

Chapitre 14

Les protocoles de cœur de réseau

Le chapitre 13 a introduit les différents protocoles mis en œuvre dans les réseaux, ce chapitre se propose de les étudier en détail.

14.1 LE PROTOCOLE X.25¹

14.1.1 Généralités

Rappelons que le protocole X.25 couvre les trois premières couches du modèle OSI (figure 14.1) :

- La couche physique, niveau bit ou X.25-1 définit l'interface ETTD/ETCD. Elle est conforme à l'avis X.21 et X.21 bis de l'UIT-T.
- La couche liaison, niveau trame ou X.25-2, met en œuvre un sous-ensemble d'HDLC appelé LAP-B (*High Level Data Link Control, Link Access Protocol Balanced*).
- La couche réseau, niveau paquet ou X.25-3, gère les circuits virtuels (permanents ou commutés).

14.1.2 Le niveau X.25-1

La recommandation X.25 spécifie que l'accès au réseau X.25 doit être conforme à l'une des recommandations X.21 (transmission numérique), X.21 bis (transmission analogique) ou X.31 (accès *via* le réseau RNIS). L'avis X.21 définit l'interface d'accès entre un ETTD et un réseau public de transmission de données (figure 14.2), il fixe les règles d'échange pour :

- L'établissement de la connexion avec un ETTD distant à travers un ou plusieurs réseaux.

1. Nous avons pris le parti de maintenir une étude détaillée de X.25. En effet, le protocole X.25 est l'archétype des protocoles réseau, il permet d'expliquer simplement tous les mécanismes. Conçu dans les années 1980, X.25 reste et restera longtemps encore un protocole très utilisé. Il est aux protocoles de télécommunications ce que Cobol est aux langages de programmation.

- L'échange des données en mode duplex intégral.
- La libération de la connexion.

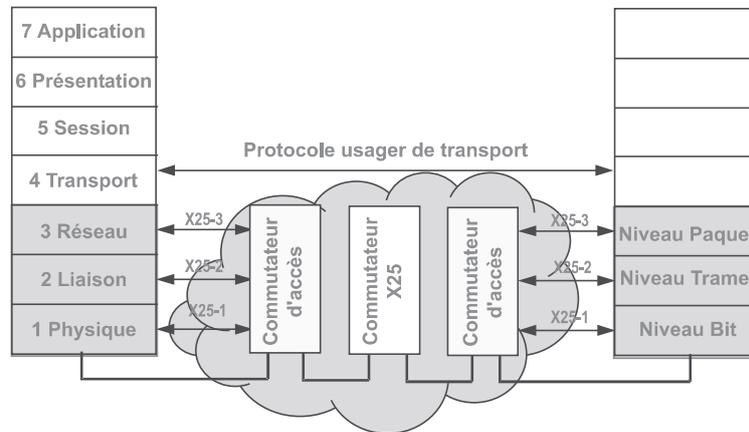


Figure 14.1 Architecture du protocole X.25.

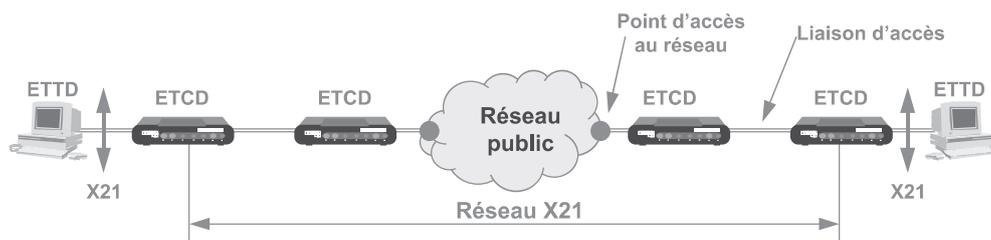


Figure 14.2 Le réseau X.21.

Ces interfaces ont été étudiées au chapitre 3, le lecteur pourra s'y reporter.

14.1.3 Le niveau X.25-2

Généralités²

Le niveau 2 du modèle OSI, ou couche liaison, garantit un transfert fiable de données sur une liaison physique non fiable (perturbations électromagnétiques). Au niveau trame, X.25-2 met en œuvre le protocole HDLC version LAP-B (*Link Access Protocol Balanced*). LAP-B est un protocole point à point en duplex intégral (*full duplex*), dans lequel les deux stations communicantes ont une responsabilité égale vis-à-vis de la liaison : chacune des extrémités peut émettre une commande. L'une des stations est l'ETTD (DTE), l'autre le nœud de rattachement au réseau ou ETCD (DCE) (en X.25, le réseau ou son point d'accès est assimilé au DCE). La figure 14.3 schématise le principe d'une liaison équilibrée.

L'accès au réseau peut utiliser un seul lien physique (**SLP**, *Simple Link Protocol*) ou, pour accroître le débit, une agrégation de plusieurs liens (**MLP**, *Multi Link Protocol*). L'utilisation de

2. Le protocole HDLC est étudié en détail au chapitre 4, *Notions de protocole*.

MLP est transparente pour le niveau réseau. L'évolution des débits physiques réalisables sur un seul lien a rendu obsolète l'utilisation du protocole MLP.

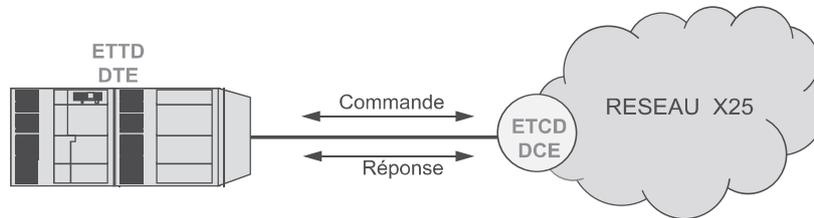


Figure 14.3 La liaison point à point en LAP-B.

HDLC LAP-B versus SLP

Le protocole HDLC LAP-B, étudié chapitre 4, utilise deux modes de fonctionnement : le fonctionnement normal (numérotation des trames sur 3 bits, modulo 8) et le mode étendu (numérotation des trames sur 7 bits, modulo 128). La structure générale de la trame HDLC est rappelée figure 14.4.

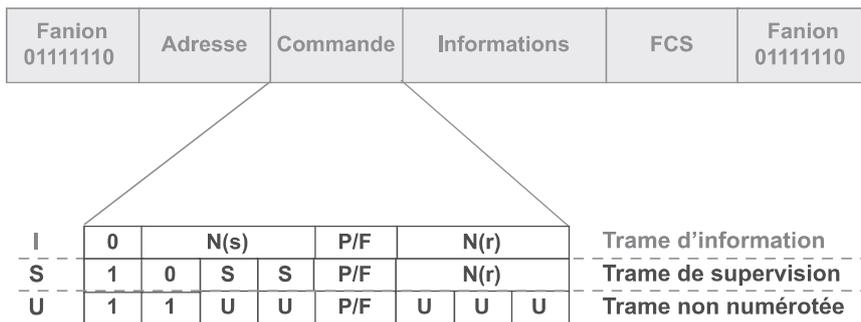


Figure 14.4 Rappel sur la structure de la trame HDLC.

HDLC utilise trois types de trames :

- Les trames d'information (**I**) contiennent un champ de données. Les champs $N_{(s)}$ et $N_{(r)}$ correspondent, pour chaque extrémité de la liaison, aux compteurs de trames d'information émises $V_{(s)}$ et reçues $V_{(r)}$.
- Les trames de supervision (**S**) permettent de contrôler l'échange de données. Le champ $N_{(r)}$ identifie la trame acceptée ou refusée ($N_{(r)} - 1$), il correspond au $N_{(s)}$ de la prochaine trame attendue.
- Les trames non numérotées (**U**, *unnumbered*) gèrent la liaison (établissement, libération...). Elles ne comportent aucun compteur (non numérotées).

Le contrôle et la reprise sur erreur sont réalisés entre chaque nœud du réseau, LAP-B est un protocole en point à point. Notons que pour se prémunir contre la perte d'un fanion, le calcul du FCS (*Frame Check Sequence*) diffère un peu. Le FCS est le complément à 1 de la division polynomiale du contenu de la trame par le polynôme générateur $G_{(x)} = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ (avis V.41 de l'UIT-T). En émission, le registre de calcul du FCS est initialisé à 1. Sans erreur de transmission,

ce mode de calcul donne comme résultat un reste qui est toujours égal à « 0001110100001111 » quel que soit le contenu de la trame. Ce nombre est dit **nombre magique**.

Pour ouvrir une connexion (figure 14.5), l'ETCD ou ETTD appelant émet une trame non-numérotée (trame U) SABM (ouverture en mode normal) ou SABME (ouverture en mode étendu). L'appelé l'acquiesce avec la trame non numérotée UA. Sans réponse de l'appelé, l'appelant à échéance d'un *timer* (T1) renouvelle sa demande. Il abandonne la demande d'établissement après N2 tentatives infructueuses, en principe le compteur N2 est initialisé à 10, il est décrémenté de 1 à chaque tentative.

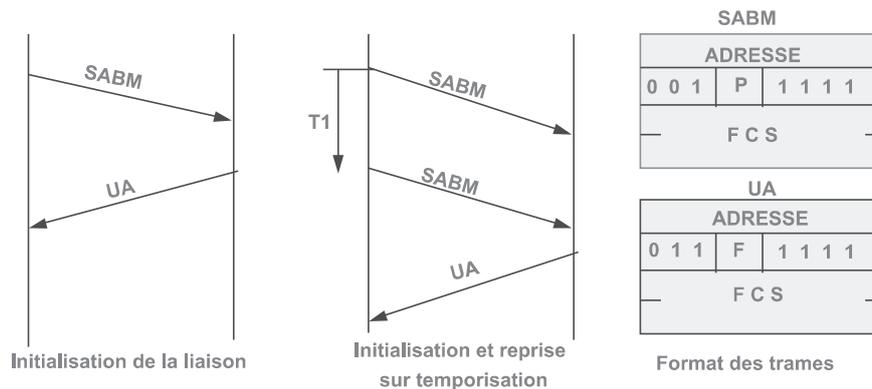


Figure 14.5 L'ouverture de connexion.

Lorsque la connexion est acceptée, l'appelant et l'appelé peuvent procéder à l'échange d'information (trames I), cet échange est contrôlé par des trames de supervision (trames S). Les trames d'information ($N(s)$) sont numérotées modulo 8 (mode de base) ou modulo 128 (mode étendu).

L'accusé de réception (figure 14.6) peut être explicite, il est alors réalisé par une trame RR, ou implicite, ce sont alors les trames d'information du correspondant distant (échange *full duplex*) qui effectuent l'acquiescement.

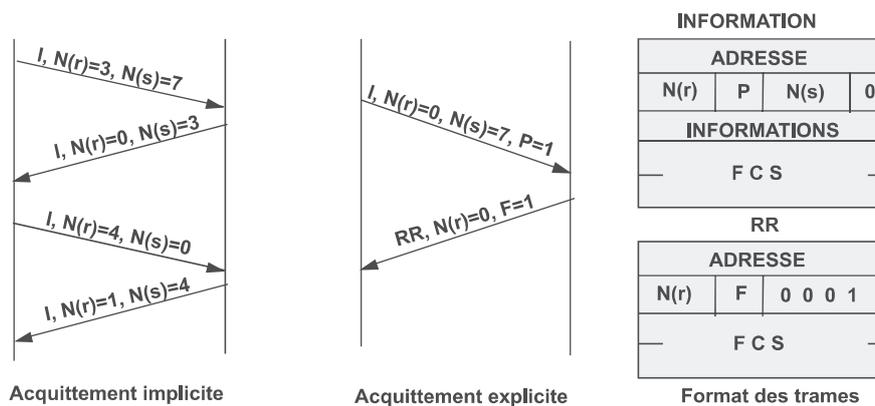


Figure 14.6 Le transfert de données.

Les trames S, RR, REJ et RNR supervisent l'échange. La trame RR sert à l'acquiescement, la trame REJ indique la trame rejetée (trame erronée ou numéro de séquence invalide) et demande de

reprendre la transmission depuis la trame erronée (compteur $N_{(r)}$). La trame SREJ (rejet sélectif) ne demande la retransmission que de la trame rejetée. La trame RNR acquitte la trame $N_{(r)}-1$ et demande à l'émetteur d'arrêter provisoirement son émission, c'est le mécanisme du contrôle de flux (état bloqué ou occupé), les émissions ne reprendront qu'à réception d'une trame RR ou REJ (figure 14.7).

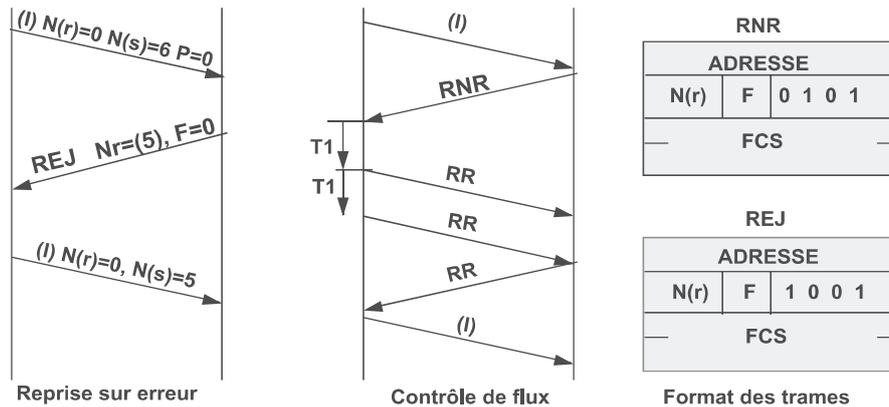


Figure 14.7 La reprise sur erreurs et contrôle de flux.

La déconnexion est demandée par l'ETTD ou ETCD par la trame DISC ; à réception d'une demande de déconnexion, le destinataire acquitte celle-ci (UA) et se déconnecte. L'émetteur de la demande de déconnexion n'exécute la procédure de déconnexion qu'après avoir reçu l'acquittement de sa demande.

La procédure de déconnexion est représentée figure 14.8. Le réseau (ETCD) peut signaler un incident de ligne (modem coupé par exemple) par l'émission de trames DM. Après N_2 retransmissions, il passe à l'état déconnecté.

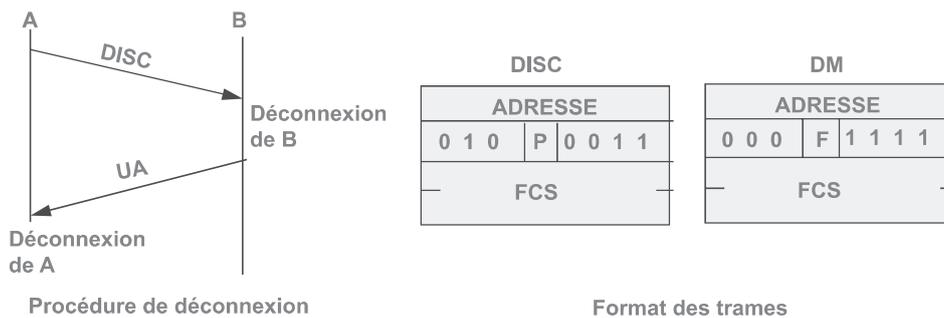


Figure 14.8 La rupture de la liaison.

Lorsque les erreurs ne peuvent être corrigées par une simple retransmission de la ou des trames litigieuses (nombre de retransmissions supérieur à N_2 , $N_{(r)}$ incorrect : valeur supérieure au nombre de trames réelles...), l'ETCD ou ETTD peut effectuer une déconnexion (DISC) ou réinitialiser la liaison (SABM). Certaines erreurs peuvent être signalées avant la réinitialisation de la liaison par la trame FRMR (figure 14.9). Les variables d'états $V_{(s)}$ et $V_{(r)}$ indiquent alors au destinataire l'état des compteurs de son correspondant. Le bit C/R à 1 indique que la trame rejetée est une trame de réponse, et à 0 que la trame rejetée est une trame de commande.



Figure 14.9 La trame d'indication d'erreurs FRMR.

Le niveau X.25-3

► Généralités

La recommandation X.25-3 (**X.25 PLP**, *Packet Level Protocol*) gère l'établissement, le maintien et la libération des circuits virtuels (**CVC**, *Circuit virtuel commuté* ou **SVC**, *Switched Virtual Circuit*). Le protocole X.25-3 assure le transfert de données (acheminement), le séquençement³, la détection des pertes, le contrôle de flux, la fragmentation et le réassemblage des paquets. Il résout les problèmes d'adressage et de multiplexage des connexions virtuelles sur la même liaison d'abonné.

