur architectures modulaires.*  
N=2414 INRIA Novembre 1994
- [44] M. Sexton, M. Roverno, F.X. de crémiers. *Architecture et normes de la SDH.*  
Pages 299-309. Revue des télécommunications. Volume 4 1993.
- [45] W. Dabbous *Hight performance implementation of communication subsystems*  
Rapport de recherche. Université de Nice Sophia Antipolis. 1993.
- [46] J. Pellaumail, Z. Jadda *Retards dans les réseaux ATM*  
N=907 IRISA Février 1995
- [47] J. Pellaumail *Systèmes markoviens discrets stationnaires et applications.*  
Rapport INRIA 1991
- [48] H. Ventsel *Théorie des probabilités* Editions MIR 1987.
- [49] I. Guikhman, A. Skorokhod, *Introduction à la théorie des processus aléatoires*  
Editions MIR 1986.
- [50] J.L. Cames *Synchronisation d'applications multimédias dans un environnement distribué hétérogène.* Thèse de doctorat CNAM France 1997.
- [51] M. Fournier *Réalisation et évaluation de performances d'un protocole de transport multimédia de transport à ordre partiel.* Thèse de doctorat Université Paul sabatier 1997
- [52] I. Servet *Supervision du trafic dans les réseaux téléphoniques : modélisation qualitative et calcul évolutif.* Thèse de doctorat Polytechnique Toulouse 1997.
- [53] Y. Guo, K. Feher, *A new FQPSK modem / radio architectures for PCS and mobile satellite communications,* IEEE journal on selected areas in communications, February 1995.
- [54] C. Brown, K. Feher. *A reconfigurable modem for increased network capacity,* IEEE Transactions on circuits and systems for video technology, April 1996.
- [55] K. Feher, H. Mehdi, *Modulation / microwave integrated digital wireless developments,* IEEE Transactions on microwave theory and techniques, July 1995.

- 
- [56] K. Feher, *Wireless digital communications : Modulations & spread spectrum applications*, Prentice Hall, Inc., New jersey, 1995.
- [57] H. V. Poor and L. A. Rush, *Narrowband interference suppression in spread spectrum CDMA*, IEEE Personal Communications, 1994.
- [58] B. Kamali, *Modulation and coding for cellular digital packet data networks*, p-p 26-38, Applied microwave & wireless, May/June 1997.
- [59] H. R. Walker, *High speed data communications system using phase shift key coding*, IEEE Transactions on broadcast engineering, January 1998.
- [60] M. Tufail *Congestion control for multicast ABR flows in ATM networks & packet scheduling for rate controlled delay sensitive applications*.  
N= 1204 IRISA Septembre 1998.

## *Annexe A : Abréviations:*

*Abréviations citées à travers la présente thèse et dans le monde du multimédia :*

<b>ABR</b>	<b>Available Bit Rate</b>
<b>ATD</b>	<b>Asynchronous Timing Division</b>
<b>ATM</b>	<b>Asynchronous Transfer Mode</b>
<b>CCITT</b>	<b>Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique</b>
<b>CBR</b>	<b>Constant Bit Rate</b>
<b>CLP</b>	<b>Cell Loss Priority</b>
<b>DAS</b>	<b>Dual Attachment Station</b>
<b>DQDB</b>	<b>Distributed Queue Dual Bus</b>
<b>FDDI</b>	<b>Fiber Distributed Data Interface</b>
<b>FIFO</b>	<b>First In First Out</b>
<b>FPS</b>	<b>Fast Packet switching</b>
<b>FTP</b>	<b>File Transfer Protocol</b>
<b>GFC</b>	<b>Generic Flow Control</b>
<b>HEC</b>	<b>Header Error Correction</b>
<b>IP</b>	<b>Internet Protocol</b>
<b>ISO</b>	<b>International Standards Organisation</b>
<b>LAN</b>	<b>Local Area Network</b>
<b>MAC</b>	<b>Medium Access Control</b>
<b>MAN</b>	<b>Metropolitan Area Network</b>
<b>NNI</b>	<b>Network / Node Network Interface</b>
<b>OSI</b>	<b>Open Systems Interconnexion</b>
<b>PDH</b>	<b>Plesiochronous Digital Hierarchy</b>
<b>PT</b>	<b>Payload Type</b>
<b>RNIS (ISDN)</b>	<b>Réseau Numérique à Intégration de Service</b>
<b>SAS</b>	<b>Single Attachment Station</b>
<b>SDH</b>	<b>Synchronous Digital Hierarchy</b>
<b>SMDS</b>	<b>Switched Multimegabit Data Service</b>
<b>SONET</b>	<b>Synchronous Optical NETwork</b>
<b>TCP</b>	<b>Transmission Control Protocol</b>

