



Module 219

Aspects avancés des réseaux

---

Chapitre 1 : Hauts Débits

[Introduction](#)

[Infrastructures de transport](#)

[ATM](#)

[Réseaux locaux](#)

[Réseaux d'accès](#)

Gérard-Michel Cochard

[cochard@u-picardie.fr](mailto:cochard@u-picardie.fr)

# Introduction



[Pourquoi des hauts débits ?](#)  
[Que sont les hauts débits ?](#)  
[Pour quels usages, pour quels services ?](#)

## Pourquoi des hauts débits ?

La demande croissante en services de télécommunication, le transport de données multimédias volumineuses et l'augmentation de l'activité communicante nécessitent des réseaux performants capables de transporter en un temps raisonnable des informations.

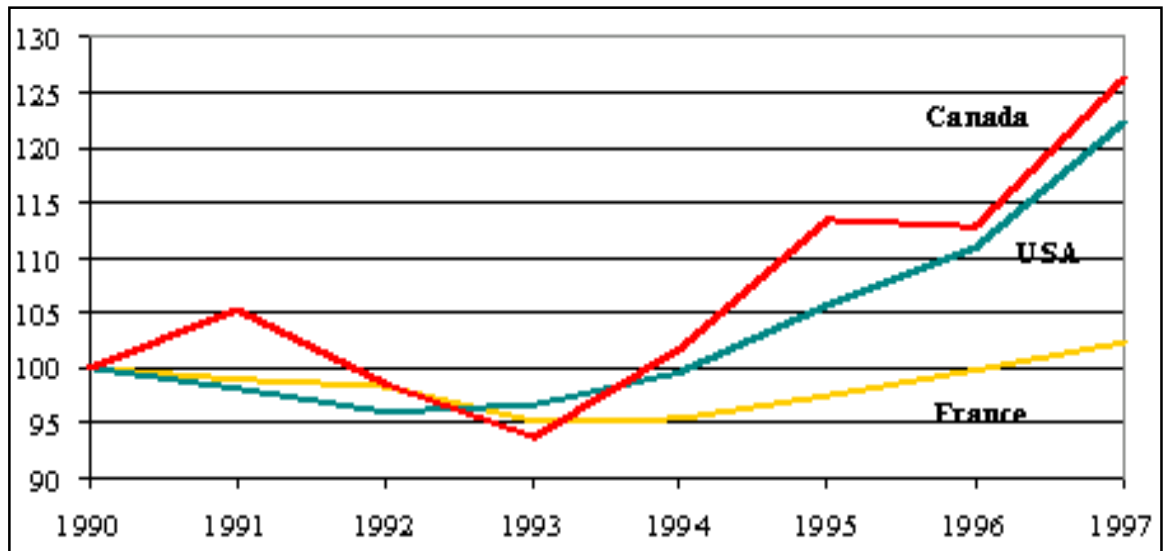
application	débit requis
télécopie	64 Kbits/s
transfert de fichiers	qqs Kbits/s à qqm Mbits/s
téléphonie	64 Kbits/s
son HiFi	2 Mbits/s
visioconférence	64 Kbits/s à 2 Mbits/s
télévision	34 Mbits/s
télévision haute définition	140 Mbits/s

C'est pourquoi la recherche de réseaux à hauts débits (ou large bande) est une question d'actualité. Ce chapitre passe en revue un certain nombre de solutions hauts débits ; cette revue n'est certainement pas exhaustive et il est également clair qu'elle sera à terme désuète bien que certains des réseaux présentés ont quelques chances de longévité.

La "nouvelle économie" baptisée un peu hâtivement "net-economy" chez nos voisins américains s'est montrée dès le départ extrêmement gourmande en consommation de "hauts débits". La relative récession économique perçue dès le début de 2001 a démontré que les tuyaux ne sont rien sans les contenus et que l'utilisateur est encore en décalage par rapport aux propositions de services (encore

rudimentaires) de "nouvelles" entreprises. Il est cependant assez évident qu'à terme, l'utilisation des réseaux pour un grand nombre d'applications est un facteur stratégique de croissance économique. La France, dans le domaine des nouvelles technologies est d'ailleurs toujours à la remorque de l'Amérique du Nord comme le montre le rapport Bourdier (Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie - année 2000) :

Evolution de l'emploi dans les TIC ; comparaison France - Amérique du nord (base 100 en 1990)



## Que sont les hauts débits ?

Il y a quinze ans, un modem à 56 Kbits/s était considéré comme un objet introuvable car les débits courants de l'époque, pour l'utilisateur moyen, correspondait à celui obtenu avec le Minitel (1200 bits/s). Il faut donc relativiser l'expression "hauts débits".

Nous nous en tiendrons aux valeurs suivantes, à considérer dans l'époque actuelle seulement :

- pour les réseaux d'accès grand public : la limite est donnée par les technologies DSL : à partir de 500 Kbits/s pour l'ADSL
- pour les réseaux d'accès des entreprises : à partir de 34 Mbits/s et même de 155 Mbits/s (ATM)
- pour les réseaux métropolitains : réseaux optiques de l'ordre du Gbit/s
- pour les réseaux grande distance qui cumuleront le trafic (backbones), la limite inférieure dépend des "consommations en débit" précédentes.



# Pour quels usages, pour quels services ?

On peut distinguer 3 sortes d'usages (en dehors de ceux qui ne nécessitent pas de hauts débits comme le téléphone) :

- L'usage domestique qui correspond aux utilisations des foyers : jeux en ligne, télévision interactive,..
- L'usage des mobiles : la téléphonie mobile s'est considérablement répandue et de la simple application téléphonique, on est passé à la réception des images animées, sans parler du multiplexage délicat de très nombreuses communications téléphoniques.
- L'usage "bureau" : forums, visioconférence, transfert de fichiers volumineux,..., ensemble de services accessibles depuis un PC.

Il convient d'ajouter l'aspect interactif des services qui nécessite une voie "aller" et une voie "retour", par exemple dans des applications comme la visiophonie, la télésurveillance.

Trois concepts ont leur importance pour les services en ligne" utilisant les hauts débits :

- le "temps réel" est une notion impliquant une quasi réactivité des correspondants ; il est important en visioconférence par exemple, mais aussi dans l'actualisation de la présentation de données variant rapidement (les cours de la Bourse).
- le streaming correspond à la distribution par flux, réduisant le délai d'attente qu'impliquerait un simple téléchargement avant lecture. Les flux audio et vidéo sont concernés par cette technique.
- le contenu "à la demande" est une notion bien simple : l'utilisateur demande ce qu'il souhaite par opposition à une diffusion programmée.

Citons d'ailleurs quelques services "en ligne" dont on espère un développement lié aux hauts débits :

- la radio ou et la musique sur Internet : Webradios
- la diffusion vidéo : WebTV
- la vidéo à la demande : Video on Demand (VoD)
- les jeux en ligne : Webgame
- le commerce électronique : Web call center, shopping en streaming 3D, Webcamer,
- communication sur IP : téléphonie sur IP, visioconférence
- enseignement et formation : e-learning
- services publics en ligne : Web des collectivités territoriales, portails ministériels et interministériels, téléprocédures et guichets administratifs en ligne, vote en ligne





# Infrastructures de transport



[Introduction](#)

[PDH](#)

[SONET](#)

[SDH](#)

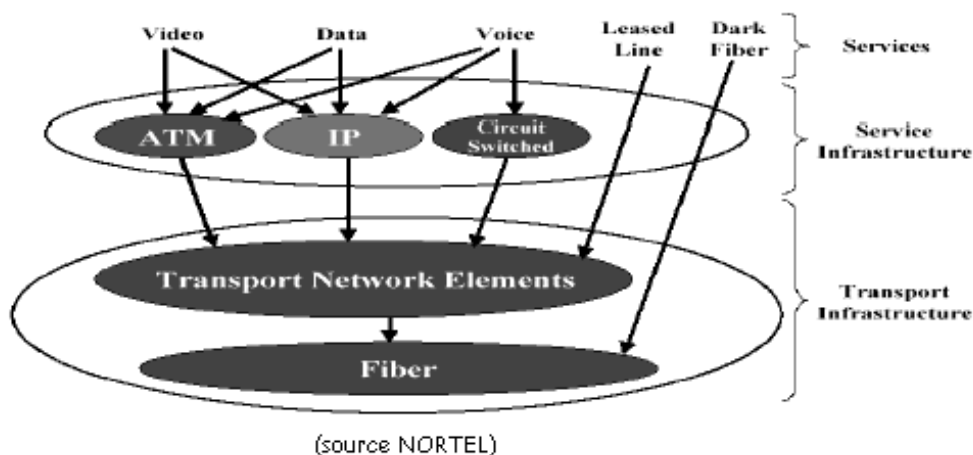
[Equipements SDH](#)

[Topologies SDH](#)

[Bibliographie et Webographie](#)

## Introduction

Le besoin en hauts débits nécessite des infrastructures de transport adaptées. Nous passerons en revue deux infrastructures usuelles : PDH et SONET/SDH.



## PDH

Les réseaux longue distance ont évolué grâce aux progrès du réseau téléphonique. La problématique croissante de celui-ci était de faire passer le maximum de communication sur une artère unique de communication. D'abord basées sur le multiplexage fréquentiel pour le transport de la voix analogique, elles ont évoluées vers la transmission numérique avec la hiérarchie numérique plésiochrone ou PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy). Les technologies se sont développées en Amérique du Nord, en Europe et au Japon avec des différences sur le codage, la signalisation et le degré de multiplexage.

L'ingrédient de base est la trame MIC dont nous rappelons brièvement le principe. MIC signifie "modulation par impulsion et codage". Elle consiste à numériser un signal analogique (en l'occurrence sonore) par échantillonnage, quantification et codage. La parole correspond à un signal sonore dont la plage de fréquences va de 300 à 3400 Hz. le signal sonore est échantillonné (c'est à dire mesuré en amplitude) à une certaine fréquence d'échantillonnage  $f_e$ . Cette fréquence, d'après les lois de l'échantillonnage, doit être supérieure au

double de la fréquence maximale (soit 3400 Hz). Pour des raisons de sécurité, on choisit  $f_e = 8000$  Hz. Une seconde de voix analogique correspond ainsi à 8000 mesures où, si l'on préfère, les mesures s'effectuent toutes les 125 microsecondes. Ensuite chacune de ces mesures est quantifiée selon une échelle en puissances de 2, en l'occurrence  $2^8$  soit 256 valeurs "quantiques" (une approximation appelée bruit de quantification est effectuée pour que la mesure corresponde exactement à l'une des 256 valeurs). La valeur ainsi quantifiée de chaque mesure est transmise sous forme binaire (son numérisé). Comme il y a 256 valeurs possibles, le codage s'effectue sur 8 bits. Si l'on veut assurer la synchronisation entre l'émetteur (la personne qui parle) et le récepteur (la personne qui écoute), il faut que le débit de la voie de transport soit égal au débit de sortie de l'émetteur, soit  $8000 \times 8$  bits/s = 64000 bits/s. On retrouve là une valeur bien connue du réseau RNI S destiné (entre autres) au transport de la voix numérisée.

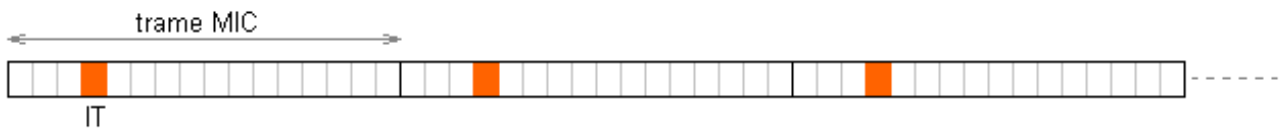
Une trame MIC est une trame à 2,048 Mbits/s comportant 32 intervalles de temps (IT) dont 30 sont destinés aux usagers (les IT 0 et 16 sont réservés au service). Chaque intervalle de temps IT reçoit l'équivalent d'un échantillon de son numérisé, soit 8 bits. La trame entière peut donc comporter 256 bits.

L'intervalle IT 0 sert à délimiter les trames par un mot de verrouillage :

- trame paire : 10011001
- trame impaire : 11000000

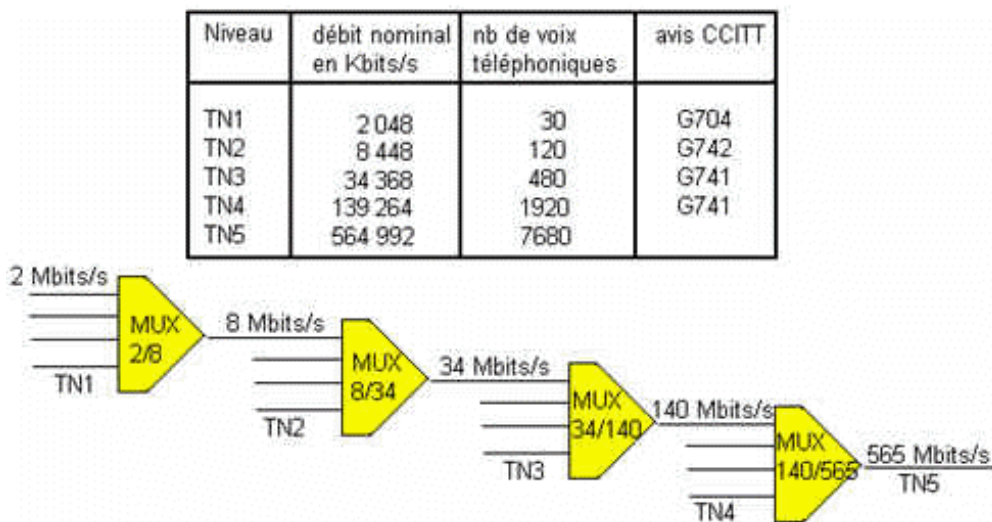
L'intervalle IT 16 transporte des informations de signalisation.

On peut, bien entendu, utiliser les trames MIC pour le transport de données (par seulement pour le transport du son et mêler ainsi voix et données), un utilisateur se voyant attribuer au minimum un IT (toujours le même) ou plusieurs (ce qui augmente son débit).



L'utilisation d'un IT correspond à un débit de  $2,048/32 = 0,064$  Mbits/s = 64000 bits/s.

On peut ensuite effectuer un multiplexage des trames MIC de manière à augmenter le débit total :

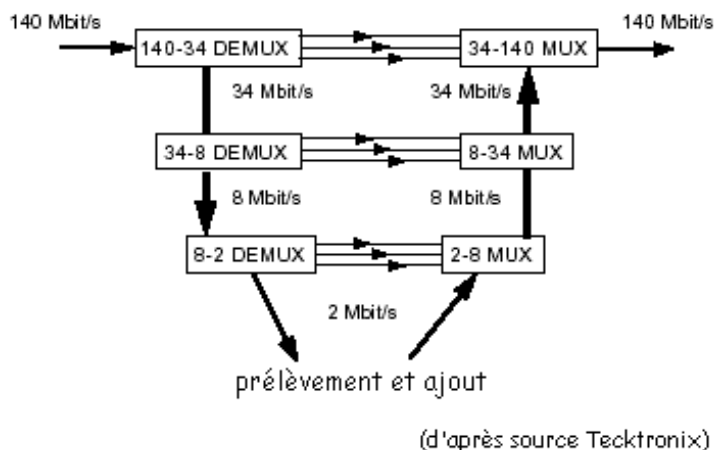


Le système décrit précédemment correspond au cas européen. En Amérique du Nord, l'équivalent de la trame MIC est une trame T1 de 1,544 Mbits/s comportant 24 IT à 64 Kbits/s. Il existe, bien sûr, des dispositifs effectuant la conversion entre les deux systèmes.

Le système PDH peut fonctionner sur du câble coaxial ou du faisceau hertzien.

Les débits à la sortie d'un multiplexeur sont supérieurs légèrement à celui attendu. Par exemple  $8848 > 4 \times 2048$ . Le problème à résoudre est en effet de synchroniser les trames provenant d'horizons différents (problème d'horloge). Plésiochrone, qui provient du grec, signifie, en effet, "presque synchrone".

PDH possède un défaut majeur : pour insérer ou retirer un message, il faut démultiplexer le train numérique, puis le multiplexer à nouveau. La mise en service de nouveaux supports large bande comme la fibre optique a permis de faire évoluer l'infrastructure de transport vers SONET/SDH.

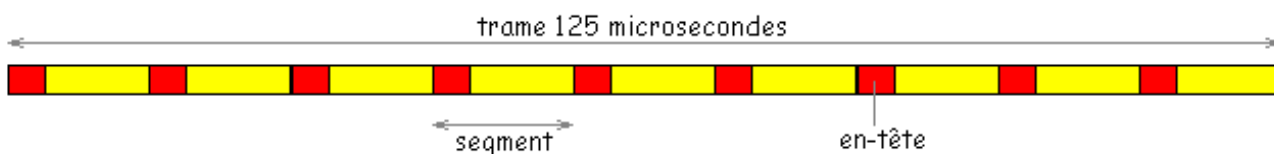


## SONET

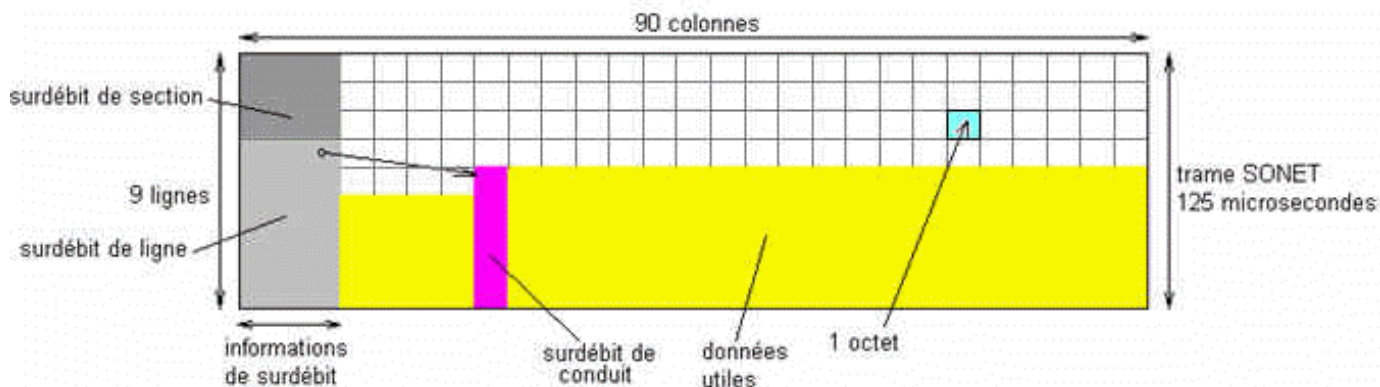
SONET (Synchronous Optical NETwork) aux USA et SDH (Stnchronous Digital Hierarchy) en Europe constituent deux systèmes compatibles de la hiérarchie synchrone. Ces systèmes possèdent 3 avantages :

- ils sont indépendants des opérateurs et permettent donc une connexion universelle en termes de normalisation sur la signalisation, la structure des trames, la synchronisation, les débits, etc...
- ils unifient les systèmes américains, européens et japonais
- ils permettent l'insertion ou le prélèvement d'informations sans procéder à un multiplexage/démultiplexage coûteux

La trame SONET a une structure plus complexe que celle de PDH. Elle se reproduit 8000 fois par seconde et transporte 810 octets, ce qui correspond à un débit global de 51,84 Mbits/s. Le multiplexage consiste en un entrelacement d'octets. Une trame se compose de 9 segments ayant chacun un en-tête de 3 octets :



Pour des raisons de représentation, la trame est usuellement présentée sous forme d'une matrice de 9 lignes représentant les segments et de 90 colonnes, chaque "case" pouvant contenir un octet.

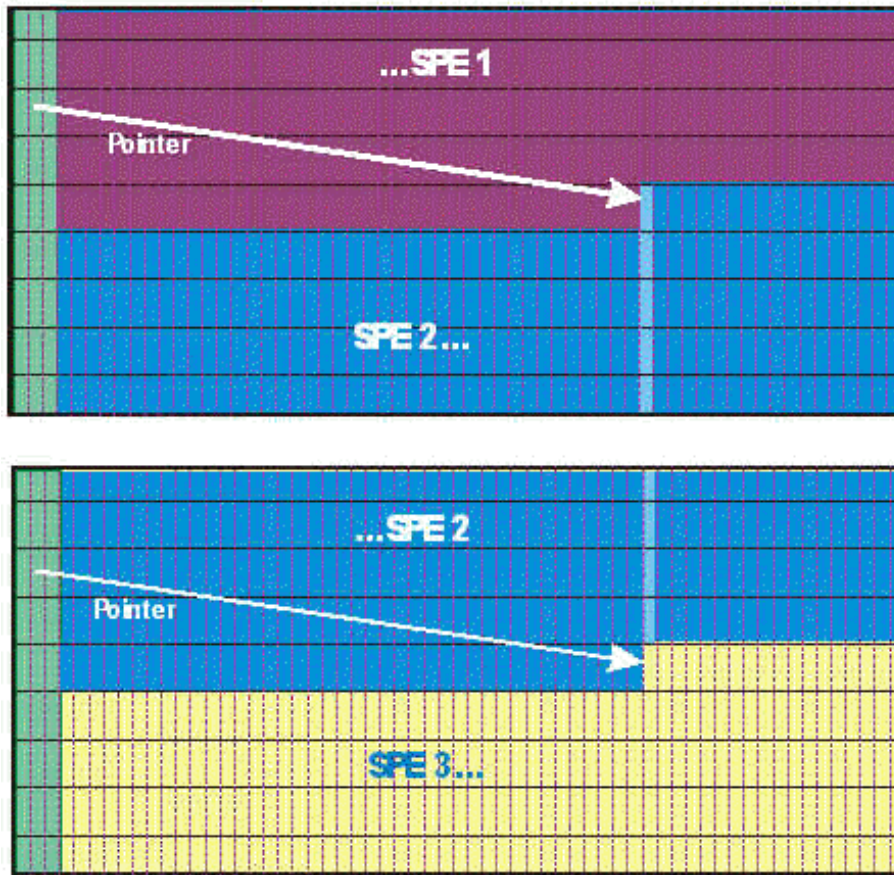


Les octets des trois premières lignes et des trois premières colonnes (surdébit de section RSO), ainsi que le reste

des trois premières colonnes (surdébit de ligne MSO) sont utilisés pour la synchronisation.

Un pointeur (9 premiers octets de la 4ème ligne) indique le début des données (conteneur virtuel) ; les données utiles commencent par une colonne d'octets de surdébit (POH) de conduit. On peut insérer des données n'importe où dans la trame (dans les 87 colonnes suivant les trois premières).

Les données se suivent dans des trames successives, le pointeur indiquant un début de message :



(Source : Randy Bird)

Nous donnerons des détails plus complets ci-dessous à propos de SDH.



## SDH

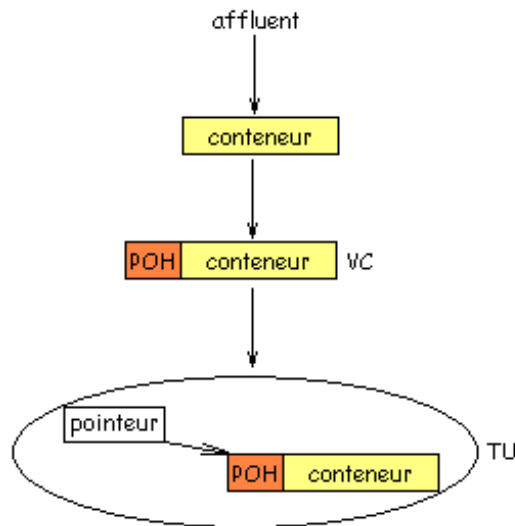
Le tableau ci-dessous montre la correspondance entre SONET et SDH :

SONET	SDH	debit en Mbits/s
STS-1		51,84
STS-3	STM-1	155,52
STS-9	STM-3	466,56
STS-12	STM-4	622,08
STS-18	STM-6	933,12
STS-24	STM-8	1244,16
STS-36	STM-12	1866,24
STS-48	STM-16	2488,32

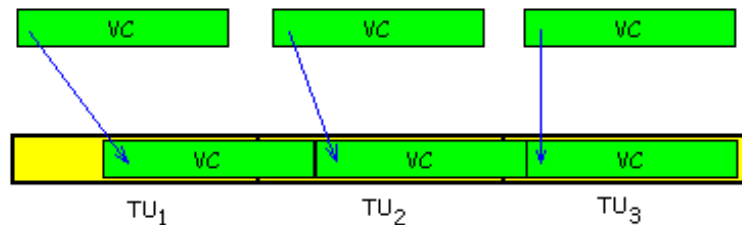
On observe que SDH commence au débit 155,52 Mbits. De fait, la trame SDH est une extension de celle de

SONET. Pour une catégorie STM-N, la trame est toujours constituée de 9 lignes d'octets, mais chaque ligne comporte  $270 \times N$  octets. La trame STM-1 comporte donc  $9 \times 270$  octets, soit 2430. Dans une succession de trames STM-1, un même octet revient tous les 125 microsecondes. La passage de trames STM-1 correspond donc bien à un débit de  $2430 \times 8 \text{ bits} / (125 \text{ microsecondes}) = 155,52 \text{ Mbits/s}$ .

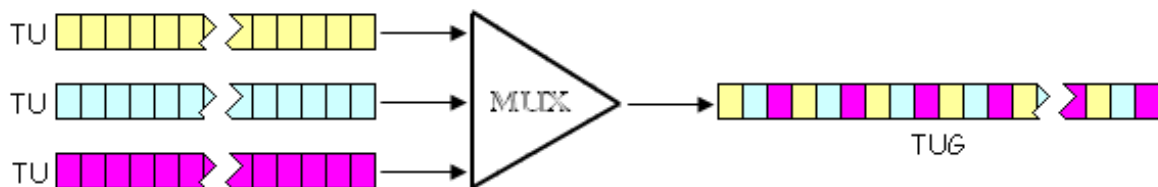
Examinons comment les flux d'information sont transmis via SDH. Les flux primaires sont appelés "affluents" et proviennent de liaisons diverses asynchrones ou synchrones (et notamment PDH). Les signaux numériques des affluents sont accumulés (toutes les 125 microsecondes) dans des conteneurs (dont le contenu est appelé "payload" ou charge utile). Ces conteneurs sont destinés à voyager tels quels sur SDH ; pour les manipuler (sans avoir à prendre en considération le contenu) , on ajoute des octets d'informations constituant le POH (Path OverHead) ; on obtient ainsi un conteneur virtuel (Virtual Container ou VC). Un VC sera ensuite placé dans une trame SDH ; il faut donc localiser le début de ce VC dans la trame et pour cela introduire un pointeur (formé de quelques octets) ; l'association pointeur-VC est appelé TU (Tributary Unit).



Il faut bien distinguer la constitution du conteneur virtuel qui se fait au rythme de l'affluent (on doit mettre des bits de bourrage éventuels) de la constitution de la TU qui se fait au rythme de l'horloge SDH ce qui signifie que le début d'un VC peut être n'importe où dans une TU et qu'une TU peut contenir des morceaux de VC.