La procédure d'établissement des CVC établit une relation entre un numéro de voie entrante et un numéro de voie sortante. Cette relation correspond à un lien virtuel entre les entités connectées (connexion virtuelle) similaire à la constitution d'un circuit en commutation de circuits. Le mode de mise en relation est dit orienté connexion. Ce procédé (figure 14.10) identifie une liaison logique, il autorise le multiplexage de connexions sur une même voie physique et, pour adresser les correspondants, l'utilisation d'un adressage abrégé : le numéro de voie logique (NVL).

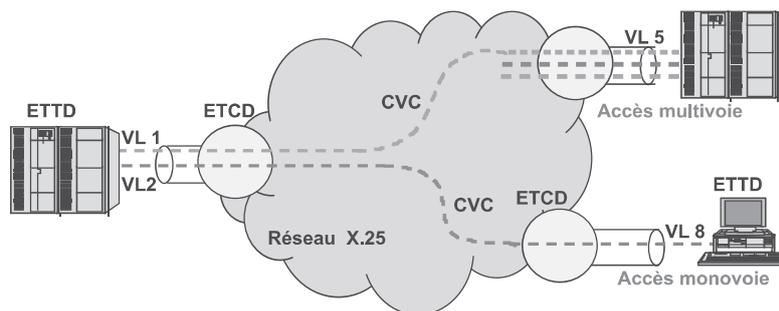


Figure 14.10 La mise en relation d'abonnés.

3. Les compteurs X.25-2 et X.25-3 diffèrent. En effet, X.25-3 décompte les données par circuit virtuel alors que le niveau 2 multiplexe sur la même connexion de liaison l'ensemble des circuits virtuels de l'entité de niveau 3.

► Format des unités de données

Les paquets X.25-3 comportent les informations relatives à l’adressage : le numéro de voie logique (adressage de convention), des informations de contrôle et éventuellement des données. Les paquets sont transmis à la couche trame qui les encapsule (figure 14.11).

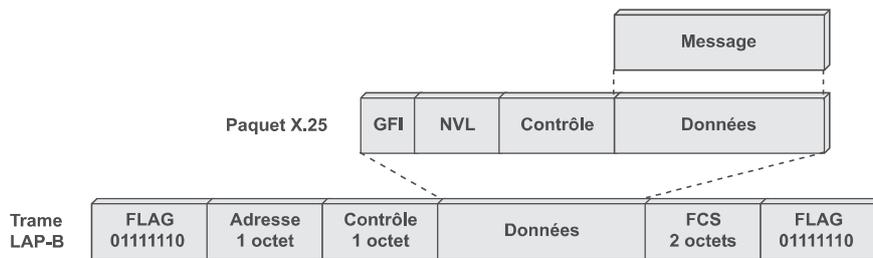


Figure 14.11 L’encapsulation des paquets X.25 dans les trames LAP-B.

Un paquet X.25, illustré figure 14.12, comporte au moins 3 octets. Le premier champ de 4 bits, dit champ **GFI** (*General Format Identifier*) définit certains paramètres de l’échange. Le premier bit a deux significations. Dans les paquets de données, il est dit bit **Q** (*Qualified*), dans les paquets d’établissement, bit **A** (*Address*). Le bit Q (bit à 1) est, par exemple, utilisé pour indiquer aux concentrateurs gérant les accès asynchrones (**PAD**, *Packet Assembler Disassembler*) que le paquet reçu est une commande à leur intention et non un paquet de données à transmettre à un ETDD caractère distant. Le bit A, dans un paquet d’établissement (ou d’appel) identifie le format du champ Adresse, à 0 il indique qu’une adresse est au format X.121 (valeur par défaut), à 1 il précise que le format de l’adresse est indiqué dans le champ adresse. Le bit **D** (*Delivery*) détermine la portée des acquittements. Si le bit D est à 1, l’acquittement a une signification de bout en bout, sinon il est local. La recommandation X.25, antérieure au modèle OSI, n’est, sur ce point pas conforme aux spécifications du modèle de référence qui ne prévoit un acquittement de bout en bout qu’au niveau de la couche transport, en principe ce bit est toujours à 0. Les deux bits suivants indiquent la taille des compteurs (01, modulo 8 ; 10, modulo 128).

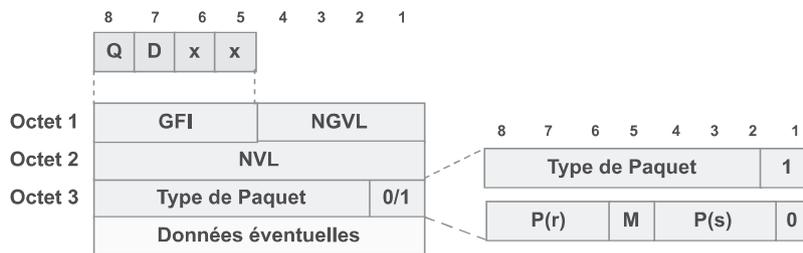


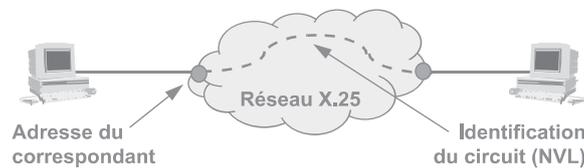
Figure 14.12 Le format des paquets X.25.

Le champ suivant identifie la voie logique (étiquette) : le **NVL** ou numéro de voie logique (**LCN**, *Logical Channel Number*) sur 12 bits (4 096 voies logiques identifiables) n’a qu’une signification locale. Le NVL est composé de deux champs, les quatre premiers bits de l’octet 1 identifient le groupe de voies logiques (**NGVL** ou **LGN**, *Logical Group Number*) auquel appartient la voie logique (octet 2).

Enfin, le dernier champ de l'en-tête est similaire au champ Commande d'HDLC. Le premier bit différencie un paquet de données (bit à 0) des autres types de paquets (bit à 1). Dans les paquets de données, les champs $P_{(r)}$ et $P_{(s)}$ (sur 3 bits en mode normal) permettent de contrôler le séquençement des paquets. Ces compteurs ne font pas double usage avec ceux du niveau trame. En effet, une connexion de niveau 2 peut multiplexer plusieurs connexions de niveau 3. Enfin, le bit **M** (*More data*) est utilisé lorsque le paquet transmis a subi une fragmentation. $M = 1$ signifie que les paquets qui suivent appartiennent au même bloc de données. $M = 0$ identifie le dernier paquet ou un paquet non fragmenté.

► Gestion des circuits virtuels

Les réseaux X.25 autorisent les deux types de circuits virtuels (figure 14.13), les circuits virtuels commutés (CVC ou SVC) et les circuits virtuels permanents (CVP ou PVC, *Permanent Virtual Circuit*).



	Circuit Virtuel Commuté	Circuit Virtuel Permanent
Établissement du circuit	A chaque appel	A l'abonnement
Potentialité de communication	Possibilité de mise en relation avec tout abonné	Liaison point à point
Temps d'établissement	Peut être long (1s)	Sans (Liaison permanente)

Figure 14.13 Les différences entre un CVC et un CVP.

Le circuit virtuel permanent est établi par l'opérateur à la configuration du raccordement de l'abonné. À l'inverse, le circuit virtuel commuté est construit appel par appel. Les identifiants de voie (NVL) sont attribués dynamiquement par chaque nœud (terminal utilisateur ou nœud du réseau). Le numéro affecté est choisi parmi ceux disponibles qui sont gérés par une table interne au nœud. Ce procédé peut conduire à une collision d'appels, c'est-à-dire à une affectation simultanée d'un même NVL à un appel sortant et à un appel entrant. En cas de collision d'appels, l'ETTD ignore l'appel entrant, l'ETCD (le réseau) traite l'appel en provenance de l'ETTD local et entame une procédure de déconnexion pour l'appel de l'ETTD distant (figure 14.14).

Pour minimiser le risque de collision d'appels, les appels sortants de l'ETTD sont émis sur la voie logique de numéro le plus élevé. Le réseau transmet les appels entrants sur le numéro de voie logique disponible le plus faible. À l'instar de la téléphonie, il est aussi possible de spécialiser les voies logiques : voies logiques spécialisées arrivée ou départ. Une voie qui accepte indifféremment les appels entrants ou sortants est dite **mixte**. L'affectation des NVL s'effectue comme le montre le diagramme de la figure 14.14. Les premiers numéros de voies logiques sont réservés aux circuits virtuels permanents. La voie logique 0 est en principe réservée à l'opérateur pour la signalisation d'incidents.

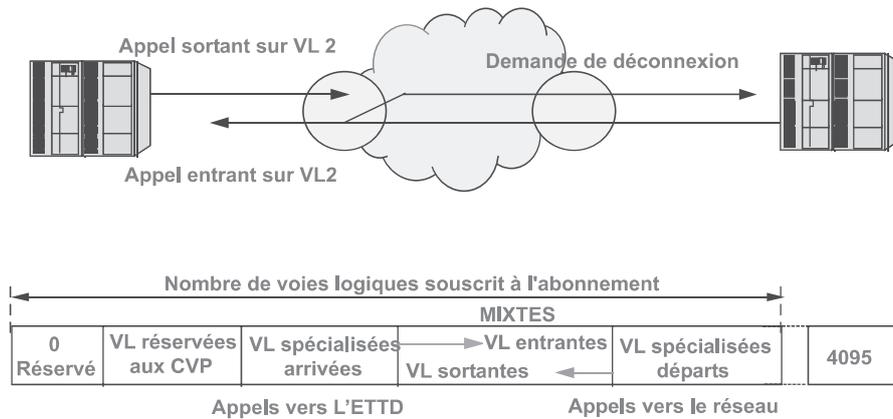


Figure 14.14 La gestion des numéros de voies logiques.

➤ Adressage des ETTD distants

Durant la procédure d'établissement et de la libération du CV, les ETTD sont identifiés par leur numéro réseau (adresse d'abonné). Les champs Adresse des paquets d'établissement sont codés en Décimal Codé Binaire (DCB) sur un quartet. Un champ Longueur d'adresse précède celle-ci. La recommandation X.25 admet deux types d'adresse. Implicitement, l'adressage est conforme à la recommandation X.121.

➤ Facilités ou services complémentaires

Les paramètres de la connexion réseau sont généralement fixés au moment du raccordement (abonnement), cependant certains peuvent être négociés ou renégociés appel par appel. Les facilités ou services complémentaires sont invoqués dans le paquet d'appel (ou paquet d'établissement). Le champ option est codé : code option et paramètres de l'option. Le tableau de la figure 14.15 fournit quelques exemples d'options.

Option	Code option	Codage	Description
Groupe fermé d'abonnés	0x03	DCB, 1 chiffre par quartet	Le GFA permet de constituer un réseau privé dans le réseau public. Seuls peuvent communiquer les hôtes appartenant au même GFA.
Taxation au demandé	0x01	0x01 (taxation demandée)	Elle permet de centraliser la facturation sur un même site (réduction quantitative).
Sélection rapide	0x01	0x80	Elle permet de joindre à un paquet d'appel jusqu'à 128 octets de données (même code que la taxation au demandé).
Classe de débit	0x02	1 ^{er} quartet vers DTE 2 ^e quartet du DTE Ex. de valeurs : 3 75 bit/s 7 1 200 bit/s B 19 200 bit/s C 48 000 bit/s D 64 000 bit/s	Elle est utilisée pour adapter le débit de l'hôte aux capacités de réception du destinataire sans avoir besoin de recourir au contrôle de flux.

Figure 14.15 Exemples d'options X.25.

Option	Code option	Codage	Description
Taille des paquets	0x42	Taille en émission sur 1 octet Taille en réception sur 1 octet Exprimée en puissance de 2 de la taille. Ex. : 128 codée 7	Selon les ETCD, la taille en émission et en réception peut être différente.
Taille des fenêtres	0x43	Taille en émission 1 octet Taille en réception 1 octet	Selon les ETCD.

Figure 14.15 Exemples d'options X.25. (suite)

► Établissement et libération des circuits virtuels

L'ETTD qui prend l'initiative d'établir une connexion émet une demande d'appel (paquet d'appel). Le paquet d'appel sortant est émis sur la première voie logique disponible, il contient toutes les informations nécessaires à l'établissement du CV (figure 14.16), c'est-à-dire :

- L'étiquette affectée (NVL, Numéro de voie logique).
- L'adresse complète.
- Si des facilités sont demandées, la liste des facilités invoquées est précédée de la longueur totale du champ Facilités, sinon l'octet longueur du champ Facilités est à zéro.
- Enfin, si la facilité **sélection rapide** a été demandée, suivent des données utilisateur sur 16 octets ou 128.

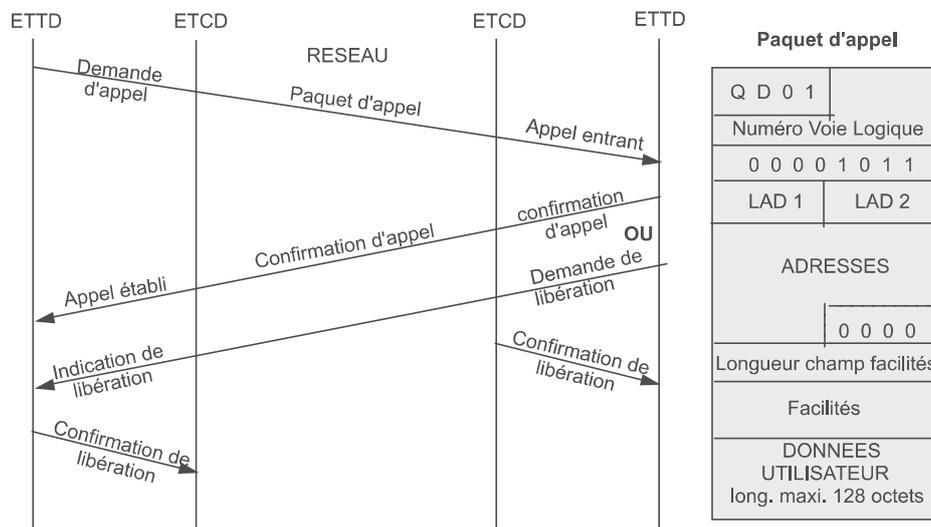


Figure 14.16 Diagramme d'établissement d'appel.
(LAD1 Longueur adresse appelant, LAD2 Longueur adresse appelé.)

L'appelé peut accepter (paquet de confirmation d'appel, figure 14.16) ou refuser l'appel (paquet de libération). Un paquet de confirmation de libération confirme à l'ETTD ou ETCD que le CV a bien été libéré. La libération d'un circuit virtuel peut être provoquée par le réseau suite à un refus d'appel (appelé occupé, refus de la taxation au demandé, GFA non accepté...) ou à un incident

interne au réseau. L'ETTD qui désire mettre fin à un échange (fin de connexion) émet un paquet de demande de libération (figure 14.17).

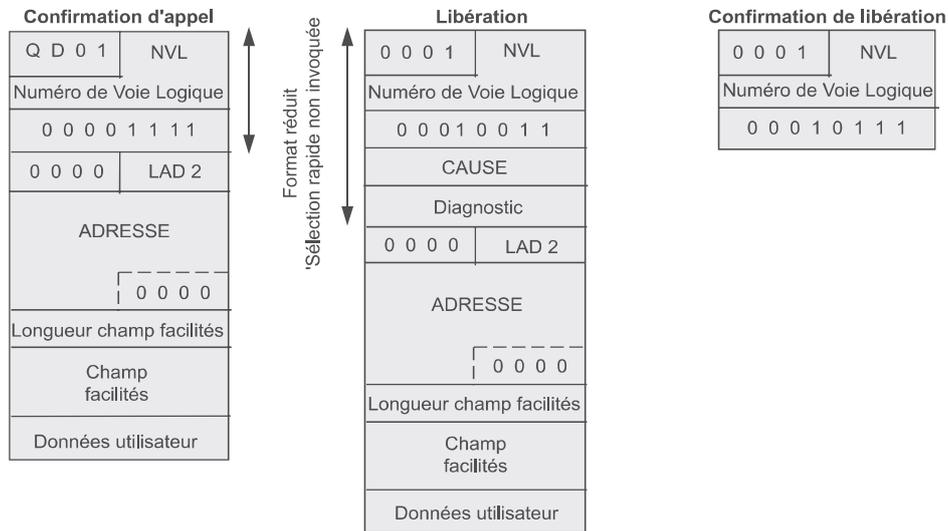


Figure 14.17 Le format des paquets de confirmation et libération.

➤ Échange de données

Chaque circuit virtuel établi peut supporter un transfert de données bidirectionnel limité, en débit, par le paramètre **classe de débit**. La figure 14.18 illustre les paquets utilisés lors d'un échange de données.



