

10

Bâtir un réseau de transport

Le réseau WAN qui interconnecte les réseaux LAN utilise les services d'un **réseau de transport**. Celui-ci véhicule également de la voix, de la vidéo, etc.

Le réseau de transport correspond aux couches physiques (niveau 1) et logiques (niveau 2). Sur le LAN nous avons Ethernet, sur le WAN nous allons avoir ATM et Frame Relay.

Ces technologies répondent à des contraintes plus larges que celles d'une interconnexion de LAN. Notre réseau intersite n'est donc qu'un utilisateur parmi d'autres, tels qu'un réseau de PABX pour la téléphonie ou des connexions entre salles de visioconférence.

Dans ce chapitre, vous apprendrez ainsi :

- à interconnecter des réseaux locaux *via* Frame Relay et ATM ;
- à configurer les circuits virtuels ;
- à gérer la qualité de service ;
- à connaître la signalisation et l'adressage.

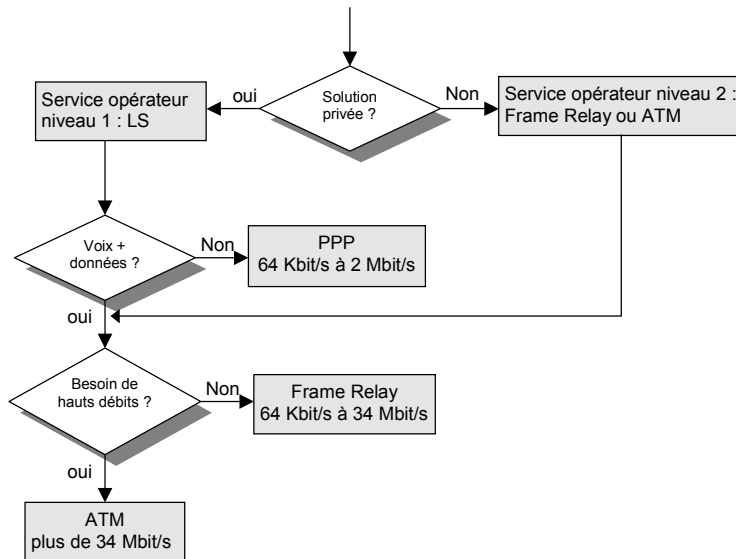
LS, Frame Relay ou ATM ?

En tant qu'utilisateur, seul le service compte, quelle que soit la technologie employée. Le choix de l'une des trois solutions qui s'offrent à nous se fera en fonction de nos besoins, de l'offre du marché et du coût, que ce soit dans le cadre d'une solution privée ou opérateur.

Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, il est possible de choisir entre différentes technologies et différents niveaux de service.

Pour une interconnexion de réseaux locaux, la LS est la solution idéale. À partir d'un certain nombre de sites (une dizaine, voire moins à l'international), la solution opérateur reposant sur un réseau Frame Relay ou ATM devient plus rentable.

La technologie Frame Relay est actuellement la plus répandue, mais les opérateurs investissent dans ATM. En 1997, leurs réseaux reposaient pour 30 % sur une infrastructure Frame Relay et pour 45 % sur ATM. En 1998, la proportion était de 22 % pour Frame Relay et 61 % pour ATM.



Pour l'utilisateur, un accès Frame Relay revient cependant moins cher. Les opérateurs réservent donc ATM pour des accès à haut débit (34 Mbit/s et plus), et limitent les accès Frame-Relay à 34 Mbit/s (plus rarement à 45 Mbit/s).

Techniquement, ATM a tout pour s'imposer, mais l'histoire de l'informatique nous a montré que cela n'est pas un gage de pérennité. Rappelons-le, les protocoles qui se sont imposés sont les plus simples, les moins chers et surtout les mieux adaptés aux besoins des utilisateurs.

Par exemple, les principaux inconvénients d'ATM sont :

- un *overhead* très important (plus de 10 %) ;
- un manque de maturité dans la normalisation et les offres.

En revanche, le point fort d'ATM réside dans sa capacité multiservice : il permet de créer des réseaux locaux et étendus (LAN et WAN) et transporte les flux multimédias. Malheureusement, c'est justement sur ces points qu'ATM manque de maturité : les normes ne sont pas stabilisées, ou non satisfaisantes, et aucune offre ne permet de transporter simultanément les flux voix, données et vidéo.

En réalité, ATM est actuellement utilisé en tant que :

- réseau fédérateur WAN pour les réseaux fédérateurs (backbone) des opérateurs ;
- réseau fédérateur LAN par les entreprises, en association avec les réseaux virtuels LANE (*LAN Emulation*).

Mais, même sur ces créneaux, il est concurrencé par le Gigabit Ethernet.