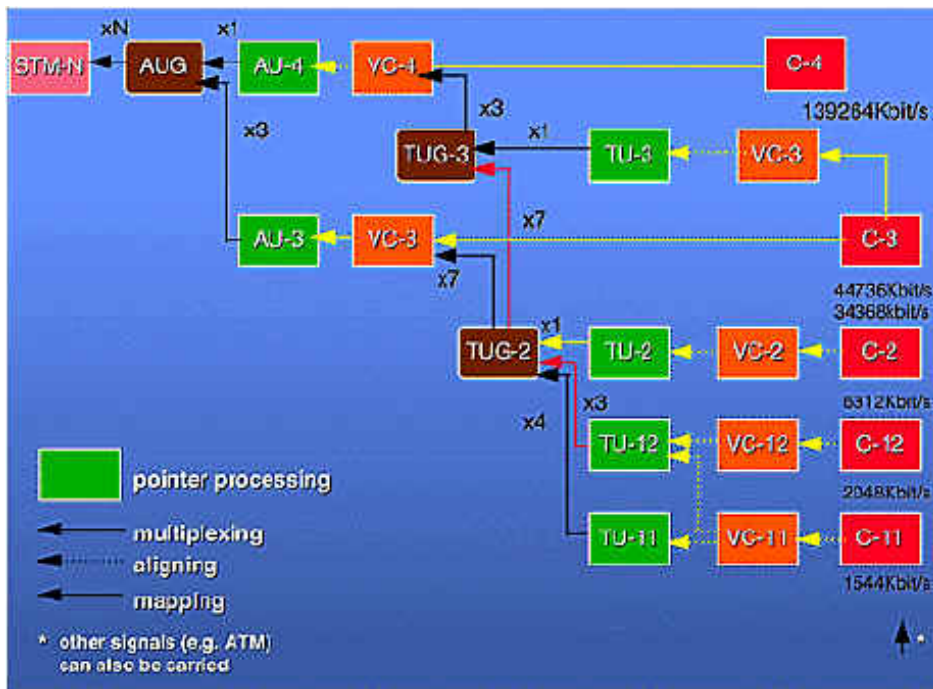
Plusieurs TU, issues de différents affluents, sont multiplexées octet par octet pour constituer un TUG (Tributary Unit Group ou groupe de TU) :



A leur tour les TUG sont multiplexés dans des VC (dits d'ordre supérieur). On peut aussi y introduire directement un affluent si celui-ci est de haut débit. En ajoutant un pointeur à un VC d'ordre supérieur on obtient une unité administrative AU qui est au VC d'ordre supérieur ce que la TU est au VC d'ordre inférieur. Une AU est placée dans une trame SDH STM-n.

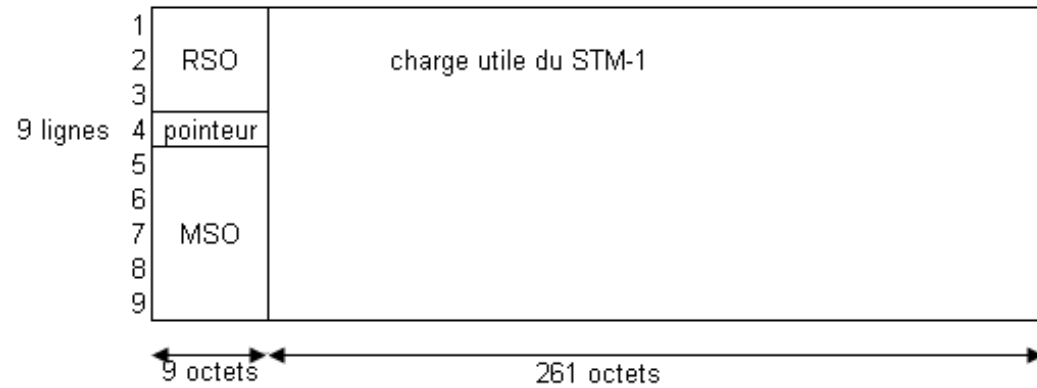
**exemple** : un VC-4 peut contenir 3 TUG-3 ou 21 TUG-2 ou 63 TUG-12.

Le schéma suivant (source Marconi) résume les diverses opérations :



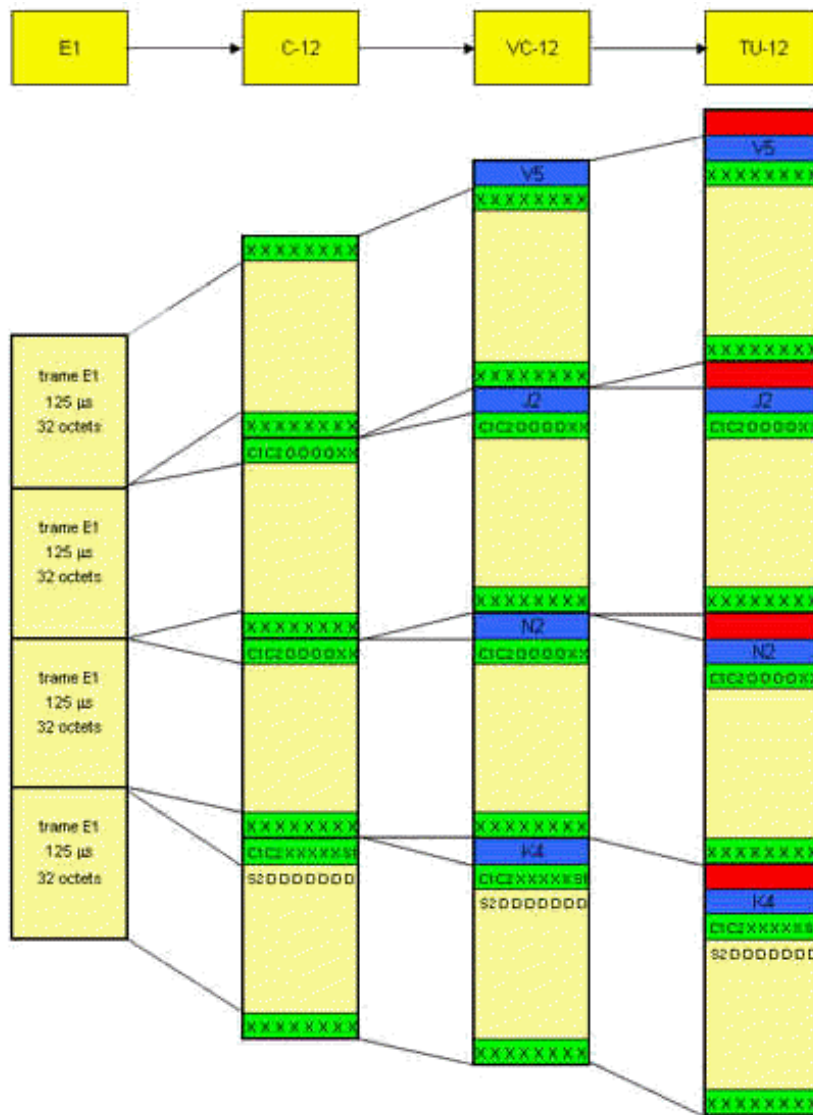
La structure d'une trame STM-1 est donnée ci-dessous (pour obtenir des détails cliquer sur les 9 premières colonnes) :

trame STM-1



Cette trame se régénère toutes les 125 microsecondes. Les trames STM-n sont du même type, toujours avec 9 lignes mais avec 270xn colonnes.

**exemple** : Soit une trame MIC (E1) issue par exemple d'une liaison PDH. Nous voulons l'incorporer dans une trame STM-1. Les données de E1 sur 32 octets sont incorporées dans un conteneur C-12 (en ajoutant 2 octets supplémentaires dont on verra plus loin la justification). On ajoute le POH (4 octets V5, J2, N2, K4) toutes les 4 trames destinés à gérer l'acheminement du conteneur. On obtient un conteneur virtuel VC-12 (35 octets). On ajoute ensuite un pointeur (octets V1, V2, V3, V4) toutes les 4 trames pour obtenir une TU-12 (36 octets) :



Dans la figure ci-dessus, X désigne un bit de remplissage, D un bit de données, C1, C2, des bits de contrôle de justification, S1, S2, des bits de justification, O un bit de service. La TU-12 est organisé sous forme d'une matrice à 9 lignes ; comme il y a 36 bits à prendre en considération, la matrice a 4 colonnes :

	1	2	3	4
1	1	2	3	4
2	5	6	7	8
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9	33	34	35	36

9 lignes

Trois TU-12 sont ensuite multiplexées octet par octet pour obtenir un TUG-2 :

	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	3c	4a	4b	4c
1	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	3c	4a	4b	4c
2	5a	5b	5c	6a	6b	6c	7a	7b	7c	8a	8b	8c
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9	33a	33b	33c	34a	34b	34c	35a	35b	35c	36a	36b	36c

9 lignes

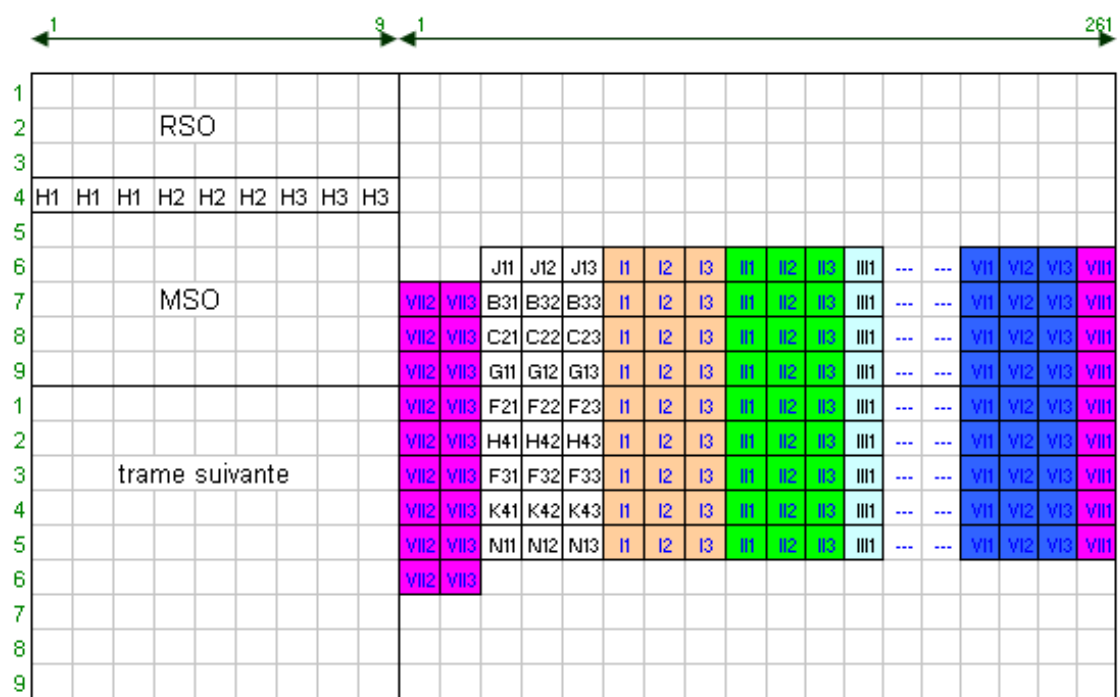
7 TUG-2 sont multiplexées pour donner un TUG-3 auquel on ajoute un POH sur 9 bits pour obtenir un VC-3 (84 +1 colonnes),

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	...	30	31	32	...	59	60	61	...	81	82	83	84	85	86	87
1	J1	I	II	III	IV	V	VI	VII	I	II	III	IV	V	VI	VII	I	...				...				...							
2	B3	I	II	III	IV	V	VI	VII	I	II	III	IV	V	VI	VII	I	...				...				...							
3	C2	I	II	III	IV	V	VI	VII	I	II	III	IV	V	VI	VII	I	...				...				...							
4	G1	I	II	III	IV	V	VI	VII	I	II	III	IV	V	VI	VII	I	...				...				...							
5	F2	I	II	III	IV	V	VI	VII	I	II	III	IV	V	VI	VII	I	...				...				...							
6	H4	I	II	III	IV	V	VI	VII	I	II	III	IV	V	VI	VII	I	...				...				...							
7	F3	I	II	III	IV	V	VI	VII	I	II	III	IV	V	VI	VII	I	...				...				...							
8	K4	I	II	III	IV	V	VI	VII	I	II	III	IV	V	VI	VII	I	...				...				...							
9	N1	I	II	III	IV	V	VI	VII	I	II	III	IV	V	VI	VII	I	...				...				...							

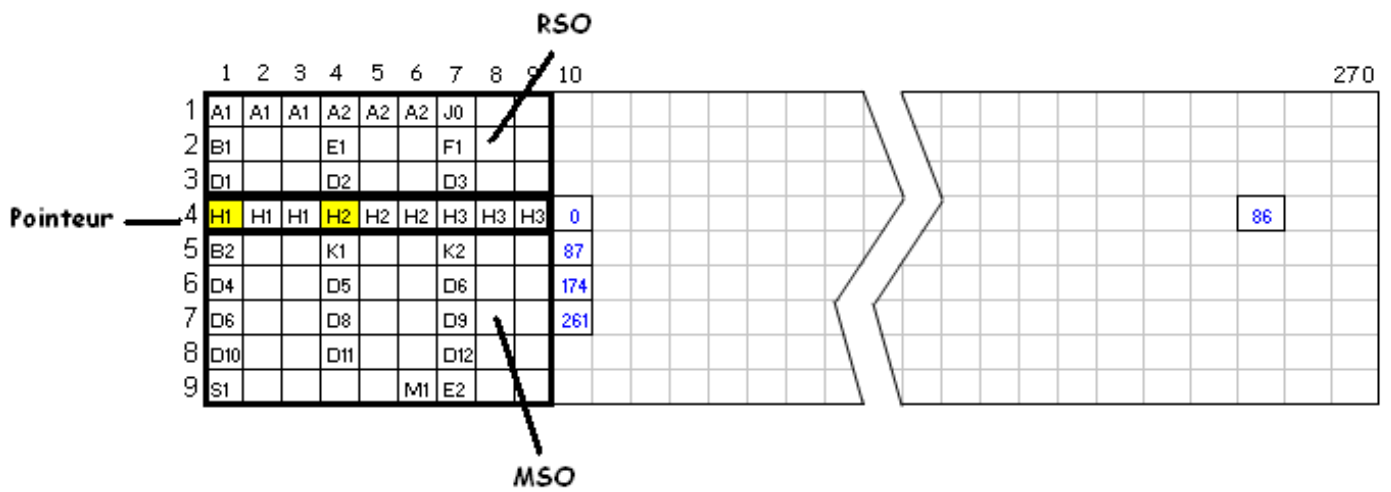
Comme le VC-3 comporte 87 colonnes on rajoute des octets de bourrage en colonnes 30 et 59. On ajoute ensuite un pointer de trois octets H1, H2, H3 pour indiquer la position du VC-3 dans une UA-3. Il ne reste plus qu'à multiplexer 3 UA-3 octets par octet pour obtenir un AUG de 261 colonnes.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	256	257	258	259	260	261	
1	J11	J12	J13	II	I2	I3	II	II2	II3	III1	...	...	VII	VI2	VI3	VIII	VII2	VII3
2	B31	B32	B33	II	I2	I3	II	II2	II3	III1	...	...	VII	VI2	VI3	VIII	VII2	VII3
3	C21	C22	C23	II	I2	I3	II	II2	II3	III1	...	...	VII	VI2	VI3	VIII	VII2	VII3
4	G11	G12	G13	II	I2	I3	II	II2	II3	III1	...	...	VII	VI2	VI3	VIII	VII2	VII3
5	F21	F22	F23	II	I2	I3	II	II2	II3	III1	...	...	VII	VI2	VI3	VIII	VII2	VII3
6	H41	H42	H43	II	I2	I3	II	II2	II3	III1	...	...	VII	VI2	VI3	VIII	VII2	VII3
7	F31	F32	F33	II	I2	I3	II	II2	II3	III1	...	...	VII	VI2	VI3	VIII	VII2	VII3
8	K41	K42	K43	II	I2	I3	II	II2	II3	III1	...	...	VII	VI2	VI3	VIII	VII2	VII3
9	N11	N12	N13	II	I2	I3	II	II2	II3	III1	...	...	VII	VI2	VI3	VIII	VII2	VII3

Il reste à placer cet AUG dans une trame STM-1. Il faut ajouter l'en-tête et, dans celle-ci, un pointeur indiquant le début de l'AUG :



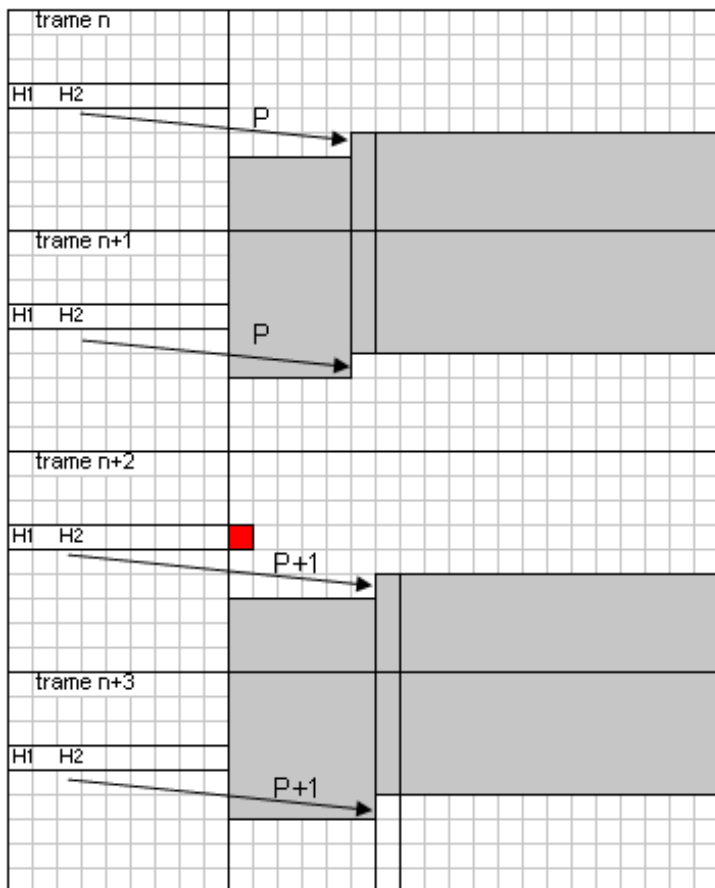
Un des gros intérêt de SDH est de pouvoir identifier les blocs d'information sans avoir à effectuer des démultiplexages successifs (comme dans le cas de PDH) pour prélever ou insérer des données. Le principe de base est l'utilisation des pointeurs. Dans une trame STM-1, la zone pointeur (4ème ligne des 9 premières colonnes) permet de trouver le début d'un VC.



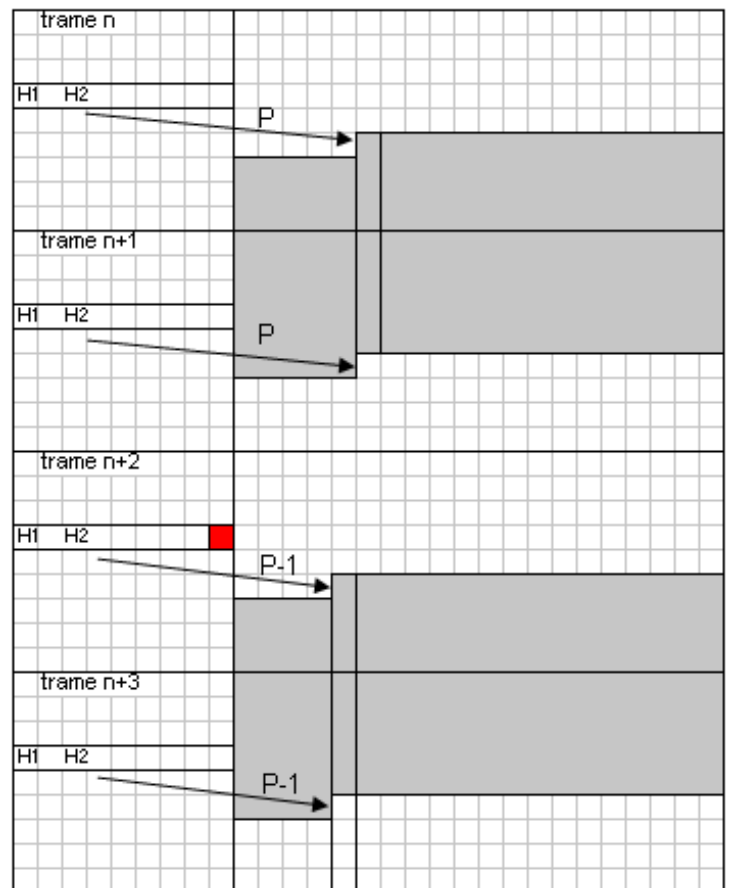
Pour indiquer la position de départ d'un VC-4 dans une trame STM-1, le pointeur est défini par le nombre binaire obtenu par concaténation de H1(1ère colonne) et de H2(4ème colonne). On ne retient que les 10 derniers bits du mot H1H2 ce qui conduit à un maximum de 1024 "adresses" qui correspondent en fait aux déplacements depuis le 10ème octet suivant la zone de pointeur. Cependant pour un VC-4, les points de départ sont des multiples de 3, ce qui fait au total  $261 \times 9 / 3 = 783$  positions acceptables. Ainsi, si  $H1H2 = 0$ , le point de départ du VC-4 (qui est le bit J1) est en ligne 4, colonne 10 ; si  $H1H2 = 86$ , le point de départ est en ligne 4, colonne 268 ; si  $H1H2 = 87$ , le point de départ est en ligne 5, colonne 10.

Pour parer aux défauts de synchronisation, la méthode de la justification est utilisée. Supposons que le débit du VC soit plus lent que celui de la trame STM-1. Il conviendra alors d'introduire des octets de bourrage pour tenir compte de la différence de rythme. Un octet de bourrage est en effet ajouté en ligne 4, colonne 10 ce qui décalera d'une colonne le VC-4. Il s'agit d'une justification positive et le pointeur est incrémenté de 1.

Si, au contraire le débit du VC est plus important que celui de la trame, il faudra "avancer" l'alignement du VC, ce qui s'opère en mettant un octet de données en ligne 4, colonne 9 (donc dans la zone pointeur). Le pointeur du VC est alors décrémenté de 1.



justification positive



justification negative



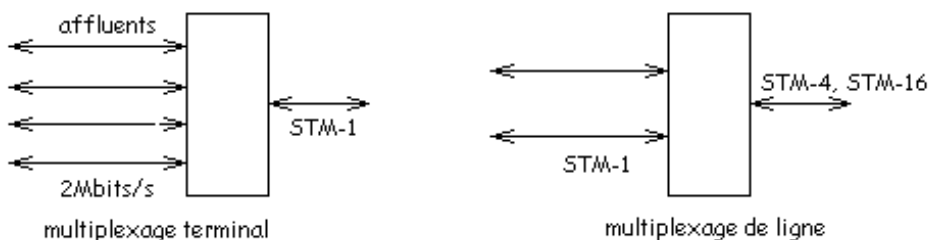
## Equipements SDH

Pour constituer des réseaux à base de liaisons SDH, un certain nombre d'équipements est nécessaire :

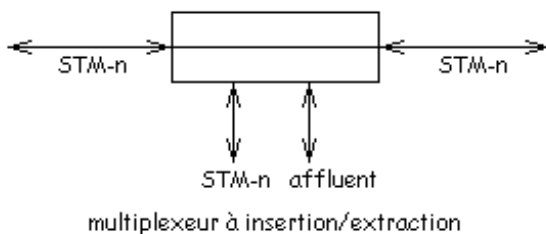
- un support de transmission
- des multiplexeurs terminaux
- des multiplexeurs à insertion/extraction
- des brasseurs

Le support vde transmission idéal est la fibre optique, notamment monomode et unidirectionnelle. Des régénérateurs sont utilisés pour régénérer le signal optique (la zone RSO seule est impliquée dans la régénération).

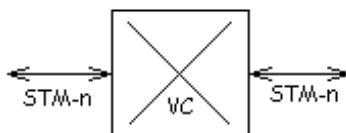
Les multiplexeurs terminaux transforment les affluents en trames STM-1 et réciproquement. Les multiplexeurs de ligne multiplexent les trames STM-n.



Les multiplexeurs à insertion/extraction permettent de récupérer les données transmises ou d'en incorporer de nouvelles. Seule l'information à extraire est prélevée du trafic qui n'est pas interrompu.

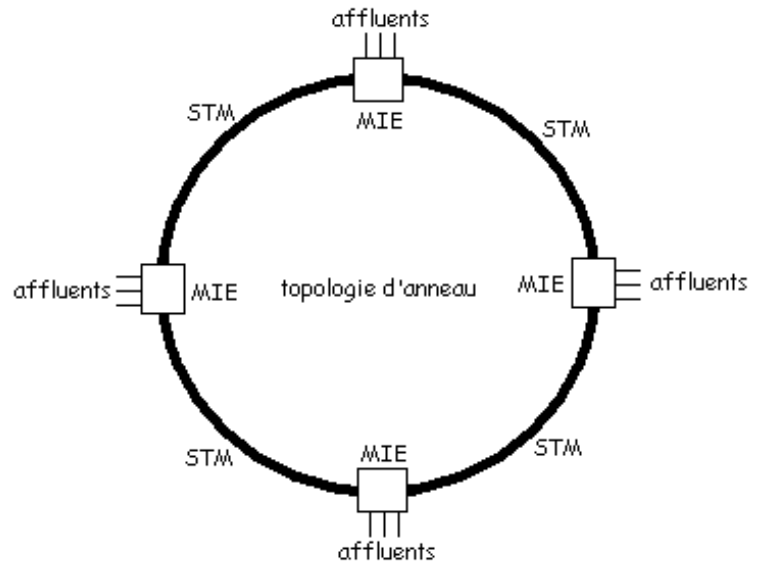
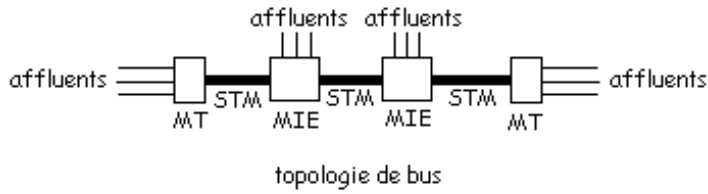


Les brasseurs sont des équipements qui permettent la commutation des VC composant les trames SDH, ce qui conduit à des possibilités de routage intéressantes :



## Topologies SDH

En principe toutes les topologies de réseau sont acceptables, notamment celle de bus et celle d'anneau (qui ne comporte pas de multiplexeur terminal).

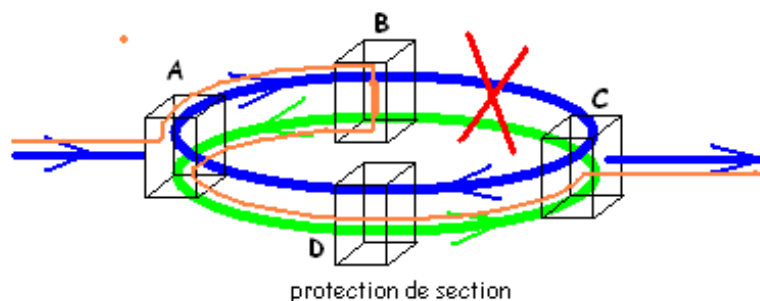
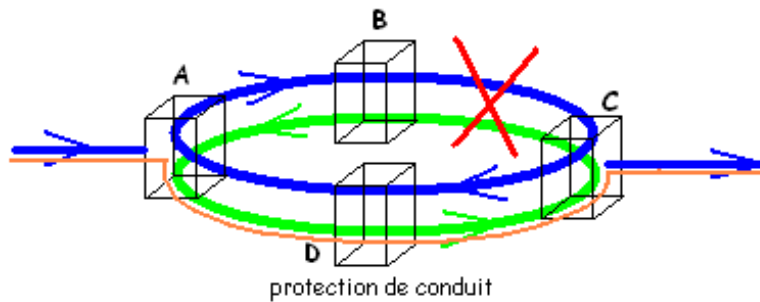


Les brasseurs permettent la constitution de réseau maillés.