Figure 14.18 Format des paquets de données, d'acquittement et de contrôle de flux.

La taille du champ de données est définie à l'abonnement ou par l'opérateur, cette taille est fixée par la norme X.25 à 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2 048 ou 4 096 octets. L'échange de données s'effectue selon un mécanisme similaire à celui étudié pour HDLC. Les compteurs $P_{(s)}$ et $P_{(r)}$ des paquets de données permettent de vérifier le séquençement des paquets (perte éventuelle d'un paquet) et d'acquiescer ceux-ci ($P_{(r)}$, numéro du paquet attendu). Les paquets **RR** (*Receive Ready*) et **RNR** (*Receive Not Ready*), (figure 14.18) assurent l'acquittement et le contrôle de flux.

➤ Gestion des incidents

Lorsque le réseau, ou l'un des ETTD, détecte une désynchronisation des échanges (numéros $P_{(s)}$, et $P_{(r)}$), il demande une réinitialisation des compteurs par l'émission d'un paquet de demande de réinitialisation. Les données en cours de transfert sont abandonnées, les compteurs sont remis à zéro.

La demande de réinitialisation ne concerne que le CV sur lequel elle a été émise. Le mécanisme de la réinitialisation est illustré par la figure 14.19.

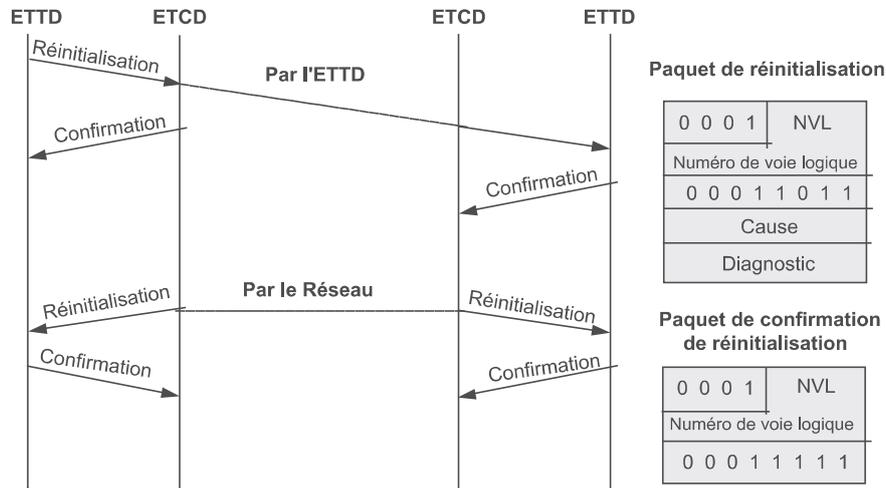


Figure 14.19 Le mécanisme de la réinitialisation.

Le mécanisme de reprise ou de redémarrage est déclenché suite à un incident grave sur le réseau (rupture de la liaison physique...). Il affecte tous les circuits virtuels commutés en cours et les circuits virtuels permanents. Les CVC établis sont libérés, les CVP actifs sont remis à l'état initial. Le mécanisme de la reprise est représenté figure 14.20.

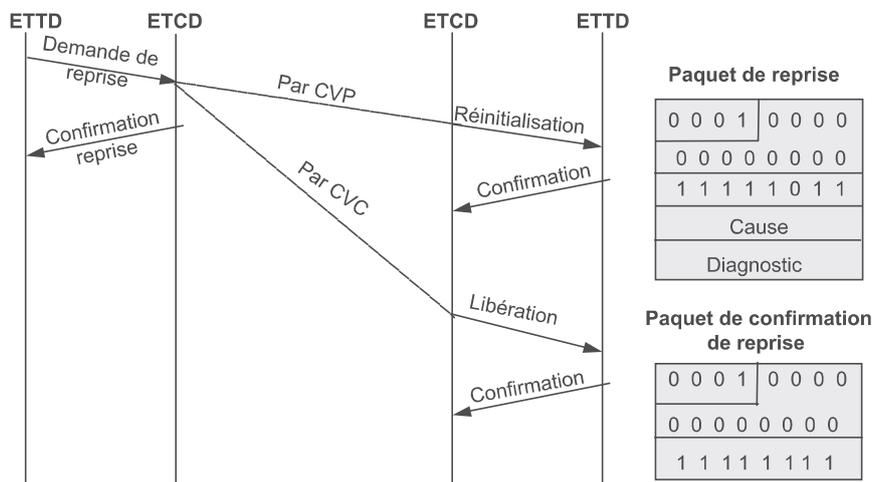


Figure 14.20 Le mécanisme de la reprise.

Les paquets de demande de reprise et d'indication de reprise sont émis sur la voie logique 0. Le champ Cause indique la raison de la reprise, le champ Diagnostic complète cette information. Le tableau de la figure 14.21 fournit quelques exemples de codage des champs Cause et Diagnostic des paquets de reprise et de diagnostic

Attention : la réinitialisation ne concerne que le CV sur lequel elle a été émise. La reprise est émise sur le CV 0, elle concerne tous les CV, y compris les CVP.

Cause	Signification	Diag	Signification
Reprise		24	Numéro de VL inexistant
01	Erreur de procédure locale	26	Paquet trop court
07	Fin d'incident	27	Paquet trop long
Réinitialisation		28	Erreur de codage du champ GFI
00	Par l'abonné distant	52	Longueur non multiple de 8
01	Dérangement de l'abonné distant	97	Modem abonné hors tension
03	Erreur de procédure locale	A1	Bit F reçu à tort
07	Incident dans le réseau	A4	Non-réponse à N2
09	Fin de dérangement	A9	Trop d'erreur de ligne

Figure 14.21 Les exemples de cause et de diagnostic d'erreur.

► Accès des terminaux asynchrones aux réseaux X.25

La norme X.25 définit un protocole pour l'accès en mode paquet de terminaux synchrones (**ETTD-P**). Les terminaux asynchrones (ou terminaux en mode caractères : **ETTD-C** : Minitel, terminal TTY, VT100...) nécessitent une adaptation pour converser à travers un réseau en mode paquet. Un concentrateur d'accès ou **PAD** (*Packet Assembler Disassembler*) assure, dans le sens terminal vers serveur, la conversion du mode caractère en mode paquet et inversement, dans le sens réseau vers terminal. Les recommandations X.28, X.29, X.3 régissent ce type d'accès, X.28 définit le dialogue en mode caractère entre le terminal et le PAD, X.3 précise le fonctionnement du PAD et X.29 décrit le dialogue de commande entre l'ETTD-P et le PAD, cette organisation est symbolisée par la figure 14.22.

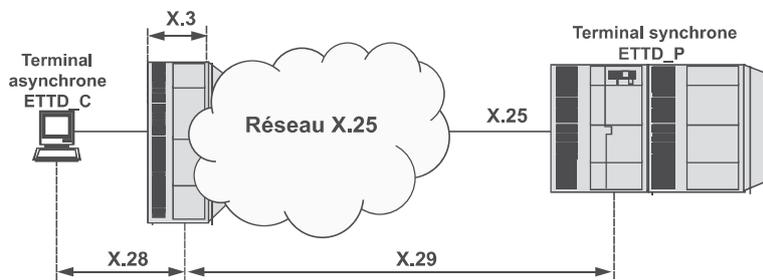


Figure 14.22 L'accès des ETTD-C aux réseaux X.25.

Les fonctions du PAD (X.3)

La fonction PAD a pour objectif essentiel d'encapsuler les données issues du terminal asynchrone dans un paquet X.25 et de désencapsuler les données à destination de ce terminal. L'avis X.3 précise les modalités essentielles de cette fonction :

- Il définit le nombre de caractères que le PAD devra avoir reçus avant d'émettre un paquet sur le réseau.
- Il précise les caractères de commande qui déclenchent l'émission d'un paquet même incomplet (retour chariot RC, BREAK...).
- Il détermine le temps maximum d'attente entre deux caractères avant d'envoyer un paquet (émission sur temporisation).

D'autres fonctions relatives à la transmission ou à la gestion du terminal peuvent être remplies. Ce sont notamment :

- L'écho local ; sur un terminal asynchrone, l'affichage du caractère sur l'écran n'est pas celui introduit au clavier mais celui renvoyé en écho par l'ETTD distant (fonction de correction d'erreur par l'opérateur). Pour éviter un trafic inutile sur le réseau, l'écho du caractère introduit peut-être généré par le PAD (écho local). La fonction d'écho peut être annulée lors de l'introduction d'un mot de passe (frappe en aveugle).
- Le pliage de ligne ; c'est un paramètre qui permet d'adapter la longueur des messages reçus aux possibilités d'affichage du terminal (nombre de caractères/ligne), le PAD introduit les caractères CR/LF après n caractères.
- Le contrôle de flux par emploi d'une procédure de type XON, XOFF.

► Accès aux réseaux X.25

Généralités

Toutes les applications ne nécessitent pas un accès permanent au réseau, de ce fait, une liaison permanente peut s'avérer coûteuse compte tenu de son taux d'utilisation. C'est pour ces raisons qu'ont été définis des accès temporaires *via* le réseau téléphonique. La diversité des modes d'accès constitue l'un des facteurs de pérennité du protocole X.25.

X.25 distingue 2 types d'accès : les accès permanents ou accès directs établis *via* une liaison spécialisée ou le canal D de RNIS et les accès commutés ou accès indirects qui transitent *via* le RTC ou RNIS (canal B). La figure 14.23 illustre ces deux types d'accès.

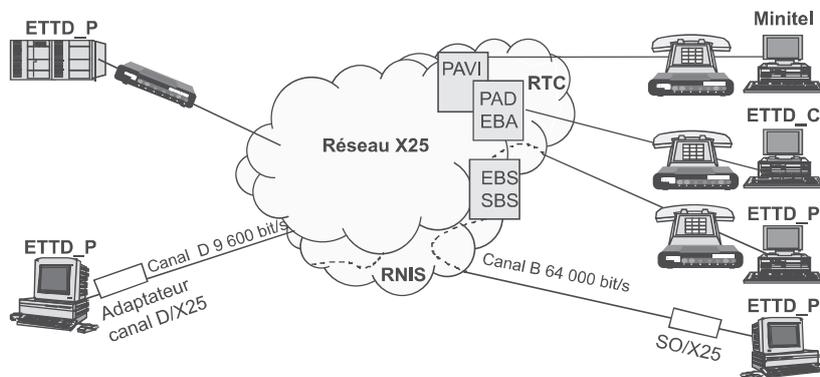


Figure 14.23 Les accès au réseau X.25.

Les accès directs

La liaison spécialisée constitue l'accès normal au réseau X.25. Un lien dépendant du débit de l'abonnement est établi de manière permanente entre le commutateur de rattachement de l'abonné et ce dernier. Ce type de raccordement est mal adapté à un besoin de connexion permanente avec un faible échange de données (taux de connexion important, taux d'activité faible). Le canal D des réseaux RNIS offre un accès permanent à 9 600 bit/s mieux adapté à ce cas de figure.

Les accès indirects

Les accès indirects (mode paquet ou caractère) transitent par un réseau intermédiaire (RTC ou RNIS) et convergent vers un point d'accès ou porte spécialisée selon le type d'accès (PAD, PAVI, EBS...). Un service d'identifiant peut être souscrit à l'abonnement. Les accès indirects sont essentiellement utilisés pour :

- des consultations de faible ou moyenne durée (Minitel ou autre) ;
- des transferts de petits fichiers ;
- des raccordements de secours pour des accès directs.

14.2 LE RELAIS DE TRAME OU FRAME RELAY

14.2.1 Généralités

Le relais de trames offre un service réseau en mode connecté conforme à l'avis Q.922 de l'UIT-T. La signalisation est du type canal sémaphore conforme à l'avis Q.933 (évolution de l'avis Q.931). Le relais de trame établit entre les équipements d'extrémité (**FRAD**, *Frame Relais Access Device*) un service de liaison virtuelle (figure 14.24). La liaison virtuelle peut être du type permanent (PVC, *Permanent Virtual Circuit*) ou temporaire et établi à la demande (SVC, *Switched Virtual Circuit*).

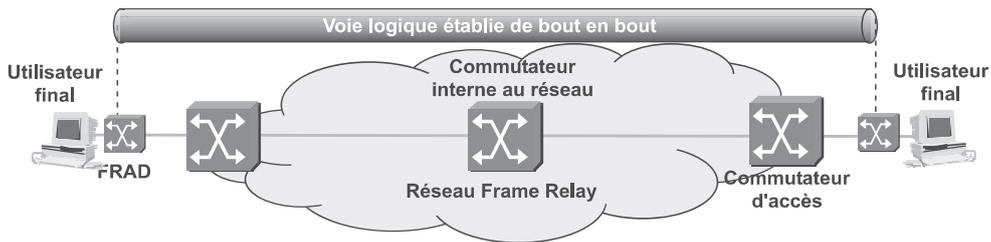


Figure 14.24 La liaison virtuelle du relais de trames.

Le relais de trames couvre les couches 1 et 2 du modèle OSI (figure 14.25), mais n'est pas conforme à ce dernier (modèle en plan de l'UIT). La couche physique assure l'adaptation au support physique.

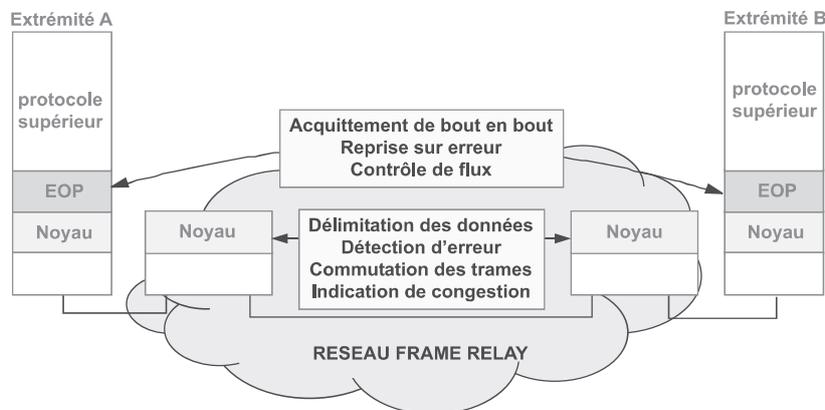


Figure 14.25 L'architecture du relais de trames.

La couche 2 est subdivisée en deux sous-couches : le noyau (*Core*) et une sous-couche (**EOP**, *Element of Procedure*) complémentaire et facultative. Non normalisées, ses fonctionnalités sont laissées à la discrétion de l'utilisateur. Cette sous-couche 2 supérieure peut, par exemple, être HDLC LAP-B.

14.2.2 Le format de l'unité de données

Le relais de trames utilise une trame de type HDLC (*High Level Data Link Control*) dérivée du LAP-D, délimitée par deux fanions (0x7E, 0111110B), elle comporte un champ Adresse de taille variable de 2 à 4 octets, un champ Données et un champ de contrôle d'erreur (FCS). Le champ Contrôle (commande) d'HDLC est absent, il est inutile puisqu'il n'existe qu'un seul type de trame (signalisation par canal sémaphore). La figure 14.26 représente la trame Frame Relay.

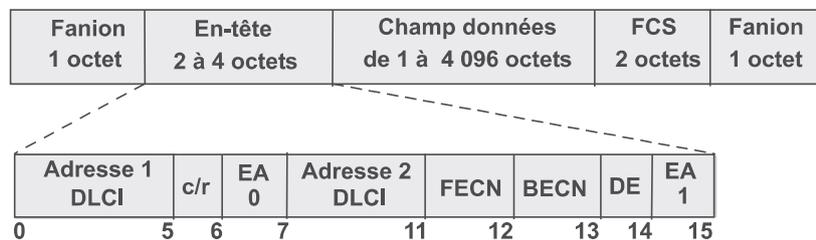


Figure 14.26 La trame Frame Relay.

L'identification de la voie virtuelle est réalisée par le champ Adresse (**DLCI**, *Data Link Connection Identifier*). Dans la version de base, il est composé d'un premier bloc de 6 bits et d'un second de 4 bits. Le champ **EA** (*End Address*) indique si le champ Adresse a une suite (EA = 0) ou s'il est le dernier (EA = 1).

Le champ **C/R** (*Commande/Response*) a la même signification que le bit P/F (*Poll/Final*) d'HDLC. Les bits **FECN** (*Forward Explicit Congestion Notification*) et **BECN** (*Backward Explicit Congestion Notification*) sont utilisés pour signaler aux organes d'extrémité l'état de congestion d'un des éléments du réseau. Le bit **DE** (*Discard Eligibility*) est positionné par les organes d'accès (**FRAD**, *Frame Relay Access Device*), il indique les trames à éliminer en priorité lors d'une congestion. Le FRAD est l'équipement d'interface entre le réseau de l'utilisateur et le réseau *Frame Relay*.