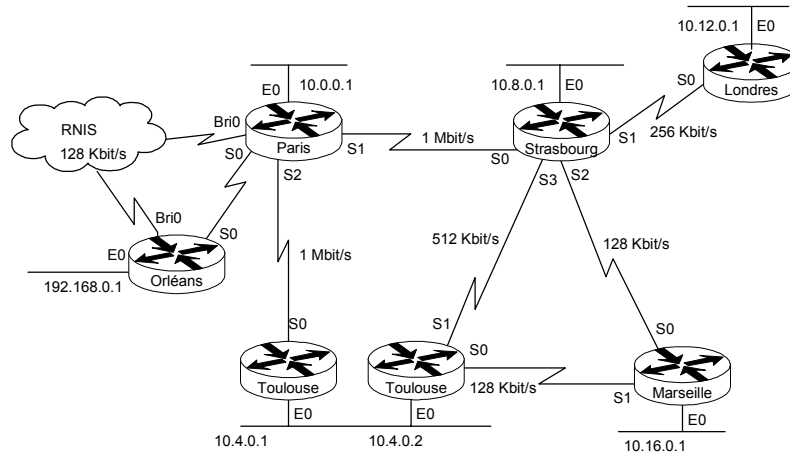
Critère	Frame Relay	ATM
Débit	De 64 Kbit/s à 45 Mbit/s	À partir de 34 Mbit/s
Qualité de service	Gestion des congestions, débit garanti	Gestion des congestions, débit garanti, trafic synchrone, priorités
Réseau	WAN	LAN et WAN
Application	Voix et données (vidéo via IP)	Voix, données et vidéo
DSU	FRAD	DXI ou ATM
Overhead pour un MTU de 1 500 octets	0,5 %	10,4 % au minimum
Adressage	Local (DLCI)	Local (VPI/VCi)
Normes	ITU Q.922 / Q.933	ITU I.361 à I.363 / Q.931 et ATM Forum
Transport d'IP	RFC 2427 (NLPID/SNAP)	RFC 1483 (LLC/SNAP) RFC 2225 (Classical IP)

À côté de ces deux protocoles, nous retrouvons nos LS (lignes spécialisées) qui sont dans tous les cas la base d'un réseau de transport Frame Relay ou ATM. Nous pouvons même décider de bâtir notre réseau uniquement sur des LS, comme nous l'avons fait pour notre première interconnexion.

Mettre en place un réseau de LS

La mise en place d'un réseau de LS implique de commander nous même les liaisons auprès des opérateurs locaux. En France, on peut s'adresser à France Télécom et, bientôt, à d'autres pour toutes nos LS. Il suffit d'indiquer à l'opérateur le débit souhaité, les adresses des sites à connecter et, si cela est proposé, le type d'interface désirée : V.35 ou X21/V11 la plupart du temps.

Figure 10-1.
Réseau intersite
reposant sur des LS.



Pour la liaison internationale Strasbourg-Londres, le problème se complique puisque vous avez affaire à deux opérateurs, BT et France Télécom, par exemple. La liaison est administrativement découpée en **demi-circuits**, chacun étant géré par l'opérateur situé aux tenants et aboutissants de la LS.

Votre correspondant à Londres doit donc s'adresser à BT pour la fourniture du demi-circuit anglais, et vous devez faire de même auprès de France Télécom pour le demi-circuit français. Dans le cas où la LS traverse plusieurs autres pays, aucune autre démarche n'est à effectuer.

Les opérateurs ont passé des accords de coopération multilatéraux et ont mis en place des structures de coordination pour que les demi-circuits soient regroupés en une seule liaison internationale. Cette procédure est transparente pour vous. Néanmoins, le délai de mise en service est généralement de dix semaines, voire plus dans certains pays.

La mise en service de la LS se concrétise par l'installation d'un modem numérique CSU (*Channel Service Unit*) dans vos locaux et par un test BERT (*Bit Error Tests*). Ce dernier consiste à envoyer un train continu de bits pendant une durée minimale de 24 heures, et à mesurer le taux d'erreur qui ne doit pas dépasser 10^{-6} à 10^{-10} (une erreur tous les dix milliards de bits).

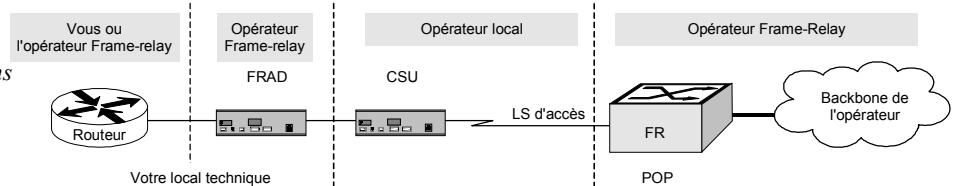
Généralement, l'opérateur vous accorde un délai de quelques jours avant de déclarer la liaison opérationnelle et de débiter la facturation. Cela vous permet de tester la liaison avec vos routeurs.

Mettre en place un réseau Frame Relay

Faire appel à un opérateur permet de ne s'adresser qu'à un seul interlocuteur, quels que soient les pays concernés. Même en retenant un opérateur étranger pour vos sites français, celui-ci se chargera de commander les liaisons d'accès (en fait, des LS aux technologies E1 ou xDSL) auprès de l'opérateur local. Il suffit de lui indiquer les adresses de vos sites pour qu'il commande les LS entre vos sites et ses POP les plus proches.