---

<b>UBR</b>	<b>Unspecified Bit Rate</b>
<b>UNI</b>	<b>User Network Interface</b>
<b>VBR</b>	<b>Variable Bit Rate</b>
<b>VCI</b>	<b>Virtual Path Identifier</b>
<b>VLSI</b>	<b>Very Large Scale Integration</b>
<b>VMTP</b>	<b>Versatile Message Transaction Protocol</b>
<b>VPI</b>	<b>Virtual Path Identifier</b>
<b>WAN</b>	<b>Wide Area Network</b>
<b>WWW</b>	<b>World Wide Web</b>
<b>XTP</b>	<b>eXpress Transfer Protocol</b>

## ***Annexe B : Glossaire:***

*Les termes suivants, listés dans l'ordre alphabétique, sont souvent utilisés dans le monde haut débit:*

***Application haut débit:*** application réseau nécessitant l'échange d'un large volume de données dans un laps de temps réduit non nécessairement en temps réel par exemple le transfert de gros fichiers, mais aussi la transmission d'images vidéo.

***Applications interactives:*** Application à travers un réseau faisant appel à des techniques de traitement temps réel, communication téléphonique, vidéo sur demande, visiophonie, travail coopératif, etc.

***Application multimédia:*** application réseau échangeant des flots de données (standards et temps réel).

***Application réseau:*** logiciel tournant sur un système final et échangeant des données avec entité, homologue dans le même ou dans un autre système final.

***Application temps réel:*** application haut débit interactive ou pas échangeant des données temps réel. (Exemple: transmission d'images animées).

***Commutation orientée connexion :*** dans un réseau, il s'agit d'une communication qui nécessite l'établissement d'une connexion entre la source et la destination avant d'être traitée.

***Commutation sans connexion :*** Communication permettant de transférer des informations sur un réseau sans avoir à établir de connexion de bout en bout.

**Contrôle de cadence:** une technique qui consiste à limiter le débit de transmission d'un émetteur en imposant un délai d'attente après chaque paquet et/ou chaque groupe de paquets.

**Données standards:** données transmises avec un pourcentage de perte nul. En cas de perte, ces données seront retransmises par la source afin d'assurer la fiabilité, de la transmission. (Exemple: contenu d'un fichier, courrier électronique).

**Données temps réel:** données ayant des contraintes strictes sur les délais de transmission. Si ces données ne sont pas reçus à la destination avant un délai donné elles seront considérées comme perdues (non valides) et ne seront pas retransmises. (Exemple: voix paquetisée ou image vidéo).

**Ecartement de données:** rejet de données par une entité transport (discard).

**Flot de données:** flux unidirectionnel de données transmises en séquence.

**Internet:** L'Internet est un système global d'information résultant de l'interconnexion de milliers de réseaux logiquement reliés par un système d'adresses uniques, fondé sur le protocole Internet IP. Il gère les communications faisant appel aux protocoles de transmission TCP/IP afin de fournir des services privés ou publics de haut niveau.

**Modèle stream:** mode de transmission dans lequel toutes les données sont délivrées à l'utilisateur de service transport destination dans le même ordre dans lequel elles étaient transmises. Pour cela, les données altérées ou perdues sont retransmises, les données dupliquées sont écartées et les données reçues hors séquence sont remises en séquence.