14.2.3 Les mécanismes élémentaires

L'adressage dans le réseau

La connexion est établie à travers une liaison virtuelle, comparable à un circuit virtuel X.25, identifiée par un identificateur de lien virtuel (**DLCI**, *Data Link Connection Identifier*) similaire au NVL d'X.25 (figure 14.27). Les DLCI 0 et 1023 sont réservés, le premier est réservé au protocole de signalisation (Q.933), le second pour la signalisation de la congestion. La connexion virtuelle (protocole orienté connexion) entre les extrémités résulte de la concaténation des DLCI. À l'instar des NVL d'X.25, les DLCI n'ont qu'une signification locale. Dans la figure 14.27, la liaison virtuelle entre A et C résulte de la concaténation des voies logiques : 245, 18, 35 et 25.

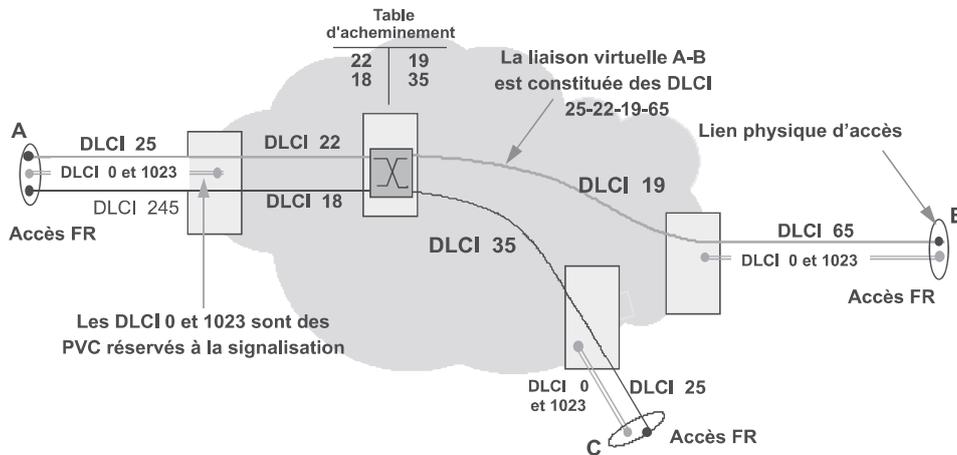


Figure 14.27 L'identification des voies virtuelles.

Les tables d'acheminement sont établies sous la responsabilité de l'opérateur (PVC) ou du réseau lors d'une demande de connexion (SVC). Dans ce dernier cas, la demande d'établissement est acheminée par le protocole Q.933 (signalisation par canal sémaphore, DLCI 0).

Octet 1		Octet 2				Octet 3		Octet 4	
Adresse (1) 6 bits	C / R	E A = 0	Adresse (2) 4bits	F E C N	B E C N	D E	E A = 1		
Adresse (1) 6 bits	C / R	E A = 0	Adresse (2) 4bits	F E C N	B E C N	D E	E A = 0	Adresse (3) 7 bits	E A = 1
Adresse (1) 6 bits	C / R	E A = 0	Adresse (2) 4bits	F E C N	B E C N	D E	E A = 0	Adresse (3) 7 bits	E A = 0
								Adresse (4) 7 bits	E A = 1

Figure 14.28 Le format d'adressage étendu.

Une capacité d'adressage sur 10 bits ne permet d'identifier que 1 024 (2^{10}) voies logiques, ce qui est suffisant pour la plupart des utilisateurs mais peut s'avérer faible pour l'identification des voies en interne dans le réseau. Aussi, un adressage étendu sur 17 ou 24 bits est prévu (figure 14.28). Le format représenté correspond au format du Frame Relay Forum (les bits FECN et BECN ont une position fixe). La figure 14.29 décrit les diverses plages d'adressage (adressage sur 10 bits).

DLCI	Utilisation
0	Établissement de circuits (Q.931)
1-15	Réservés
16-1007	DLCI utilisateurs (PVC, SVC)
1008-1018	Réservés
1019-1022	<i>Multicast</i>
1023	Signalisation de la congestion (CLLM ou LMI) et état des liens

Figure 14.29 Fonctions des différents DLCI à l'interface usager.

L'adressage des terminaux n'est pas fixé par la norme, le réseau peut spécifier des adresses de type E.164 (RNIS), X.121 (X.25) ou encore IP (TCP/IP).

Le traitement des erreurs

Le traitement des erreurs n'est pas réalisé dans le réseau, chaque commutateur n'assure qu'une vérification d'intégrité de la trame :

- délimitation de la trame ;
- validation du DLCI ;
- contrôle d'erreur (FCS).

Toutes les trames non valides sont purement et simplement éliminées. Le traitement des erreurs est reporté sur les organes d'extrémité, il peut être mis en œuvre par la couche EOP ou confié aux protocoles de niveau supérieur, qui devront éventuellement mettre en œuvre des mécanismes de :

- numérotation des blocs de données pour la détection de perte.
- reprise sur temporisation.
- reprise sur erreur.

Le contrôle d'admission

La simplification du protocole a conduit à la suppression de tout contrôle de flux dans le réseau et à fragiliser celui-ci face aux problèmes de congestion. Aussi, toute nouvelle connexion ne peut être acceptée que si le réseau est apte à la satisfaire sans préjudice pour les connexions déjà établies. Toute demande de connexion est accompagnée d'un descripteur de trafic définissant en particulier le débit moyen et le débit de pointe demandés. Un contrat de trafic est passé entre la source et le réseau (**SLA**, *Service Level Agreement*), il comporte un descriptif complet des paramètres de la connexion et en particulier :

- Le **CIR** (*Committed Information Rate*) ou débit moyen garanti. Le CIR caractérise le débit moyen contractuel que doit garantir le réseau. La connexion ne sera acceptée que si la somme des CIR sur le lien (ou sur le nœud) ne dépasse pas un seuil déterminé par le gestionnaire du réseau.
- L'**EIR** (*Excess Information Rate*) ou surdébit autorisé au-dessus duquel tout bloc de données soumis au réseau est détruit ;
- Le temps d'analyse du trafic (T_c).

Le CIR définit le volume moyen admis dans le réseau ou **B_c** (*Committed Burst size*) tel que $B_c = CIR \cdot T_c$. L'EIR précise le volume maximal autorisé tel que $B_c + B_e = (CIR + EIR) \cdot T_c$ où **B_e** (*Excess Burst size*) représente le volume excédentaire admis au-dessus du contrat B_c (figure 14.30).

L'acceptation d'une nouvelle connexion ou l'établissement d'une nouvelle voie implique que chaque commutateur mémorise les différents paramètres des connexions déjà réalisées. Dans l'exemple donné figure 14.31, le FRAD d'entrée mémorise aussi la correspondance entre l'adresse IP distante et la voie virtuelle attribuée.

L'acceptation d'une nouvelle connexion n'est pas liée uniquement à la disponibilité de la bande passante. Elle dépend de la politique de gestion de la bande passante de l'opérateur qui peut admettre plus de données en entrée que le réseau ne peut en assimiler. La figure 14.32 illustre le principe d'une telle gestion. Les paramètres de QoS du Frame Relay sont, dans cette figure, comparés à ceux d'ATM (UBR, connexion sans aucune garantie de type best effort ; VBR, connexion à débit variable, temps réel ou non).

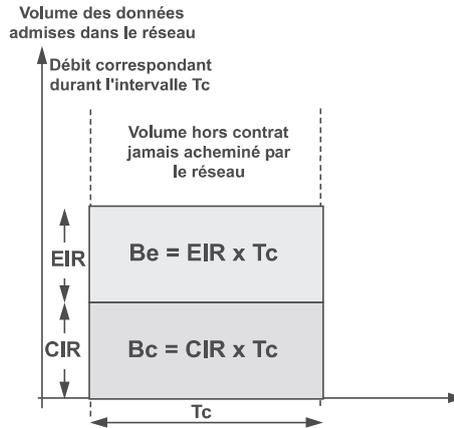


Figure 14.30 Relation entre les différents paramètres.

Paramètres de QOS

@IP	Port out	DLCI	CIR	EIR	Tc
@IP1	1	16	CIR1	EIR1	1
@IP2	2	16	CIR2	EIR2	1
@IP3	2	17	CIR3	EIR3	1
@IP4	3	16	CIR4	EIR4	1
@IP5	1	17	CIR5	EIR5	1

FRAD

Paramètres de QOS

N° SVC	Port In	DCLC In	Port Out	DCLI Out	CIR	EIR	Tc
1	1	16	2	16	CIR1	EIR1	1
2	1	17	3	16	CIR2	EIR2	1
3	2	22	5	18	CIR3	EIR3	1
4	3	17	4	17	CIR4	EIR4	1
5	3	18	1	16	CIR5	EIR5	1

COMMUTEUR

Figure 14.31 Description des tables d'acheminement.

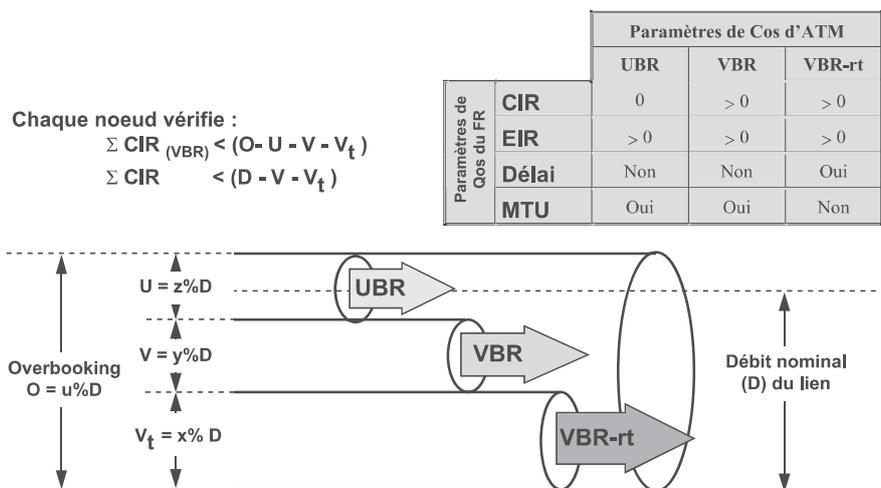


Figure 14.32 Politique de gestion de la bande passante.

La gestion de la congestion

Même si une fonction de contrôle d'admission est mise en œuvre (**CAC**, *Connexion Admission Control*), le réseau, du fait de la soumission simultanée de rafales, peut atteindre un état de congestion plus ou moins durable. Dans ces conditions, non seulement le commutateur d'entrée implémente une fonction de surveillance, mais aussi chaque commutateur.

Si le volume du trafic soumis est inférieur à B_c , tout le trafic soumis est transmis par le réseau. Si le volume de trafic soumis est compris dans l'intervalle $]B_c...B_e]$ les blocs de données sont transmis mais marqués (*Cell tagging*). Lors de l'éventuelle traversée d'un nœud congestionné, ces blocs seront éliminés en priorité. Les blocs transmis au-dessus de B_e seront systématiquement éliminés. La figure 14.33 illustre ce propos.

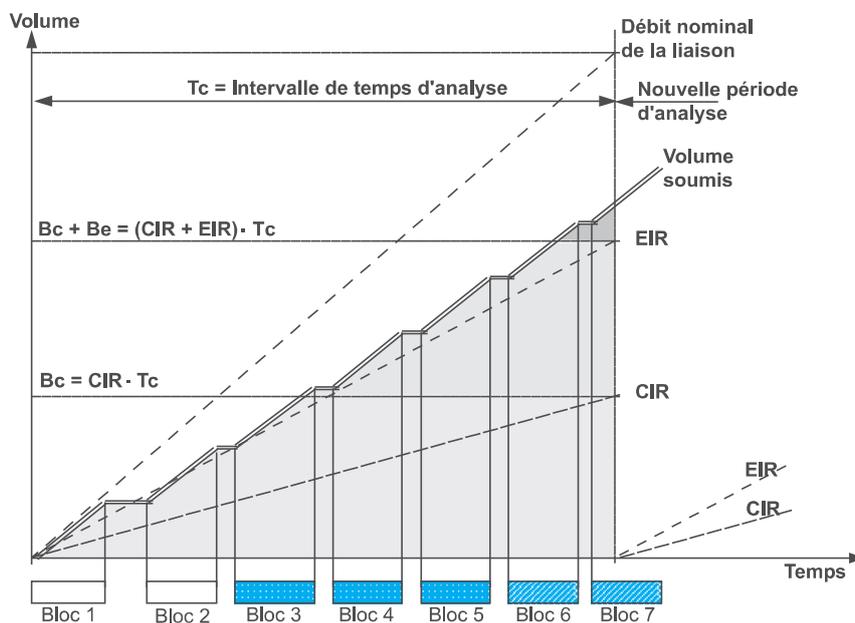


Figure 14.33 Le contrôle de congestion dans les réseaux Frame Relay.

Les blocs 1 et 2 sont transmis normalement à partir du bloc 3 le volume moyen garanti pour l'intervalle de temps T_c est dépassé, le bloc 3 et les suivants seront marqués comme dépassant le trafic moyen. Les blocs marqués (bit **DE**, *Discard Eligibility*) seront éliminés s'ils traversent un nœud en état de congestion. Les blocs 6 et 7 excèdent le volume maximal autorisé, ils ne seront pas admis dans le réseau.

L'analyse du débit de la source telle qu'elle est réalisée dans le schéma de la figure 14.33 n'est pas satisfaisante. En effet, examinons le débit d'une source illustré par la figure 14.34, on constate que durant chaque période d'examen T_c , le trafic moyen est resté en deçà du CIR, le bit DE n'a pas été positionné. Cette approche, par période fixe, a masqué les rafales.

Une période T_c glissante aurait permis la détection des rafales (figure 14.35). Généralement on adopte les valeurs suivantes : $T_c =$ une seconde, mesure toutes les 100 ms.

La figure 14.36 fournit une analogie qui illustre parfaitement le mécanisme de la période d'analyse glissante (T_c). Elle matérialise en plus la fonction de lissage de trafic réalisée par le FRAD (*Frame Relay Access Device*) d'accès.

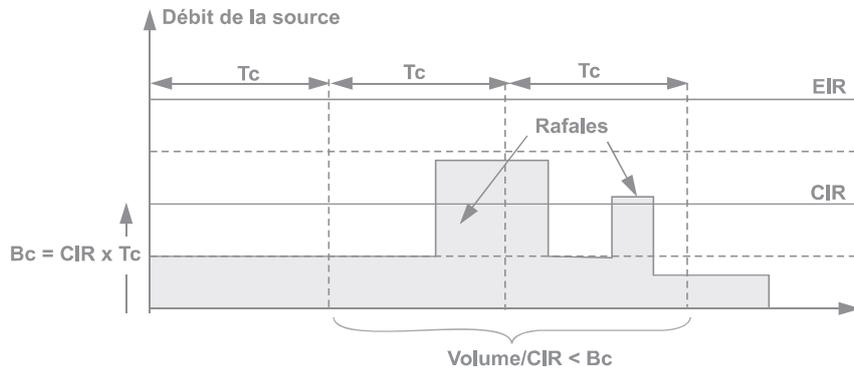


Figure 14.34 L'analyse du trafic avec une période T_c fixe.

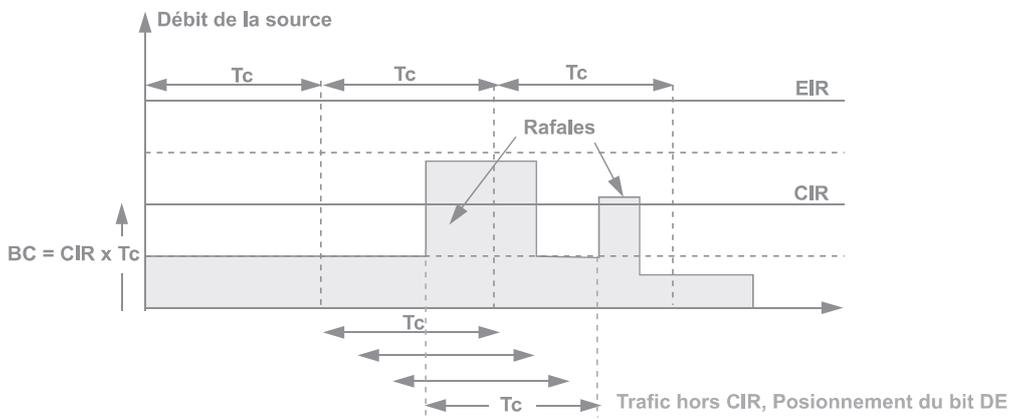


Figure 14.35 La détection des rafales avec un T_c glissant.