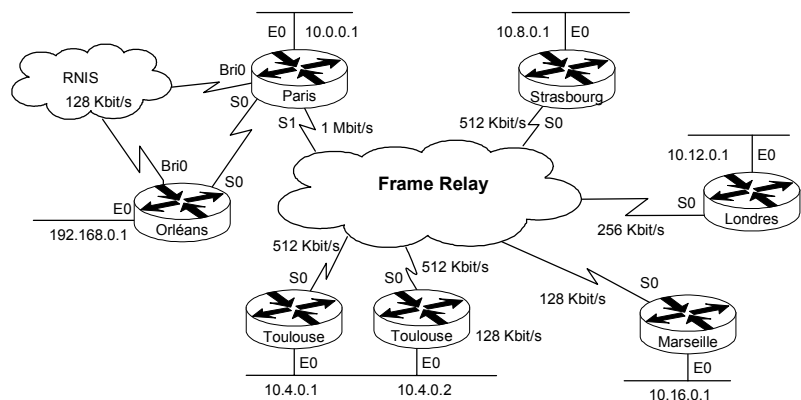
Comme pour la LS, l'opérateur local installe son modem numérique (le CSU) dans vos locaux. L'opérateur retenu pour le réseau Frame-Relay installe ensuite un commutateur appelé **FRAD** (*Frame-Relay Access Device*) qu'il va connecter au modem. L'interface série du routeur sera ensuite connectée à un des ports du FRAD.

Figure 10-2.
*Responsabilités
des configurations
de l'accès
Frame Relay.*



Le FRAD est un équipement de conversion entre des protocoles d'entrée (interfaces E1, X.21/V11, voix, données, etc.) et le protocole Frame Relay. Cet équipement prend les paquets IP issus d'un routeur, ou les canaux voix issus d'un PABX, et les encapsule dans les trames Frame Relay. Le FRAD est relié via la liaison d'accès au commutateur Frame Relay situé dans le POP de l'opérateur. Plusieurs flux sont ainsi multiplexés sur une même liaison.

Figure 10-3.
*Réseau intersite
reposant
sur un réseau opérateur
Frame Relay.*



Les avantages sur la première solution sont immédiatement perceptibles :

- Il n'y a plus qu'une seule LS par site. Nous avons besoin de moins d'interfaces série, ce qui diminue d'autant le coût de nos routeurs.
- Les LS sont locales entre nos sites et les POP de l'opérateur, ce qui diminue également leur coût.

Critère	Solution opérateur	Solution privée
Caractéristiques de l'offre	Un réseau fédérateur et des liaisons locales.	Des liaisons longue distance entre les sites.
Déménagement d'un site	Facile : une liaison locale à changer. Coûts réduits.	Difficile : plusieurs liaisons longue distance à changer. Coûts élevés dus aux changements et à la période de recouvrement.
Modification des débits	Très souple : débit des liaisons locales et/ou des CIR.	Assez difficile (surtout à l'international) : changement du débit des liaisons longue distance.
Redondance de site (second site en secours du premier)	Possible : une liaison locale sur le site principal et une sur le site de secours.	Impossible, sauf à doubler les liaisons longue distance (très cher).
Exploitation du réseau	Prise en charge par l'opérateur.	Prise en charge par le client <i>via</i> des contrats de maintenance.

Nous avons conservé notre LS entre Paris et Orléans, car le réseau opérateur était plus cher dans ce cas précis. Cela permet de montrer l'usage de trois réseaux d'opérateurs : liaison spécialisée, RNIS et Frame-Relay. Par ailleurs, deux liaisons d'accès ont été conservées à Toulouse car le site est stratégique.

Qualité de service et facturation

Un opérateur s'engage toujours sur une qualité de service et base son offre commerciale sur les mécanismes offerts par les protocoles qu'il utilise.

Par exemple, Frame Relay permet de **gérer la congestion** du réseau, de diminuer le débit des LS et donc les coûts. Comment ? La réponse est intimement liée au fonctionnement du protocole Frame Relay.