**Réseau haut débit:** réseau permettant un débit supérieur ou égal à 100 Mbit/s au niveau de la couche physique.

---

***Routeur*** : Equipement utilisé dans l'Internet pour guider un message de données à travers le réseau jusqu'à destination demandée.

***Synchronisation de flot de données***: assurer le passage simultané de données spécifiques appartenant à des flots distincts à une couche supérieure.

***Système d'exploitation temps réel***: système d'exploitation permettant de satisfaire des contraintes de temps spécifiées en ce qui concerne le lancement et la terminaison des processus. Ceci nécessite que l'ordonnancement des processus soit effectué selon des algorithmes basés sur des mécanismes de priorités dynamiques avec préemption.

***Système final***: système implémentant les couches supérieures du modèle OSI (transport, session, présentation et application).

***W. W. W***: World Wide Web, Réseau mondial de serveurs interconnectés qui permet aux utilisateurs d'accéder rapidement à l'information, par l'Internet.

## ***Annexe C: La connexion sur un réseau***

### ***ATM***

L'ATM met en applications des techniques de transmission très développées, l'objectif du présent paragraphe, est de décrire la transmission ATM d'une part, et d'autre part analyser la technique de multiplexage ATM et le mode de connexion d'une application multimédia, à travers un réseau à commutation ATM.

#### ***C1. Paramètres du transport ATM :***

*AAL/ATM (ATM Adaptation Layer/ ATM)* représente une technologie basée sur la commutation de cellules issue d'une évolution de la commutation de paquets par X25 et de la commutation de circuits utilisée en téléphonie. Il est conçu pour être intégré d'une façon souple afin de garantir de hautes performances (155 Mbps, 622 Mbps et plus).

Malgré l'utilisation d'un mode connecté AAL/ATM offre actuellement une QoS de type désordre et non fiable. Toutefois grâce à la possibilité de réserver la bande passante qui est offerte, les données transitent avec de faibles taux de pertes. Différents types de services :

*CBR (Constant Bit Rate)* : ce service permet une réservation crête de la bande passante. Il assure un débit constant. Ce type de service est particulièrement bien adapté au transfert des données par exemple.

*VBR (Variable Bit Rate)* : Ce service assure une réservation de la bande passante à partir d'un débit crête et le débit moyen. Ce type de réservation est bien adapté au transfert de vidéo par exemple.

*ABR (Available Bit Rate)* : Ce service assure un service « best effort ». Il permet grâce à une réactivité du récepteur sur l'émetteur d'éviter les congestions.

*UBR (Unspecified Bit rate)* : Ce service n'assure aucune garantie, il est de type « best effort ».

Afin de garantir les services ci-dessus quatre ALLs sont définies :

**AAL1** fournissant un service d'émulation, service synchrone à débit constant orienté connexion.

**AAL2** service synchrone (relation temporelle entre source et destination) à débit variable orienté connexion.

**AAL3/4** service de type asynchrone à débit variable ; le service peut être orienté connexion ou sans connexion. Cette AAL est une concaténation des services fournis à l'origine l'AAL3 et l'AAL4.

**AAL5** service de type asynchrone à débit variable avec établissement de connexion. : cette AAL est en fait une AAL3/4 simplifiée de façon à augmenter le débit utile et les performances. La simplification a consisté à diminuer les contrôles d'erreurs effectués par Aal3/4 .

Pour le contrôle de transmission dans la couche transport, il s'agit d'analyser les différents besoins des applications et de trouver un système de transport qui puisse répondre à ces besoins en propageant les augmentations des débits jusqu'aux applications. Pour cela des mécanismes complexes basés sur l'utilisation de temporisations et sur des retransmissions ont été adoptés.

Les protocoles de transport classiques utilisent la numérotation de paquets et les accusés de réception pour détecter et corriger les erreurs de transmissions comme la perte, la duplication ou le déséquence de paquets et pour fournir le contrôle de flux de bout en bout, un mécanisme de contrôle total est utilisé pour détecter les altérations de paquets. Ces techniques ne sont pas bien adaptées pour contrôler les flots de données des applications haut débit. En effet, ces techniques demandent d'importantes ressources de traitement et de place mémoire, et il en résulte une augmentation des délais de transmission.