Les données sont admises dans un premier *buffer* qui réalise le lissage de trafic. Lorsque ce *buffer* est plein, elles sont admises dans un second *buffer*, acheminées par le réseau mais marquées comme trafic excédentaire toléré ($DE=1$). En cas de dépassement de la tolérance, toutes les données sont éliminées.

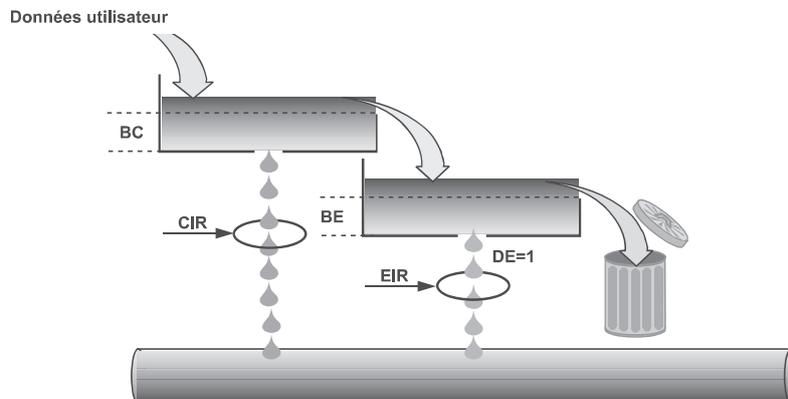


Figure 14.36 Illustration de la mise en œuvre de la fonction d'admission du trafic.

L'élimination par les commutateurs internes au réseau en état de congestion du trafic excédentaire identifié par le bit DE n'est pas une solution complètement satisfaisante. En effet, si elle permet de résoudre l'état de congestion, elle n'en élimine pas la cause. Il est nécessaire d'en avertir les entités communicantes pour que, par autodiscipline, les sources ralentissent leur émission. Ce principe est illustré par la figure 14.37.

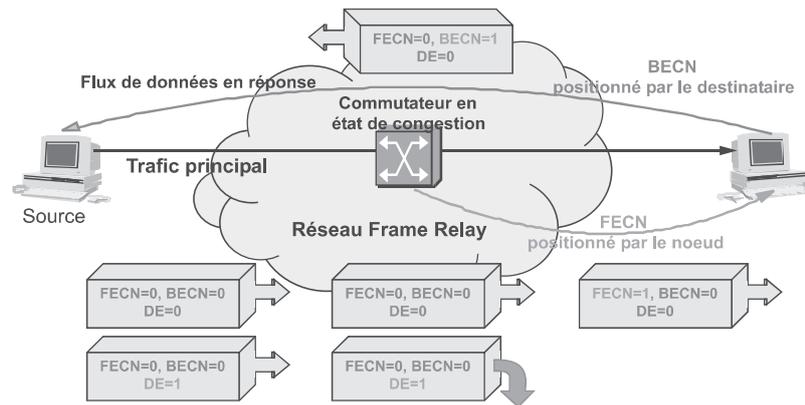


Figure 14.37 La notification de congestion.

Lorsqu'un bloc de données traverse un nœud en état de congestion, celui-ci positionne, dans toutes les trames le traversant, le bit **FECN** (*Forward Explicit Congestion Notification*). Ainsi, le destinataire est averti de l'état de congestion mais aussi que certaines trames ont pu être éliminées (bit DE=1). Cette indication est transmise aux couches supérieures afin que celles-ci mettent en œuvre, éventuellement, un mécanisme de contrôle de flux et de contrôle de séquençement (détection des trames perdues). Le destinataire profite des données en réponse pour avertir la source que le circuit qui le dessert (circuit aval) est congestionné (**BECN**, *Backward Explicit Congestion Notification*).

Ce mécanisme n'est pas très efficace car il suppose un trafic bidirectionnel ce qui peut introduire une inefficacité complète du système ou, du moins, une certaine inertie. Ce procédé est injuste. En effet, tous les hôtes dont les données transitent par le nœud congestionné sont invités à réduire leur trafic, même ceux qui ne sont pas responsables de cet état de fait. Pour y remédier des protocoles spécifiques ont été développés.

Les protocoles de gestion de la congestion

► Le protocole CLLM

Le protocole CLLM (origine ANSI T1 606) permet à tout nœud en état de congestion d'en avertir ses voisins et la source. Le message CLLM (*Consolidated Link Layer Management*) contient la liste des voies logiques congestionnées et la cause de cette congestion. Le protocole CLLM est implémenté sur la trame **XID** de LAP-D (*eXchange IDentifier*).

► Le protocole LMI

Plus complet que le protocole **CLLM**, **LMI** (*Local Management Interface*) a été défini par le Frame Relay Forum pour prendre en charge toute la signalisation d'un réseau relais de trames. Le protocole LMI n'est disponible qu'à l'interface usager (**UNI**, *User Network Interface*). Il utilise le

DLCI 1023 (*Data Link Connection Identifier*), dernière voie logique identifiable dans l'adressage minimal à 10 bits, pour connaître l'état des circuits virtuels, de ce fait, les protocoles CLLM et LMI s'excluent mutuellement. Le protocole LMI (*Local Management Interface*) permet à l'utilisateur (FRAD) de connaître à tout instant :

- L'état de ses circuits virtuels permanents (*Virtual circuit status*) par l'échange de messages questions (*Status enquiry*, demande de statut) et de messages réponses (*Status*, état du lien).
- L'état du lien physique (*Link status*) par échange de messages numérotés (*Keep alive*).
- La modification du statut d'un lien (DLCI) sur l'initiative du réseau (messages asynchrones).

Les messages d'état du lien autorisent un contrôle de flux très efficace en signifiant à un équipement l'indisponibilité du lien (protocole de type XON/XOFF). La figure 14.38 symbolise l'échange de messages. La procédure de scrutation introduit un délai relativement important avant que le FRAD ne connaisse l'état d'un lien. La procédure asynchrone remédie à cet inconvénient, l'une des deux entités peut prendre l'initiative d'envoyer un message de demande de statut. Le protocole LMI utilise les trames non numérotées de LAP-D.

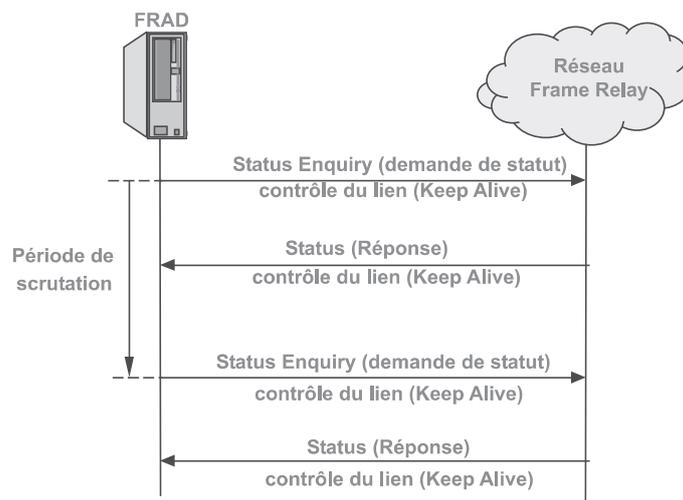


Figure 14.38 Échange de messages synchrones sur l'état des liens.

L'établissement de la connexion

Les circuits virtuels commutés sont établis à la demande de l'utilisateur⁴. Les messages d'établissement sont acheminés sur le DLCI 0 (Voie de signalisation bidirectionnelle).

Le message d'établissement est assez complexe. En effet, lors de la mise en service d'un circuit virtuel permanent, les différents paramètres de la liaison sont fixés à la souscription de l'abonnement et restent valables pendant toute sa durée. Ce n'est pas le cas des circuits virtuels commutés. À chaque appel, les paramètres de la liaison demandée doivent être fournis (message *Setup*). La figure 14.39 illustre l'échange de messages lors de l'établissement d'une connexion et la libération du circuit virtuel.

4. L'établissement d'un circuit virtuel commuté est régi par la recommandation Q.933 dérivée de la recommandation Q.931.

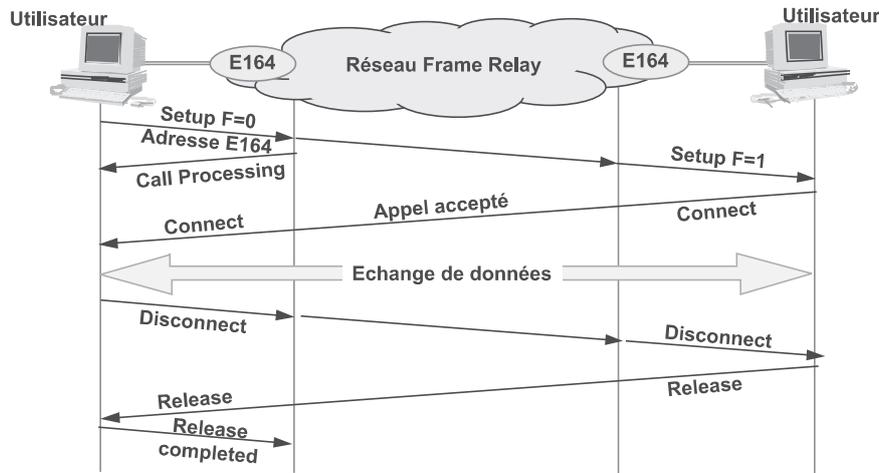


Figure 14.39 Établissement et libération d'une connexion commutée (SVC).

La demande de connexion (*Setup*) est acquittée deux fois, la première fois par le réseau (Signal de progression d'appel, *Call processing*) qui rend compte qu'il accepte la nouvelle connexion avec les paramètres précisés dans la demande et qu'il transmet celle-ci à l'appelé. Le message *Call processing* contient le DLCI affecté à la connexion (c'est le réseau qui détermine le DLCI à employer). L'appelé acquitte à son tour la demande de connexion (*Connect*).

Dans le message de *Setup*, le numéro de DLCI n'est obligatoire que dans le sens réseau/abonné (c'est le réseau qui fixe le numéro de DLCI). Dans le sens usager/réseau, s'il est présent, le numéro de DLCI ne constitue qu'une proposition que le réseau accepte ou refuse. C'est le réseau qui, en dernier, détermine le numéro de DLCI à utiliser.

Les paramètres de la liaison sont fixés dans chaque sens (liaison bidirectionnelle, éventuellement dissymétrique), ce sont :

- La charge utile des trames (MTU, *Maximum Transfert Unit*).
- Le débit garanti de la liaison (CIR).
- Le débit minimal acceptable (qualité de service).
- Le *Committed Burst size* (Bc).
- L'*Excess Burst size* (Be).

Conclusion, le relais de trames et X.25

Indépendamment des progrès technologiques réalisés dans les commutateurs, le gain de performance obtenu avec le relais de trames résulte de la simplification du protocole et de la suppression de contrôles redondants. Les figures 14.40 et 14.41 illustrent ces propos.

Le gain en performance du relais de trames par rapport à X.25 est de l'ordre de 5 à 10. Le succès actuel du relais de trames est essentiellement dû à sa simplicité face à ATM. Particulièrement adapté à l'interconnexion des systèmes exigeants en débit et générant des trafics sporadiques (réseaux locaux, applications client/serveur), il a été adapté au transport des flux isochrones comme la voix⁵ (FRF11 et FRF12).

5. Voir chapitre 21, *Les réseaux privés de téléphonie et la voix sur IP*.

	X.25	Frame Relay
NIVEAU 3	Type de paquets Contrôle de séquençement Gestion de la fenêtre Gestion des temporisations Acquittement éventuel Routage	
NIVEAU 2	Délimitation des trames Transparence binaire Type de trame Validité de la trame (FCS) Contrôle de séquençement Gestion de la fenêtre Gestion des temporisations Acquittement éventuel	Délimitation des trames Transparence binaire Validité de la trame (FCS) Validité du DLCI Acheminement Gestion de la congestion (DE, FECN, BECN)

Figure 14.40 La comparaison des traitements X.25/relais de trames.

Fonctionnalités	X.25	Frame Relay
Commutation	Niveau 3	Niveau 2
Détection d'erreur	Oui (reprise)	Oui
Reprise sur erreur	Oui	Non (élimination)
Qualité réseau	Quelconque (reprise sur erreur)	Bonne (pas de reprise sur erreur)
Contrôle de congestion	Oui	Indication de congestion
Élimination sur congestion	Non	Oui
Contrôle de flux	Oui	Non
SVC	Oui	Oui
PVC	Oui	Oui
Taille maximale des PDU	2 048 octets	4 096 octets
Qualité de service	Non	Oui (Débit garanti, CIR)
Contrôle d'admission	Non	Oui
Délai de transit	100 ms	30 à 40 ms

Figure 14.41 La comparaison des fonctionnalités X.25/Relais de trames.

14.3 L'ATM (ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE)

14.3.1 Généralités

L'ATM a été développé dans le cadre de l'évolution du réseau téléphonique (RNIS Large Bande, **B-ISDN** ou *Broadband Integrated Service Digital Network*). En effet, la commutation de circuits des réseaux voix traditionnels monopolise la bande passante alors que la commutation de paquets autorise le multiplexage statistique des sources et par conséquent optimise l'utilisation de la bande passante. C'est sur ces bases que le CNET (Centre national d'étude et de télécommunication) a

décrit, en 1982, une technique de multiplexage asynchrone (ATD, *Asynchronous Time Division*) qui allait donner naissance à l'ATM (figure 14.42).

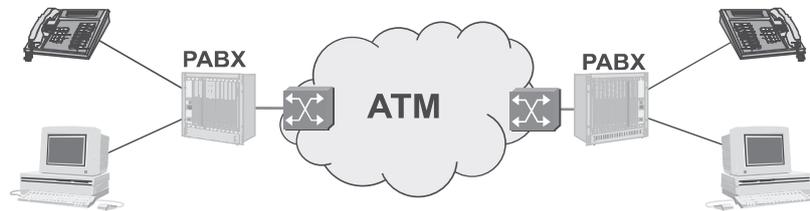


Figure 14.42 L'origine de l'ATM.

Intégrant à l'origine le traitement des données de tout type (voix/texte/images), un réseau ATM doit assurer :

- L'indépendance temporelle du réseau, c'est-à-dire qu'ATM autorise le transport de données à débit variable et sans relation temporelle entre elles (mode de transfert asynchrone).
- L'indépendance sémantique, c'est-à-dire que dans le réseau toutes les données subissent le même traitement (services non différenciés). Cette approche allège le travail du réseau mais reporte aux extrémités les traitements spécifiques à tel ou tel type de données.

L'ATM est une technologie en mode connecté, les données ne sont acheminées dans le réseau qu'après l'établissement d'une voie virtuelle (VCC, *Virtual Channel Connection*). Le circuit virtuel peut-être :

- bidirectionnel en mode point à point (*unicast*),
- unidirectionnel en mode point à multipoint (*multicast*).

14.3.2 La taille des unités de données ou cellules

Étudié dans le cadre du développement du RNIS large bande, ATM voit ses caractéristiques fortement conditionnées par le transfert de flux isochrone tel que la voix. Ce dernier point a été déterminant dans le choix de la taille des unités de données (cellules), celle-ci doit permettre une commutation rapide et minimiser la gigue d'insertion.

La figure 14.43 illustre l'effet de l'insertion de gigue. En effet, selon le traitement appliqué, les données 1, 2, 3 en entrée peuvent se présenter en sortie selon les trois cas représentés. On s'aperçoit alors que dans le cas 1, le paquet 3 a été inséré entre les paquets 1 et 2 rompant les caractéristiques temporelles qui reliaient les deux paquets.

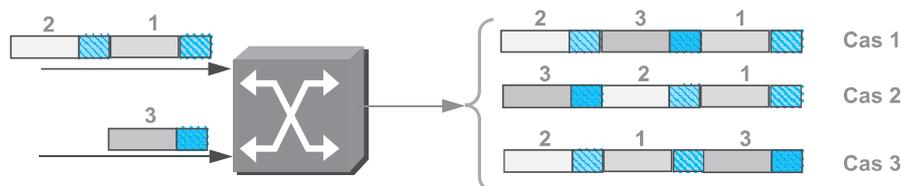


Figure 14.43 La taille des unités de données et la gigue d'insertion.

Ces deux impératifs (temps de commutation et gigue) militent pour une petite taille de données. Cependant, indépendamment du temps de bouche à oreille, limité à 150 ms pour un confort conversationnel optimal, le temps de traversée du réseau doit rester inférieur à 25 ms (temps maximal 24 ms) si on ne veut pas équiper le réseau de dispositifs d'annulation d'écho. De ce fait, il s'agit de rechercher une taille de cellule compatible avec l'élongation envisagée du réseau (figure 14.44).