La topologie d'anneau possède une propriété intéressante liée à la fiabilité en cas de rupture de liaison. Tout d'abord les anneaux sont construits à partir d'un nombre pair de fibres. On raisonnera ici sur le cas le plus simple : 2 anneaux parallèles composés chacun de une fibre. En fonctionnement normal, la fibre bleue est la fibre active ; l'autre, verte, est gardée en réserve pour les cas où l'anneau est sectionné. Les deux fibres sont unidirectionnelles de sens opposés. Il y a deux modes de parade à la brisure des anneaux :

le mode protection de circuit : la fibre est sectionnée entre les multiplexeurs B et C. Le trafic provenant de l'extérieur du multiplexeur A ne peut plus arriver en C. Les données transitant sur la fibre bleue sont copiées sur la fibre verte. Le trajet "vert" ADC résout alors le problème.

le mode protection de section : au niveau du multiplexeur B (ou C) un reboilage bleu -> vert est effectué ce qui reconstruit un anneau complet.



- Tektronix, SDH Telecommunication Standard Primer,
- Guy Pujolle, Les réseaux, Eyrolles
- Daniel Battu, Télécommunications, principes, infrastructures et services, Dunod
- Andrew Tannenbaum, Réseaux, InterEditions et Prentice Hall
- Randy Bird, SONET Architecture 101: A Tutorial for Datacomers, <http://tcpmag.com/features/>
- Pulse , What is SDH ?, [http://www.pulsewan.com/data101/sdh\\_basics.htm](http://www.pulsewan.com/data101/sdh_basics.htm)



# ATM



- [Généralités](#)
- [La couche ATM](#)
- [La couche AAL](#)
- [Qualité de service et Contrôle de Congestion](#)
- [Intégration de réseaux existants](#)
- [Exercices](#)
- [Bibliographie et Webographie](#)

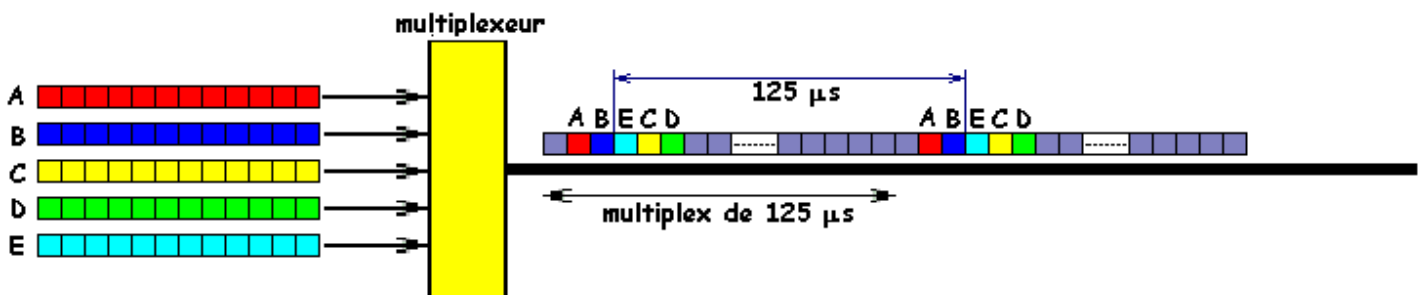
## Généralités

Pourquoi une nouvelle technologie ? Les besoins en hauts débits nécessités pour le transport de l'information multimédia nous l'impose :

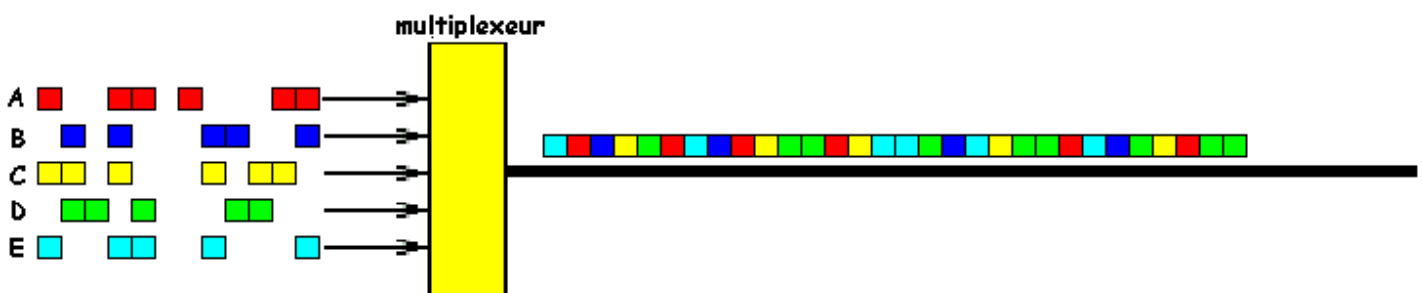
- vidéoconférence : de 128 Kbits/s à 5 Mbits/s
- TV : au moins 50 Mbits/s
- MPEG2 : 10 Mbits/s

Il s'agit donc de proposer un type de réseau permettant une large bande passante. Ce réseau est appelé RNI S-LB (Réseau Numérique à Intégration de Service Large Bande). On peut considérer ATM (Asynchronous Transfer Mode) comme un composant de ce réseau.

Quelques explications sur l'emploi du mot "asynchrone" sont nécessaires. Il est relatif au type de multiplexage employé. Le Mode Synchrone (STM) est bien connu pour le transport de la voix numérisée (à 64 Kbits/s). La trame MIC employée est un multiplex périodique divisé en intervalles de temps (32 en Europe) ; chaque intervalle de temps (IT) peut transporter un octet de voix numérisée. Un même IT revient donc périodiquement toutes les 125 microsecondes. Lors de l'établissement d'une liaison, un IT (toujours le même) est affectée à une voie entrante :



Le dispositif est simple mais peut être gaspilleur de bande passante. En effet, les IT non remplis sont "perdus". Le Mode Asynchrone (ATM) vise, au contraire, à utiliser au mieux la bande passante. L'information est structurée en blocs de longueur fixe appelées cellules ; les cellules peuvent arriver de manière irrégulière sur les voies entrantes. Elles sont placées les unes derrière les autres sur la voie multiplexée :



Chaque cellule comporte une en-tête indiquant sa destination.

La petitesse et la taille fixe des cellules ATM permettent un multiplexage performant et l'utilisation de dispositifs hardware plutôt que software, d'où un gain de rapidité permettant d'atteindre les débits ci-dessus.

Les cellules ATM sont de 53 octets comprenant une en-tête de 5 octets et une partie "données" de 48 octets. Ce nombre bizarre provient d'un compromis entre Américains (souhaitant 64 octets) et Européens (souhaitant 32 octets).

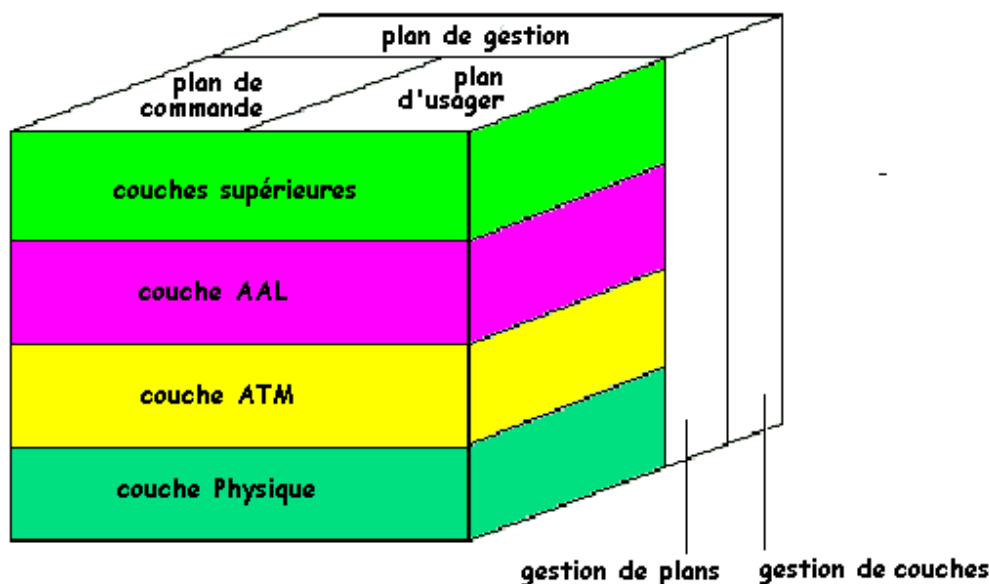
La technologie ATM est basée sur une bonne qualité des supports de transmission (fibre optique) et des équipements permettant d'éviter

- le contrôle de flux (après acceptation de la communication)
- le contrôle d'erreur

On retrouve ici quelques caractéristiques du relais de trames.

ATM est orienté connexion : établissement d'une voie de communication basée sur la notion de circuits virtuels. Une amélioration de cette technique, notamment pour le routage, repose sur la notion de groupement de circuits virtuels. Les chemins virtuels (VCC = Virtual Channel Connection) font partie de faisceaux appelés conduits virtuels (VPC = Virtual Path Connection) qu'il est possible de router globalement.

Du point de vue du modèle en couche, ATM se définit suivant le schéma ci-dessous :



Comme usuellement, la couche Physique traite des supports de transmission et de l'encodage des données et ne fait pas partie, stricto sensu, de la technologie ATM

ATM se réfère aux couches AAL et ATM

AAL (ATM Adaptation Layer) est une couche d'adaptation aux protocoles des couches supérieures tandis que ATM est une couche définissant la transmission des données dans les cellules et l'utilisation des connexions logiques.

En outre ATM distingue 3 plans :

- le plan utilisateur, relatif aux couches supérieures, qui traitera les questions de contrôle de flux et d'erreur
- le plan de commande relatif aux fonctions de connexion
- le plan de gestion comportant deux composants :
  - la gestion des plans (coordination entre les plans)
  - la gestion de couches (fonctions de gestion des ressources et des paramètres des protocoles)

La correspondance avec le modèle "standard" OSI n'est pas évidente. une tentative de correspondance est donnée ci-dessous :

modèle OSI	modèle ATM		fonctionnalités
couche transport	couche AAL	CS	interfaçage universel
		SAR	segmentation et assemblage
couche réseau	couche ATM		contrôle de flux ; gestion des circuits virtuels ; traitement des en-têtes de cellules ; multiplexage des cellules
couche liaison	couche physique	TC	génération des cellules ; génération des trames
couche physique		PMD	accès physique au réseau

CS : Convergence Sublayer  
SAR : Segmentation And Reassembly  
TC : Transmission Convergence  
PMD : Physical Medium

Depuis les premiers travaux sur ATM dans les années 80, un effort de normalisation a été effectué. Toutes les recommandations sont rassemblées dans la série I de l'UIT. Un groupe particulièrement actif, l'ATM Forum, rassemble près de 500 membres qui proposent des spécifications.



## La couche ATM

La couche ATM est chargée des 3 fonctions principales suivantes :

- commutation des cellules
- multiplexage des cellules
- génération/extraction de l'en-tête des cellules

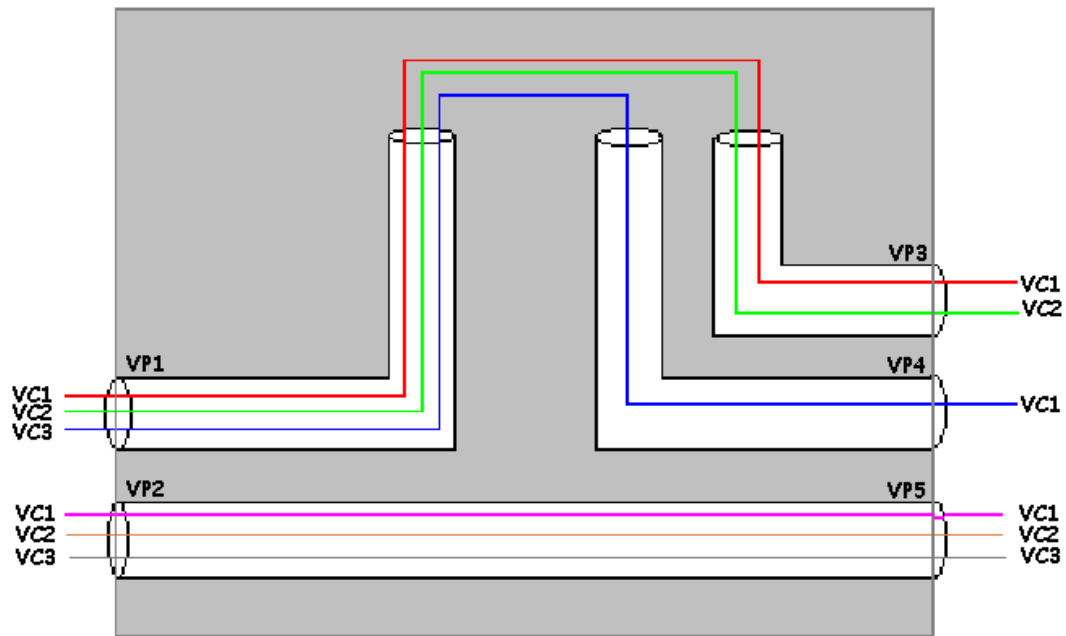
### A- Circuits virtuels et conduits virtuels

Un conduit virtuel (VPC = Virtual Path Connection) est un faisceau de circuits virtuels (VCC = Virtual Channel Connection). Par rapport au relais de trames, c'est ici une nouveauté qui permet

- de faciliter l'acheminement, celui-ci étant fait principalement pour les conduits virtuels
- de constituer des réseaux "privés" basés sur les VPC.

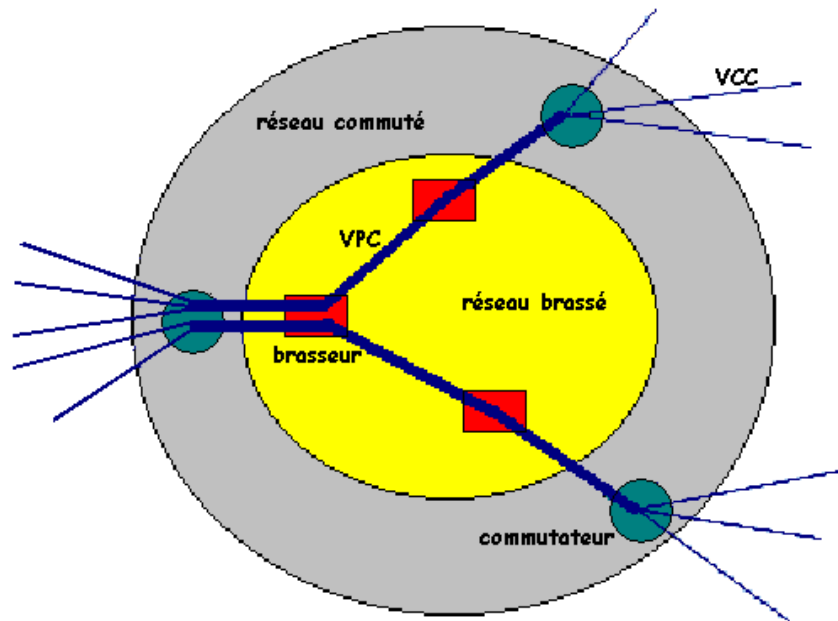


Chaque VPC et chaque VCC possède un numéro (VPI et VCI) :



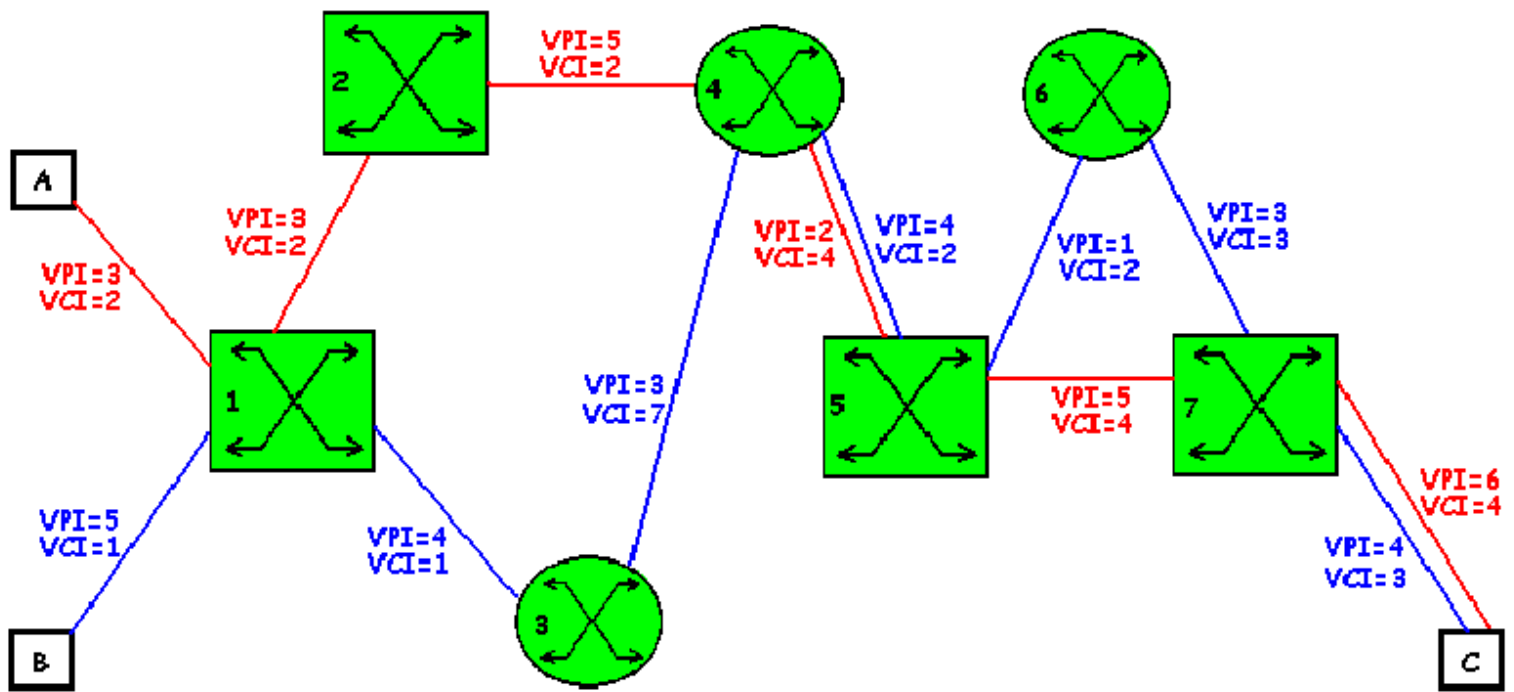
Sur la figure ci-dessus, on constate que le conduit VP2 est commuté au conduit VP5. Les circuits VC1, VC2, VC3 qu'ils contiennent sont donc automatiquement commutés. Ce type de commutation est effectué par un **brasseur**. La table de commutation est réduite puisqu'elle ne contient que les numéros de VPI.

Par contre les circuits VC1, VC2, VC3 du conduit VP1 sont commutés vers respectivement VP3/VC1, VP3/VC2, VP4/VC1. Les tables de commutation doivent donc comporter les deux numéros (conduit et circuit).



D'une manière usuelle, le coeur d'un réseau ATM ne contient que des noeuds de commutation de type brasseur : ce sont des faisceaux de circuits virtuels qui sont commutés. Cette situation simplifie considérablement la commutation de circuit (tables moins volumineuses, donc temps de commutation plus court). Cette partie du réseau est appelée **réseau brassé**. La commutation de circuits virtuels n'a lieu généralement que sur le réseau périphérique (réseau commuté) ; les tables de commutation sont ici plus complexes.

*exemple :*



où les rectangles figurent des brassards et les disques des commutateurs simples. Les tables de routage sont :

noeud 1		noeud 2		noeud 3		noeud 4		noeud 5		noeud 6		noeud 7	
in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out
3	3	3	5	4,1	3,7	5,2	2,4	2	5	1,2	3,3	5	6
5	4					3,7	4,2	4	1			3	4

Dans ATM, (comme dans X25), il faut construire de bout en bout des routes pour l'acheminement des cellules avant d'effectuer le transport d'informations. Il y a 4 types de flux de "signalisation" à considérer :

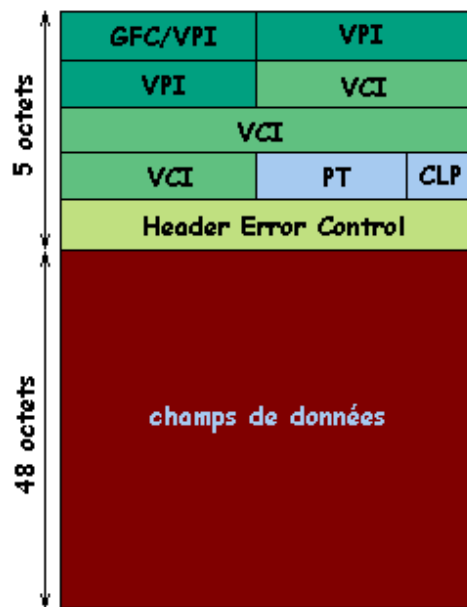
- Il peut s'agir de VCC semi-permanents, c'est à dire établis, une fois pour toutes, de manière durable, comme dans le cas de liaisons spécialisées. Dans ce cas aucun mécanisme n'est à prévoir (pas de flux de signalisation)
- un VCC (permanent) est prévu pour effectuer la réservation de VCC permettant le transport des signaux nécessaires à l'établissement et la libération de voies pour les informations à transmettre. Il porte le numéro VPI=x, VCI=1 (x=0 pour la liaison utilisateur-commutateur local) et la méthode s'appelle "méta-signalisation" puisque le canal correspondant sert à définir les canaux de signalisation qui serviront à l'établissement des liaisons utiles.
- un VCC doit être réservé pour la signalisation d'établissement/libération point à point. Il porte le numéro VPI=x, VCI=5 (x=0 pour la liaison utilisateur-commutateur local).
- il y a aussi des canaux de signalisation de diffusion. Ces canaux portent le numéro VPI=x, VCI=2 (x=0 pour la liaison utilisateur-commutateur local).

## B - La cellule ATM

Comme déjà signalé, la cellule ATM comporte 53 octets : 5 octets d'en-tête et 48 octets de données :

L'en-tête comprend les champs suivants :

- identificateur VPC : numéro VPI de conduit virtuel. S'il s'agit d'une cellule reliant deux commutateurs ATM (interface NNI : Network-Network Interface), le champ est de 12 bits (il peut donc y avoir 4096 conduit virtuel distincts). S'il s'agit d'une cellule reliant l'utilisateur au réseau ATM (interface UNI : User-Network Interface), les quatre premiers bits sont réservés au champ GFC (Generic Flow Control) qui, comme son nom l'indique, est utilisé pour



le contrôle de flux et le numéro VPI prend les 8 bits suivants (dans ce cas il y a au maximum 256 conduits virtuels).

- identificateur VCC (16 bits) : numéro VCI de circuit virtuel (il peut donc y en avoir 65536).
- PT : Payload Type (3 bits) : ce code indique le type d'information transportée par la cellule (voir ci-dessous)
- CLP (Cell-Loss Priority) : bit utilisé en contrôle de congestion (voir plus loin).
- HEC (Header Error Control) (8 bits) : est un champ correcteur/détecteur d'erreur calculé à partir du polynôme générateur  $z^8 + z^2 + z + 1$  ; la détection/correction d'erreur ne porte que sur les 32 premiers bits de l'en-tête. La correction ne porte que sur les erreurs simples.

La taille de la cellule est choisie petite pour deux raisons principales :

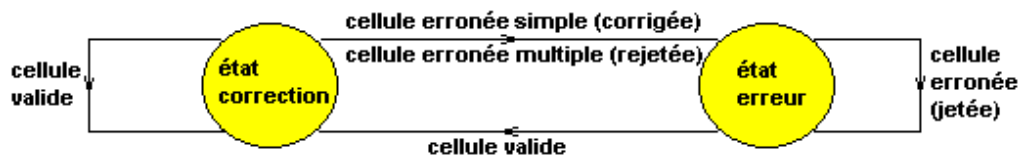
- d'une part il ne faut pas oublier que les applications téléphoniques sont prépondérantes et si une cellule doit transporter du son numérisé, il ne faut pas que la numérisation porte sur de gros volumes qu'il faudrait ensuite transporter ; au contraire, une numérisation d'un petit volume suivi de son transport immédiat est souhaitable. La voix étant numérisée à raison de 8000 échantillons par seconde et chaque échantillon étant codé sur 1 octet, il s'ensuit que la numérisation de 8 échantillons correspond à 1 ms ce qui signifie qu'une cellule ATM transporte 6 ms de son ( $6 \times 8 = 48$ ). La numérisation, le temps de transmission et la restitution du son correspondent à des délais acceptables.
- d'autre part, pour des applications temps réel (comme la voix téléphonique), il ne faut pas que le multiplexage soit pénalisant et donc il est nécessaire de faire en sorte que l'attente d'envoi à chaque multiplexeur soit la plus courte possible ce qui est possible avec des cellules de petites tailles.

Le champ PT indique sur 3 bits le type de cellules, en particulier s'il s'agit d'une cellule utilisateur ou d'une cellule de gestion :

champ PT	type de cellule
000	cellule utilisateur, pas de congestion
001	cellule utilisateur, pas de congestion
010	cellule utilisateur, congestion
011	cellule utilisateur, congestion
100	cellule de gestion F5-OAM
101	cellule de gestion F5-OAM
110	cellule FRM
111	réservé

Le bit CLP affecte une priorité qui peut être utilisée en cas de congestion : les cellules avec CLP=1 peuvent être rejetées par un commutateur engorgé tandis que les cellules avec CLP=0 doivent être transmises.

Il est à noter que le contrôle d'erreur (sur l'en-tête) ne s'effectue pas au niveau de la couche ATM mais de la couche physique. Il s'effectue de la manière suivante, sachant que deux états sont à considérer : l'état "correction" et l'état "erreur". Rappelons que HEC ne permet que la correction des erreurs simples. Si la cellule arrivant est dans l'état "correction" et si la cellule est correcte, alors la cellule est transmise à la couche ATM et l'état reste "correction" ; si au contraire, la cellule est entachée d'une erreur simple, la cellule est corrigée et transmise à la couche ATM mais on passe à l'état "erreur" : si une nouvelle cellule arrive avec une erreur, elle est rejetée. Supposons que l'état soit "correction" et qu'une cellule arrive avec une erreur multiple : la cellule est rejetée et l'état devient "erreur". En résumé, dans l'état "erreur", une nouvelle erreur provoque le rejet de la cellule, sinon, si la cellule est correcte, l'état redevient "correction".