## ***C2.Mode de signalisation sur les réseaux ATM :***

Deux types de signalisation existent : dans la bande (TCP, OSI/TP4, XTP) et hors bande (ATM). La signalisation consiste en un échange d'informations de contrôle entre les systèmes de transport communicants à travers un réseau. Son objectif est de permettre l'ouverture et la

fermeture des connexions, ainsi que le contrôle des connexions. La signalisation peut être effectuée :

Dans la bande : les informations de contrôle sont échangées avec les données utilisateur, par le biais d'une même connexion.

Hors bande : une connexion supplémentaire est établie, uniquement dédiée au transfert des informations de contrôle ; dans ce cas, le système récepteur n'a pas à distinguer les informations de contrôle et de données.

### ***C3. La connexion ATM:***

#### ***C3.1. Type de connexion:***

Une connexion point à point met en relation un émetteur et un récepteur à travers un réseau. Une connexion point à multipoint met en relation un émetteur et plusieurs récepteurs. La dualité de l'identificateur des cellules permet de définir deux types de connexion :

- Le conduit virtuel, identifié seulement par le VPI, le VCI n'étant pas "vu".
- La voie virtuelle identifiée par le couple VPI + VCI.

Un conduit virtuel contient un certain nombre de voies virtuelles et un lien de transmission peut contenir plusieurs conduits virtuels.

Selon qu'il analyse le VPI seul ou le couple VPI + VCI, un nœud commute un conduit ou une voie virtuelle. Dans le premier cas, les voies virtuelles sont transportées de bout en bout de façon transparente, à l'intérieur de conduits virtuels, tout en conservant leur identificateur. Ceci est illustré par la figure 1. Une connexion est en fait définie par une concaténation d'identificateurs sur des liens physiques successifs entre les nœuds du réseau.

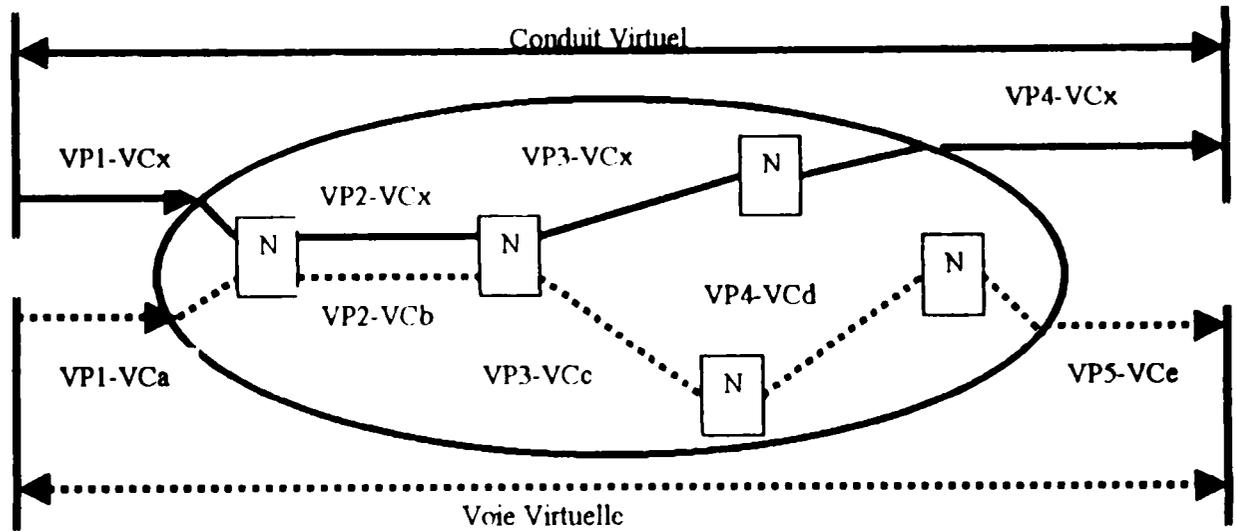


Figure 1 Types de connexion ATM

Une connexion virtuelle peut être établie de deux façons:

- Par l'opérateur du réseau, à partir d'un centre de gestion. Il s'agit alors de connexions semi-permanentes, occasionnelles ou réservées et le nœud est un brasseur.