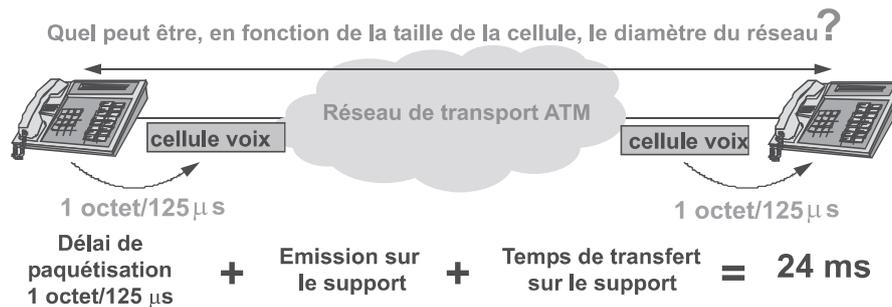


Figure 14.44 Le temps de transfert d'une cellule voix.

Compte tenu, d'une part que la paquetsation des données s'effectue à raison de un octet toutes les 125 μ s (codage MIC) et, d'autre part en admettant une vitesse de propagation sur le support de $2 \cdot 10^8$ m/s et un débit du lien de 64 kbit/s (voix MIC, G.711), la figure 14.45 indique la distance maximale franchissable.

Taille de la cellule	Temps de paquetsation en ms	Temps de transfert sur le support	Temps de transport admissible en ms	Distance théorique en km
16	2	2	20	4 000
32	4	4	16	3 200
48	6	6	12	2 400
64	8	8	8	1 600
96	12	12	0	

Figure 14.45 Distance maximale franchissable sans annuleur d'écho.

La figure 14.45 montre que la limite maximale de la taille des unités de données est de 64 octets, c'est cette dernière taille qui avait été proposée à l'UIT par certains pays, notamment les États-Unis. En effet, compte tenu de la dimension de ce pays, les réseaux de transport étaient déjà équipés de systèmes d'annulation d'écho, une taille de 64 octets semblait, alors, présenter le meilleur rendement pour la transmission de données (rapport entre les données protocolaires et les données utiles). Pour des raisons inverses, les Européens préféraient une taille plus réduite : recherche de la distance maximale franchissable sans annuleur d'écho et meilleur rendement de multiplexage (figure 14.46), ils proposèrent une taille de 32 octets. Finalement, un compromis a été adopté et la taille des unités de données (cellules) fut fixée à 48 octets et 5 octets d'en-tête.

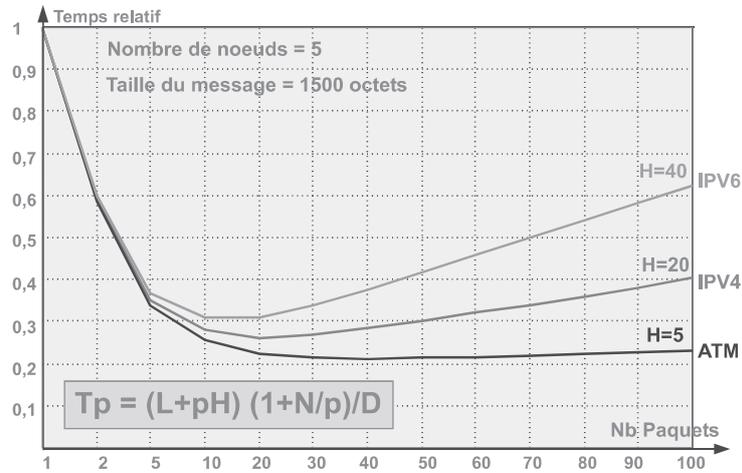


Figure 14.46 Taille optimale de l'unité de donnée.

14.3.3 Les mécanismes de base et le format de la cellule ATM

L'adressage dans les réseaux ATM

À l'instar de X.25 ou du Frame Relay, l'ATM utilise en interne dans le réseau un adressage de convention identifiant les voies virtuelles (multiplexage par étiquette) et un adressage hiérarchique à la périphérie du réseau de type E.164 pour les réseaux publics (adressage du RNIS).

La taille des tables de commutation est l'un des facteurs principaux intervenant dans l'efficacité de la commutation. La commutation est d'autant plus rapide que la taille des tables de commutation est faible. Compte tenu de cette remarque, l'ATM, à des fins d'efficacité, utilise deux niveaux d'identification. En effet, dans un réseau plusieurs sources partent d'un même commutateur d'entrée et se dirigent dans une même direction (route). Plutôt que de gérer les N connexions, il est plus aisé de les regrouper (identifiant secondaire) et de ne traiter dans le cœur du réseau que cet identifiant de second niveau (figure 14.47) :

- Un premier niveau identifie la voie virtuelle (**VCI**, *Virtual Channel Identifier*). Il s'agit de l'identifiant des flux échangés entre deux systèmes d'extrémités, notion similaire au numéro de voie logique d'X.25 ou du DLCI du Frame Relay.
- Un second niveau regroupe (agrégation de flux) un ensemble de voies virtuelles ayant une même destination (nœud intermédiaire ou interface d'utilisateur) en un seul identifiant dit *Virtual Path Identifier* (**VPI**). Le VPI représente une connexion semi-permanente entre deux nœuds du réseau, elle est établie et contrôlée par l'administrateur du réseau.

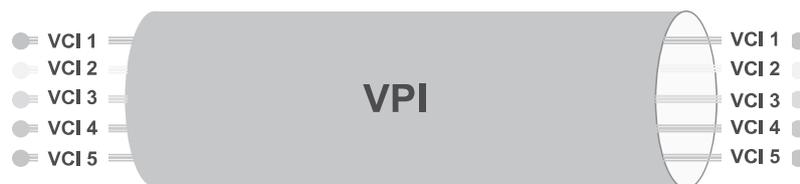


Figure 14.47 La double identification d'ATM.

Les commutateurs de second niveau, appelés **brasseurs**, commutent l'ensemble des voies virtuelles affectées à un faisceau (acheminement selon le VPI), ce qui garantit des temps de commutation brefs. Les commutateurs sont généralement situés à la périphérie du réseau (commutateur d'accès), tandis que les brasseurs assurent la commutation des faisceaux virtuels en interne dans le réseau (figure 14.48).

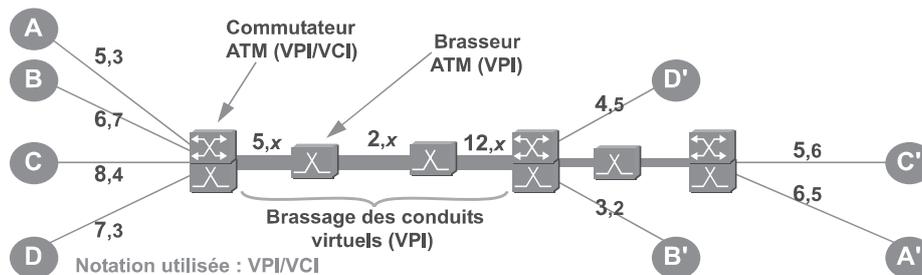


Figure 14.48 Le double niveau d'acheminement des cellules.

Le contrôle d'erreur

Même si la fiabilisation des supports de transmission autorise un allègement du contrôle d'erreur, il reste cependant nécessaire de protéger le réseau contre un acheminement erroné des blocs de données. À chaque commutateur, la validité des informations de routage (VPI/VCI) est contrôlée. Le champ **HEC** (*Header Error Control*) assure un contrôle d'erreur de type CRC sur l'en-tête. Il autorise une autocorrection de celle-ci pour des erreurs simples ne portant que sur 1 bit (distance de Hamming de 4). En cas d'erreurs non corrigées ou d'erreurs multiples, les cellules sont éliminées. L'HEC ou octet de contrôle (figure 14.49) est le reste de la division booléenne (modulo 2) des quatre premiers octets de l'en-tête par le polynôme générateur : $G(x) = x^8 + x^2 + x + 1$, auquel est ajouté le polynôme $C(x) = x^6 + x^4 + x^2 + 1$ (addition booléenne soit un OU exclusif avec 01010101).

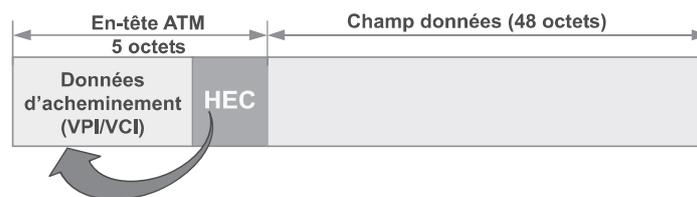


Figure 14.49 La portée du champ HEC.

Rappelons que la vérification de la validité des données, la reprise sur erreur ou sur temporisation sont éventuellement confiées aux couches supérieures des systèmes d'extrémité (*End Systems*).

La délimitation des cellules

L'ATM n'utilise aucun fanion pour délimiter les cellules. Celles-ci ayant une taille fixe et une fréquence de récurrence élevée, il suffit de se positionner correctement sur un octet pour reconnaître les limites des cellules, c'est le champ HEC qui remplit cette fonction. Le HEC est calculé au fil de l'eau sur le flot de bits reçu dans un registre FIFO de 40 bits (5 octets) représenté figure 14.50.

Lorsque le contenu du cinquième octet du *buffer* correspond au résultat du calcul de l'HEC sur les 4 octets précédents, l'HEC est supposé trouvé. Dans ces conditions, le début de la cellule suivante (en-tête) se situe 48 octets plus loin. Un embrouillage du champ information élimine les risques de reproduction d'un faux « HEC » dans le champ données.



Figure 14.50 Principe du repérage du HEC.

Les formats de l'en-tête de cellule ATM

À des fins d'efficacité, l'en-tête ATM ne contient que les informations strictement nécessaires à l'acheminement, au contrôle du type de données et à la protection de l'en-tête. ATM utilise deux formats d'en-tête, le premier est utilisé à l'interface usager/réseau (**UNI**, *User to Network Interface*) et le second en interne dans le réseau (**NNI**, *Network to Network Interface*). La figure 14.51 représente ces deux formats.

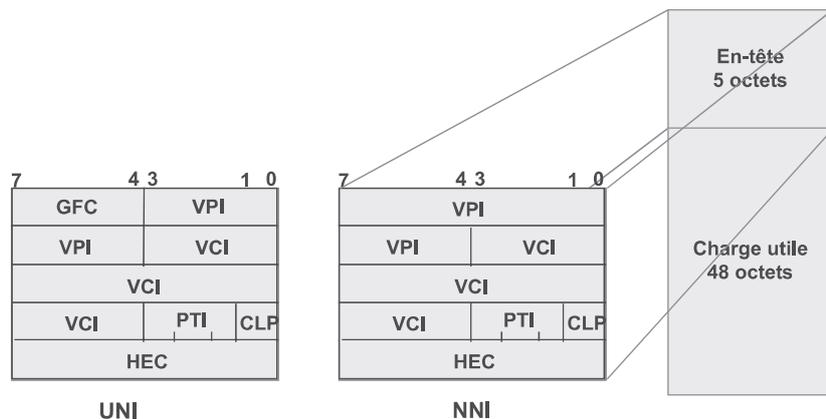


Figure 14.51 Les formats de l'en-tête de cellule ATM.

Le champ **GFC** (*Generic Flow Control*) devait, en mode contrôlé (*Controlled*), assurer le partage équitable de l'accès au réseau aux différentes stations dans une configuration point à multipoint. En mode point à point, le GFC devait permettre la résolution des conflits d'accès (résolution des contentions) et assurer le contrôle de flux à l'interface usager/réseau. Non défini, ce champ doit être mis à 0.

Sa présence est inutile dans le réseau, les quatre bits correspondants sont « récupérés » pour étendre le champ VPI des cellules NNI. Cette technique conduit à définir deux types d'en-tête de cellule. Selon que l'on se situe à l'interface usager/réseau (UNI) ou à une interface réseau/réseau (NNI) :

- Les cellules UNI identifient 65 536 VCI (16 bits) et 256 VPI (8 bits).
- Les cellules NNI identifient 65 536 VCI et 4 096 VPI (12 bits).

Deux types de données transitent dans un réseau, celles d'origine utilisateur et les données propres à la gestion du réseau (signalisation, maintenance...). Le champ **PT** (*Payload Type*) sur trois bits (bits 3, 2, 1 du quatrième octet) indique le type de charge contenue dans le champ Données (figure 14.52).

Type Bit 3		EFCI Bit 2		User Bit 1	
0	Flux d'origine usager (Cellules usager)	0	Bit EFCI (<i>Explicit Forward Congestion Indication</i>), pas de congestion	0,1	A disposition de l'application, peut être utilisé par la couche d'adaptation pour indiquer la fin de la segmentation de l'unité de données (dernier fragment = 1)
		1	La cellule a traversé au moins un nœud congestionné.		
1	Flux d'origine réseau (Cellules réseau)	0	Flux de maintenance (Cellules OAM)	0	De section (Entre nœuds)
				1	De bout en bout
		1	Gestion des ressources (Cellules RM)	0	Réseau
				1	Réservé

Figure 14.52 La signification du champ Payload Type.

Le traitement de la congestion est similaire à celui utilisé dans le relais de trames. Le bit de préférence à l'écartement (**CLP**, *Cell Loss Priority*) indique, lors d'un état de congestion, les cellules à éliminer en priorité. Le positionnement de ce bit est de la responsabilité de la source. En fait, le bit CLP à 1 indique une cellule de priorité basse, à 0 il identifie une cellule de priorité haute.

Le bit CLP permet de spécifier, sur une même connexion, des flux différents. Il peut, par exemple, pour des transferts de vidéo compressée être positionné à 0 pour les informations essentielles et à 1 pour les autres.

14.3.4 Les différentes couches du modèle

Présentation

L'ATM comporte trois couches dont les fonctionnalités principales sont décrites ci-dessous. Les relations entre les différentes couches sont représentées en figure 14.53.

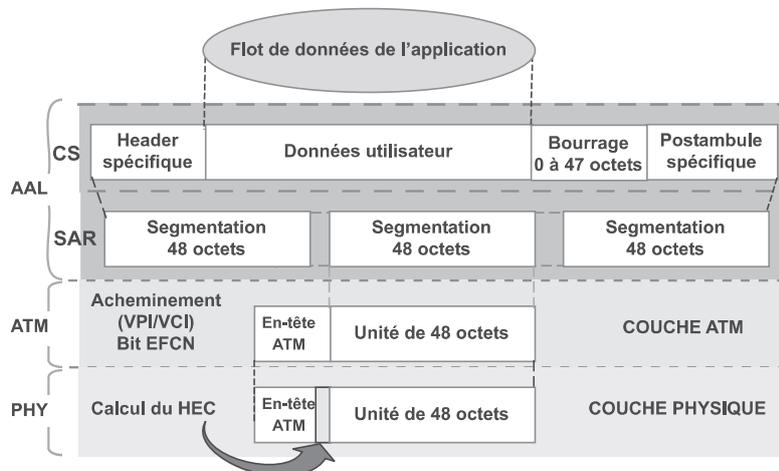


Figure 14.53 Relations entre les différentes couches de l'ATM.

La couche **AAL** (*ATM Adaptation Layer*) garantit aux applications utilisateurs la qualité de service requise par l'application. Quatre types d'AAL sont proposés aux applications : AAL1, AAL2, AAL3/4 et AAL5. La couche AAL est divisée en deux sous-couches :

- La sous-couche de convergence (CS, *Convergence Sublayer*) est destinée à incorporer les informations spécifiques au type d'AAL utilisé.
- La sous-couche de segmentation et de réassemblage (SAR, *Segmentation and Reassemblage*) adapte le format de l'unité de données issue de la sous-couche CS au format requis par ATM (cellules de 48 octets).

La couche **ATM** est indépendante du sous-système de transport physique et des services d'applications qui l'utilisent. Elle assure les fonctions de multiplexage et démultiplexage des cellules, la génération et l'extraction des en-têtes, l'acheminement (commutation) des cellules et la translation des VPI/VCI enfin, le contrôle de flux (*GFC, Generic Flow Control*) à l'interface UNI (*User Network Interface*).

La couche physique (**PHY**) est chargée de fournir à la couche ATM un service de transport des cellules. Pour assurer, à la couche ATM, la transparence du support physique utilisé, la couche PHY est scindée en 2 sous-couches :

- La sous-couche **TC** (*Transmission Convergence*) assure l'adaptation des débits, le contrôle des données (HEC) et la délimitation des cellules.
- La sous-couche **PM** (*Physical Medium*) fournit l'accès au support physique et gère les mécanismes de synchronisation.