Dans le cas d'une cellule passée par la couche ATM à la couche physique, le HEC est calculé. On notera que le calcul doit être refait au passage à chaque commutateur puisque les numéros VPI ,VCI changent.



## La couche AAL

Selon la recommandation I 362, la couche AAL (ATM Adaptation Layer) possède les fonctionnalités suivantes :

- gestion des erreurs de transmission
- assemblage/désassemblage de l'information en cellules
- gestion des cellules perdues
- contrôle de flux et de synchronisation

### A - Classes d'applications

4 classes d'applications ont été définies par l'UIT :

- classe A : vidéo à débit constant, transport de la voix
- classe B : vidéo et audio à débit variable
- classe C : transfert de données en mode connecté
- classe D : transfert de données en mode non connecté

Ces quatre classes sont caractérisées par les paramètres suivants : la synchronisation entre l'émetteur et le récepteur, le mode temps réel ou temps différé, la constance ou la variabilité du débit, le mode connecté ou non connecté :

classe	A	B	C	D
synchronisation	oui		non	
temps	réel		différé	
débit	constant	variable		
mode	connecté			non connecté

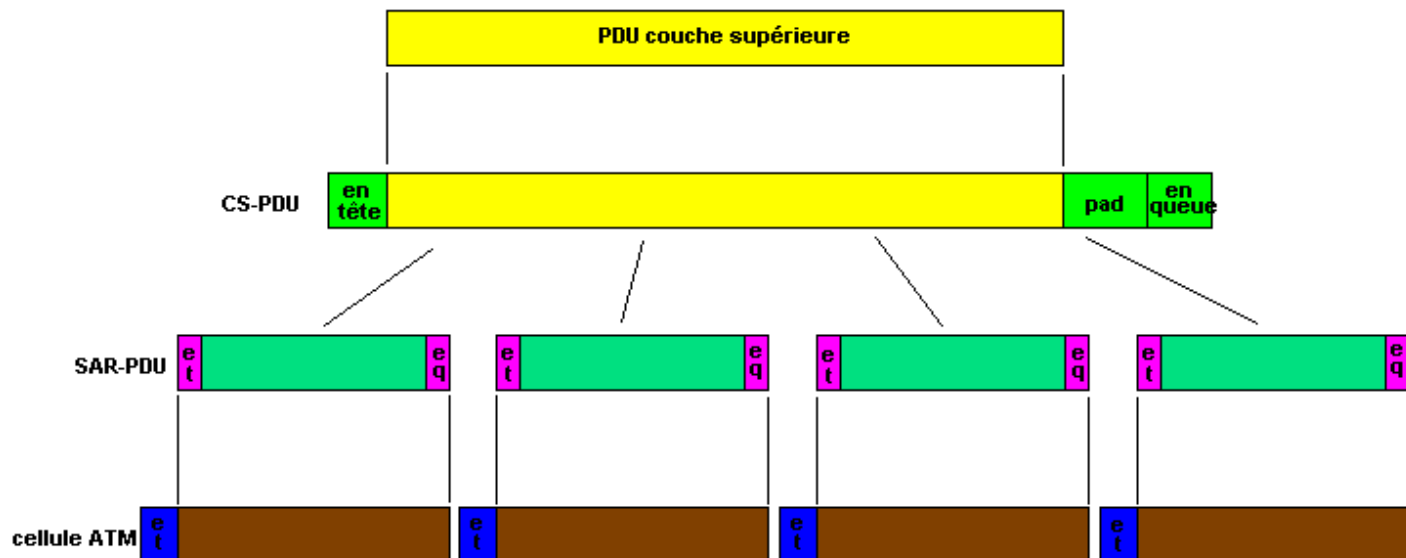
Au départ, 4 protocoles AAL1, AAL2, AAL3, AAL4 avaient été prévus pour chacune des classes. Aujourd'hui, la situation est un peu plus confuse et en fait, AAL3 et AAL4 ont fusionné en AAL3/4 tandis qu'un cinquième protocole a fait son apparition, AAL5. La correspondance entre les classes d'applications et les protocoles est maintenant plutôt celle-ci :

classe	A	B	C	D
protocole	AAL1	AAL2	AAL3/4, AAL5	AAL5

### B - CS-PDU, SAR-PDU et cellule ATM

Rappelons que la couche AAL est décomposée en deux sous-couches :

- CS (Convergence Sublayer) : orientée service, ses fonctions dépendent du type de service traité (voix, vidéo,...) ; au niveau de cette sous-couche, l'information provenant des couches supérieures est encapsulée dans des CS-PDU (Protocol Data Unit).
- SAR (Segmentation And Reassembly Sublayer) : fabrication des cellules (découpage des blocs CS-PDU en SAR-PDU, puis en cellules ATM) ou reconstitution des données.



## C - Protocoles AAL

### Protocole AAL1

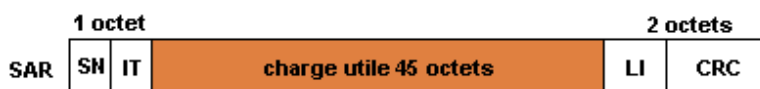
Il est adapté à la classe A : temps réel, débit constant, synchronisation, mode connecté ce qui est le cas, par exemple de la voix ou de la vidéo sans compression. Les pertes de données sont signalées sans plus.



Alors que la CS-PDU ne possède pas de protocole particulier, la SAR-PDU possède une en-tête. Les SAR-PDU "P" ont le premier bit à 1 et possèdent un champ pointeur qui indique la position du message suivant. Les SAR-PDU "non P" ont le premier bit à 0 et ne possèdent pas de champ pointeur. Le champ SN correspond à un numéro de séquence (ce qui permet de détecter les cellules manquantes) ; SNP est un champ de contrôle sur le numéro de séquence (auto-correction des erreurs simples). P est un bit de parité (encore un contrôle d'erreur sur le numéro de séquence). La longueur totale de la SAR-PDU est de 48 octets.

### Protocole AAL2

Ce protocole est adapté aux flux audio et vidéo avec compression et débit variable. La CS-PDU n'a pas de structure particulière. La SAR-PDU possède une en-tête et une en-queue.



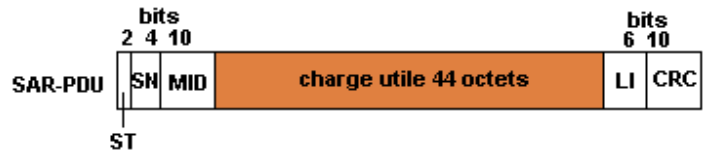
Comme précédemment, SN est le numéro de séquence ; le champ IT indique si l'on est au début, au milieu ou en fin de message ; LI indique la taille de la charge utile (inférieure ou égale à 45 octets) ; CRC est un champ détecteur d'erreur sur l'ensemble de la SAR-PDU.

**Protocole AAL3/4**

Ce protocole correspond à un transport de données sous forme de messages qui peuvent être multiplexés sur le même circuit virtuel. La couche CS possède un protocole propre :



CPI indique le type de message ; Btag et Etag signalent le début et la fin d'un message ; Length et B size indiquent la taille de la charge utile et du tampon à attribuer au message. Des octets de bourrage sont prévus pour faire en sorte que le nombre d'octets au total soit un multiple de 4.



Le champ ST indique si on est au début (10), à la fin (01), au milieu (00) d'un message ou si le message tient dans une seule cellule (11). Le champ SN est un numéro de séquence. Le champ MI d indique à quelle session se rapporte le message (multiplexage) ; LI donne la taille de la charge utile (inférieur ou égal à 44 octets) ; CRC est un champ détecteur d'erreurs.

**Protocole AAL5**

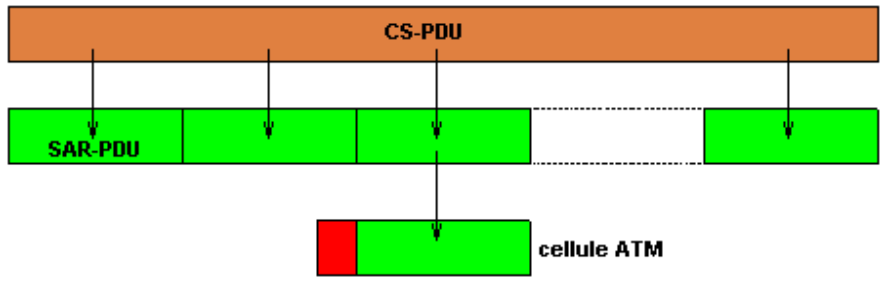
Le protocole AAL3/4 étant relativement compliqué, une proposition de simplification fut faite sous le nom de SEAL (Simple Efficient Adaptation Layer !) qui devint AAL5.

La couche CS possède un protocole visant à ajouter un en-queue à un message. La longueur totale doit être un multiple de 48 octets (on est amené à rajouter dans la charge utile des caractères de bourrage).



UU n'est pas utilisé, Length indique la longueur de la charge utile (caractères de bourrage non compris) ; CRC est un champ détecteur d'erreur.

Le passage à la couche SAR s'effectue de manière très simple : CS-PDU est découpée en blocs de 48 octets qui constituent les SAR-PDU.



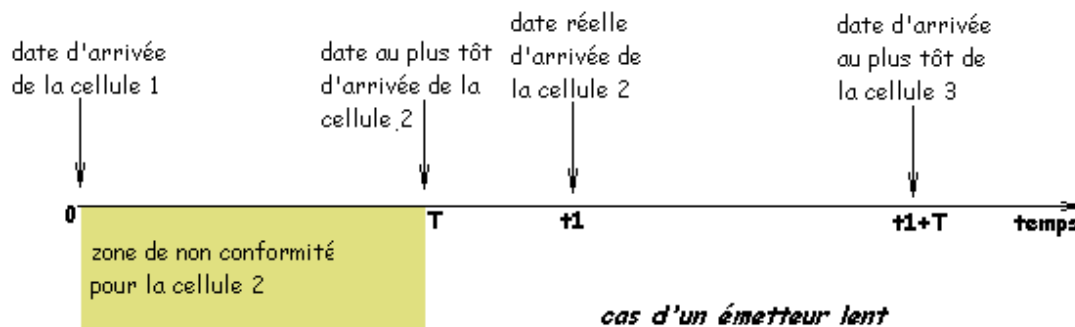
## Qualité de service et contrôle de congestion

Un réseau comme ATM se doit de rendre le "service" demandé. Par exemple, si le réseau délivre du temps réel, il ne faut pas qu'il y ait de retard qui impliquerait la perte de cellules. Par suite, avant d'établir une connexion sur un circuit virtuel, une négociation de contrat doit avoir lieu pour préciser les conditions du trafic. Ce contrat peut spécifier des critères différents suivant le sens de transmission. La négociation porte sur un certain nombre de paramètres définissant la qualité de service :

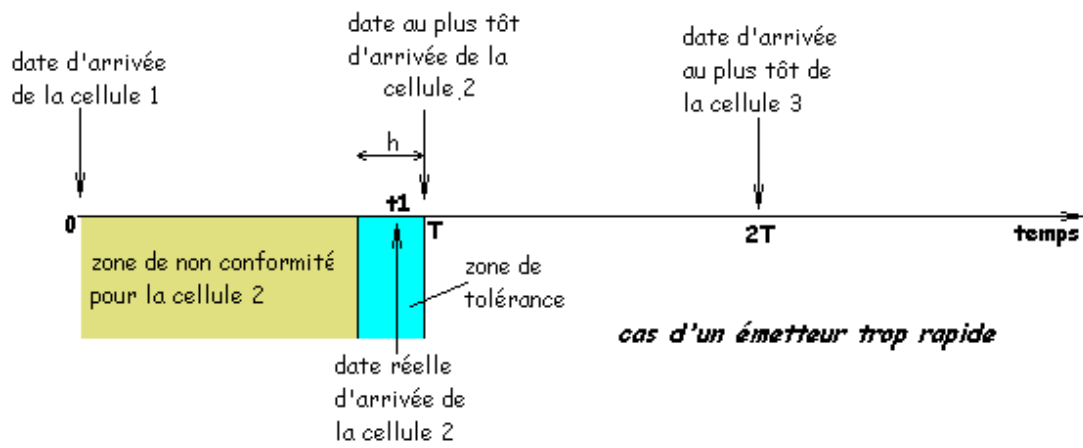
paramètres	définition
PCR (Peak Cell Rate)	valeur maximum du débit
SCR (Sustained Cell Rate)	valeur moyenne du débit envisagé
MCR (Minimum Cell Rate)	débit minimum vital
CVDT (Cell Variation Delay Tolerance)	variation maximale du délai de transmission des cellules
CLR (Cell Loss Ratio)	taux de perte des cellules
CTD (Cell Transfer Delay)	temps moyen d'acheminement d'une cellule
CDV (Cell Delay Variation)	variation admissible du temps d'acheminement des cellules
CER (Cell Error Ratio)	taux de cellules erronées
SECBR (Severely Errored Cell Block Ratio)	taux de blocs de cellules contenant des erreurs
CMR (Cell Misinsertion Rate)	Taux de cellules mal adressées

Un des mécanismes de contrôle de la qualité de service est basé sur l'algorithme Generic Cell Rate Algorithm (GCRA), qui est une version de l'algorithme bien connu, dit du "seau percé". Cet algorithme est assez proche de celui utilisé dans le relais de trames.

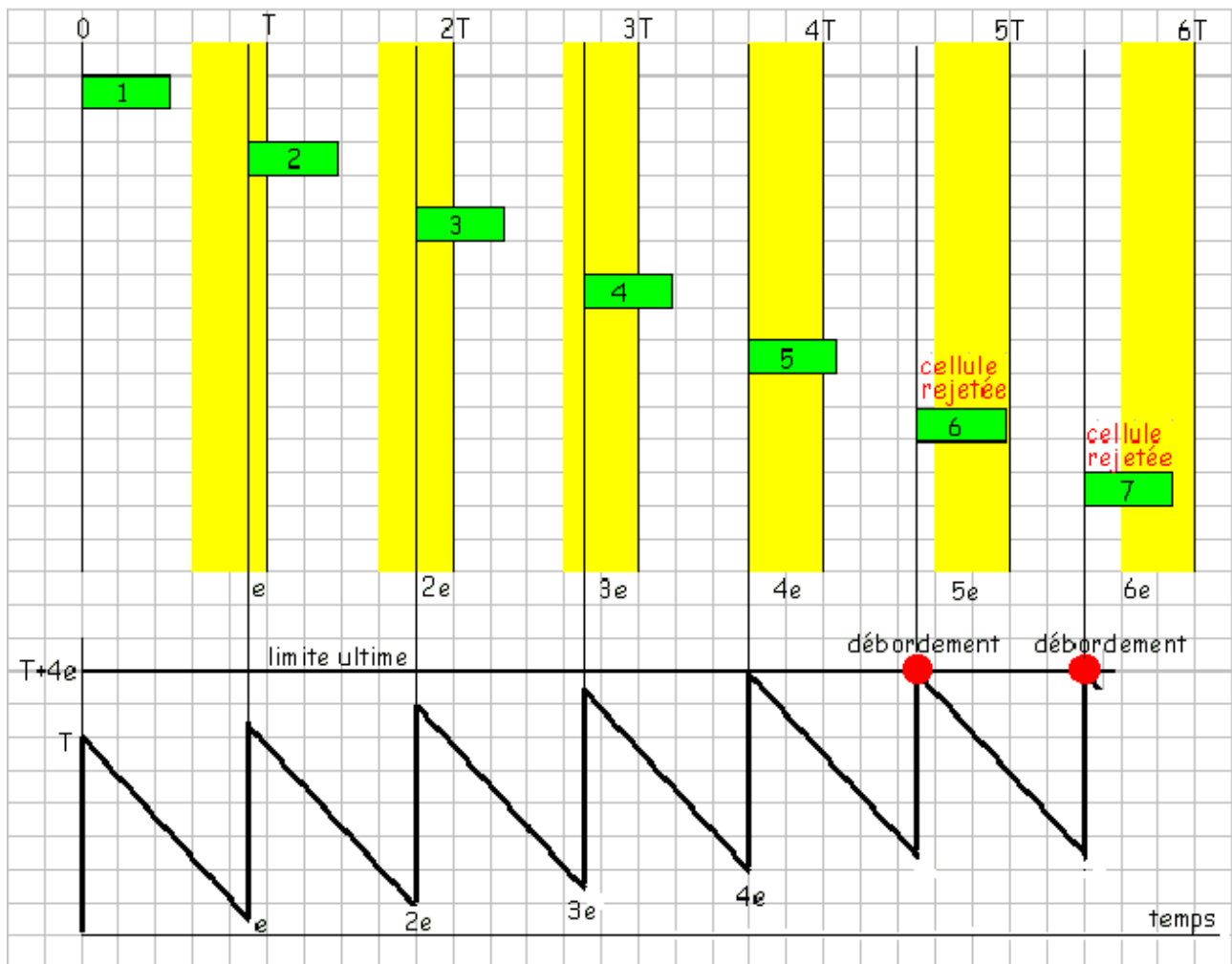
Imaginons que le contrat porte sur un débit  $D_0 = \text{PCR} = 125\,000$  cellules/s. Le temps écoulé entre deux envois successifs de cellules est donc  $T = 1/D_0$ . Une cellule ne doit donc pas arriver en un temps plus court que  $T$  après la réception de la cellule précédente. Elle peut par contre arriver dans un intervalle de temps plus grand que  $T$ . Une cellule qui se conforme à cette règle est "conforme". Si la cellule 1 arrive au temps 0 et si la cellule 2 arrive au temps  $t_1 > T$ , la cellule 3 devra arriver au plus tôt au temps  $t_1 + T$ .



Bien entendu, il se pose un problème lorsque l'émetteur "triche" en accentuant sa cadence : les cellules deviennent alors non conformes au contrat. On peut toutefois accepter une tolérance de  $h$  microsecondes (qui correspond au paramètre CVDT). On pourra considérer que la cellule est encore conforme si elle arrive au temps  $T-h$  après la cellule précédente. Mais il faudra que la cellule suivante arrive au plus tôt au temps  $2T$ .



Imaginons maintenant que l'émetteur trop rapide conserve sa cadence d'envoi. Les cellules suivantes vont s'enfoncer dans la zone de tolérance et au bout d'un moment avoir une date d'arrivée dans la zone stricte de non conformité. La cellule 2 va arriver trop tôt, la cellule 3 va arriver  $2e$  trop tôt, la cellule 4 va arriver  $3e$  trop tôt, etc... Le schéma ci-dessous montre une telle situation avec  $h = 4e$ . Il est clair que la cellule 6 est en totale "effraction". Elle pourra être détruite par les composants réseau.



Le bas du schéma précédent explique pourquoi l'algorithme est qualifié de "seau percé". La cellule est considérée comme un récipient apportant une quantité  $T$  litres de liquide. A l'arrivée, ce liquide est intégralement versé dans un seau de capacité  $T+h$  litres qui possède un trou et fuit à la cadence de  $T$  litres/seconde. Si les cellules respectent le contrat, elles trouveront toujours le seau vide. Si au contraire, elles arrivent en avance, elles trouveront un seau non vide ; le niveau de liquide du seau s'élèvera donc à chaque arrivée d'une cellule jusqu'au moment où le seau débordera.

On voit que temporairement, on peut dépasser le débit maximum, mais que seulement  $N$  cellules seront acceptées. Le calcul de  $N$  est assez simple si l'on se base sur le tableau ci-dessous :

cellule	date d'arrivée au plus tôt	date réelle d'arrivée
1	0	0
2	T	T-e
3	2T	2(T-e)
4	3T	3(T-e)
---	---	---
N	(N-1)T	(N-1)(T-e)

Pour la dernière cellule N, on aura atteint la limite de tolérance, ce qui correspond à la date (N-1)T-h, donc (N-1)(T-e) = (N-1)T - h, d'où la valeur de N :

$$N = 1 + \frac{h}{e}$$

e mesure l'intervalle de temps d'avance à chaque arrivée de cellules. Si le débit souscrit est  $D_0$  et si le débit réel est  $D > D_0$  (les débits étant mesurés en cellules par seconde), le temps d'arrivée au plus tôt de la cellule 2 est  $T = 1/D_0$  et son temps d'arrivée réel est  $T' = 1/D$ , d'où

$$e = T - T' = \frac{D - D_0}{D D_0}$$

**exemple :** Supposons que le débit souscrit est  $D_0 = 125\,000$  cellules/s d'où  $T = 8\ \mu\text{s}$ . Imaginons que le récepteur envoie des cellules au débit  $D = 200\,000$  cellules/s. Sachant que la tolérance est  $h = 24\ \mu\text{s}$ , combien de cellules pourront être acceptées ?

La valeur de e est  $T - T' = 8 - 5 = 3\ \mu\text{s}$  ; on en déduit  $N = 9$  cellules.

La méthode précédente permet de canaliser le trafic, mais ne peut éviter la congestion d'un commutateur ATM. Il faut d'ailleurs distinguer entre la congestion due à des arrivées nombreuses en rafales de cellules pendant un temps court et la congestion due à un trafic moyen, donc calculé sur une longue période, supérieur aux possibilités du réseau.

Les stratégies de contrôle de congestion principalement utilisées sont les suivantes :

-- stratégie de prévention : comme il n'est généralement pas possible de réduire le débit des émetteurs sans dénaturer l'information transmise (notamment en temps réel), il est par contre possible d'interdire l'accès au réseau si on se rend compte d'un danger de congestion par admission d'une nouvelle transmission. Ceci intervient lorsque aucune possibilité d'admission n'est trouvée sans affecter les connexions existantes.

-- stratégie de réservation : lorsqu'une nouvelle connexion est prévue, les ressources nécessaires à cette nouvelle connexion sont réservées ; ceci s'effectue au moyen d'un message spécial SETUP dont l'objet est de mobiliser, si possible, les ressources (bande passante) nécessaires.

-- stratégie basée sur la bande passante : trois modes sont définis :

- mode EFCI (Explicit Forward Congestion Indication) : un commutateur congestionné positionnera à 1 le bit EFCI de l'en-tête d'une cellule, ce qui permettra d'avertir le destinataire (mais ne règle pas le problème).
- mode RR (Relative Rate) : un commutateur congestionné envoie une cellule spéciale RM (Resource Management) vers l'émetteur pour l'inviter à réduire son débit (ceci n'est pas possible pour toutes les applications)
- mode ER (Explicit Rate) : une cellule RM est envoyée comme dans le cas précédent mais sert à indiquer à l'émetteur qu'il ne peut augmenter son débit sans accord du réseau.



---

# Intégration des réseaux existants

Nous examinons dans ce paragraphe l'interconnexion de réseaux existants avec ATM, notamment

- les réseaux locaux traditionnels (legacy LAN) comme Ethernet ou Token Ring
- le protocole Internet

Plusieurs solutions sont proposées. Nous en faisons une courte revue.

## Classical IP (CLIP)

Cette solution est issue des travaux du groupe de travail IPOA (IP Over ATM). Le protocole CLIP considère un ensemble de noeuds d'un réseau ATM comme un sous-réseau IP (ce qui implique évidemment que ces noeuds possèdent la pile TCP/IP et des adresses IP). Un tel sous-réseau est appelé LIS (Logical IP Subnet).

CLIP définit deux fonctionnalités :

- la résolution d'adresses
- l'encapsulation des paquets IP

La résolution d'adresse est relativement analogue à celle que l'on emploie au passage de la couche IP à une couche MAC d'un LAN ; dans ce cas le protocole ARP/RARP. Dans le cas de CLIP on emploie ATMARP et InATMARP (Inverse ATMARP). Un serveur ATMARP est nécessaire : il maintient les tables de conversion adresse ATM-adresse IP. L'adresse du serveur ATMARP est connue de toute station connectée au réseau (configuration à l'installation).

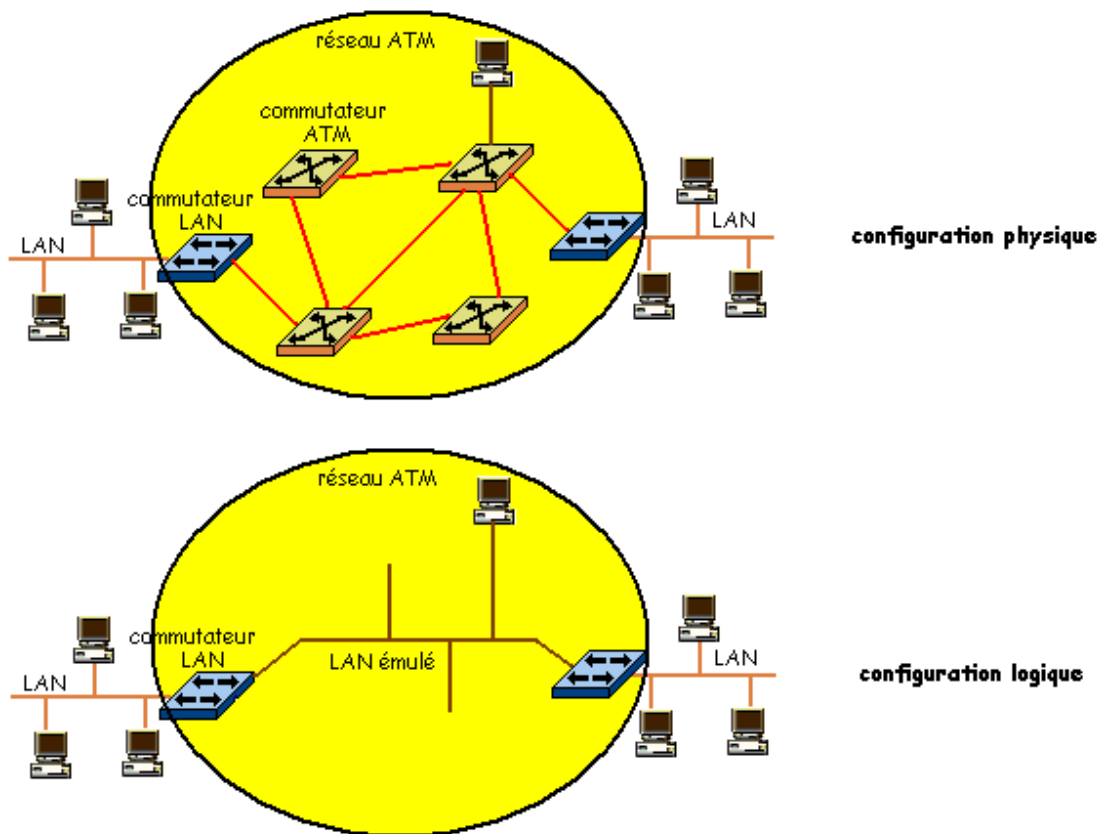
Lorsqu'une station configurée (adresse IP, adresse ATM, connaissance de l'adresse du serveur ATMARP) se connecte pour la première fois, elle se met en communication avec le serveur ATMARP par l'intermédiaire d'un circuit virtuel. Le serveur ATMARP demande à la station son adresse IP et met à jour sa table de conversion des adresses.

Si cette station veut communiquer avec un serveur, par exemple, du réseau, elle doit connaître son adresse ATM connaissant son adresse IP. Pour cela elle s'adresse à nouveau au serveur ATMARP qui lui fournit l'adresse ATM du serveur. La station enregistre cette information dans une table (ce qui évite d'avoir à recontacter le serveur ATMARP en cas d'une nouvelle connexion avec le serveur). Par suite un circuit virtuel est établi entre la station et le serveur.