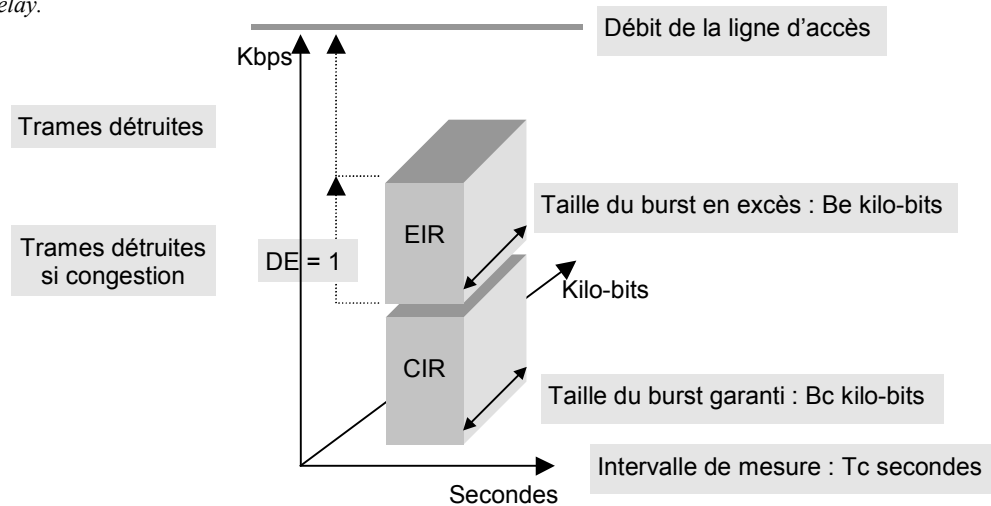
Débit garanti

Tout d'abord, le réseau garantit à l'utilisateur un volume de B_c (*committed burst size*) kilobits pendant une période de T_c (*committed rate measurement interval*) secondes, définissant ainsi un débit garanti **CIR** (*Committed Information Rate*) : $CIR = B_c / T_c$. Lorsque le commutateur voit passer plus de B_c kilobits pendant T_c secondes (c'est-à-dire lorsque le débit dépasse le CIR), le bit **DE** (*Discard Eligibility*) des trames en dépassement est positionné à "1". Cela signifie que ces trames seront détruites en priorité en cas de congestion du réseau.

Ensuite, le réseau autorise à l'utilisateur un volume supplémentaire de B_e (*excess burst size*) kilobits pendant une période de T_c secondes, définissant ainsi un débit en excédent **EIR** (*Excess Information Rate*) : $EIR = B_e / T_c$. Lorsque le commutateur voit passer plus de $B_c + B_e$ kilobits pendant T_c secondes (lorsque le débit dépasse l'EIR), toutes les trames en excès sont détruites.

Généralement, la période de mesure T_c est fixée à une seconde, et l'**AIR** (*Allowed Information Rate* = CIR + EIR) ne dépasse pas le débit de la liaison d'accès.

Figure 10-4.
Qualité de service
Frame Relay.



Le débit des liaisons internes au réseau peut être inférieur à la somme des AIR des clients. L'opérateur se fonde sur des calculs de probabilité qui montrent que tous les clients n'utiliseront pas leur AIR en même temps (*surbooking*), et compte sur les mécanismes de contrôle de congestion offerts par le protocole pour résoudre les problèmes. Cela permet à l'opérateur de ne facturer que le CIR (le débit garanti), l'EIR étant gratuit ou presque.

Dès lors, tout le monde "joue" sur les CIR : le client pour payer le moins cher possible, et l'opérateur pour dépenser le moins possible.

Le débit de la liaison d'accès peut ainsi être de 512 Kbit/s, et celui du CIR de 64 Kbit/s ; cela permet d'obtenir un débit maximal de 512 Kbit/s tout en ne payant que pour 64 Kbit/s. Inversement, pour un site central, la somme des CIR peut être égale à 200 % du débit de la liaison d'accès (on espère alors que toutes les applications n'utiliseront pas le réseau en même temps).

Cependant, le débit offert au-delà du CIR n'étant pas garanti, les temps de réponse risquent d'être mauvais et erratiques. Il est donc conseillé de dimensionner suffisamment les CIR afin d'obtenir une bonne qualité de service, notamment pour les applications que vous considérez comme étant critiques et surtout pour les flux voix.

Connecter un routeur au réseau de transport

La norme Frame Relay définit uniquement une **interface d'accès** pour l'utilisateur. Bien qu'il soit possible de réaliser un réseau 100 % Frame-Relay, le réseau interne de l'opérateur repose souvent sur un protocole propriétaire ou ATM. Pour le client, cela n'a pas d'importance : il faut simplement que l'interface soit de type Frame Relay.

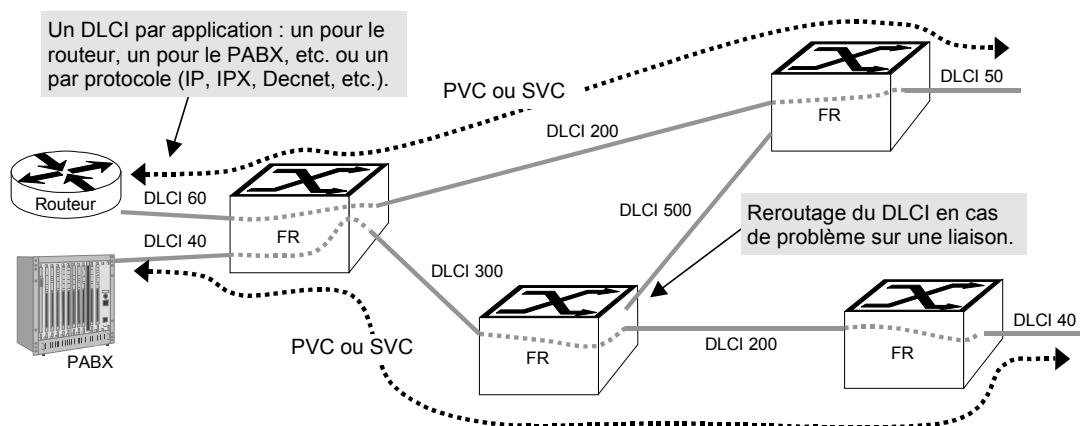
Chaque trame est identifiée par un **DLCI** (*Data Link Connection Identifier*), une adresse locale partagée par deux commutateurs. Il n'y a pas d'adressage de bout en bout, mais uniquement un adressage point à point entre deux commutateurs. Un commutateur recevant une trame avec un DLCI donné la routera sur un autre port et l'enverra avec un autre DLCI, et ainsi de suite.