- Par les usagers eux-mêmes, en temps réel et pour une durée a priori indéterminée, par l'intermédiaire d'un langage de signalisation spécifique. Le nœud est alors un commutateur appel par appel qui traite la signalisation d'utilisateur.

Les connexions semi-permanentes sont généralement, aujourd'hui, des conduits virtuels, les connexions commutées appel par appel des voies virtuelles.

### ***C3.2. Dimensionnement des ressources en débit:***

Dans les réseaux à large bande, les conduits de transmission sont partagés par des services hétérogènes (Voix, données, image), qui diffèrent en débit, en durée moyenne de communications et en taux d'arrivée d'appels. Un contrôle des accès est donc nécessaire pour assurer la qualité de service requise pour chaque service transporté.

Ce contrôle également appelé contrôle des admissions, repose sur le principe selon lequel la décision d'accepter un nouvel appel est déterminée par la moyenne  $b_i$  et la variance  $v_i$  du débit de chaque téléservice. Ces deux paramètres de caractérisation des appels peuvent être utilisés pour mettre en œuvre une fonction de contrôle des admissions convenant à chaque type de service. Cette fonction de contrôle n'accepte une nouvelle connexion que si la condition suivante est satisfaite:

$$\sum_i b_i + T \sqrt{\sum_i v_i} \leq DBM L$$

Pour un taux de perte de cellules donné et une loi d'arrivée des cellules donnée,  $L$  est la charge moyenne de la liaison pour laquelle le tampon de sortie, en tête de la liaison, a été dimensionné. On désigne par  $DBM$  le débit binaire maximum admissible de la liaison considérée, tandis que  $T$  se réfère à la probabilité que le débit binaire instantané dépasse  $DBM$ .

### ***C3.3. Débit d'un Multiplex***

Sur un multiplex, deux cellules consécutives affectées à un circuit virtuel  $A$  sont séparées par un certain nombre de cellules non affectées ou affectées à d'autres circuits virtuels. Plus précisément, le temps séparant le début d'une telle cellule du début de la suivante, mesuré en nombre de cellules, est une variable aléatoire discrète  $X_a$  qui peut prendre comme valeur  $n_1$ ,  $n_2$ , etc. Si  $P_a$  est la probabilité qu'une cellule soit affectée au circuit virtuel  $A$ , la loi de probabilité  $X_a$  est géométrique. Il en résulte que la probabilité qu'il y ait  $n$  « cellules étrangères » (cellules appartenant à un autre circuit virtuel) entre deux cellules successives du circuit virtuel  $A$  est :

$$P\{X_a = n+1\} = P_a(1 - P_a)^n$$

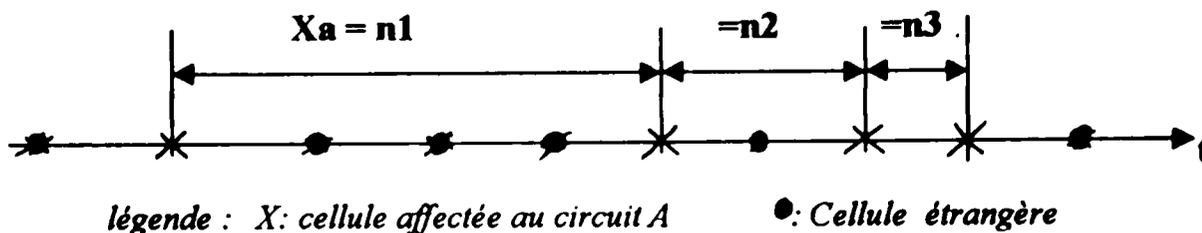


Figure 2 : Débit ATM

Le Débit instantané d'information du circuit virtuel A, exprimé en nombre de cellule par seconde, est la variable aléatoire discrète :  $da = 1/Xa$

Il est limité par le débit physique du multiplex. Pour des cellules de 53 octets et à un débit de 600 Mbit/s,  $da$  ne peut dépasser  $1,4 \times 10^6$  cellules par seconde..