En ce qui concerne l'encapsulation des paquets IP, ceux-ci sont incorporés dans une PDU de type AAL5 avec un champ indiquant le type de protocole encapsulé (ici IP, mais on peut imaginer le procédé pour d'autres protocoles). La PDU est ensuite divisée en cellules ATM.

## LAN Emulation (LANE)

Il s'agit ici de considérer un réseau ATM comme un réseau LAN classique (Ethernet ou Token Ring) :



Un LAN émulé s'appelle un ELAN (Emulated LAN) ; c'est un réseau virtuel de type Ethernet ou Token Ring. Il possède les propriétés des LAN réels : adresses MAC, broadcast, multicast et aussi des propriétés spécifiques : par exemple, pas de collision dans le cas d'un ELAN Ethernet. Les stations reliés à l'ELAN sont des LEC (Lan Emulation Client) et il doit exister deux serveurs (éventuellement confondus) : le LES (Lan Emulation Server) et le BUS (Broadcast Unknown Server). Lorsque plusieurs ELAN existent sur un même réseau ATM, un serveur LECS (Lan Emulation Configuration Server) est nécessaire.

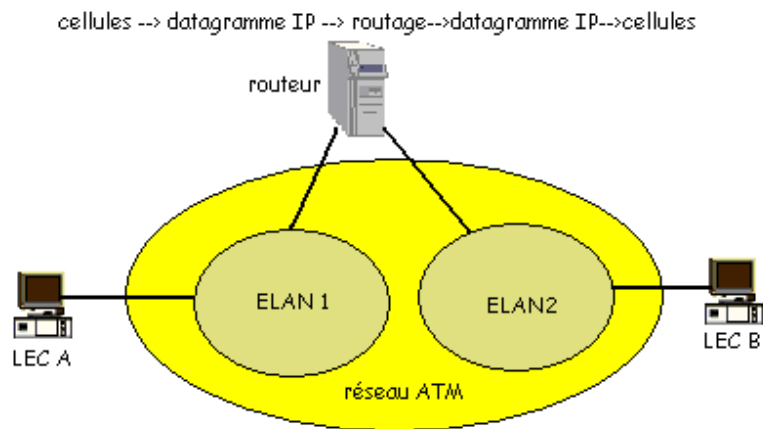
Le serveur LECS contient les adresses ATM des LES des différents ELAN sur le réseau ATM. Le LES gère la table de conversion des adresses ATM et MAC. Le BUS est un serveur de multidiffusion (multicast). Examinons le fonctionnement du protocole LANE.

Imaginons qu'une station LEC A veuille communiquer avec une autre station LEC B. La station A commence par se connecter (par circuit virtuel) au LECS (possédant par exemple une adresse ATM réservée) pour obtenir l'adresse ATM du LES de l'ELAN concerné. La station A se connecte alors au LES (par un circuit virtuel appelé Control Direct VCC) qui met à jour sa table de conversion d'adresses ATM - MAC. La station A demande et obtient du LES l'adresse ATM de la station B. Il est alors simple pour la station A de se connecter via un circuit virtuel à la station B.

Imaginons maintenant que la station LEC A souhaite envoyer un message multicast. Pour cela, elle contacte le LES pour obtenir l'adresse ATM du serveur BUS. L'ayant obtenue elle se connecte au BUS qui se charge de la diffusion multicast du message.

### Multi-Protocol Over ATM (MPOA)

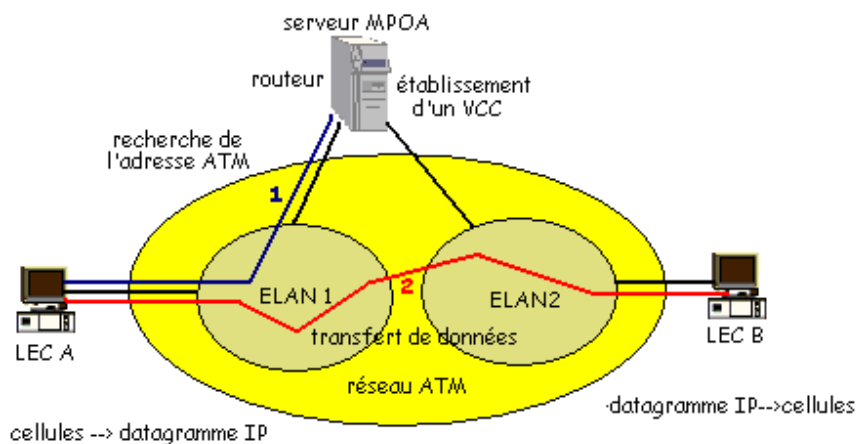
MPOA est une solution pour utiliser ATM sous divers protocoles (en fait actuellement seulement sous IP) et d'exploiter les classes de service correspondantes. Dans le protocole LANE, un réseau ATM peut être constitué de plusieurs ELAN. Le passage d'un ELAN à un autre nécessite un routeur ce qui signifie une décapsulation suivie d'une encapsulation au passage sur le routeur d'où une perte de temps faisant perdre le bénéfice du réseau ATM.



MPOA remplace les routeurs par des serveurs MPOA et vise à effectuer une liaison directe entre les stations à connecter. Ceci signifie qu'au lieu de faire des passages couche 2 - couche 3 - couche 2, on effectue une connexion de bout en bout en couche 3. Le fonctionnement est le suivant. Le routeur et les clients sont dotés du logiciel adéquat du protocole MPOA.

1) phase d'appel : le client LEC A s'adresse au routeur (qui est serveur MPOA) pour obtenir l'adresse ATM du destinataire LEC B. Le serveur MPOA possède des tables de conversion. Si l'adresse n'est pas trouvée, il s'adresse au serveur MPOA suivant (en utilisant un protocole appelé NHRP (Next Hop Routing Protocol)). Si l'adresse est trouvée, il établit un circuit virtuel entre LEC A et LEC B.

2) phase de transfert : le transfert de données se fait directement via le réseau ATM entre LEC A et LEC B. Bien entendu, les paquets IP sont encapsulés et découpés en cellules (le protocole correspondant s'appelle VC Based Multiplexing).



## Exercices

### Exercice 1

Une voie à 32 Mbits/s est utilisée pour la transmission de messages multimédias. On suppose que le message à transmettre sur cette voie est un document composé d'un texte de 20 Ko, de 30 images fixes en format GIF de 10 Ko chacune, d'une minute de son numérisée à 22 KHz et codée sur 8 bits.

- a) Donner en octets, le volume du son à transporter en admettant qu'il n'y a aucune compression
- b) Si le message est transmis intégralement d'un seul bloc, quel est le temps nécessaire à son acheminement en supposant que le temps de propagation du signal est négligeable.

c) La voie concernée fait partie d'un réseau à commutation de paquets. Chaque paquet a une longueur en octets de 1024 comprenant une partie de service (adresses, détection d'erreur, champs de service) de 256 octets. Combien de paquets correspondent au message précédent

d) Même question pour le cas d'un réseau ATM ; combien de cellules ATM sont-elles nécessaires pour véhiculer le message.



## Exercice 2

Une image de 640x480 pixels codés sur 24 bits est envoyée non compressée sur un réseau de type ATM. A combien de cellules ATM, ce message correspondra-t-il ?



## Exercice 3

Un canal téléphonique utilise la plage de fréquence 300Hz - 4000Hz.

a) Le son est échantillonné à la fréquence minimale permise par le théorème de l'échantillonnage ( $2f_{\max}$ ), soit 8000 Hz et est codé sur 8 bits. On désignera dans la suite par M le message constitué d'une minute de son non compressé, numérisé de cette façon.

1) Quel est le volume du message M ?

2) Quel est le débit nécessaire de la voie transmettant le son en temps réel ?

3) Quel réseau peut-on utiliser ?

b) Supposons que le débit de la voie soit 64 Kbits/s . On utilise des trames (MIC) de multiplexage temporel constituées de 32 IT (intervalles de temps) de longueur identique. On suppose que l'on utilise un IT par trame MIC pour transmettre le message M. Combien de temps faut-il pour transmettre de cette manière le message M ?

c) On utilise un réseau ATM pour le transport du message M

- Combien de cellules ATM faut-il pour transporter le message M ?
- En admettant que toute la voie puisse être utilisée (débit : 155 Mbits/s), pour transmettre deux messages du même type que M (les deux messages sont multiplexés) , combien de temps, au minimum, est nécessaire pour transmettre un message M ?



## Exercice 4

Un message de 1 Mo est transmis par un réseau ATM de débit 155,52 Mbits/s. Le contrat de service stipule que l'on peut envoyer des cellules en rafales à la cadence de 100000 cellules/s. On désigne par T la durée séparant l'émission de deux cellules successives. Toutefois, la tolérance h est de 20 microsecondes comme avance maximum permise sur T.

- a) Quel est le nombre de cellules ATM nécessaires ?
- b) Quel est le débit souscrit ?
- c) En fonctionnement "normal" quel est le temps T, en microsecondes.
- d) Supposons que le "client" ATM envoie ses cellules à la cadence de 200 000 cellules/s. Combien de cellules pourra-t-il envoyer avant rejet ?



## Exercice 5

Dans les cellules ATM, l'information utile a une longueur fixe de

- 
- 
- 
- 
- 

## Exercice 6

Dans ATM, le contrôle de la conformité au débit souscrit peut être effectué par l'algorithme

- 
- 
- 
- 
- 

## Solution de l'exercice 1

- a) Le volume en bits du son à transporter est  $V = 60 \cdot 22000 \cdot 8 = 10\,560\,000$  bits = 10,56 Mbits
- b) Calculons le volume total :

texte :  $20 \cdot 1024 \cdot 8 = 163\,840$  bits  
images :  $30 \cdot 10 \cdot 1024 \cdot 8 = 2\,457\,600$  bits  
son : 10 560 000 bits d'après la question a)  
total : 13 181 440 bits

Le temps de propagation est approximativement  $T = 13\,181\,440 / 32\,000\,000 = 0,41$  s.

c) La longueur utile d'un paquet est  $1024 - 256 = 768$  octets =  $6\,144$  bits. Le nombre de paquets est donc  $13\,181\,440 / 6\,144 = 2\,146$  paquets

d) Une cellule ATM contient 53 octets dont 48 utiles. Le nombre de cellules nécessaires est donc  $13\,181\,440 / (48 \times 8) = 34\,327$  cellules



### Solution de l'exercice 2

Chaque cellule ATM contient 48 octets utiles, donc le nombre de cellules est 19200



### Solution de l'exercice 3

a)

1) Quel est le volume du message M ?	480 Ko
2) Quel est le débit nécessaire de la voie transmettant le son en temps réel ?	64 Kbits/s
3) Quel réseau peut-on utiliser ?	Numéris (RNI S)

b) Tout se passe comme si le débit était de  $64 \text{ Kbits/s} / 32$ , soit  $2 \text{ Kbits/s}$ . On en déduit le résultat : 1920 secondes. (Noter que, en fait, le débit offert par France Telecom pour les liaisons MIC est de  $2 \text{ Mbits/s}$ , ce qui revient à un débit de  $64 \text{ Kbits/s}$  par canal ; on obtiendrait alors un temps de transmission de 60 s.)

c)

Nombre de cellules :	10 000 cellules car la longueur cellulaire ATM est de 48 octets.
Temps de transmission :	0,05 seconde



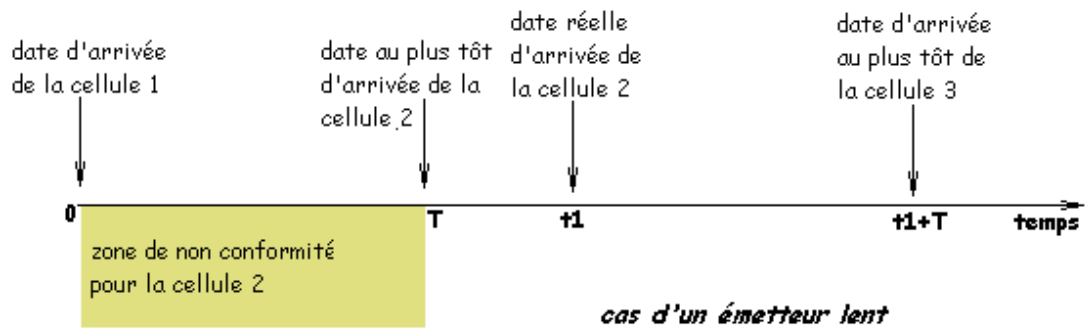
### Solution de l'exercice 4

a) 20834 cellules

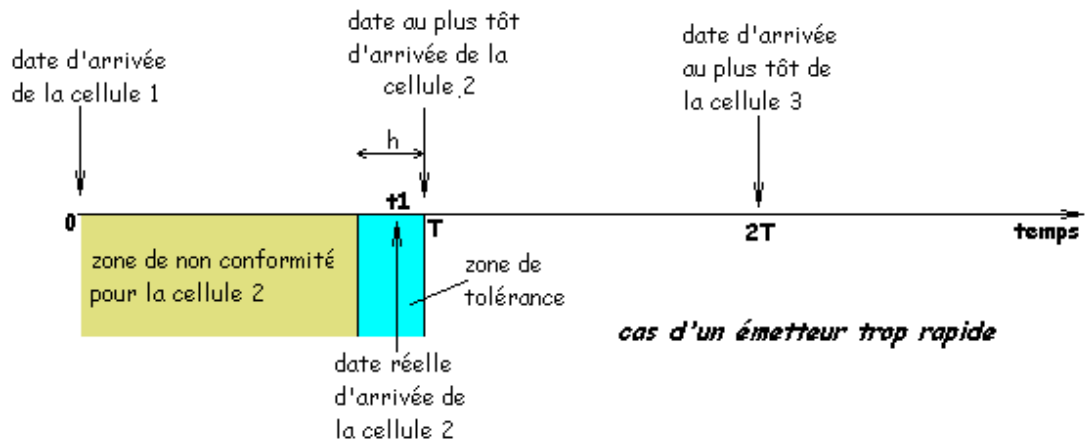
b) 42,4 Mbits/s

c) 10 microsecondes

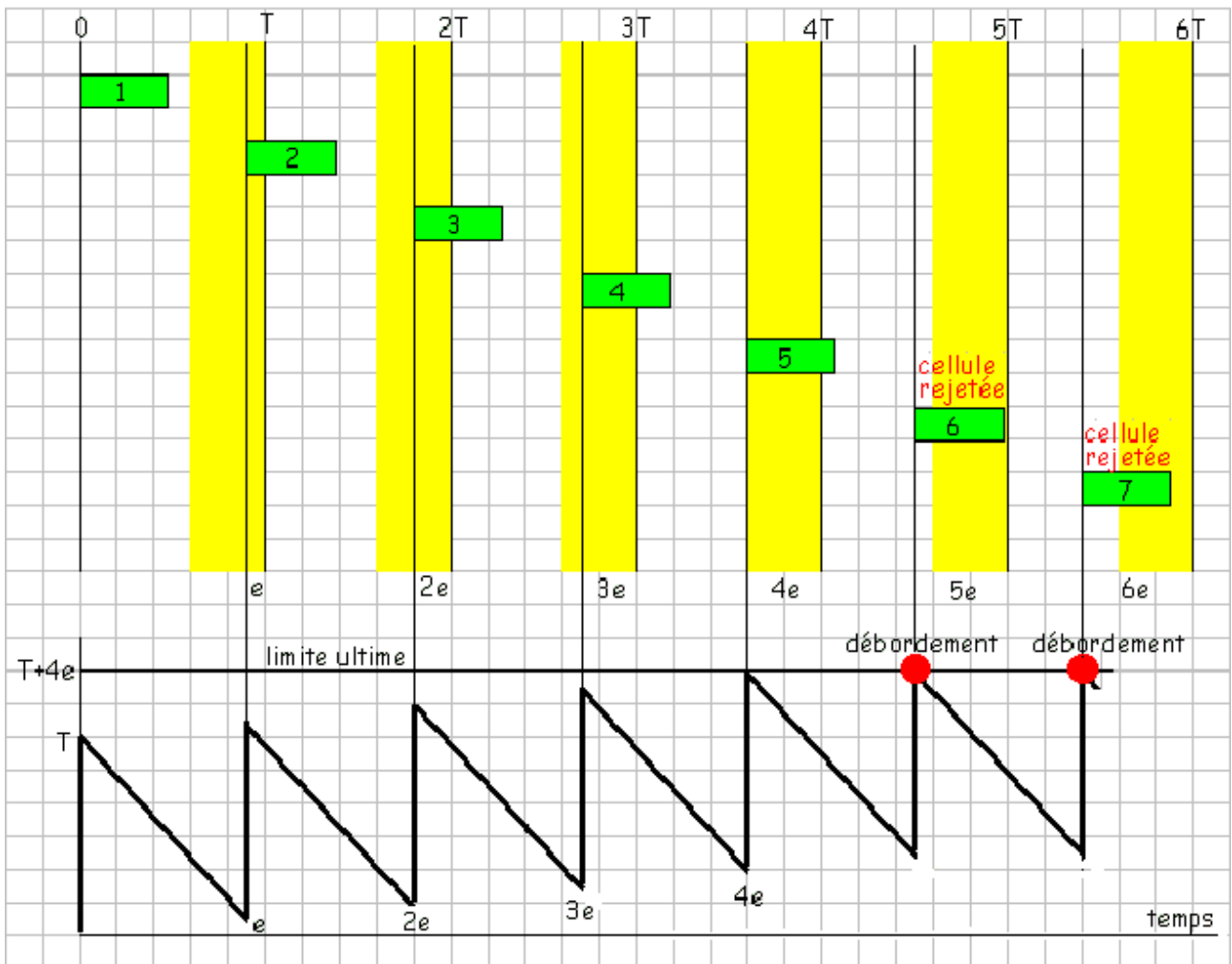
d) Imaginons que le contrat porte sur un débit  $D_0 = \text{PCR} = 100\,000$  cellules/s. Le temps écoulé entre deux envois successifs de cellules est donc  $T = 1/D_0$ . Une cellule ne doit donc pas arriver en un temps plus court que  $T$  après la réception de la cellule précédente. Elle peut par contre arriver dans un intervalle de temps plus grand que  $T$ . Une cellule qui se conforme à cette règle est "conforme". Si la cellule 1 arrive au temps 0 et si la cellule 2 arrive au temps  $t_1 > T$ , la cellule 3 devra arriver au plus tôt au temps  $t_1 + T$ .



Bien entendu, il se pose un problème lorsque l'émetteur "triche" en accentuant sa cadence : les cellules deviennent alors non conformes au contrat. On peut toutefois accepter une tolérance de  $h$  microsecondes (qui correspond au paramètre CVDT). On pourra considérer que la cellule est encore conforme si elle arrive au temps  $T-h$  après la cellule précédente. Mais il faudra que la cellule suivante arrive au plus tôt au temps  $2T$ .



Imaginons maintenant que l'émetteur trop rapide conserve sa cadence d'envoi. Les cellules suivantes vont s'enfoncer dans la zone de tolérance et au bout d'un moment avoir une date d'arrivée dans la zone stricte de non conformité. La cellule 2 va arriver trop tôt, la cellule 3 va arriver 2e trop tôt, la cellule 4 va arriver 3e trop tôt, etc... Le schéma ci-dessous montre une telle situation avec  $h = 4e$ . Il est clair que la cellule 6 est en totale "effraction". Elle pourra être détruite par les composants réseau.



Le bas du schéma précédent explique pourquoi l'algorithme est qualifié de "seau percé". La cellule est considérée comme un récipient apportant une quantité  $T$  litres de liquide. A l'arrivée, ce liquide est intégralement versé dans un seau de capacité  $T+h$  litres qui possède un trou et fuit à la cadence de  $T$  litres/seconde. Si les cellules respectent le contrat, elles trouveront toujours le seau vide. Si au contraire, elles arrivent en avance, elles trouveront un seau non vide ; le niveau de liquide du seau s'élèvera donc à chaque arrivée d'une cellule jusqu'au moment où le seau débordera.

On voit que temporairement, on peut dépasser le débit maximum, mais que seulement  $N$  cellules seront acceptées. Le calcul de  $N$  est assez simple si l'on se base sur le tableau ci-dessous :

cellule	date d'arrivée au plus tôt	date réelle d'arrivée
1	0	0
2	$T$	$T-e$
3	$2T$	$2(T-e)$
4	$3T$	$3(T-e)$
---	---	---
$N$	$(N-1)T$	$(N-1)(T-e)$

Pour la dernière cellule  $N$ , on aura atteint la limite de tolérance, ce qui correspond à la date  $(N-1)T-h$ , donc  $(N-1)(T-e) = (N-1)T - h$ , d'où la valeur de  $N$  :

$$N = 1 + \frac{h}{e}$$

On mesure l'intervalle de temps d'avance à chaque arrivée de cellules. Si le débit souscrit est  $D_0$  et si le débit réel est  $D > D_0$  (les débits étant mesurés en cellules par seconde), le temps d'arrivée au plus tôt de la cellule 2 est  $T = 1/$

$D_0$  et son temps d'arrivée réel est  $T' = 1/D$ , d'où

$$e = T - T' = \frac{D - D_0}{D D_0}$$

Reprenons maintenant l'exercice : le débit souscrit est  $D_0 = 100\,000$  cellules/s d'où  $T = 8\ \mu\text{s}$ . Le récepteur envoie des cellules au débit  $D = 200\,000$  cellules/s.

La valeur de  $e$  est  $T - T' = 10 - 5 = 5\ \mu\text{s}$  ; on en déduit  $N = 5$  cellules.



---

## Bibliographie et Webographie

- Andrew Tannenbaum, Réseaux, InterEditions / Prentice Hall
- Guy Pujolle, Les réseaux, Eyrolles
- Kim-Loan Thai, Véronique Vèque, Simon Znaty, Architecture des réseaux haut débit, Hermès
- Pierre Rollin, Réseaux Haut Débit, Hermès
- Jean-Louis Mélin, Pratique des réseaux ATM, Eyrolles Informatiques
- Bertrand Bruller, Pratique des réseaux HAut débit, Vuibert
- Claude Servin, Solange Ghernaouti-Hélie, InterEditions



# Réseaux locaux haut débit



[Ethernet haut débit](#)

[FDDI](#)

[DQDB](#)

[Bibliographie et Webographie](#)

---

## Ethernet haut débit

### 1 - Fast Ethernet

Rappelons un certain nombre de faits relatifs à Ethernet 10 Mbits/s. Il s'agit d'un réseau local très populaire et très répandu sous sa topologie en segment de bus. Le protocole Ethernet, CSMA/CD s'appuie sur deux principes :

**LBT** : Listen Before Talk (ou écouter avant de parler !). Une station qui veut émettre doit utiliser le bus commun ; si celui-ci est utilisé, on peut détecter qu'il est actif. Une station qui veut émettre vérifie donc d'abord si le bus est actif ; si c'est le cas, il faut attendre avant d'émettre lors m le bus ne sera plus actif.

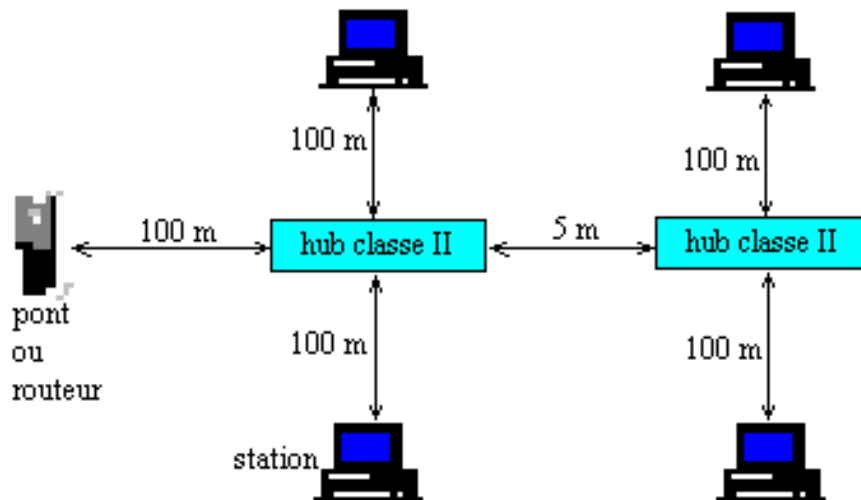
**LXT** : Listen While Talk (ou écouter pendant que l'on parle). Deux stations constatant que le bus n'est pas actif peuvent très bien émettre en même temps. Il va s'ensuivre une collision de signaux rendant incompréhensibles les informations transmises. Mais la collision peut être détectée par les stations émettrices qui vont alors cesser d'émettre. Elles reprendront plus tard après un délai aléatoire.

La trame Ethernet standard possède la structure suivante :

La recherche des hauts débits a conduit à l'évolution d'Ethernet vers les 100 Mbits/s sous la pression des constructeurs :

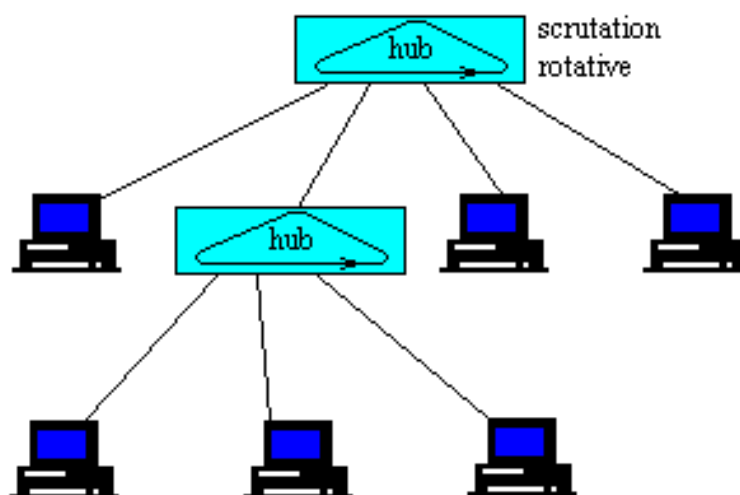
- **Fast Ethernet** est une solution préconisée par 3COM ; la normalisation est notée 802.14 . Le protocole est toujours CSMA/CD. Trois supports physiques peuvent être utilisés : 100 base TX utilise des paires torsadées blindées ou non (dans ce dernier cas la distance maximum est réduite à 100 m) ; 100 base FX utilise la fibre optique multimode à gradient d'indice sur une longueur maximum de 400 m ; 100 base T4 se compose de 4 paires torsadées (3 pour la transmission des données, 1 pour la signalisation des collisions).  
La topologie usuelle de câblage est en étoile avec des hubs. Ces derniers sont classés en 2

catégories ; les hubs de classe I correspondent à 100 base TX et 100 base T4 et ne supportent qu'un seul répéteur entre deux stations ; les hubs de classe II peuvent être raccordés entre eux (mais deux au maximum). La construction d'un réseau avec Fast Ethernet est assez contraignante car il faut respecter des distances maximales entre équipements :



- **100VGAnyLan** est une solution soutenue par Hewlett-Packard, IBM, AT&T ; la normalisation correspondante est notée 802.12 ou 100VG. VG signifie Voice Grade et montre que le support de transmission n'est autre que les paires téléphoniques organisées en bus/arbres avec des hubs (toutefois, il est possible d'utiliser la fibre optique multimode). Le protocole CSMA/CD est amélioré sous la forme de DPAM (Demand Priority Access Method) : l'accès au réseau est régi par un hub et une station qui veut émettre demande l'accès au hub en indiquant la qualité de service qu'elle désire.