La connexion entre deux commutateurs s'effectue par l'ouverture de circuits virtuels permanents (**PVC**, *Permanent Virtual Circuit*) ou commutés (**SVC**, *Switched Virtual Circuit*), c'est-à-dire ouverts à la demande *via* un protocole de signalisation (qui utilise quelques Kbit/s dans le DLCI 0).

L'intérêt des SVC est que la qualité de service (CIR et EIR) peut être spécifiée à la demande permettant ainsi de réduire (encore) les coûts. Sur un PVC, le CIR est fixé une fois pour toutes et engendre un coût fixe. De plus, la signalisation Q.933 utilisée pour établir les SVC permet de demander un délai de transit maximal, alors que cette fonction n'est pas prévue pour les PVC.

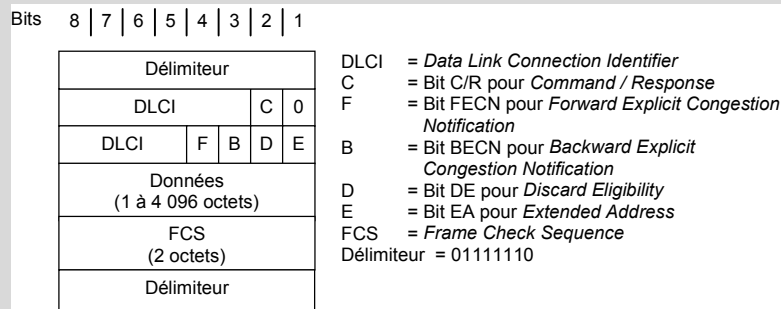
Figure 10-5.

*Circuits virtuels et DLCI
Frame Relay.*



LE POINT SUR FRAME RELAY (ITU Q.922 ANNEXE A, ANSI T1.618, FRF 1.1)

Le Frame Relay (relais de trames) est un protocole de niveau 2 multipoint qui définit uniquement l'interface d'accès au réseau (**UNI**, *User Network Interface*). Les nœuds intermédiaires relaient les trames sans réaliser le moindre contrôle de flux ni aucune reprise sur erreur : les trames peuvent ainsi être transportées par n'importe quel protocole. Seuls les nœuds d'extrémité sont tenus de respecter la norme Q.922, appelée "*Frame Relaying Bearer Service*".



Le champ FCS est un code de contrôle d'erreur de type CRC (*Cyclic Redundancy Code*). Si une erreur est détectée, la trame est détruite. Les pertes de données et les reprises sur erreur sont laissées à l'initiative des couches supérieures (TCP dans les cas Internet/intranet). Le bit EA permet d'étendre les 10 bits du DLCI à 16 ou 23 bits.

Lorsque le débit des trames atteint le **CIR** (*Committed Information Rate*), le commutateur positionne le bit **DE** à "1". Si, dans le réseau une **congestion** est décelée, les trames marquées DE seront détruites en priorité. Autrement dit, le débit peut donc dépasser le CIR, mais sans garantie.

Les congestions sont détectées au niveau des files d'attente. Lorsqu'un seuil est dépassé, le commutateur avertit explicitement l'émetteur du flux (en positionnant à "1" le bit **BECN** des trames circulant dans l'autre sens) et le récepteur du flux (en positionnant le bit **FECN** à "1").

La recommandation Q.922 suggère que le commutateur émetteur réduise son flux de 30 % si, pour plus de S % des trames qu'il reçoit, le bit BECN est positionné à "1". La valeur S est calculée dynamiquement en fonction du débit, du délai de transit, des paramètres Bc et Be, etc. Si le bit BECN est toujours positionné à "1" dans les trames qui continuent d'arriver, le flux est réduit de 50 %, puis de 75 % si le problème persiste.

La recommandation Q.922 suggère également que le commutateur récepteur réduise son flux de 25 % si, pour plus de la moitié des trames qu'il reçoit, le bit FECN est positionné à "1". Si la proportion s'inverse, il peut augmenter son flux par paliers de 1/16.

Les équipements terminaux (les routeurs, par exemple) peuvent également interpréter le bit BECN, et réagir de la même façon que les commutateurs. De même, ils peuvent détecter implicitement des problèmes de congestion lorsque des trames sont perdues après qu'un certain nombre d'entre elles aient été reçues avec le bit DE à "1".

Cependant, la norme Q.922 préconise que les commutateurs avertissent les équipements terminaux des congestions via le protocole **CLLM** (*Consolidated Link Layer Management*). Les messages CLLM (envoyés dans le DLCI 1023) contiennent la liste des DLCI pouvant causer des congestions à court, moyen et long termes. Cette signalisation de niveau 3 est plus fiable que l'interprétation des bits BECN et DE, car elle évite l'attente de trames (seuls vecteurs des bits BECN et DE) et évite aux couches supérieures d'avoir affaire à des informations internes au niveau 2.