### C3.4. Débit d'une connexion:

Une connexion est caractérisée en tout point du réseau, et en particulier à la source, par un processus stochastique défini par une suite de cellules ayant le même identificateur.

Deux cellules consécutives sont séparées par un intervalle de temps qui est une variable aléatoire  $X$  et qui contient des cellules vides et/ou des cellules appartenant à d'autres connexions du même multiplex. En supposant le processus stationnaire, la valeur moyenne  $E[X]$  permet de définir le débit moyen  $1/E[X]$  et la variance  $V[X]$  traduit les variations de débit autour de la valeur moyenne. L'inverse  $1/X_{\min}$  de la valeur minimale  $X_{\min}$  définit le débit crête (instantanée) de la connexion qui peut évidemment être égal au débit physique du lien de transmission, lorsque celui-ci ne porte qu'une connexion virtuelle.

Sans entrer dans le détail, on peut distinguer deux types de connexions selon la valeur de  $V[X]$  à la source:

-  $V[X]$  nulle ou petite : ce sont les sources en temps réel, échantillonnées (parole, audio, vidéo) qui engendrent des flux de cellules périodiques, et  $V[X]$  est la gigue introduite par le multiplexage de plusieurs flux,

-  $V[X]$  grande : ce sont les sources de données informatiques qui engendrent des flux de cellules par rafales plus ou moins longues (paquets) à un débit crête instantané pouvant être très supérieur au débit moyen. On ne peut plus alors parler de gigue mais de sporadicité définie comme le rapport entre le débit crête et le débit moyen.

La traversée d'une file d'attente sera bien différente, dans les deux cas, pour le même débit moyen. Il est clair que l'arrivée d'une rafale suffisamment longue peut faire déborder la file et provoquer des pertes de cellules, non seulement dans la connexion considérée mais également dans les autres connexions empruntant la file, ce qui est plus grave.

Indépendamment des débits propres des sources, le multiplexage de connexions virtuelles par une file d'attente peut contribuer, en soi, à l'augmentation de  $V[X]$  et du débit crête instantané.

### ***C3.5. Etablissement d'une connexion et paramètres d'usage:***

L'ATM opérant en mode connecté, la connexion doit être établie avant que les cellules ne soient effectivement émises. L'établissement est l'objet d'une procédure CAC (Call Admission Control : contrôle d'admission de connexion) qui peut aboutir à un échec lorsque les ressources nécessaires ne sont pas disponibles. Ces ressources sont de deux types:

- Suite d'identificateurs, de bout en bout, pour marquer les nœuds traversés et définir le routage des cellules.

- Bande passante correspondant au débit du service demandé et aux valeurs des paramètres d'usage utilisés pour spécifier la connexion et déclarés par l'utilisateur.

En fait, la même concaténation d'identificateurs est réservée pour les deux sens de transmission (aller et retour), comme si la connexion était systématiquement bidirectionnelle. La

bande passante, elle, n'est pas nécessairement la même dans les deux sens et une connexion bidirectionnelle dont la voie de retour a un débit utile nul.

Trois couples de paramètres d'usage sont utilisés en pratique :

a)  $(T, t)$ :  $T$  est l'intervalle de temps minimal séparant deux cellules consécutives émises par la source,  $1/T$  définissant en cellules par seconde le débit crête PCR (Peak Cell Rate) et  $t$  est la tolérance de gigue CDV (Cell Delay Variation) en secondes sur le débit crête.

b)  $(T_s, t_s)$ :  $T_s$  est l'intervalle de temps moyen entre deux cellules consécutives,  $1/T_s$  définissant le débit moyen SCR (Sustainable Cell Rate) et  $t_s$  la tolérance de gigue sur le débit moyen.

c)  $(T_m, t_m)$ :  $T_m$  est l'intervalle correspondant au débit minimal MCR (Minimal Cell Rate) garanti par le réseau et  $T_m$  est la tolérance de gigue associée.