Les hub travaillent en mode Round Robin : ils scrutent leurs connexions de manière périodique pour repérer les demandes d'émission. Ils sont reliés aux équipements suivant deux types de connexion ; le type normal ne permet de véhiculer que des données d'utilisateur ; le type "moniteur" permet de véhiculer tout type de données (dont des données de service).

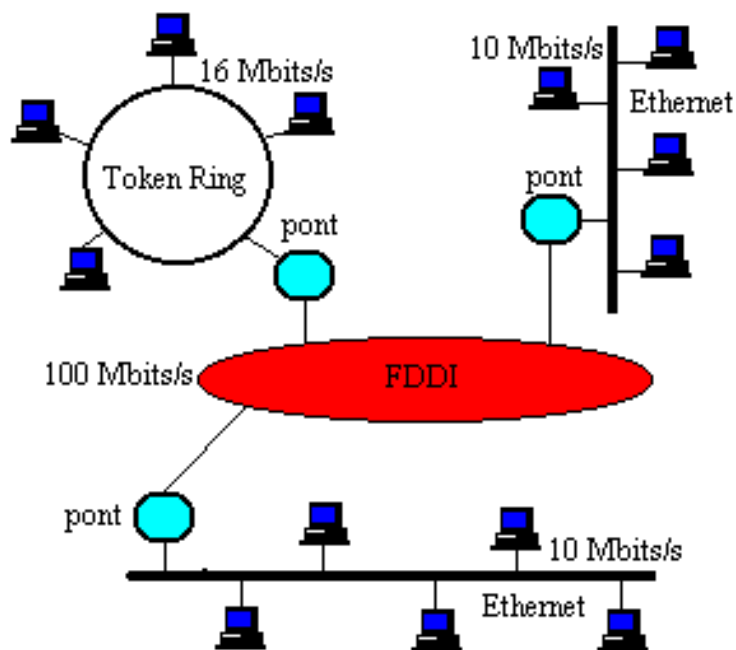




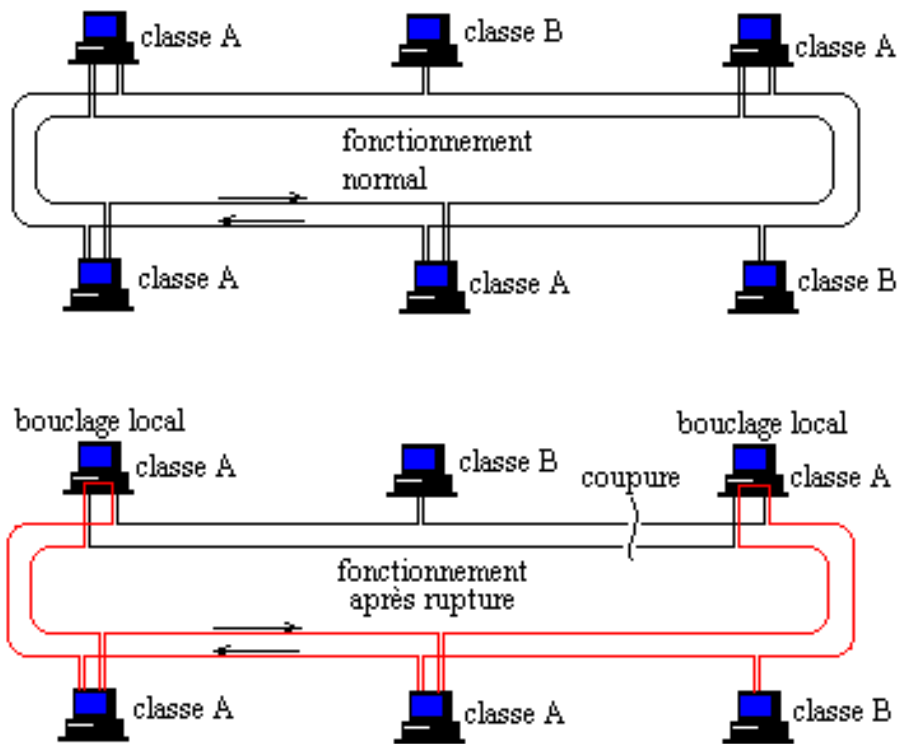
## FDDI

FDDI est un réseau en anneau de fibre optique qui applique les concepts du Token Ring (anneau à jeton). Son débit est de 100 Mbits/s pour une distance maximum de 200 km et le nombre maximal de stations raccordables est de l'ordre du millier.

En général, l'anneau FDDI est utilisé pour la connexion de divers réseaux locaux ; il joue alors un rôle fédérateur.



FDDI utilise deux anneaux indépendants de fibre optique sur lesquels la transmission d'information se fait en sens inverse (organisation contrarotative). La duplication d'anneau est nécessitée pour des besoins de fiabilité et de parade en cas de coupure.

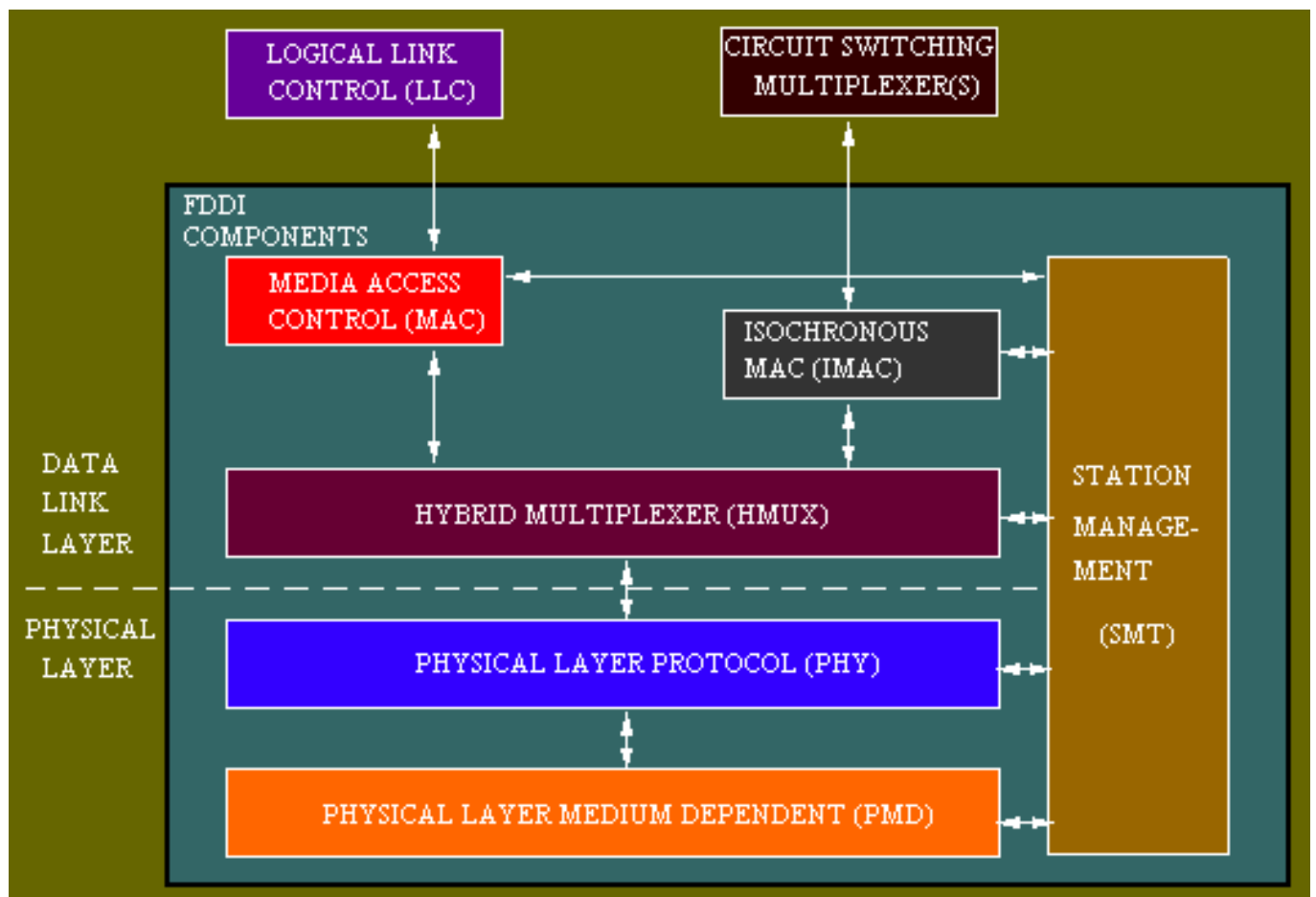


Les stations du réseau sont classées en deux catégories : les stations de classe A sont reliées aux deux anneaux (elles peuvent donc effectuer un rebouclage local) ; les stations de classe B ne sont reliées qu'à un seul anneau.

La technique de codage utilisée est spécifique et correspond au code en blocs 4B/5B ; à tout groupe de 4 bits est associé un symbole codé sur 5 bits ; 16 des symboles sont associés aux données, les 16 autres possibilités sont utilisées pour la signalisation ou ne sont pas encore affectées.

Le fonctionnement du réseau et la structure de la trame FDDI ont été décrits dans le chapitre "Réseaux locaux".

Il convient de signaler que le protocole FDDI dans sa version la plus récente (FDDI II) permet aussi la transmission de trames synchrones (et non plus asynchrones) issues des circuits téléphoniques MIC ou du RNIS ce qui renforce le caractère fédérateur des boucles FDDI.



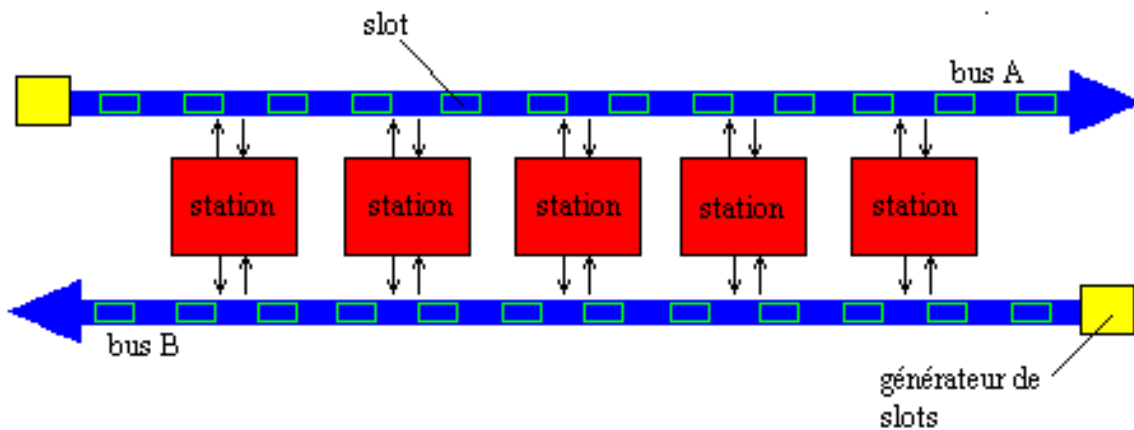
- Architecture FDDI II -



## DQDB

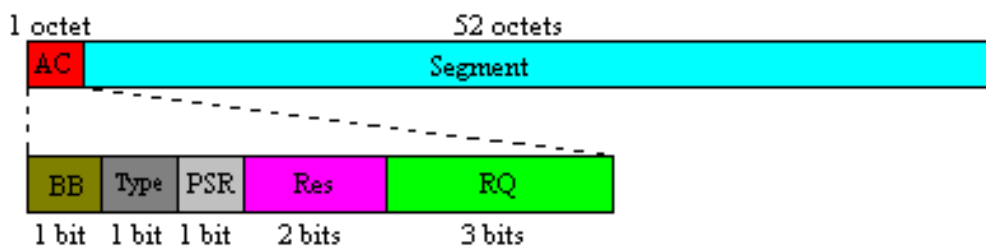
DQDB (Distributed Queue Dual Bus) est le réseau concurrent de FDDI. Il est désigné usuellement sous le sigle MAN (Metropolitan Area Network) ou 802.6. Il est assez rare en Europe et s'est principalement développé aux USA (bien que d'origine australienne). Les débits fournis par DQDB sont 45 Mbits/s, 155 Mbits/s et 600 Mbits/s. Le protocole garantit une équité d'accès au réseau.

La topologie est celle d'un double bus entre les branches desquelles les stations se connectent en parallèle.



Chaque bus est doté d'une tête de réseau qui émet de manière répétitive (toutes les 125 microsecondes, soit 2430 octets à 155 Mbits/s) une trame composée de cellules ou slots. Les deux bus sont unidirectionnels et en sens inverse. Les stations peuvent émettre sur les deux bus suivant la position du destinataire. Elles effectuent donc elles-mêmes un routage et pour cette raison, on les désigne plutôt comme des noeuds.

Comme dans le cas de ATM, une cellule a une longueur de 53 octets dont le format est donné ci-dessous :



Le premier octet AC (Access Control) est un champ de contrôle. BB (Busy Bit) indique si la cellule est occupée ou non. Type indique le type de service : asynchrone (cellule QA = Queue Arbitrated) ou isochrone (cellule PA = Pre-Arbitrated). PSR et Res ne sont pas encore utilisés. Les trois bits RQ sont relatifs au niveau de priorité (mode asynchrone).

L'architecture en couches se compose de deux couches : la couche physique, relativement compatible avec les spécifications de l'OSI et la couche M'AC des réseaux locaux ; cette dernière comporte un certain nombre de fonctionnalités complexes.

Le mode isochrone est un mode permettant d'établir une liaison virtuelle de numéro VCI (Virtual Channel Identifier) entre deux noeuds (c'est donc un mode orienté connexion). Le VCI est situé en tête du segment de la cellule de type PA.

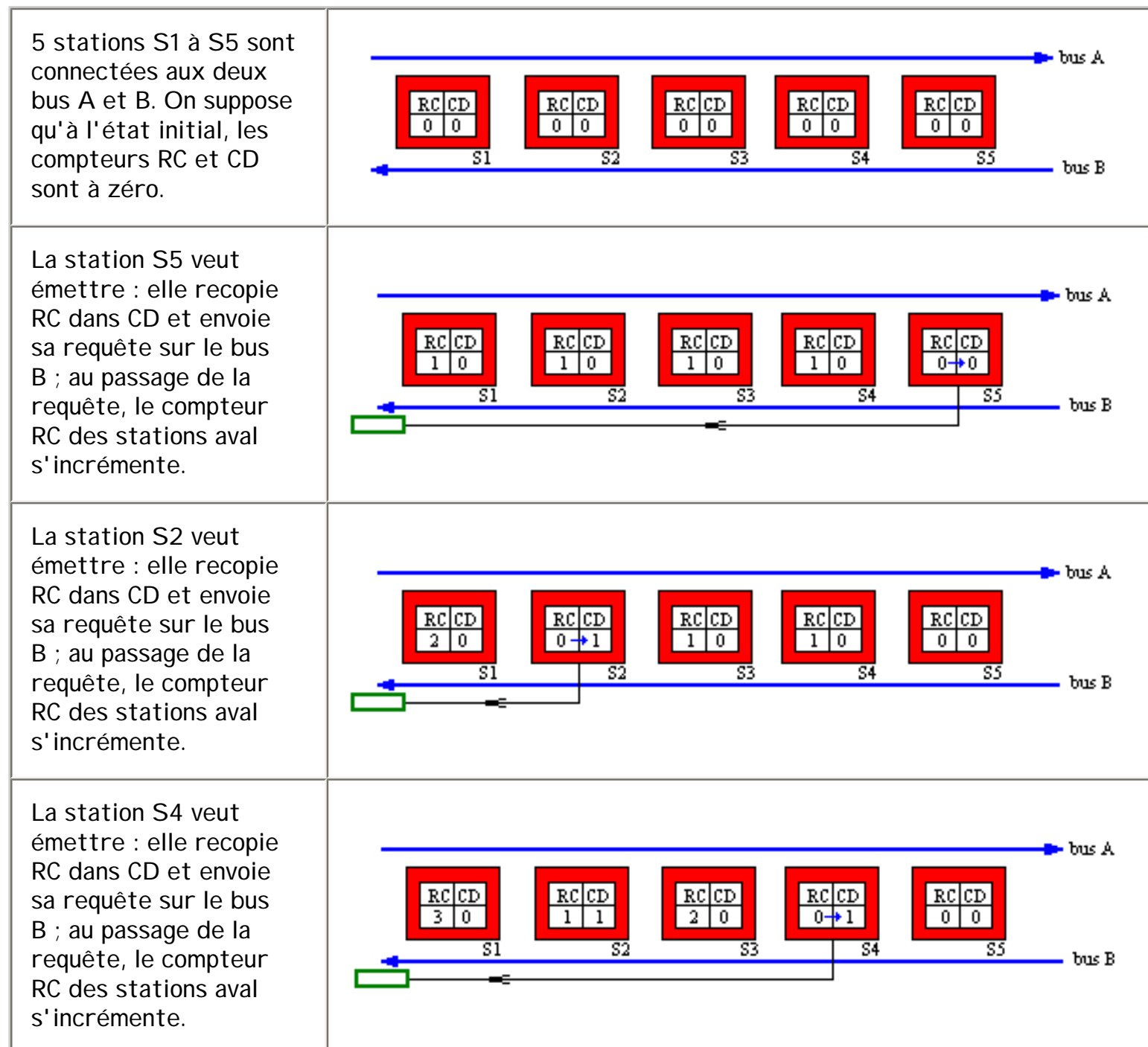
Le mode asynchrone sans connexion utilise le protocole de la file distribuée, décrit plus loin. Les cellules sont de type QA. La couche MAC découpe les données fournies par la couche LLC en blocs de 44 octets et ajoute de l'information de service, notamment si le fragment est un début ou une fin de données. Ce bloc habillé constitue alors un segment d'une cellule QA.

Le mode asynchrone avec connexion utilise aussi des cellules QA avec fragmentation, mais utilise aussi les principes du mode isochrone : numéro de VCI en tête du segment.

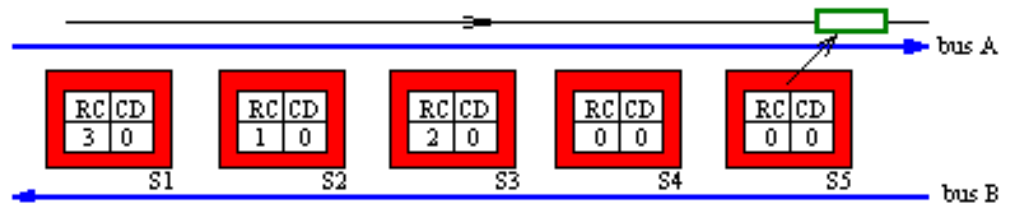
Le protocole de la file distribuée utilise les champs BB et RQ des cellules ainsi que deux compteurs

au niveau de chaque noeud : RC (Request Counter) et CD (CountDown counter). Il existe une paire de compteurs RC et CD par niveau de priorité ; on supposera cependant dans la suite, pour simplifier, qu'il n'y a qu'un seul niveau de priorité, donc une seule paire RC, CD.

Une station qui veut émettre doit d'abord effectuer une demande (requête) d'émission ; cette requête est envoyée sur l'un des bus, par exemple B ; l'émission qui aura lieu ultérieurement se fera alors obligatoirement sur le bus A. Simultanément à l'envoi d'une requête, le contenu de RC est copié dans CD (CD contient le nombre de requêtes à satisfaire avant de pouvoir commencer à émettre). Chaque fois qu'une requête passe sur le bus B, la station augmente de 1 le contenu de RC (RC contient le nombre de nouvelles requêtes après la requête propre de la station). Chaque fois qu'un slot vide passe sur le bus A, la station décrémente de 1 le contenu de CD. Quand celui-ci arrive à 0, la station peut émettre dans le premier slot vide qui passe. La figure ci-dessous explicite le fonctionnement du protocole.



Une cellule vide circule sur le bus A. A son passage, les compteurs CD des stations sont décrémentés. Si ces compteurs sont à 0, ils le restent ; si un compteur est à 0 et si la station correspondante a demandé à émettre, elle peut alors le faire (c'est le cas de S5).



[Voir exemple en GIF animé](#)



## Bibliographie et Webographie



# Réseaux d'accès

## [Les modes d'accès au haut débit](#)

[La fibre optique](#)

[Les réseaux câblés](#)

[Les paires métalliques](#)

[Les accès hertziens](#)

[Les accès satellites](#)

## [Bibliographie et Webographie](#)

Les réseaux d'accès ou boucle locale correspondent à la partie reliant l'équipement de l'utilisateur et le réseau de l'opérateur. Elle s'étend sur quelques kilomètres seulement mais c'est la partie du réseau qui demande le plus d'investissement car son rôle est de relier l'utilisateur au réseau d'un opérateur. Il faut donc trouver la meilleure solution pour effectuer cette liaison.

Le débit permettant l'accès au multimédia se situe aux alentours de 2Mbit/s (très inférieur aux prévisions effectuées il y a quelques années). Cette nouvelle valeur vient des progrès du codage et des techniques de compression. D'ici 2010, une vidéo de qualité télévision devrait être obtenue avec un débit allant de 64 Kbit/s à 512 Kbit/s. La parole numérique ne demande plus que quelques Kbit/s. En résumé, un débit de 2 Mbit/s devrait être suffisant pour un accès aux informations multimédias.

## Les modes d'accès au haut débit

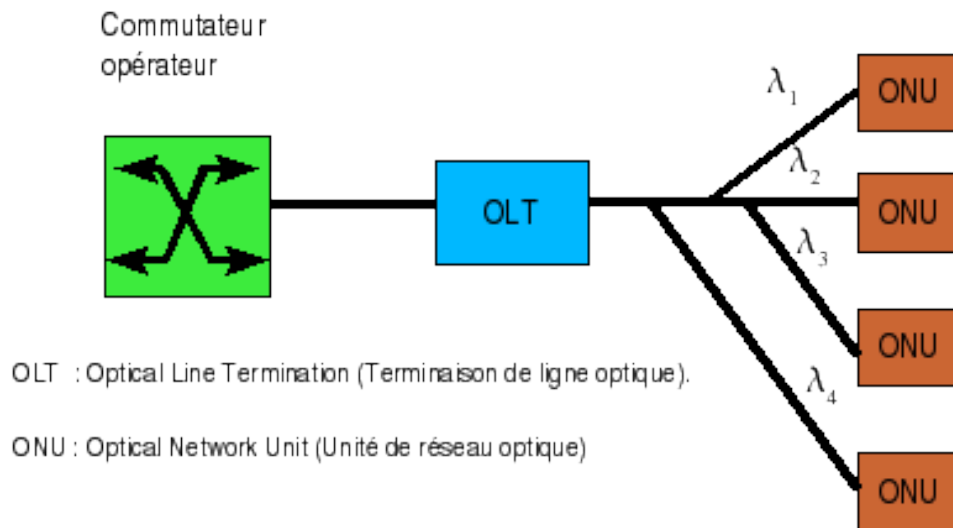
Plusieurs solutions sont possibles:

- La fibre optique
- Les réseaux câblés
- Les paires métalliques
  - La boucle locale métallique
  - Le RNI S bande étroite
  - Les accès xDSL
- Les accès hertziens
- Les accès satellite
  - Les systèmes satellite bande étroite
  - Les systèmes satellite large bande

## La fibre optique

Cette solution consiste à recâbler tout le réseau de distribution en fibre optique. Cette technique est

particulièrement bien adaptée à RNI S large bande. La figure ci-dessous illustre la topologie de la boucle locale optique.



La boucle locale optique

Cette solution est assez onéreuse. Pour réduire les coûts, il ne faut pas par exemple câbler la portion allant jusqu'à la prise terminale de l'utilisateur. Ceci conduit à déterminer jusqu'où le câblage doit être posé. Plusieurs solutions existent:

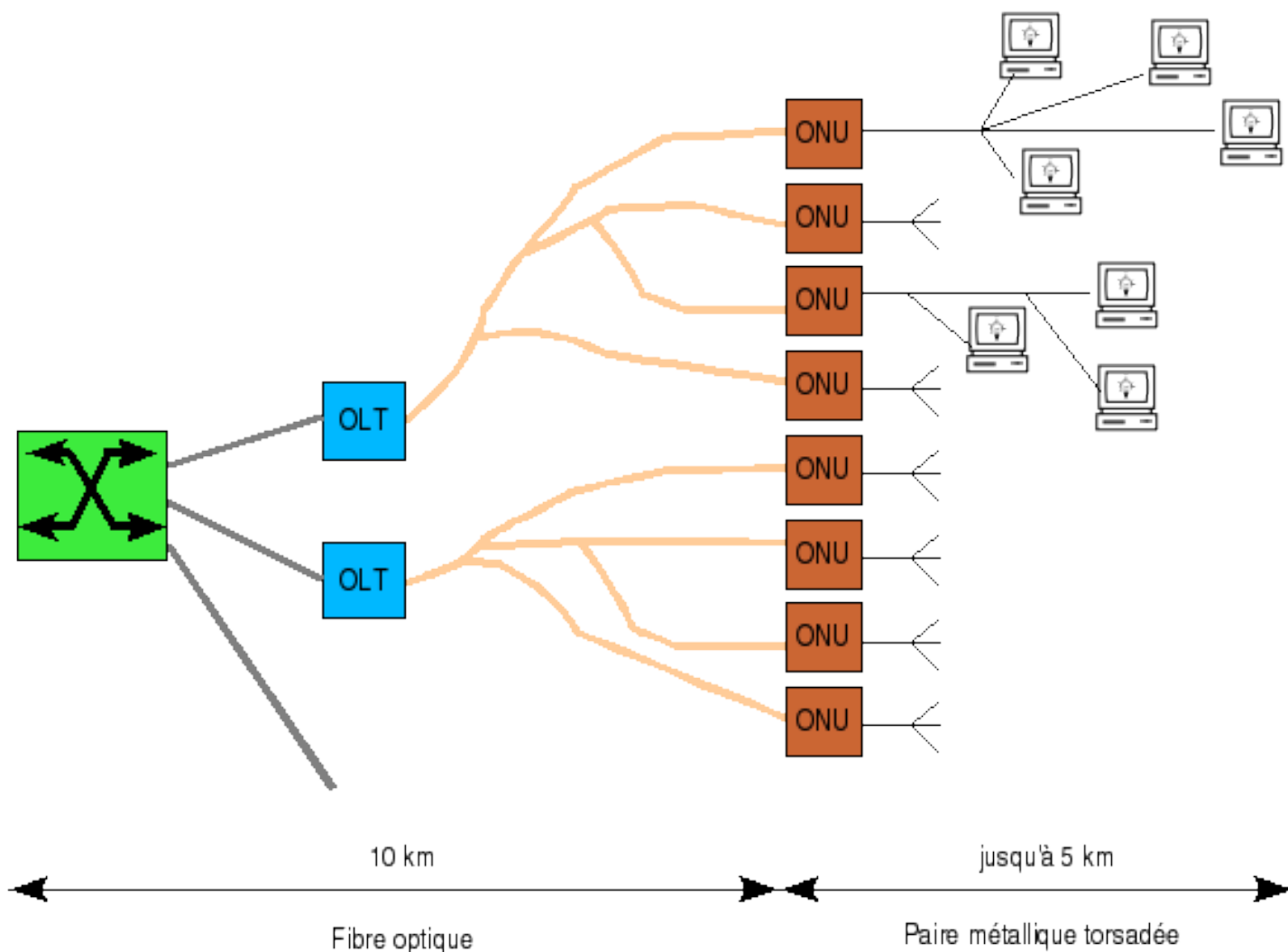
- Jusqu'à un point trop éloigné de l'immeuble ou de la maison qui doit être desservi, le reste du câblage étant effectué par l'utilisateur final (FTTC, Fiber To The Curb).
- Jusqu'à un répartiteur dans l'immeuble lui-même (FTTN, Fiber To The Node).
- Jusqu'à la porte de l'utilisateur (FTTH, Fiber To The Home).
- Jusqu'à la prise de l'utilisateur (FTTT, Fiber To The Terminal).