Un PVC peut être géré comme un SVC au sein du réseau de l'opérateur. Cette facilité lui permet d'offrir le reroutage du PVC en cas de panne. Le client ne voit cependant qu'un PVC, appelé *soft PVC*, *switched PVC* ou encore *shadowed PVC*.

Si le routeur ne supporte pas Frame Relay

La manière la plus simple de raccorder nos routeurs est de les connecter à des FRAD (*Frame Relay Access Device*) de l'opérateur *via* leur interface série.

Une liaison Frame Relay peut être configurée en point à point ou en multipoint. Dans tous les cas, elle permet au routeur de joindre directement n'importe quel autre routeur. Elle doit donc être considérée comme étant un réseau IP, au même titre qu'un segment Ethernet, ce qui implique d'affecter une adresse IP à l'interface série du routeur.

```
interface serial 1
ip address 172.16.0.1 255.255.255.252
encapsulation hdlc
```

QU'EST CE QUE LA SIGNALISATION ?

Dans le jargon de l'ITU, la signalisation est un protocole qui permet de gérer l'état des connexions : ouverture et fermeture, négociation des paramètres, gestion de la qualité de service, etc. Vis-à-vis de l'utilisateur, la signalisation est appelée **UNI** (*User Network Interface*). Entre les équipements réseau, la signalisation est désignée sous le nom générique de **NNI** (*Network to Network Interface*).

Dans le monde TCP/IP, la séparation signalisation/données utilisateur n'est pas si nette : le trafic de service est souvent mêlé au trafic des données. Quelques protocoles utilisent cependant le principe de séparation, tel que FTP : le client et le serveur ouvrent deux ports TCP, le 21 pour envoyer les commandes, le 20 pour transférer les données.

Dans tous les cas, il s'agit d'une séparation logique, car la bande passante est partagée entre les données de service et les données utilisateur. Dans les réseaux des opérateurs, la signalisation peut cependant emprunter un chemin différent de celui des données.

En fait, cette séparation n'a réellement de sens que pour les protocoles de niveau 2 agissant en mode connecté, tels que Frame Relay et ATM. Une signalisation de niveau 3 permet ainsi de gérer les circuits virtuels de bout en bout à l'aide d'un adressage global de niveau 3.

Norme ITU	Description
Q.2931 et suivants	UNI ATM pour les réseaux publics = DSS2 (<i>Digital Subscriber Signalling System No. 2</i>)
Q.2100 et suivants	UNI ATM pour les réseaux privés = SAAL (<i>Signaling ATM Adaptation Layer</i>)
Q.931	UNI RNIS = DSS1 (<i>Digital Subscriber Signalling System No. 1</i>)
Q.933	UNI Frame Relay = DSS1 (<i>Digital Subscriber Signalling System No. 1</i>)

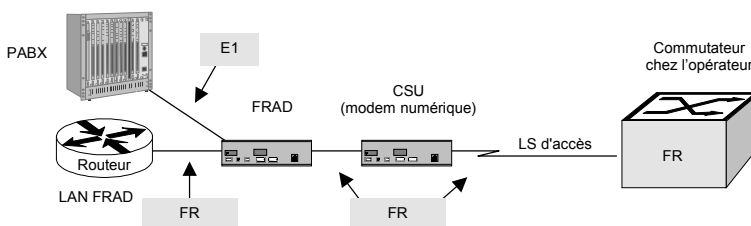
Toutes ces normes reposent sur le même protocole (format des messages, procédures, paramètres généraux). Seuls changent les paramètres propres à chaque réseau.

Si le routeur supporte Frame Relay

La solution la plus souple consiste cependant à configurer le routeur en FRAD : les trames LAN (Ethernet dans notre cas) sont converties en trames Frame Relay.

Dans ce cas, le FRAD de l'opérateur n'est utile que si d'autres équipements sont connectés, comme un PABX.

Figure 10-6.
*Connexion
d'un routeur
à un FRAD.*



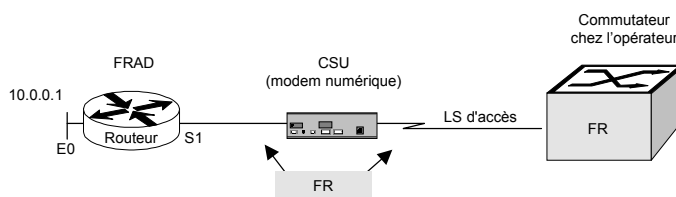
Le FRAD de l'opérateur se comporte comme un commutateur Frame-Relay vis-à-vis du routeur, et comme un FRAD voix (*voice-FRAD*) vis-à-vis du PABX.

Si vous choisissez un service de niveau 3, l'opérateur prend en charge le routeur qui peut alors être intégré au FRAD (ou inversement, le routeur peut supporter des cartes voix, permettant de configurer en *voice-FRAD*). Les constructeurs télécoms proposent des FRAD intégrant cartes voix et cartes routeur, tandis que les constructeurs informatiques proposent des routeurs intégrant des cartes voix.