Les tolérances de gigue autorisent les débits réels à être plus élevés que les débits déclarés auxquels elles sont associées, mais seulement pendant la durée limitée d'une rafale . A cet égard, les paramètres  $T$ ,  $T_s$  et  $t_s$  peuvent être combinés pour définir un autre paramètre d'usage: la longueur maximale MBS (Maximal Burst Size) des rafales.

### ***C3.6. Police d'une connexion:***

Lorsque les valeurs des paramètres d'usage déclarés à l'établissement d'une connexion ne sont pas respectées, une file d'attente traversée par cette connexion peut déborder et provoquer des pertes de cellules inacceptables sur les autres connexions empruntant la même file. Il est donc impératif de contrôler en permanence le débit de toutes les connexions a l'entrée du réseau (interface UNI) et même entre deux réseaux appartenant à des opérateurs différents (interface NNI), de manière à pouvoir protéger les connexions conformes à leur déclaration contre les écarts accidentels ou intentionnels de celle qui ne le sont pas.

L'UIT-T a normalisé, dans la recommandation I 371, un algorithme dit VSA (Virtual Scheduling Algorithm) permettant de savoir si chaque cellule d'une connexion est conforme ou

non au contrat négocié entre l'utilisateur et le réseau, en mesurant le temps qui la sépare de la cellule précédente. Une cellule non conforme peut être soit jetée, soit marquée en positionnant à 1 le bit CLP pour être jetée ensuite prioritairement en cas de congestion, l'idée étant qu'il n'est peut-être pas nécessaire de jeter une cellule, même non conforme, si le réseau a des ressources disponibles pour la transporter.

L'algorithme VSA est mis en œuvre par un composant matériel opérant en temps réel aux débits élevés des connexions ATM qui peuvent atteindre 155 Mbit/s, voire 622 Mbit/s. En fait, deux algorithmes identiques mais armés sur des valeurs différentes à l'établissement des connexions permettent de contrôler deux des couples de paramètres d'usage définis au paragraphe précédent,  $(T, t)$  et  $(T_s, t_s)$  ou  $(T, t)$  et  $(T_m, t_m)$ , selon la classe de service utilisée.

### ***C3.7. Congestion, lissage et contrôle de flux:***

Revenons au modèle de la file d'attente recevant un flux de cellules contenant un certain nombre de connexions. Elles peuvent rencontrer un état de congestion encore que la définition du phénomène demeure floue. Le cas net est évidemment celui du débordement. Il y a plusieurs façons de minimiser le phénomène.

Une façon préventive globale est de surdimensionner la file en augmentant la longueur  $I$  et/ou en réduisant le temps de service  $T_c$  pour absorber les pointes de débit. Une meilleure façon est de réduire préalablement, par lissage, la variance  $V[X]$  de chaque connexion traversant la file en espaçant les cellules consécutives au prix d'une mémorisation d'autant plus importante que  $V[X]$  est grande. Ceci suppose que l'on ait une connaissance a priori suffisamment précise des lois d'arrivée, ce qui reste problématique pour les services de données. En pratique, le lissage peut être effectué à l'entrée et/ou à la sortie d'un réseau pour réduire la gigue des connexions et optimiser l'utilisation de la bande passante disponible.

Une façon réactive consiste à utiliser un mécanisme de contrôle de flux qui surveille en temps réel l'état de la file et signale en amont, pour chaque connexion, le risque de congestion. Deux grandes variantes sont en compétition. Dans l'une la source est autorisée à émettre au débit

---

maximum mais par rafales de longueur limitée par un crédit alloué en fonction de l'état de la file. Dans l'autre, qui est actuellement préférée par le forum ATM, c'est le débit qui varie en fonction de cet état. Se pose alors le problème de la réduction équitable du débit des connexions rencontrant une situation de congestion.