La couche ATM

La couche ATM est chargée :

- de l'acheminement des cellules dans le réseau,
- de l'ajout et du retrait des en-têtes ATM,
- du contrôle de flux (**GFC**, *Generic Flow Control*) à l'interface utilisateur (UNI),
- du contrôle d'admission en fonction de la qualité de service requise (**CAC**, *Connection Admission Call*),
- du lissage de trafic (*Traffic shopping*).

La figure 14.54 illustre le mécanisme de la commutation. Le premier étage du commutateur effectue le multiplexage et démultiplexage des circuits virtuels, alors que le second étage les commute. Ainsi, la voie virtuelle 1 (VC1) du conduit virtuel 2 du port d'entrée 2 (VP2) est translaturée en voie virtuelle 2 (VC2) et affectée au conduit virtuel 1 du port de sortie 3 (VP1).

Le contrôle d'admission (**CAC**, *Connection Admission Call*) a pour objectif de garantir une certaine qualité de service (**QoS**) à la connexion établie en termes de débit, perte de cellules et de variation de délai de transfert (gigue). À cet effet, l'ATM Forum a défini cinq classes de service⁶

6. À l'origine, l'IUT avait défini quatre classes de service, la classe A (débit constant, mode connecté), classe B (débit variable, mode connecté), classe C (débit variable, mode connecté) enfin classe D (débit variable mode non connecté), ces classes correspondaient directement aux AAL1, 2, 3 et 4. Proches l'une de l'autre, les AAL 3 et 4 ont été réunies en

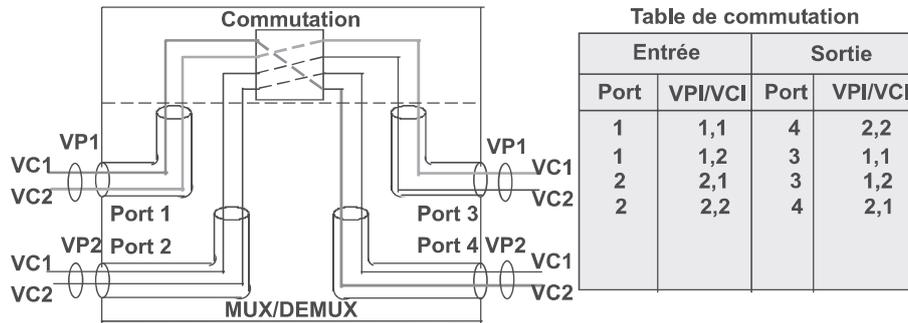


Figure 14.54 La commutation ATM.

(CoS, *Class of Service*) pour garantir à l'utilisateur un service de transport en relation avec ses besoins.

Le contrôle d'admission n'est efficace que s'il existe un mécanisme permanent de surveillance qui s'assure que la source respecte les paramètres de trafic définis par le contrat de service. Cette surveillance est réalisée par une fonction spécifique : l'UPC (*Usage Parameter Control*). L'UPC peut retarder une cellule, marquer une cellule (bit CLP à 1, *Cell Loss Priority*), détruire une cellule et même demander la fermeture d'une connexion.

La couche AAL

► Applications et couche AAL

La technologie ATM est transparente aux données transportées (transparence sémantique). De ce fait, il est nécessaire de réaliser, pour chaque type d'application, une adaptation spécifique afin d'affiner la qualité de service offerte aux applications, c'est le rôle de la couche AAL (*ATM Adaptation Layer*). Cinq types d'adaptations spécifiques ont été définis (figure 14.55).

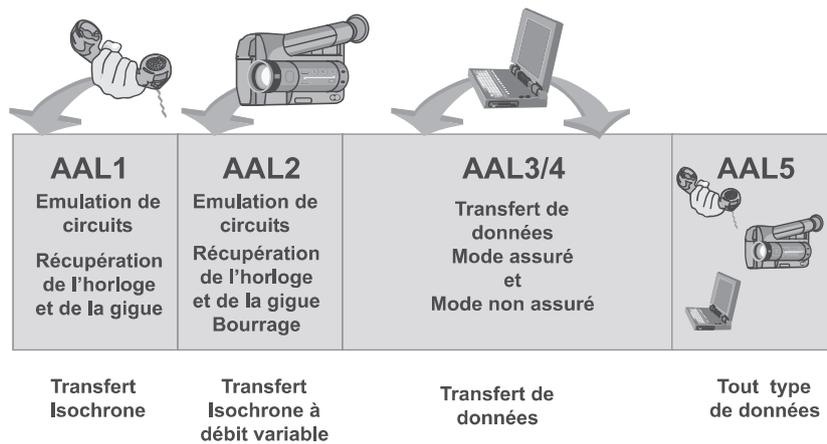


Figure 14.55 Les couches d'adaptation d'ATM.

une seule, et remplacée par l'AAL5 par l'ATM Forum (simplification de l'AAL3/4). Dans le même temps l'ATM Forum redéfinissait les classes de services.

► La couche AAL1

La couche AAL1 permet un transfert isochrone par émulation de circuits, elle offre un service à débit constant (**CBR**, *Constant Bit Rate*). Elle n'assure que des fonctions minimales de segmentation et réassemblage, séquençement des unités de données et récupération de la gigue de cellules et de l'horloge (figure 14.56).



Figure 14.56 Principe de la récupération de gigue.

L'AAL1, conçue essentiellement pour les trafics de type isochrone non compressé, n'offre qu'un service CBR (*Constant Bit Rate*). Elle n'utilise pas les possibilités du multiplexage par étiquette et monopolise inutilement des ressources réseau (émulation de circuits).

► La couche AAL2

La couche AAL2 diffère essentiellement de l'AAL1 par la possibilité de débit variable (**VBR**, *Variable Bit Rate*). L'AAL2, spécifique au transfert isochrone compressé (service VBR), assure la synchronisation des extrémités et offre une référence temporelle. Essentiellement destinée à la vidéo, l'AAL2 semble aujourd'hui abandonnée. En effet, la compression d'images de type MPEG-2 possède sa propre référence temporelle et, dans ces conditions, il semble plus efficace d'utiliser l'AAL5. Cependant AAL2 est utilisée dans les réseaux sans fils de troisième génération (**UMTS**, *Universal Mobile Telecommunications System*).

► La couche AAL3/4

Les couches AAL3 et 4 avaient été étudiées pour les transferts de type données (flux sporadiques). Elles se différenciaient par l'approche mode connecté (AAL3) et non connecté (AAL4). Elles ont été regroupées pour n'en former qu'une seule, l'AAL3/4, aujourd'hui complètement abandonnée au profit de l'AAL5 plus efficace.

► La couche AAL5

Proposée par l'ATM Forum, la couche AAL5 est une simplification de la couche AAL3/4 dont elle adopte la même architecture. Ces objectifs sont similaires mais elle offre un service plus efficace. La structure des données est représentée figure 14.57.

La couche AAL 5 autorise un transfert de données efficace, la SDU (*Service Data Unit*) est alignée sur un multiple de 48 octets (Champ **PAD**). Le champ **UU** (**CPCS UU**, *Service Data Unit Common Part Convergence Sublayer User-to-User Indication*) indique à l'utilisateur le début, la suite et la fin du bloc de données. Le champ **CPI** (*Common Part Indication*) est utilisé pour aligner le suffixe (*Trailer*) sur 8 octets, une utilisation future est en cours de définition. Le champ **LI** (*Length Indicator*) indique la longueur exacte des données utiles, tandis qu'un CRC sur 32 bits sécurise la SDU. Il n'y a pas de délimiteur de début et de fin, seul, le dernier bit du type de protocole (**PTI**, *Payload Type Identifier*) de l'en-tête ATM (bit 2 ou bit *Last Cell*) est à 1 dans le dernier fragment.

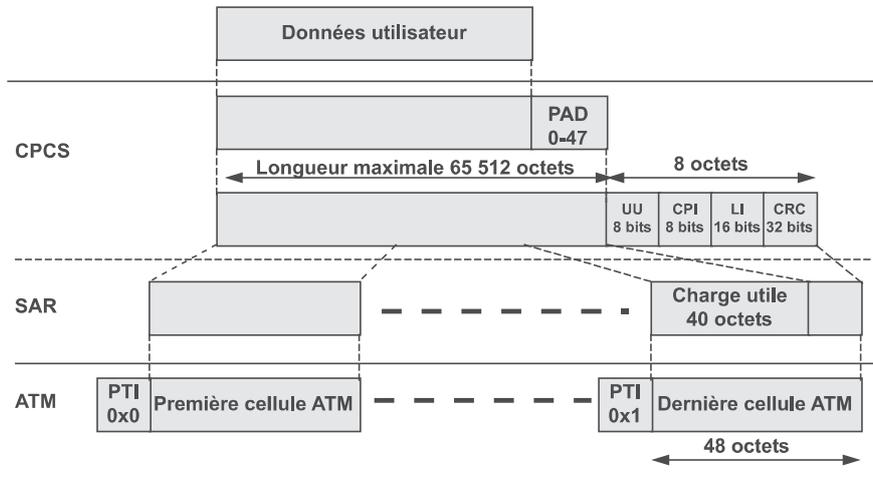


Figure 14.57 La structure de données de la couche AAL5.

L'AAL5, définie par l'ATM Forum pour remplacer l'AAL3/4, semble la seule susceptible de subsister. Cependant, il serait nécessaire d'y apporter quelques modifications, notamment de pouvoir désactiver la détection d'erreur lors de transfert voix ou image peu sensible aux erreurs portant sur quelques bits. Des adaptations spécifiques (propriétaires) lui permettent d'assurer de manière efficace le transfert des flux voix (récupération des silences et de la gigue).

14.3.5 La qualité de service dans l'ATM

Les classes de service de l'ATM Forum

Conçu à l'origine pour traiter des flux de tout type, ATM différencie les traitements d'extrémité (AAL) et offre à chacun une connexion en adéquation avec ses besoins : c'est la notion de **classe de service**. Les classes de service permettent à l'utilisateur de spécifier ses besoins : c'est la notion de **contrat de service**. Si le réseau a la capacité de satisfaire les demandes formulées, il accepte la connexion, sinon il peut proposer des paramètres de repli (figure 14.58).

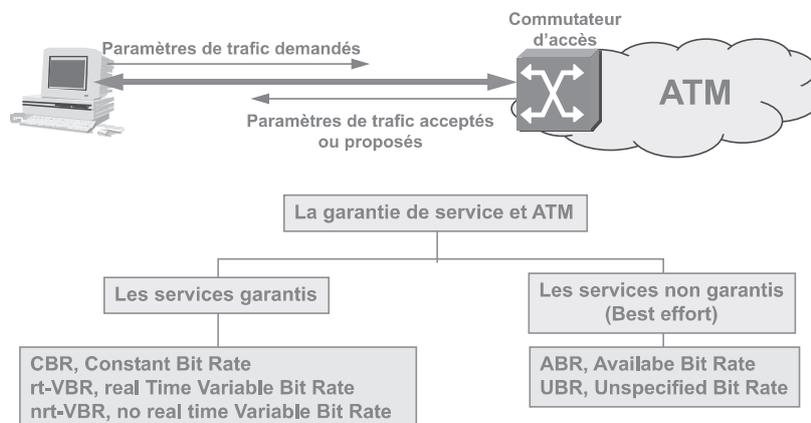


Figure 14.58 Le contrat de service et les classes de service.

La classe de service **CBR** (*Constant Bit Rate* ou **DBR**, *Deterministe Bit Rate*) définit un raccordement à débit constant qui correspond à une émulation de circuit. Elle est destinée aux applications de type voix ou vidéo non compressée. Le débit doit être garanti de bout en bout.

La classe **VBR** (*Variable Bit Rate* ou **SBR**, *Statistical Bit Rate*) s'applique aux trafics sporadiques, la connexion définit un débit minimal et un débit maximal. Pour les applications temps réel (*VBR-rt*, *VBR real time*) les variations maximales tolérées du délai de transfert (gigue) sont indiquées lors de la connexion. La classe VBR-rt correspond aux applications de type voix ou vidéo compressées. La classe VBR-nrt (*VBR no real time*) est généralement requise pour les applications de type transactionnel.

Les classes CBR et VBR garantissent aux applications une certaine qualité de service, le réseau doit s'adapter aux besoins de celles-ci. Cependant certaines applications, notamment celles de type données, sont moins exigeantes en terme de débit. Afin de mieux utiliser les capacités du réseau, il est alors préférable que ce soit les applications qui s'adaptent aux capacités de transfert de ce dernier et non l'inverse. La classe de service **ABR** (*Available Bit Rate*) ne spécifie, à la connexion, qu'un débit minimal et maximal, il n'y a aucun débit moyen garanti, les applications utilisent le débit disponible sur le réseau (entre les deux bornes prédéfinies). La classe ABR est adaptée à l'interconnexion de réseaux locaux.

De même, une classe de service de type datagramme ou *best effort* a été définie : l'**UBR** (*Unspecified Bit Rate*). L'UBR ne fournit aucune garantie de débit, ni de remise des cellules. Si l'état du réseau le permet, toutes les cellules soumises sont transmises, en cas de congestion elles sont éliminées sans qu'aucun mécanisme d'avertissement de la source, ni de demande de ralentissement de débit ne soit mis en œuvre. La classe UBR convient aux applications de type messagerie et sauvegarde à distance (*Remote backup*).

La figure 14.59 illustre comment la bande passante d'un conduit peut être partagée entre les différentes classes de service.

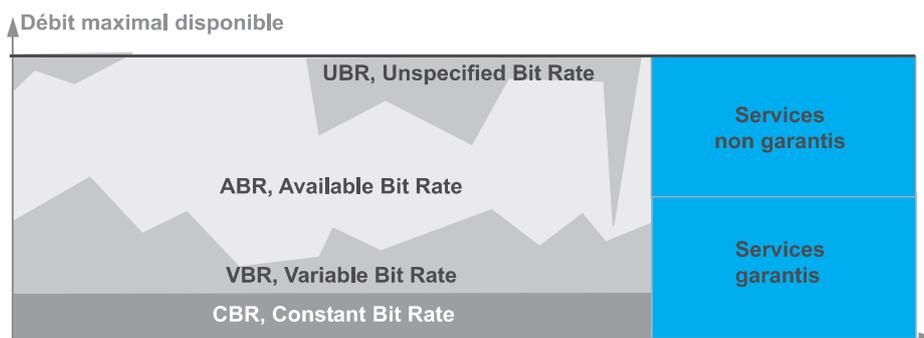


Figure 14.59 Le partage de la bande passante selon la classe de service.

Le contrat de service

Le contrat de service (*Connection Traffic Descriptor*) définit en termes de qualité de service (QoS) et de paramètres de trafic les caractéristiques de la connexion demandée. Trois variables définissent la qualité de service. Ce sont :

- **CTD** (*Cell Transfert Delay*) qui exprime le temps maximal garanti au transfert de bout en bout d'une cellule par le réseau.

- **CDV** (*Cell Delay Variation*) qui fixe la borne maximale des variations de temps de transfert des cellules (gigue), ce paramètre n'est précisé que pour les transferts de flux isochrone.
- **CLR** (*Cell Loss Ratio*) qui définit un taux de perte maximal des cellules transmises (CLR = nombre de cellules perdues/nombre de cellules transmises).

Les paramètres de trafic sont :

- **PCR** (*Peak Cell Rate*) qui correspond au débit maximal qui sera soumis par la source et accepté par le réseau (débit de crête).
- **SCR** (*Sustainable Cell Rate*) qui précise le débit moyen envisagé soumis au réseau par cette connexion.
- **MBS** (*Maximum Burst Size*) qui définit la taille maximale des rafales admissibles par le réseau.
- **MCR** (*Minimum Cell Rate*) qui spécifie le débit minimum garanti par le réseau.

La figure 14.60 indique, en fonction de la classe de service invoquée, les paramètres valides.

Paramètres		Classes de service				
		CBR	VBR-rt	VBR-nrt	ABR	UBR
Paramètres de QoS						
CTD	<i>Cell Transfert Delay</i>	•	•	•		
CDV	<i>Cell Delay Variation</i>	•	•			
CLR	<i>Cell Loss Ratio</i>	•	•	•	•	
Paramètres de trafic						
PCR	<i>Peak Cell Rate</i>	•	•	•	•	
SCR	<i>Sustainable Cell Rate</i>		•	•		
MBS	<i>Maximum Burst Size</i>		•	•		
MCR	<i>Minimum Cell Rate</i>				•	

Figure 14.60 La relation entre les paramètres du contrat de service et la classe de service.