Si, comme dans notre cas, seuls des réseaux locaux doivent être connectés, le routeur peut directement être raccordé au commutateur situé chez l'opérateur (dans son POP) :

```
interface serial 1
ip address 172.16.0.1 255.255.255.252
encapsulation frame-relay ietf
```

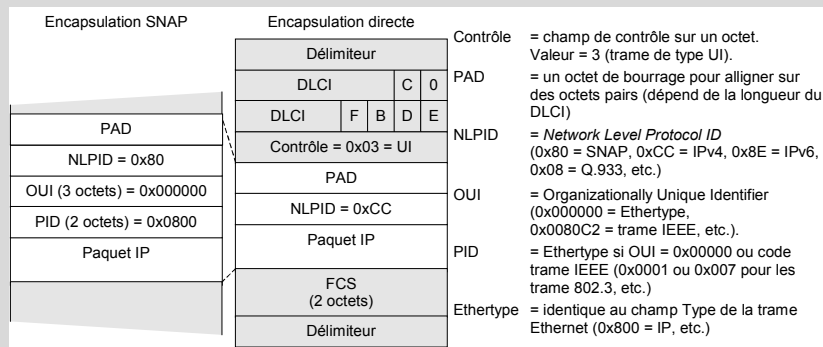
Figure 10-7.
*Connexion
d'un routeur
à un commutateur
Frame Relay.*



L'option "ietf" indique au routeur de respecter le RFC 2427 au lieu d'utiliser le format propre à Cisco.

ENCAPSULATION DANS FRAME-RELAY (RFC 2427, ANSI T1.617A, FRF 3.1)

Deux méthodes sont définies pour encapsuler les protocoles dans une trame Frame Relay. La plupart le sont par la méthode **SNAP** (*Sub Network Access Protocol*) tandis que certains, dont IP, peuvent l'être soit via SNAP, soit directement dans la trame via l'identificateur **NLPID** (*Network Level Protocol ID*).



Si la fonction pont est activée sur le routeur, les trames Ethernet, Token-Ring, FDDI, etc. sont encapsulées dans une trame Frame Relay selon la méthode SNAP.

Gérer les circuits virtuels

La gestion des CV (circuits virtuels) implique l'activation de trois mécanismes :

1. un protocole de signalisation Q.933 qui permet d'ouvrir et de fermer les SVC et de gérer les CV (PVC et SVC) ;
2. l'utilisation de la procédure LAP-F (décrite dans la norme Q.922) qui permet de transporter les messages Q.933 de manière sûre (reprise sur erreur, contrôle de flux, etc.) ;
3. un adressage global de bout en bout E.164 ou X.121 pour les SVC.

Ainsi, les routeurs peuvent échanger des informations avec les commutateurs en utilisant la signalisation LMI (*Local Management Interface*). Notre routeur supporte trois formats de messages : celui de l'ANSI (T1.617), celui de l'ITU (Q.933) et un autre, propre à Cisco, qui utilise le DLCI 1023 (en principe réservé à CLLM). Nous préférons utiliser le mode de fonctionnement défini par l'ITU.

```
interface serial1
frame-relay lmi-type q933a
```

"a" comme Annexe A de la norme Q.933

Les paramètres par défaut peuvent être utilisés pour la signalisation Q.933 et la procédure LAP-F. Cela simplifie la configuration. Si la liaison est de mauvaise qualité (souvent suite à un problème survenu sur la liaison d'accès), il peut être intéressant de réduire la taille initiale de la fenêtre à 8, voire à 1 :

```
interface serial1
frame-relay lapf k 8
```

LA SIGNALISATION FRAME RELAY (ITU Q.933, ANSI T1.617)

Les commutateurs Frame Relay utilisent un PVC dédié (DLCI 0) pour véhiculer les messages de signalisation Q.933. Ce protocole s'appuie sur celui utilisé par le RNIS (Q.931).

La première fonction offerte permet à l'équipement d'extrémité (un routeur, par exemple) de demander l'ouverture et la fermeture des **SVC** (*Switched Virtual Circuit*). Pour l'ouverture, les messages Setup et Connect contiennent le numéro d'appel (adresse aux formats **E.164** ou **X.121**), le DLCI affecté, etc., ainsi que le délai maximal de transit négocié. L'ouverture du SVC se traduit par l'affectation des DLCI entre les commutateurs et les équipements terminaux.

La deuxième fonction a trait à la procédure **LMI** (*Local Management Interface*) dont le rôle est de surveiller l'état des **PVC** (*Permanent Virtual Circuit*). Des messages *Status Enquiry* sont périodiquement envoyés par l'équipement terminal (un routeur, par exemple) pour connaître l'état du PVC. Le commutateur répond par un message *Status* (PVC actif, inactif, etc., ou nouveau PVC). En cas de défaillance, le routeur peut ainsi rerouter les flux. Le commutateur peut également interroger l'équipement terminal.

Les messages **ELMI** (*Extended LMI*) permettent au commutateur de communiquer à l'équipement terminal (un routeur, par exemple) la valeur des CIR, Be, Bc, etc. Le support de cette norme évite d'avoir à configurer les paramètres en double, à la fois sur le commutateur et sur le routeur.

Combien de circuits virtuels ?

La première question à se poser est de savoir combien de PVC ou de SVC utiliser : un circuit virtuel (CV) par protocole, ou un seul circuit virtuel pour tous les protocoles ?