## ***C4. Conclusion***

**L'intérêt de la couche transport est de faire le lien entre ce que la couche réseau offre et ce que l'utilisateur demande. La gestion des connexions est une responsabilité de la couche transport**

**Les nouvelles technologies, en particulier ATM (voir chapitre 3) tirent avantage du multiplexage statistique en allouant une bande passante inférieure à celle qui serait nécessaire si tous les canaux se trouvaient à leur taux d'émission maximum. Cette économie se fait à un prix: le risque de débordement de buffers et de congestion du réseau.**

**Le problème de congestion de réseau entraîne pour les utilisateurs principalement deux types d'inconvénients, qui peuvent se conjuguer. Le premier est l'apparition de délais d'attente très importants des données transmises, qui gêne le trafic temps réel. Le second est la probabilité non négligeable de perte de paquets, qui perturbe la transmissions de fichiers sans erreur.**

**L'ATM est basé sur un seul format de cellule, pouvant être exploité par tous les réseaux locaux et métropolitains.**

## ملخص:

تهتم هذه الرسالة بدراسة شبكات الاتصالات للإرسال العالي، المدعوة لتحمل عدة أنماط من المعلومات ذات الطبيعة المختلفة. في البداية، نحاول تحليل كل الظواهر التي تعيق الشبكات الحالية لإستقبال تطبيقات متعدد الإعلام لنصل في مرحلة ثانية ونقدم إمتيازات التحويل عديم التوقيت عبر شبكات الإرسال، و الإستبدال في تقنيات الاتصالات.

المشكلة تبقى دائما مطروحة على مستوى الخلايا، مما يقودنا لدراسة هندسة الإستبدالات، و تحليل ظواهر التأخير أثناء مرور الخلايا عبر عقد الشبكة، و إقتراح تغيير خوارزمية لمراقبة الإحتقان.

من خلال بعض الأمثلة لشبكات الاتصالات للإرسال العالي نبين أن دراسة دقيقة على مستوى طبقات النقل و الإستبدالات هو وحده الكفيل بضمان نجاح الاتصالات.

## الكلمات المفتاح:

- شبكات الاتصالات للإرسال العالي،
- نماذج المنظمة الدولية للمعايير،
- الإستبدالات بطريقة التحويل عديم التوقيت،
- صيغ النقل و تطبيقات متعدد الإعلام.

## ***Abstract :***

In this thesis, we study the high speed networks, called to receive the integration of heterogeneous flow of data ; voice, image, etc. First of all, we try to understand the multimedia applications needs, and locate the locking points encountered in the networks being used. At last, we present the ATM as a model of transmission and switching technique.

The problem still remains at the cells level, so we study the switches architectures, analyze the delay phenomena and propose a modification of a flow control algorithm.

Through some examples of high speed networks, such as FDDI, DQDB, we show that only an optimization of the transport and the switching layers of the OSI model is able to ensure the success of a multimedia transmission.

## ***Keywords :***

- High speed transmission networks - OSI model - ATM switching
- Transport protocols - Multimedia applications

# ***Etude des réseaux de transmission à haut débit***

## ***Analyse et applications des techniques ATM***

### ***Résumé:***

Cette thèse s'intéresse à l'étude des réseaux de transmissions à haut débit appelés à supporter l'intégration d'un flot de données de natures hétérogènes. Dans un premier temps, on tentera d'approcher les points de blocages qui empêchent les réseaux actuels à développer des applications multimédias. Pour aborder dans un deuxième temps l'apport des techniques de commutation et de transmission ATM.

Le problème reste toutefois posé au niveau des cellules ayant pris place sur le multiplex ATM, ce qui nous amène à étudier l'architecture des commutateurs, analyser les phénomènes de retard et proposer la modification d'un algorithme souvent utilisé sur les réseaux téléphoniques.

On montrera à travers des exemples d'architectures de réseaux haut débit, que seule une optimisation au niveau commutation et transport du modèle OSI est capable d'assurer la réussite d'une communication multimédia.

### ***Mots clés:***

- Les réseaux de transmission à haut débit - Modèle OSI - Commutation ATM
- Les protocoles de transport - Applications Multimédias.