Les prix bien sûr augmentent en fonction de la proximité avec l'utilisateur. La solution la plus répandue actuellement est le câblage en fibre optique jusqu'au point situé à moins de 5 km de l'utilisateur. D'autres moyens, comme les modems xDSL, prennent ensuite le relai (câblage métallique prenant en charge des débits de plusieurs Mbit/s sur les derniers kilomètres).

**Remarque:** la partie se trouvant entre l'OLT et les ONU de la figure ci-dessus s'appelle "Arbre optique".

#### Réseau optique passif (PON, Passive Optical Network):

Sur un PON, il est possible de faire transiter des cellules ATM en utilisant la technique FSAN (Full Service Access Network). Sur un tron de l'arbre optique (voir figure ci-dessous), il n'est pas possible de dépasser une cinquantaine de branches, à cause de la déperdition d'énergie.



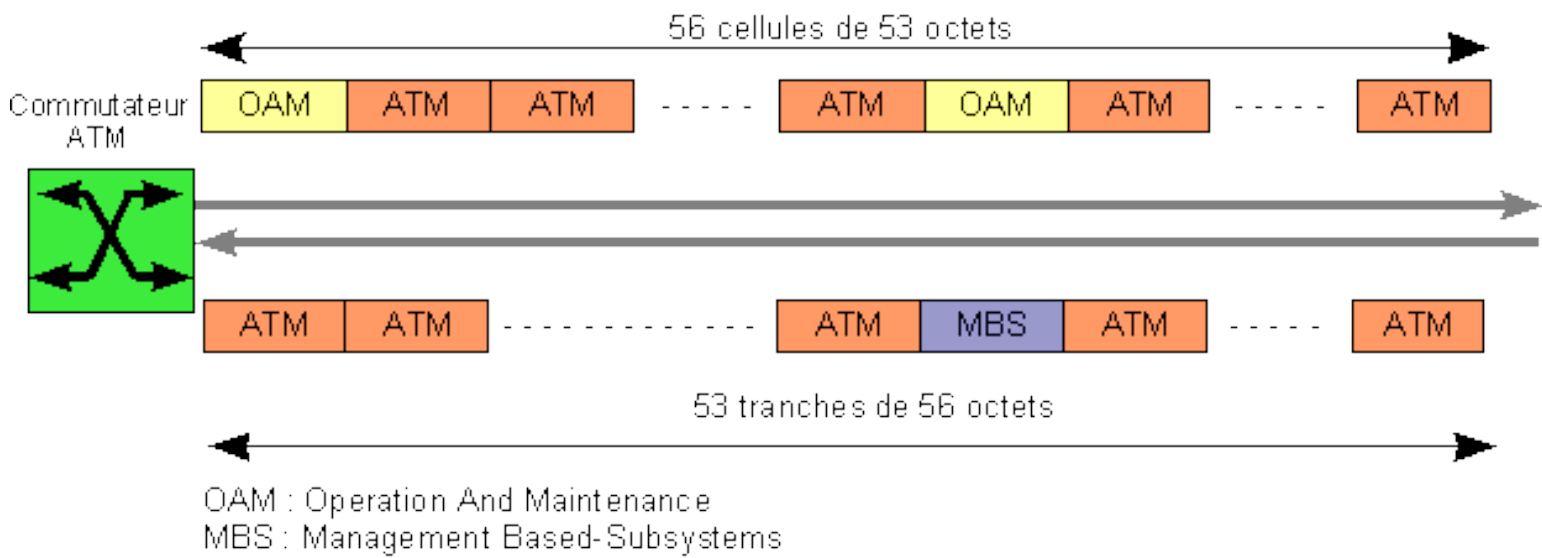
Architecture d'un réseau optique passif

Sur ces réseaux d'accès, c'est souvent le protocole ATM qui est retenu par les opérateurs. Le système s'appelle alors APON (ATM Over PON).

La difficulté vient du partage de la bande passante montante (depuis l'utilisateur vers le réseau). Si plusieurs centaines ou plusieurs milliers de clients se connectent en même temps, la bande passante risque de ne pas être suffisante.

Sur la partie descendante, des canaux de vidéo sont diffusés. Ils utilisent chacun un canal sur le tronc de l'arbre. En revanche, les canaux montants des utilisateurs sont tous différents et utilisent chacun un canal distinct. Une technique d'accès MAC (Medium Access Control) est nécessaire pour prendre en charge cette superposition. La technique la plus utilisée est le "partage". Des solutions permettent à l'ONU de faire une requête vers l'OLT, cette dernière réservant une bande passante aux clients demandeurs.

Dans le sens descendant, les cellules ATM sont émises de façon classique sur le support physique. Dans le sens montant, une réservation doit s'effectuer à l'intérieur des trames, divisées en tranches de 56 octets contenant une cellule et 3 octets de supervision. Au centre de la trame, une tranche particulière de 56 octets est destinée à la réservation d'une tranche de temps (voir la figure ci-dessous).



Structure de la trame FSAN



## Les réseaux câblés

Les infrastructures existantes des câblo-opérateurs peuvent être utilisées comme solution pour obtenir du haut débit sur un réseau d'accès. Les câbles ont longtemps véhiculé de la télévision (CATV, câble TV) dont la bande passante dépasse les 800 MHz. Cette installation est aujourd'hui modifiée en mettant en place des systèmes HFC (Hybrid Fiber/Coax), qui associent la fibre optique jusqu'à la tête de retransmission et le CATV pour la desserte terminale.

Le CATV utilise un multiplexage en fréquence. La bande passante est alors divisée en canaux distincts. L'avantage de cette technologie est de pouvoir transporter facilement du multimédia (vidéo, autres données numériques, parole téléphonique). Chacun des médias pouvant être affecté à une sous-bande, chaque sous-bande pouvant transporter du numérique ou de l'analogique. Les canaux de télévision transitent dans des sous-bandes distinctes, certains peuvent être en numérique et d'autres en analogique. Une autre sous-bande peut transporter la parole téléphonique. Enfin, une connexion Internet peut aussi être utilisée à condition d'utiliser un modem câble.

La faiblesse de cette solution provient du multiplexage en fréquence qui n'optimise pas l'utilisation de la bande passante. Un multiplexage temporel utilise mieux la bande passante disponible et intégrant dans le même composant l'accès à l'ensemble des informations du point d'accès. Un transfert de paquets pourrait représenter une solution mieux adaptée, à condition de modifier complètement les composants extrémité.



# Les paires métalliques

## La boucle locale métallique

Ces installations sont principalement utilisées pour l'accès au réseau téléphonique. Elles forment l'ossature la plus classique de la boucle locale. Si l'accès se fait en analogique, on peut utiliser une paire en full-duplex. Un modem peut bien sûr envoyer des données numériques et le débit peut atteindre quelques dizaines de Kbit/s.

La paire métallique devient une liaison spécialisée si des répéteurs ad hoc sont placés à distances régulières. Le débit atteint 2Mbit/s.

## Le RNIS bande étroite

Une paire métallique permet de mettre en place l'interface RNIS bande étroite, dont la capacité pour l'utilisateur est de 144 Kbit/s. Cette solution a été développée pour faire transiter de la parole téléphonique à 3200 Hz et non plusieurs Mbit/s. C'est ce qui fait que la paire métallique est de qualité assez médiocre, avec un diamètre de 0,4 mm. Les câbles de 50 paires sont la sources de nombreux problèmes de distortion de phase, de diaphonie, etc. car ils ne sont pas assez protégés.

## Les technologies xDSL

xDSL signifie x-type Digital Subscriber Line ou sommairement "ligne numérique d'abonné de type x". Ce mot recouvre une série de technologies présentant des facteurs d'intérêt communs :

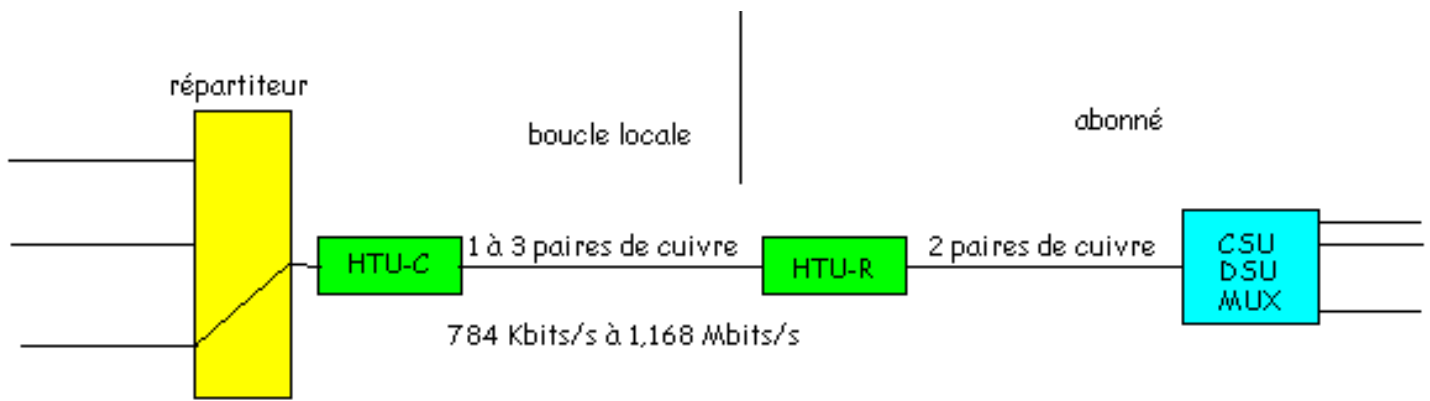
- les coûts sont incrémentaux en ce sens que les investissements sont proportionnels au nombre d'abonnés
- la modification des installations de l'abonné est faible
- la transmission est bidirectionnelle
- certaines des technologies supportent la voix analogique

La famille xDSL comporte notamment les technologies suivantes :

- HDSL, HDSL2 : débits montant et descendant symétriques : 1,5 Mbits/s (T1-USA) ou 2 Mbits/s (E1-Europe).
- SDSL : variante de HDSL
- ADSL, RADSL : débits asymétriques : débit montant de 16 à 640 Kbits/s ; débit descendant de 1,5 à 8 Mbits/s
- IDSL : débits symétriques de 144 Kbits/s
- VDSL : plus récente, débits asymétriques : débit montant de 1,5 Mbits/s à 6 Mbits/s ; débit descendant de 13 à 52 Mbits/s ; utilisation partielle de fibre optique.

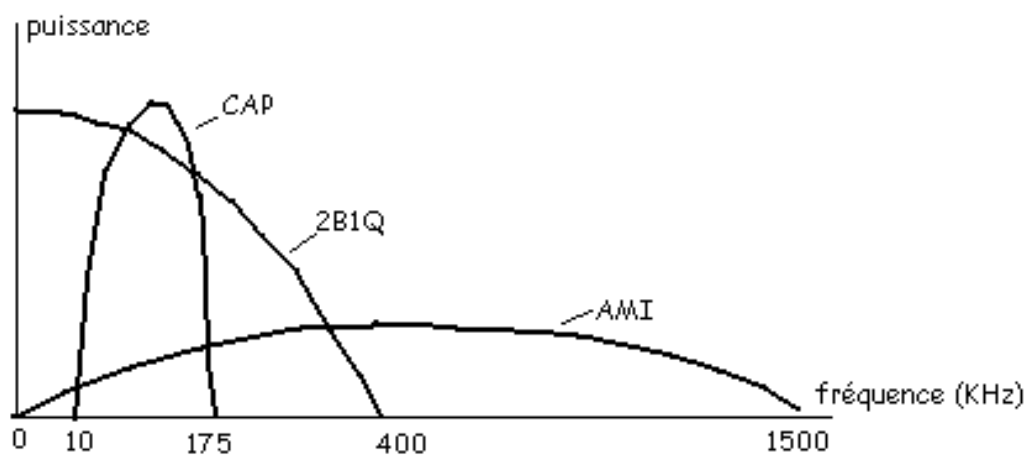
## HDSL

L'objectif est de fournir un accès T1 ou E1 à un abonné :

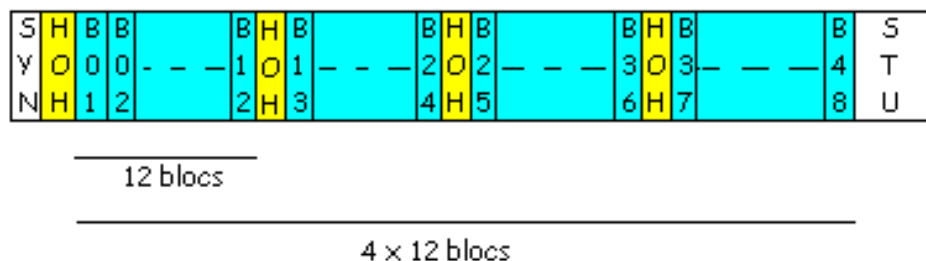


CSU : Channel service Unit ; DSU : Digital Service Unit ; HTU-C : HDSL Terminal Unit - Central Office ; HTU-R : HDSL Terminal Unit - Remote

Si l'un des intérêts est l'inexistence de répéteur, un inconvénient majeur est que la ligne étant numérique ne peut transporter la voix analogique (il faut la numériser). La numérisation de l'information repose sur un codage 2B1Q (2 Binary 1 Quaternary) : 2 bits sont codés par un symbole (il y a donc 4 types de symboles). Ce code est plus performant que le Bipolar AMI utilisé en T1/E1. Le codage CAP, variante de 2B1Q, est encore plus performant. Le spectre en fréquence de ces différents codages est donné ci-dessous :



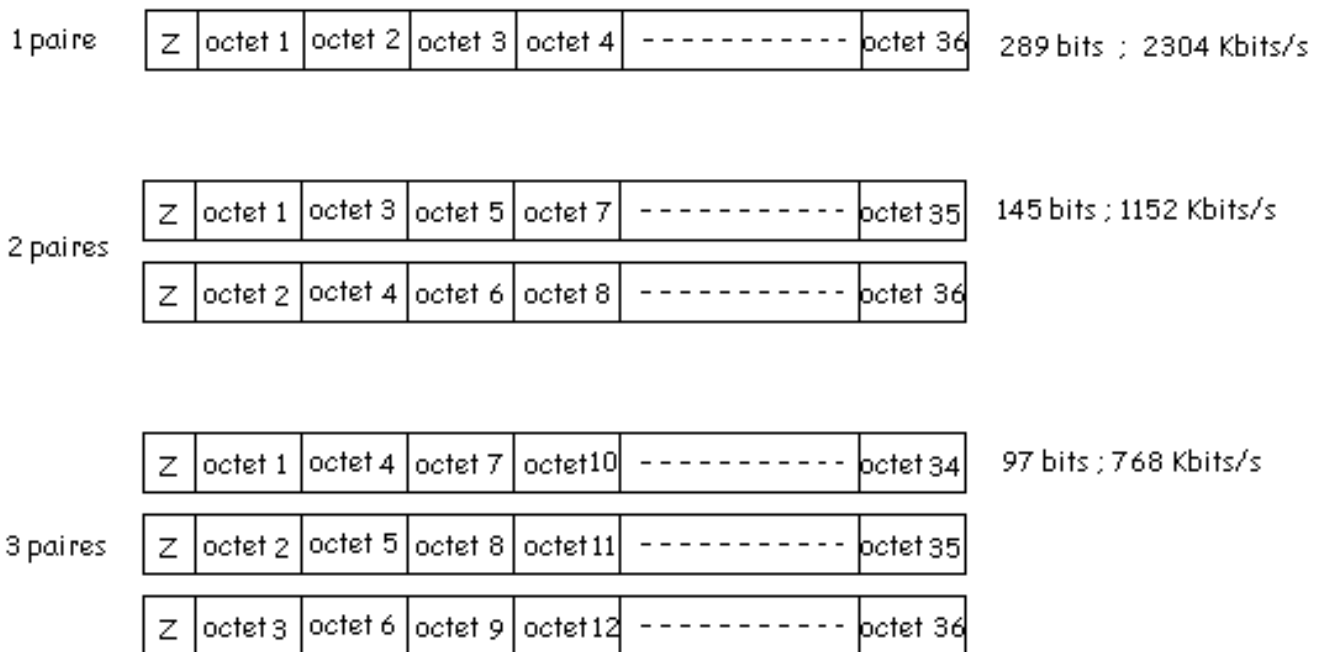
La trame HDSL possède la structure suivante :



SYN est une suite de 14 bits de synchronisation ; HOH est une en-tête de 2 bits.

La durée d'émission d'une trame est de 6 ms. Comme elle transporte 4 fois 12 blocs ou octets, elle transporte 384 octets toutes les 6 ms ce qui correspond à un débit de 64 Kbits/s.

La composition des blocs dépend du nombre de paires de cuivre utilisées :



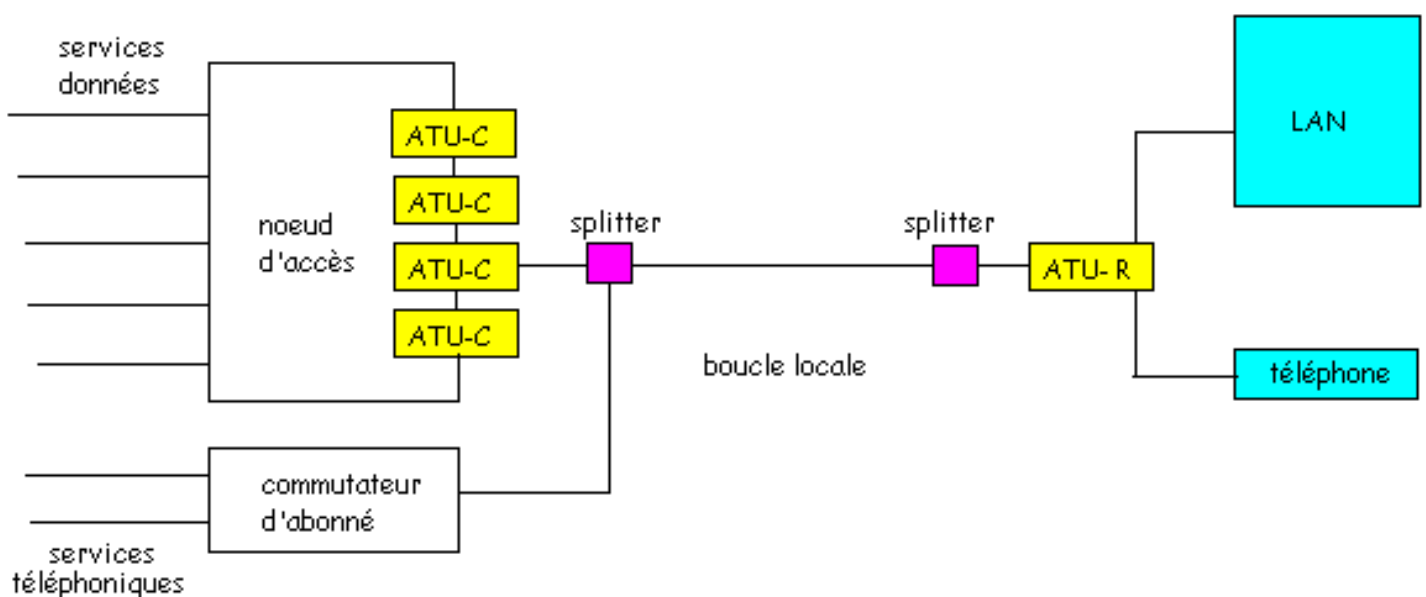
Les utilisations possibles de HDSL sont

- l'accès à Internet
- la visioconférence
- l'accès primaire au RNIS

HDSL est limitée par le manque de normalisation, la nécessité de répéteur pour une distance dépassant 4 km et son type de modulation 2B1Q (très critiquée). On peut l'améliorer en imaginant l'absence totale de répéteurs, le remplacement de 2B1Q par CAP et l'interopérabilité entre équipements de divers constructeurs.

## ADSL

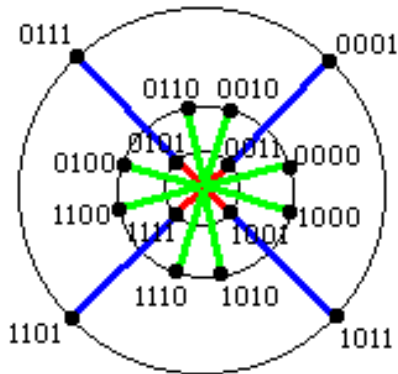
ADSL combine voix et données, c'est à dire téléphonie et informatique.



ATU-C : ADSL Transmission Unit - Central Office ; ATU-R : ADSL Transmission Unit - Remote ; LAN : réseau local pouvant être remplacé par un Cbus (système de câblage de l'abonné).

La modulation pour le codage numérique utilise soit CAP soit DMT, deux systèmes concurrents.

CAP est basé sur une modulation d'amplitude combinée à une modulation de phase :



16 signaux sont utilisés ce qui permet le transport de 4 bits par signal.



## Les accès hertziens

La voie hertzienne est une solution prometteuse à long terme pour la boucle locale. Aujourd'hui, cette solution est envisageable pour les communications téléphoniques par exemple quand le câblage terrestre n'existe pas. La desserte des nouvelles villes construites pourraient se faire avec cette technologie. L'inconvénient de cette solution est la bande de fréquences étroite disponible. Cette solution est appelée WLL (Wireless Local Loop) ou WI TL (Wireless In The Loop) et elle est en plein essor.

Deux orientations de WLL peuvent être envisagées, en tenant compte ou pas de la mobilité de l'utilisateur :

- Si on tient compte de la mobilité, il s'agit alors de réseaux mobiles, la communication n'est pas interrompue lorsque le mobile se déplace (voir le chapitre sur les réseaux mobiles).
- Dans le second cas, la communication est fixe ou à faible mobilité.

Plus les fréquences utilisées sont hautes, plus la directivité est importante, la mobilité est alors limitée. Cette solution, appelée BLR (Boucle Locale Radio), est en plein développement.

La solution LMDS (Local Multipoint Distribution System), à mobilité restreinte, utilise des fréquences au dessus des 27 GHz. Les communications sont très directives, il faut alors des fois placer des antennes dans les lieux élevés car on ne peut pas obtenir un axe direct entre le terminal et l'émetteur. Il faut signaler aussi que la pluie peut perturber légèrement la propagation des ondes.

L'avantage de LMDS est de pouvoir offrir de grandes largeurs de bandes possédant des débits de 20

Mbit/s par utilisateur. En 1997, la FCC (Federal Communication Commission, agence américaine de la régulation des transmissions par câble, radio et autre) a alloué 1300 MHz au service LMDS dans les bandes de fréquences des 28 GHz et 31 GHz. La portée va jusqu'à une dizaine de kilomètres.



---

## Les accès satellite

### Systèmes satellite bande étroite

La distribution directe par satellite peut être utilisée dans un réseau d'accès. Les premiers projets ayant vu le jour (première génération) ne visaient que la téléphonie à cause du manque de bande passante. Ce défaut a été compensé par le grand nombre de satellites se trouvant à une altitude basse, permettant une plus grande réutilisation des fréquences. Les systèmes satellite bande étroite concernent principalement la téléphonie.

Deux possibilités existent:

- le réseau satellite ne couvre que le réseau d'accès. Le transport est alors effectué par un opérateur terrestre.
- le réseau satellite propose aussi le transport

Par exemple, la constellation Global Star constitue un pur réseau d'accès car il ne fait que diriger les communications vers les portes d'accès d'opérateurs terrestres. Le réseau Iridium, par contre, permettait le routage entre satellites.

La deuxième génération de satellites vise le multimédia avec des débits allant jusqu'à 2 Mbit/s et des qualités de service associées. Ces constellations de satellites se trouvent à des orbites différentes:

- LEOS (Low Earth Orbital Satellite): se trouvant à 1000 km d'altitude.
- MEOS (Medium Earth Orbital Satellite): se trouvant à 13000 km d'altitude.
- GEOS (Geostationary Earth Orbital Satellite): se trouvant à 36000 km d'altitude.

Les satellites GEOS sont immobiles par rapport à un point fixe de la Terre. Les autres types sont par contre défilants. Les constellations de satellites les plus connues sont Teledesic (Bill Gates, Motorola, Boeing, etc.) et SkyBridge d'Alcatel.

Il faut remarquer que le signal allant de la terre vers un satellite géostationnaire (situé à 36 000 Km) met environ 0,14 secondes, ce qui est énorme. En théorie, 3 satellites de type GEOS situés à 120° les uns des autres sont suffisants pour couvrir toute la planète (au moins l'un d'eux est visible de n'importe quel point sur la Terre).

Le signal reçu par un satellite sur une fréquence  $f_1$  est retransmis vers l'ensemble des stations terrestres sur une fréquence  $f_2$ . Les limites à l'utilisation des satellites GEOS sont les suivantes:

- La puissance d'émission des terminaux et du satellite doit être importante ou bien l'antenne

doit avoir un diamètre important. Un terminal ayant une antenne de 3 dBW (affaiblissement de 3 décibels par watt) nécessite une antenne de 10 m de diamètre.

- Les batteries du satellite doivent être puissantes et ces capteurs solaires de grande surface.
- Les zones sur la Terre situées au-dessus de 81° de latitude ne sont pas couvertes et celles au-dessus de 75° ont des communications réduites.
- La non réutilisation des fréquences réduit les capacités du réseau.
- La communication de mobile à mobile entre deux stations qui ne sont pas dans la même zone de couverture nécessite de passer par un réseau terrestre.

Les satellites GEOS sont très lourds et nécessitent des fusées puissantes. Par contre, ceux des orbites plus basses sont plus légers et peuvent être lancés en grappes de 6 à 10. D'ailleurs, les nouvelles générations de satellites ne sont plus géostationnaires mais sont à des altitudes plus basses. De cette façon, les fréquences peuvent être réutilisées. Par exemple, la même fréquence peut être réutilisée 20000 fois lorsque le satellite est à une altitude de 1000 Km. L'inconvénient des satellites de basse altitude est que l'utilisateur doit changer constamment de satellite (handover, voir le chapitre sur les réseaux mobiles).

Deux catégories de satellites basses altitudes existent et permettant de mettre en place des réseaux universels. L'une des catégories joue le rôle de réseau d'accès, l'autre catégorie correspond à des réseaux complets, gérant des communications de bout en bout.

Les fréquences utilisées pour la transmission par satellite se situent dans les bandes 4-6 GHz, 11-14 GHz et 20-30 GHz. Les bandes passantes vont jusqu'à 500 MHz et même jusqu'à 3500 MHz. Les débits sont de plusieurs dizaines de Mbit/s. Un satellite contient actuellement entre 5 et 50 répéteurs. Chaque répéteur est accordé sur une fréquence différente. Ainsi, pour la bande 4-6 GHz, le satellite reçoit des signaux modulés dans la bande des 6 GHz, les amplifie et les transpose dans la bande des 4 GHz.