14.3.6 Le contrôle de flux et de congestion

Les mécanismes

Un réseau ATM est un réseau de files d'attente et comme tel, sensible à la congestion. Les mécanismes mis en œuvre pour la prévenir et y remédier sont similaires à ceux utilisés dans le Frame Relay :

- élection de cellules à détruire en priorité en cas de congestion (bit **CLP**, *Cell Los Priority*). Le bit CLP peut être positionné à 1 par la source ou par tout commutateur si le flux, sur le circuit virtuel, dépasse le débit autorisé. CLP à 1 indique les cellules à écarter en priorité ; à 0, il identifie les cellules de priorité haute ;
- contrôle d'admission d'une nouvelle connexion dans le réseau (**CAC**, *Connection Admission Call*). Il consiste à n'accepter une nouvelle connexion que si celle-ci peut être satisfaite en terme de qualité de service requise sans préjudice de la qualité de service garantie aux connexions déjà actives ;

- contrôle du débit de la source (**UPC**, *User Parameter Control*). Il consiste à surveiller en permanence le débit de la source par rapport à un contrat de service défini à la connexion (**SVC**) ou à l'abonnement (**PVC**).

Le contrôle du débit de la source (**UPC**) définit trois niveaux :

- le trafic est conforme au contrat de service, les cellules sont transmises ;
- le trafic est supérieur au contrat de trafic, les cellules sont marquées. Le bit **CLP** est positionné par le commutateur (*Cell tagging*). Les cellules marquées (**CLP = 1**) seront détruites si le flux traverse un commutateur en état de congestion ;
- le trafic est supérieur au contrat de service et le réseau est en état de congestion, les cellules sont alors éliminées (*Cell discarding*).

Le contrôle de congestion explicite

À l'instar du Frame Relay, l'ATM met en place un système d'information de l'état de congestion (**EFCN**, *Explicit Forward Congestion Notification*). Le mécanisme est similaire, lorsqu'un commutateur est en état de congestion (seuil de remplissage des *buffers*), il positionne le bit **EFCI** (*Explicit Forward Congestion Indication*) du champ **PTI** (*Payload Type Identification*). Le destinataire du flux est alors informé que les cellules ont traversé un commutateur en état de congestion (figure 14.61).

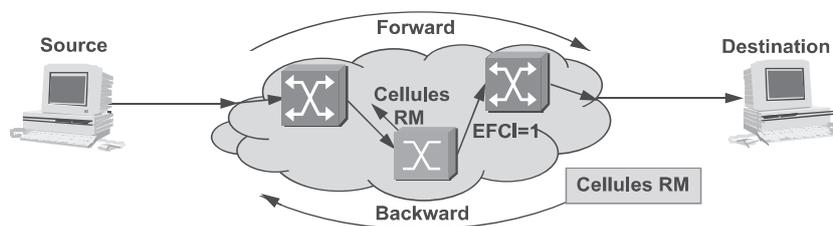


Figure 14.61 Le mécanisme de signalisation de la congestion.

Le destinataire envoie alors à la source des cellules spécifiques pour l'informer de cet état et lui demander de réduire son débit (cellules **RM**, *Ressource Management*), cette méthode est dite : **BECN** (*Backward Explicit Congestion Notification*). Les commutateurs en état de congestion peuvent de même, insérer des cellules RM dans les flux en direction de leurs usagers pour leur demander de réduire leur débit (cellules RM dites **RR**, *Relative Rate*) ou les informer explicitement du débit disponible (cellule RM dites **ECR**, *Explicit Cell Rate*).

14.3.7 La signalisation et le routage

Généralités

La signalisation concerne l'ensemble des procédures destinées à l'établissement dynamique, au maintien et à la fermeture d'une connexion virtuelle commutée. Compte tenu des éléments à prendre en compte, notamment la qualité de service (QoS), la signalisation ATM est relativement complexe. De type **CCS** (*Common Channel Signaling*) ou signalisation par canal sémaphore, elle diffère selon que l'on se situe à l'interface usager d'un réseau public ou privé, à l'interface entre deux réseaux privés ou publics (figure 14.62).

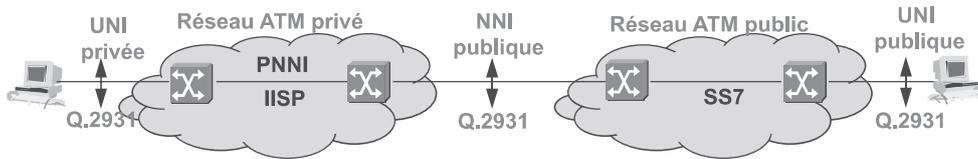


Figure 14.62 La signalisation dans ATM.

L'établissement du circuit virtuel

En mode commuté, l'établissement d'un SVC est préalable à tout envoi de données. Le message de signalisation *Setup* est émis par l'appelant, il comporte tous les éléments nécessaires à l'établissement d'un SVC (bidirectionnel). Compte tenu de sa taille, ce message est composé de plusieurs cellules ATM émises sur le VPI/VCI réservé : 0/5.

Le message *Setup* est acheminé par le réseau qui détermine le meilleur chemin en fonction de la QoS requise. Le message *Call Proceeding* indique à l'émetteur que sa demande a bien été prise en compte, qu'elle est acceptée par le commutateur d'accès et que celui-ci transmet sa requête. Si la connexion est acceptée de bout en bout, le message est acquitté par le message *Connect* qui fixe le couple VPI/VCI à utiliser. La figure 14.63 présente le diagramme d'échange de messages lors de l'établissement et de la rupture d'un SVC. Le message *Setup* contient toutes les informations nécessaires à l'établissement du SVC :

- L'adresse source et destination.
- La bande passante demandée (**UCR**, *User Cell Rate*).
- La QoS par indication de la classe de service (CBR, VBR, ABR, UBR).
- Le type d'AAL requis.

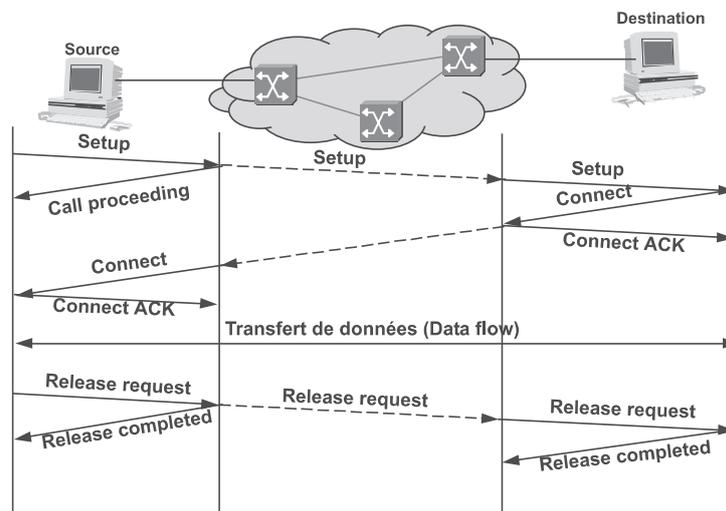


Figure 14.63 Le diagramme des messages d'établissement.

Le routage PNNI

PNNI (*Private Network to Network Interface*) est un protocole de routage du type état des liens (*Link status*). Pour établir un SVC répondant à la QoS exigée, chaque commutateur doit avoir

connaissance de la topologie du réseau et des caractéristiques de trafic disponibles sur les différents commutateurs du réseau :

- Débit disponible (*Available Cell Rate*).
- Délai de transfert (*Maximum Cell Transfer Delay*).
- Variation du délai de transfert ou gigue (*Cell Delay Variation*).
- Taux de perte de cellules (*Cell Loss Ratio*).
- Débit maximal admissible (*Maximum Cell Rate*).

Pour éviter un échange d'information prohibitif, PNNI segmente le réseau en groupes de commutateurs hiérarchisés (*Peer group*). Un *peer group* est constitué d'un ensemble de nœuds logiques (les nœuds physiques sont les nœuds réels au plus bas de la hiérarchie). Dans chaque groupe, un commutateur maître est désigné. Chaque commutateur informe le maître de son état et récupère auprès de celui-ci les informations sur l'état des autres membres du groupe, de ce fait tous les membres du groupe ont une vision identique du groupe. Chaque commutateur maître du niveau N appartient au *peer group* du niveau $N+1$, cette double appartenance permet au maître de renseigner ses homologues de la topologie du groupe subordonné. De même, chaque commutateur du niveau N est informé de la topologie des autres groupes par son maître. Chaque commutateur dispose alors d'une cartographie simplifiée du réseau à partir de laquelle il va effectuer un routage à « tâtons ». La figure 14.64 schématise cette architecture.

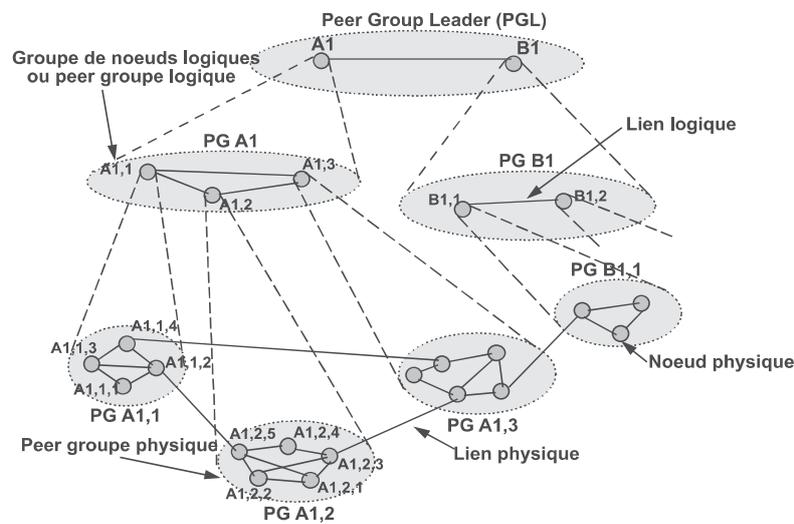


Figure 14.64 L'architecture logique du réseau selon PNNI.

En fonction de la qualité de service requise par la demande d'établissement, le commutateur d'accès effectue un contrôle d'admission (**CAC**, *Connection and Admission Control*). Si le commutateur d'entrée peut accepter la connexion, à partir de sa connaissance de l'état du réseau, il établit une liste spécifique de routage (**DTL**, *Designated Transit List*) contenant les commutateurs répondant aux exigences de la demande. Le commutateur transmet alors la demande au commutateur suivant en y annexant la liste de routage (routage similaire à un routage par la source).

Chaque commutateur de la liste effectue un contrôle d'admission, s'il accepte la demande il la transmet au suivant dans la liste de routage. S'il ne peut accepter celle-ci (son état est différent de

l'état connu par le commutateur source), il réachemine la demande vers le commutateur précédent qui recalcule une route (*Crank back fonction*).

L'adressage dans les réseaux ATM

La fonction essentielle d'un processus de routage est de mettre en relation deux entités adressées, ce qui nécessite, en principe qu'elles appartiennent au même espace d'adressage. Ce n'est pas toujours le cas pour les réseaux ATM. L'adressage dans les réseaux publics utilise le format E.164 de l'UIT (15 chiffres), tandis que l'adressage dans les réseaux privés supporte deux types d'adressage différents : les adresses NSAP (ISO) et une extension de l'adressage E.164.

Les adresses privées ATM, définies par l'ATM Forum, comportent deux parties, l'une identifie le réseau de raccordement (*Network prefix* ou préfixe réseau) c'est-à-dire l'adresse WAN, l'autre à la disposition de l'utilisateur identifie le système d'extrémité (**ESI**, *End System Identifier*) et l'application utilisateur (**SEL**, *SElector field*).

La figure 14.65 représente le format général des adresses privées utilisées dans ATM. Le champ **AFI** (*Authority Format Identifier*), sur un octet, indique l'autorité de gestion et le format utilisé pour représenter l'adresse.

AFI 1 octet	IDI 2 octets	DSP 17 octets		
39	DCC	Adresse réseau		ESI SEL
47	IDC	Adresse réseau		ESI SEL
45	Adresse E164 codé NSAP 8 octets		Sous-adresse 4 octets	ESI SEL 6 octets 1 octet

Figure 14.65 La structure des adresses privées ATM.

Les adresses **DCC** (*Data Country Code*) et **IDC** (*International Designator Code*) sont réservées à l'adressage des réseaux ATM des opérateurs privés, tandis que les adresses au format E.164 peuvent être vues, chez la personne privée, comme une extension de l'adressage du réseau public (sous-adresse privée).

Le champ **IDI** (*Initial Domain Identification*), sur deux octets, spécifie le domaine d'adressage. Enfin, le champ **DSP** (*Domain Specific Part*) correspond à l'adresse effective du terminal.

14.3.8 L'administration des réseaux ATM

L'ATM Forum n'a pas retenu, pour l'administration des réseaux ATM, les principes énoncés par l'ISO. Il a défini un protocole **ILMI** (*Interim Local Management Interface*) s'appuyant sur le protocole **SNMP** (*Simple Network Management Protocol*).

Le protocole **ILMI** (*Interim Local Management Interface*), introduit par la RFC 1695, fournit les informations de statut, de configuration et de diagnostic du système, il est aussi utilisé pour l'enregistrement d'adresse (extension du protocole).

Basé sur les agents SNMP et l'AAL5, ILMI utilise les commandes SNMP sur un VCC (*Virtual Circuit Connection*) réservé (VPI/VCI : 0/16). La figure 14.66 illustre l'architecture du système d'administration.

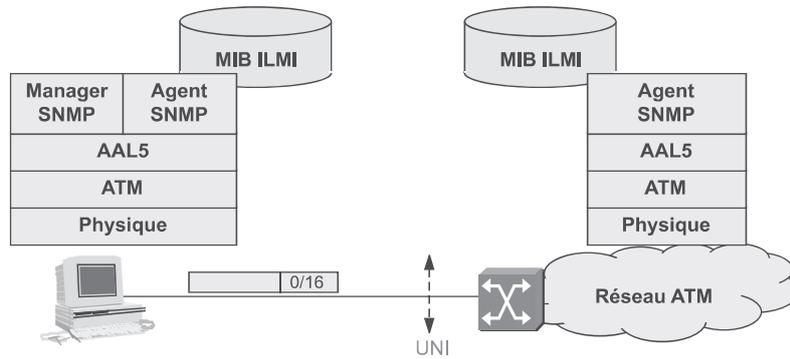


Figure 14.66 L'administration des réseaux ATM.

Une extension de la MIB⁷ (*Management Information Base*) ILMI, la MIB ATM autorise l'accès aux informations des commutateurs ATM.

14.4 CONCLUSION

Autorisant un partage optimal de la bande passante, l'ATM est le protocole de cœur de réseau utilisé par la majorité des opérateurs actuels, le Frame Relay est aujourd'hui cantonné aux réseaux privés et à l'accès aux réseaux ATM alors qu'X.25, pour des raisons de compatibilité avec les existants ne subsiste plus que dans quelques réseaux privés et les liaisons d'accès à certains réseaux publics.

Cependant l'évolution des besoins s'oriente plus vers le respect par le réseau des exigences en termes de qualité de service plus qu'en débit absolu. Cette exigence impose l'intégration de mécanismes de qualité de service (QoS) dans les composants du réseau et des mécanismes spécifiques dans les applications pour les invoquer. La qualité de service est prise en compte dans ATM par la notion de classe de service, dans IP avec l'intégration de DiffServ et dans les réseaux locaux par l'approche 802.1p. La pluralité de normes et de protocoles d'origines différentes engendre de véritables difficultés pour obtenir la qualité de service de bout en bout (figure 14.67).

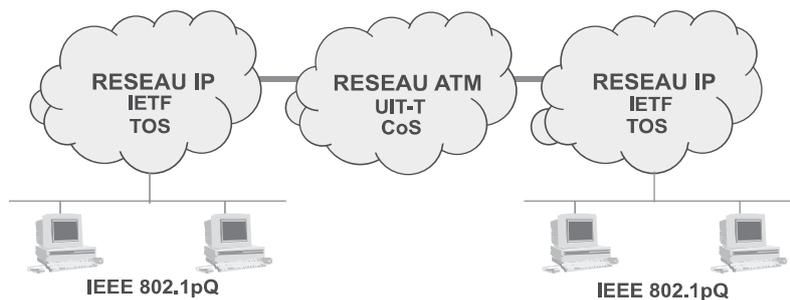


Figure 14.67 La problématique de la QoS de bout en bout.

Le quasi monopole des applications IP engendre un besoin de réseau tout IP. C'est l'un des objectifs de MPLS (*MultiProtocol Label Switching*) que d'offrir aux applications IP un service de type IP de bout en bout sur les infrastructures réseaux existantes.

7. Une MIB est un ensemble d'informations d'administration réseau.