Le très grand nombre de communications possibles entre les stations terrestres par rapport au nombre de répéteurs fait qu'il est indispensable d'utiliser des politiques d'allocation des bandes de fréquences et des répéteurs.

Contrairement aux réseaux locaux, il n'existe pas de protocole normalisé pour les réseaux satellites. Plusieurs propositions ont été faites mais aucune n'a fait l'unanimité.

## **Systemes satellite large bande**

Cette catégorie vise le transport d'applications multimédias. Le développement des VSAT (Very Small Aperture Terminal) et aujourd'hui des USAT (Ultra Small Aperture Terminal) est la cause de la large diffusion des petites antennes particulières qu'on voit sur les toits des maisons.

De la vidéo de bonne qualité est transportée. Le nombre de satellites diffusant des canaux de télévision ne cesse d'augmenter. Plusieurs standards existent, comme DSS (Direct Satellite System) Mais ils sont concurrencés par les réseaux câblés car utilisant une plus grande bande passante autorisant plus de services haut débit comme la VoD (Vidéo à la demande).

Ces constellations de satellites peuvent être :

- Des réseaux d'accès: dans ce cas, le client se connecte au satellite pour entrer sur le réseau d'un opérateur fixe. Le passage d'un satellite à un autre n'est pas possible. Chaque satellite correspond à une station au sol connectée à un opérateur local.
- Des réseaux complets: Il est possible de passer de satellite en satellite pour permettre à un

émetteur d'atteindre le récepteur.

Il est à remarquer que la configuration de la constellation de satellites est un point important afin de permettre de passer sur les zones les plus demandées. Les liaisons intersatellites sont nécessaires lorsque le système n'est pas seulement un réseau d'accès. Ces liaisons réduisent la dépendance de la constellation envers les opérateurs de réseaux fixes. Par contre, ceci ajoute de la complexité du système global.



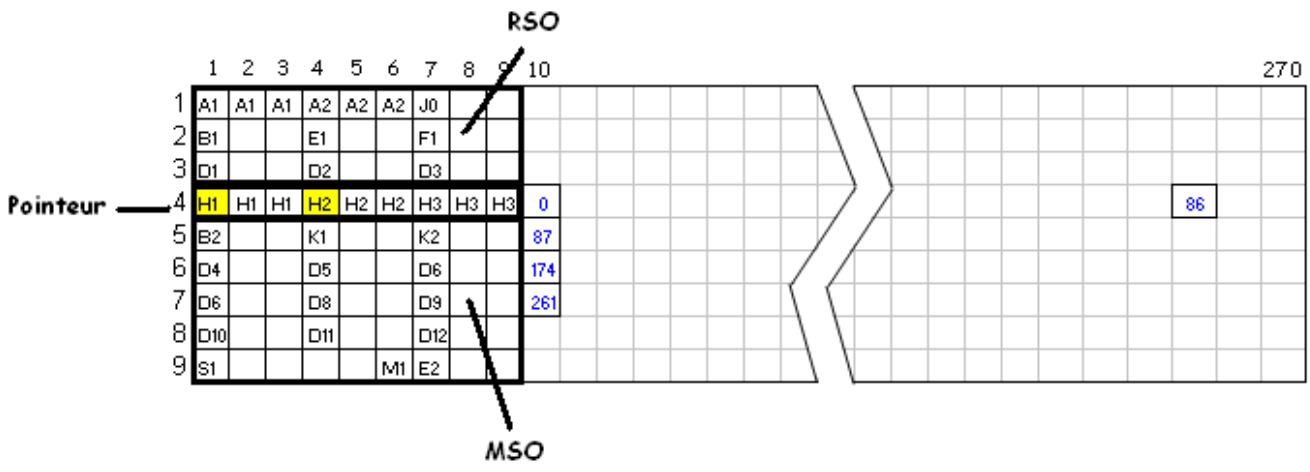
---

## Bibliographie et Webographie

- Les réseaux, Guy Pujolle, Editions Eyrolles, Réédition 2004.
- The satellite communication applications handbook, B. Elbert, Artech House, 1996.
- Wireless local loop: Theory to applications, P. Stavroulakis, Wiley, 2001.



# Détail de la trame STM-1



## RSO (Regenerator Section Overhead)

Byte	Description
A1 and A2	Framing bytes – These two bytes indicate the beginning of the STM-N frame. The A1, A2 bytes are unscrambled. A1 has the binary value 11110110, and A2 has the binary value 00101000. The frame alignment word of an STM-N frame is composed of (3 x N) A1 bytes followed by (3 x N) A2 bytes.
J0	Regenerator Section (RS) Trace message – It's used to transmit a Section Access Point Identifier so that a section receiver can verify its continued connection to the intended transmitter. The coding of the J0 byte is the same as for J1 and J2 bytes. This byte is defined only for STM-1 number 1 of an STM-N signal.
Z0	These bytes, which are located at positions S[1,6N+2] to S[1,7N] of an STM-N signal (N > 1), are reserved for future international standardisation.
B1	RS bit interleaved parity code (BIP-8) byte – This is a parity code (even parity), used to check for transmission errors over a regenerator section. Its value is calculated over all bits of the previous STM-N frame after scrambling, then placed in the B1 byte of STM-1 before scrambling. Therefore, this byte is defined only for STM-1 number 1 of an STM-N signal.
E1	RS orderwire byte – This byte is allocated to be used as a local orderwire channel for voice communication between regenerators.
F1	RS user channel byte – This byte is set aside for the user's purposes; it can be read and/or written to at each section terminating equipment in that line.
D1, D2, D3	RS Data Communications Channel (DCC) bytes – These three bytes form a 192 kbit/s message channel providing a message-based channel for Operations, Administration and Maintenance (OAM) between pieces of section terminating equipment. The channel can be used from a central location for control, monitoring, administration, and other communication needs.

## MSO( Multiplex Section Overhead)

Byte	Description																																																																												
B2	Multiplex Section (MS) bit interleaved parity code (MS BIP-24) byte – This bit interleaved parity N x 24 code is used to determine if a transmission error has occurred over a multiplex section. It's even parity, and is calculated overall bits of the MS Overhead and the STM-N frame of the previous STM-N frame before scrambling. The value is placed in the three B2 bytes of the MS Overhead before scrambling. These bytes are provided for all STM-1 signals in an STM-N signal.																																																																												
K1 and K2	Automatic Protection Switching (APS channel) bytes – These two bytes are used for MSP (Multiplex Section Protection) signaling between multiplex level entities for bi-directional automatic protection switching and for communicating Alarm Indication Signal (AIS) and Remote Defect Indication (RDI) conditions. The Multiplex Section Remote Defect Indication (MS-RDI) is used to return an indication to the transmit end that the received end has detected an incoming section defect or is receiving MS-AIS. MS-RDI is generated by inserting a "110" code in positions 6, 7, and 8 of the K2 byte before scrambling.																																																																												
	<table border="0"> <thead> <tr> <th colspan="2">K1 Byte</th> <th colspan="2">K2 Byte</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bits 1-4</td> <td>Type of request</td> <td>Bits 1-4</td> <td>Selects channel number</td> </tr> <tr> <td>1111</td> <td>Lock out of Protection</td> <td>Bit 5</td> <td>Indication of architecture</td> </tr> <tr> <td>1110</td> <td>Forced Switch</td> <td>0</td> <td>1+1</td> </tr> <tr> <td>1101</td> <td>Signal Fail – High Priority</td> <td>1</td> <td>1:n</td> </tr> <tr> <td>1100</td> <td>Signal Fail – Low Priority</td> <td>Bits 6-8</td> <td>Indicate mode of operation</td> </tr> <tr> <td>1011</td> <td>Signal Degrade – High Priority</td> <td>111</td> <td>MS-AIS</td> </tr> <tr> <td>1010</td> <td>Signal Degrade – Low Priority</td> <td>110</td> <td>MS-RDI</td> </tr> <tr> <td>1001</td> <td>(not used)</td> <td>101</td> <td>Provisioned mode is bi-directional</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>Manual Switch</td> <td>100</td> <td>Provisioned mode is unidirectional</td> </tr> <tr> <td>0111</td> <td>(not used)</td> <td>011</td> <td>Future use</td> </tr> <tr> <td>0110</td> <td>Wait-to-Restore</td> <td>010</td> <td>Future use</td> </tr> <tr> <td>0101</td> <td>(not used)</td> <td>001</td> <td>Future use</td> </tr> <tr> <td>0100</td> <td>Exercise</td> <td>000</td> <td>Future use</td> </tr> <tr> <td>0011</td> <td>(not used)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0010</td> <td>Reverse Request</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0001</td> <td>Do Not Revert</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0000</td> <td>No Request</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bits 5-8</td> <td>Indicate the number of the channel requested</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	K1 Byte		K2 Byte		Bits 1-4	Type of request	Bits 1-4	Selects channel number	1111	Lock out of Protection	Bit 5	Indication of architecture	1110	Forced Switch	0	1+1	1101	Signal Fail – High Priority	1	1:n	1100	Signal Fail – Low Priority	Bits 6-8	Indicate mode of operation	1011	Signal Degrade – High Priority	111	MS-AIS	1010	Signal Degrade – Low Priority	110	MS-RDI	1001	(not used)	101	Provisioned mode is bi-directional	1000	Manual Switch	100	Provisioned mode is unidirectional	0111	(not used)	011	Future use	0110	Wait-to-Restore	010	Future use	0101	(not used)	001	Future use	0100	Exercise	000	Future use	0011	(not used)			0010	Reverse Request			0001	Do Not Revert			0000	No Request			Bits 5-8	Indicate the number of the channel requested		
K1 Byte		K2 Byte																																																																											
Bits 1-4	Type of request	Bits 1-4	Selects channel number																																																																										
1111	Lock out of Protection	Bit 5	Indication of architecture																																																																										
1110	Forced Switch	0	1+1																																																																										
1101	Signal Fail – High Priority	1	1:n																																																																										
1100	Signal Fail – Low Priority	Bits 6-8	Indicate mode of operation																																																																										
1011	Signal Degrade – High Priority	111	MS-AIS																																																																										
1010	Signal Degrade – Low Priority	110	MS-RDI																																																																										
1001	(not used)	101	Provisioned mode is bi-directional																																																																										
1000	Manual Switch	100	Provisioned mode is unidirectional																																																																										
0111	(not used)	011	Future use																																																																										
0110	Wait-to-Restore	010	Future use																																																																										
0101	(not used)	001	Future use																																																																										
0100	Exercise	000	Future use																																																																										
0011	(not used)																																																																												
0010	Reverse Request																																																																												
0001	Do Not Revert																																																																												
0000	No Request																																																																												
Bits 5-8	Indicate the number of the channel requested																																																																												
D4 to D12	MS Data Communications Channel (DCC) bytes – These nine bytes form a 576 kbit/s message channel from a central location for OAM information (control, maintenance, remote provisioning, monitoring, administration and other communication needs).																																																																												
S1	Synchronisation status message byte (SSMB) – Bits 5 to 8 of this S1 byte are used to carry the synchronisation messages. Following is the assignment of bit patterns to the four synchronisation levels agreed to within ITU-T (other values are reserved):																																																																												
	<table border="0"> <thead> <tr> <th colspan="2">Bits 5-8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0000</td> <td>Quality unknown (existing sync. network)</td> </tr> <tr> <td>0010</td> <td>G.811 PRC</td> </tr> <tr> <td>0100</td> <td>SSU-A (G.812 transit)</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>SSU-B (G.812 local)</td> </tr> <tr> <td>1011</td> <td>G.813 Option 1 Synchronous Equipment Timing Clock (SEC)</td> </tr> <tr> <td>1111</td> <td>Do not use for synchronisation. This message may be emulated by equipment failures and will be emulated by a Multiplex Section AIS signal.</td> </tr> </tbody> </table>	Bits 5-8		0000	Quality unknown (existing sync. network)	0010	G.811 PRC	0100	SSU-A (G.812 transit)	1000	SSU-B (G.812 local)	1011	G.813 Option 1 Synchronous Equipment Timing Clock (SEC)	1111	Do not use for synchronisation. This message may be emulated by equipment failures and will be emulated by a Multiplex Section AIS signal.																																																														
Bits 5-8																																																																													
0000	Quality unknown (existing sync. network)																																																																												
0010	G.811 PRC																																																																												
0100	SSU-A (G.812 transit)																																																																												
1000	SSU-B (G.812 local)																																																																												
1011	G.813 Option 1 Synchronous Equipment Timing Clock (SEC)																																																																												
1111	Do not use for synchronisation. This message may be emulated by equipment failures and will be emulated by a Multiplex Section AIS signal.																																																																												
M1	MS remote error indication – The M1 byte of an STM-1 or the first STM-1 of an STM-N is used for a MS layer remote error indication (MS-REI). Bits 2 to 8 of the M1 byte are used to carry the error count of the interleaved bit blocks that the MS BIP-24xN has detected to be in error at the far end of the section. This value is truncated at 255 for STM-N >4.																																																																												
E2	MS orderwire byte – This orderwire byte provides a 64 kbit/s channel between multiplex entities for an express orderwire. It's a voice channel for use by craftspersons and can be accessed at multiplex section terminations.																																																																												

## Pointeur

La composition des 9 octets de la zone pointeur est différente suivant que la trame contient un VC-4 ou 3 VC-3 :

H1	H1	H1	H2	H2	H2	H3	H3	H3
----	----	----	----	----	----	----	----	----

cas d'une trame STM-1 avec un VC-4

H1	Y	Y	H2	1	1	H3	H3	H3
----	---	---	----	---	---	----	----	----

cas d'une trame STM-1 avec 3 VC-3

1 = 11111111

Y = 1001XX11

X : bit non spécifié

Byte	Description
H1 and H2	Pointer bytes – These two bytes, the VC payload pointer, specify the location of the VC frame. It's used to align the VC and STM-1 Section Overheads in an STM-N signal, to perform frequency justification, and to indicate STM-1 concatenation.
H3	Pointer action byte – This byte is used for frequency justification. Depending on the pointer value, the byte is used to adjust the fill input buffers. The byte only carries valid information in the event of negative justification, otherwise it's not defined.

## POH ( Path OverHead)

Nous ne détaillons ici que le POH accompagnat un VC-4.

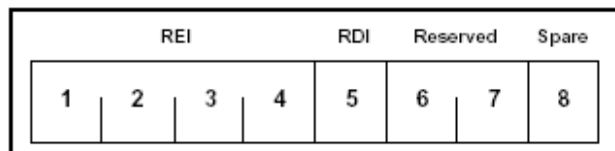
J1	J1 VC-n Path Trace
B3	B3 Path BIP-8
C2	C2 Path Signal Label
G1	G1 Path Status
F2	F2 Path User Channel
H4	H4 TU Multiframe Indicator
F3	F3 Path User Channel
K3	K3 Automatic Protection Switching
N1	N1 Network Operator (TCM)

### Path OverHead (POH)

Byte	Description																																																																																								
J1	Higher-Order VC-N path trace byte – This user-programmable byte repetitively transmits a 15-byte, E.64 format string plus 1-byte CRC-7. A 64-byte free-format string is also permitted for this Access Point Identifier. This allows the receiving terminal in a path to verify its continued connection to the intended transmitting terminal.																																																																																								
B3	Path bit interleaved parity code (Path BIP-8) byte – This is a parity code (even), used to determine if a transmission error has occurred over a path. Its value is calculated over all the bits of the previous virtual container before scrambling and placed in the B3 byte of the current frame.																																																																																								
C2	Path signal label byte – This byte specifies the mapping type in the VC-N. Standard binary values for C2 are:																																																																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>MSB</th> <th>LSB</th> <th>Hex Code</th> <th>Interpretation</th> </tr> <tr> <th>Bits 1-4</th> <th>Bits</th> <th>5-8</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0000</td> <td>0000</td> <td>00</td> <td>Unequipped or supervisory-unequipped</td> </tr> <tr> <td>0000</td> <td>0001</td> <td>01</td> <td>Equipped – non-specific</td> </tr> <tr> <td>0000</td> <td>0010</td> <td>02</td> <td>TUG structure</td> </tr> <tr> <td>0000</td> <td>0011</td> <td>03</td> <td>Locked TU-n</td> </tr> <tr> <td>0000</td> <td>0100</td> <td>04</td> <td>Asynchronous mapping of 34,368 kbit/s or 44,736 kbit/s into the Container-3</td> </tr> <tr> <td>0001</td> <td>0010</td> <td>12</td> <td>Asynchronous mapping of 139,264 kbit/s into the Container-4</td> </tr> <tr> <td>0001</td> <td>0011</td> <td>13</td> <td>ATM mapping</td> </tr> <tr> <td>0001</td> <td>0100</td> <td>14</td> <td>MAN DQDB (IEEE Standard 802.6) mapping</td> </tr> <tr> <td>0001</td> <td>0101</td> <td>15</td> <td>FDDI (ISO Standard 9314) mapping</td> </tr> <tr> <td>0001</td> <td>0110</td> <td>16</td> <td>Mapping of HDLC/PPP (Internet Standard 51) framed signal</td> </tr> <tr> <td>0001</td> <td>0111</td> <td>17</td> <td>Mapping of Simple Data Link (SDL) with SDH self synchronising scrambler</td> </tr> <tr> <td>0001</td> <td>1000</td> <td>18</td> <td>Mapping of HDLC/LAP-S framed signals</td> </tr> <tr> <td>0001</td> <td>1001</td> <td>19</td> <td>Mapping of Simple Data Link (SDL) with set-reset scrambler</td> </tr> <tr> <td>0001</td> <td>1010</td> <td>1A</td> <td>Mapping of 10 Gbit/s Ethernet frames (IEEE 802.3)</td> </tr> <tr> <td>1100</td> <td>1111</td> <td>CF</td> <td>Obsolete mapping of HDLC/PPP framed signal</td> </tr> <tr> <td>1110</td> <td>0001</td> <td>E1</td> <td>Reserved for national use</td> </tr> <tr> <td>:</td> <td>:</td> <td>:</td> <td>:</td> </tr> <tr> <td>1111</td> <td>1100</td> <td>FC</td> <td>Reserved for national use</td> </tr> <tr> <td>1111</td> <td>1110</td> <td>FE</td> <td>Test signal, 0.181 specific mapping</td> </tr> <tr> <td>1111</td> <td>1111</td> <td>FF</td> <td>VC-AIS</td> </tr> </tbody> </table>	MSB	LSB	Hex Code	Interpretation	Bits 1-4	Bits	5-8		0000	0000	00	Unequipped or supervisory-unequipped	0000	0001	01	Equipped – non-specific	0000	0010	02	TUG structure	0000	0011	03	Locked TU-n	0000	0100	04	Asynchronous mapping of 34,368 kbit/s or 44,736 kbit/s into the Container-3	0001	0010	12	Asynchronous mapping of 139,264 kbit/s into the Container-4	0001	0011	13	ATM mapping	0001	0100	14	MAN DQDB (IEEE Standard 802.6) mapping	0001	0101	15	FDDI (ISO Standard 9314) mapping	0001	0110	16	Mapping of HDLC/PPP (Internet Standard 51) framed signal	0001	0111	17	Mapping of Simple Data Link (SDL) with SDH self synchronising scrambler	0001	1000	18	Mapping of HDLC/LAP-S framed signals	0001	1001	19	Mapping of Simple Data Link (SDL) with set-reset scrambler	0001	1010	1A	Mapping of 10 Gbit/s Ethernet frames (IEEE 802.3)	1100	1111	CF	Obsolete mapping of HDLC/PPP framed signal	1110	0001	E1	Reserved for national use	:	:	:	:	1111	1100	FC	Reserved for national use	1111	1110	FE	Test signal, 0.181 specific mapping	1111	1111	FF	VC-AIS
MSB	LSB	Hex Code	Interpretation																																																																																						
Bits 1-4	Bits	5-8																																																																																							
0000	0000	00	Unequipped or supervisory-unequipped																																																																																						
0000	0001	01	Equipped – non-specific																																																																																						
0000	0010	02	TUG structure																																																																																						
0000	0011	03	Locked TU-n																																																																																						
0000	0100	04	Asynchronous mapping of 34,368 kbit/s or 44,736 kbit/s into the Container-3																																																																																						
0001	0010	12	Asynchronous mapping of 139,264 kbit/s into the Container-4																																																																																						
0001	0011	13	ATM mapping																																																																																						
0001	0100	14	MAN DQDB (IEEE Standard 802.6) mapping																																																																																						
0001	0101	15	FDDI (ISO Standard 9314) mapping																																																																																						
0001	0110	16	Mapping of HDLC/PPP (Internet Standard 51) framed signal																																																																																						
0001	0111	17	Mapping of Simple Data Link (SDL) with SDH self synchronising scrambler																																																																																						
0001	1000	18	Mapping of HDLC/LAP-S framed signals																																																																																						
0001	1001	19	Mapping of Simple Data Link (SDL) with set-reset scrambler																																																																																						
0001	1010	1A	Mapping of 10 Gbit/s Ethernet frames (IEEE 802.3)																																																																																						
1100	1111	CF	Obsolete mapping of HDLC/PPP framed signal																																																																																						
1110	0001	E1	Reserved for national use																																																																																						
:	:	:	:																																																																																						
1111	1100	FC	Reserved for national use																																																																																						
1111	1110	FE	Test signal, 0.181 specific mapping																																																																																						
1111	1111	FF	VC-AIS																																																																																						

G1

Path status byte – This byte is used to convey the path terminating status and performance back to the originating path terminating equipment. Therefore the bi-directional path in its entirety can be monitored, from either end of the path.



Byte G1 is allocated to convey back to a VC-4-Xc/VC-4/VC-3 trail termination source the status and performance of the complete trail. Bits 5 to 7 may be used to provide an enhanced remote defect indication with additional differentiation between the payload defect (PLM), server defects (AIS, LOP) and connectivity defects (TIM, UNEQ). The following codes are used:

Bits 5-7	Meaning	Triggers
001	No remote defect	No remote defect
010	E-RDI Payload defect	PLM
101	E-RDI Server defect	AIS, LOP
110	E-RDI Connectivity defect	TIM, UNEQ

The E-RDI G1 (bits 5-7) code interpretation provides for interworking with equipment which supports RDI. It is not necessary for the interpretation to identify if the equipment supports RDI or E-RDI. For the E-RDI codes, bit 7 is set to the inverse of bit 6. Following is the E-RDI G1 (bits 5-7) code interpretation:

Bits 5-7	E-RDI Interpretation
000	No remote defect (Note 1)
001	No remote defect
010	E-RDI Payload defect (Note 2)
011	No remote defect (Note 1)
100	E-RDI Server defect (Note 1)
101	Remote E-RDI Server defect
110	Remote E-RDI Connectivity defect
111	Remote E-RDI Server Defect (Note 1)

NOTE 1: These codes are generated by RDI supporting equipment and are interpreted by E-RDI supporting equipment as shown. For equipment supporting RDI, clause 9.3.1.4/G.707, this code is triggered by the presence or absence of one of the following defects: AIS, LOP, TIM, or UNEQ. Equipment conforming to an earlier version of this standard may include PLM as a trigger condition. ATM equipment complying with the 1993 version of ITU-T Recommendation I.432 may include LCD as a trigger condition. Note that for some national networks, this code was triggered only by an AIS or LOP defect.

NOTE 2: ATM equipment complying with the 08/96 version of ITU-T Recommendation I.432.2 may include LCD as a trigger condition.

F2

Path user channel byte – This byte is used for user communication between path elements.

H4

Position and Sequence Indicator byte – This byte provides a multi frame and sequence indicator for virtual VC-3/4 concatenation and a generalized position indicator for payloads. In the latter case, the content is payload specific (e.g., H4 can be used as a multiframe indicator for VC-2/1 payload). For mapping of DQDB in VC-4, the H4 byte carries the slot boundary information and the Link Status Signal (LSS). Bits 1-2 are used for the LSS code as described in IEEE Standard 802.6. Bits 3-8 form the slot offset indicator. The slot offset indicator contains a binary number indicating the offset in octets between the H4 octet and the first slot boundary following the H4 octet. The valid range of the slot offset indicator value is 0 to 52. A received value of 53 to 63 corresponds to an error condition.

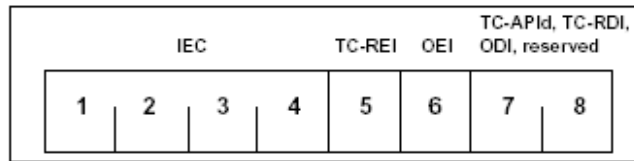
F3

Path user channel byte – This byte is allocated for communication purposes between path elements and is payload dependent.

K3

APS signalling is provided in K3 bits 1-4, allocated for protection at the VC-4/3 path levels. K3 bits 5-8 are allocated for future use. These bits have no defined value. The receiver is required to ignore their content.

**Network operator byte** – This byte is allocated to provide a Higher-Order Tandem Connection Monitoring (HO-TCM) function. N1 is allocated for Tandem Connection Monitoring for contiguous concatenated VC-4, the VC-4 and VC-3 levels.



Bits 1-4 Incoming Error Count (IEC).

1001	0
0001	1
0010	2
0011	3
0100	4
0101	5
0110	6
0111	7
1000	8
1110	Incoming AIS

**NOTE:** To guarantee a non all-zeroes N1 byte independent of the incoming signal status, it is required that the IEC code field contains at least one "1". When zero errors in the BIP-8 of the incoming signal are detected, an IEC code is inserted with "1"s in it. In this manner, it is possible for the Tandem Connection sink at the tail end of the Tandem Connection link to use the IEC code field to distinguish between unequipped conditions started within or before the Tandem Connection.

Bit 5 Operates as the TC-REI of the Tandem Connection to indicate errored blocks caused within the Tandem Connection.

Bit 6 Operates as the OEI to indicate errored blocks of the egressing VC-n.

Bits 7-8 Operate in a 76 multiframe as:

- Access point identifier of the Tandem Connection (TC-APId); it complies with the generic 16-byte string format given in 9.2.2.2.
- TC-RDI, indicating to the far end that defects have been detected within the Tandem Connection at the near end Tandem Connection sink.
- ODI, indicating to the far end that AU/TU-AIS has been inserted into the egressing AU-n/TU-n at the TC-sink due to defects before or within the Tandem Connection.
- Reserved capacity (for future standardization).

Frame #	Bits 7-8 definition	
1-8	Frame Alignment Signal: 1111 1111 1111 1110	
9-12	TC-APId byte #1 [ 1 C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> C <sub>3</sub> C <sub>4</sub> C <sub>5</sub> C <sub>6</sub> C <sub>7</sub> ]	
13-16	TC-APId byte #2 [ 0 X X X X X X X ]	
17-20	TC-APId byte #3 [ 0 X X X X X X X ]	
:	:	
65-68	TC-APId byte #15 [ 0 X X X X X X X ]	
69-72	TC-APId byte #16 [ 0 X X X X X X X ]	
73-76	TC-RDI, ODI and Reserved (see following)	
Frame #	Bit 7 definition	Bit 8 definition
73	Reserved (default = "0")	TC-RDI
74	ODI	Reserved (default = "0")
75	Reserved (default = "0")	Reserved (default = "0")
76	Reserved (default = "0")	Reserved (default = "0")

# DQDB