- Un CV par protocole permet de bénéficier d'un débit garanti, ce qui assure que les transferts de fichiers ne perturberont pas les flux conversationnels. Mais cette solution coûte plus cher, car les opérateurs facturent chaque CV en fonction du CIR affecté.
- Un seul CV est plus économique, mais tous les flux de réseaux locaux sont mêlés. Le contrôle du flux doit donc être reporté au niveau du routeur à travers un système d'affectation de priorité par protocole ou de réservation de ressources (voir chapitre 14). Ces mécanismes fonctionnent généralement bien.

Nous choisirons donc la seconde solution.

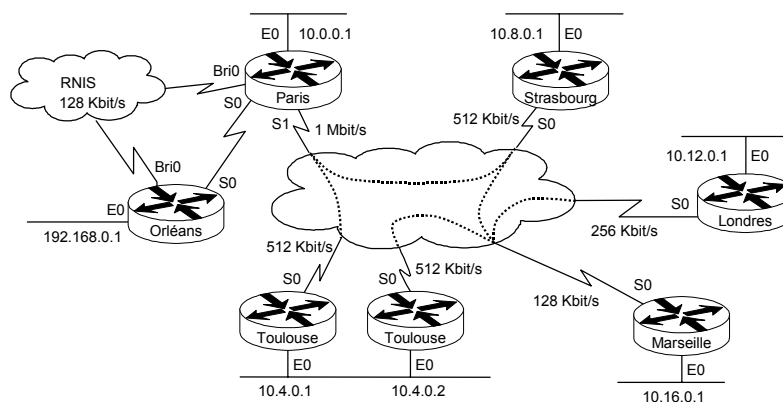
Un site peut communiquer avec plusieurs autres sites, ce qui implique d'utiliser un CV par connexion, les CV Frame Relay étant de type point à point.

Si nous voulons construire un réseau parfaitement maillé, chaque routeur doit voir un CV par site distant. Cette configuration est envisageable, mais risque d'être onéreuse, car l'opérateur facture chaque CV.

Si vous voulez réduire les coûts, il vaut mieux définir des CV là où les flux sont les plus importants. Les autres communications transiteront éventuellement par plusieurs routeurs (par exemple, Marseille ↔ Paris dans notre cas).

Figure 10-8.

Exemples
de circuits virtuels.

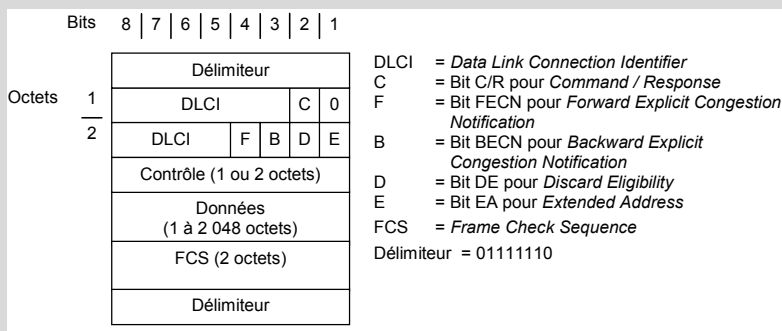


La question du choix entre PVC et SVC ayant été discutée précédemment, nous commencerons par configurer des PVC.

LA COMMUTATION FRAME RELAY (ITU Q.922)

La norme définit un second mode de fonctionnement, appelé “*Frame Switching Bearer Services*”, qui offre des mécanismes de reprise sur erreur et de contrôle de flux. Il repose sur l'utilisation de la procédure **LAP-F** (*Link Access Procedure-Frame*) inspirée du LAP-D du RNIS (Q.921), lui-même issu du LAP-B de HDLC. Le format des trames diffère légèrement, mais les principes restent les mêmes.

Ce mode de fonctionnement n'est actuellement utilisé que pour le PVC véhiculant la signalisation **Q.933** (dans le DLCI 0).



...

LA COMMUTATION FRAME RELAY (SUITE)

Le champ "Contrôle" a été ajouté à la trame *standard*. Il permet à la procédure LAPF de fournir un mécanisme de **reprise sur erreur** et de **contrôle de flux**. Il existe trois formats de trames (I, S, U) définissant autant de formats du champ de contrôle.

Bits

8

7

6

5

4

3

2

1

Trame I

N(S)

0

N(R)

P/F

Trame S

0

0

0

0

Su

Su

0

1

N(R)

P/F

Trame U

M

M

M

P/F

M

M

1

1

Trame I = Information

Trame S = Supervision

Trame U = Unnumbered

N(S) = Numéro séquence émission

N(R) = Numéro séquence réception

P/F = Poll/final (trame commande/réponse)

Su = Supervision

M = Modifier fonction

Les bits Su et M distinguent les 11 types de trames (SABME, UI, DISC, XID, RR, RNR, etc.)

Format de trame	Type	Description
I	--	Transport des données utilisateur
S	RR	<i>Receive Ready</i> : accusé de réception, et prêt à recevoir
	RNR	<i>Receive Not Ready</i> : accusé de réception, et non prêt à recevoir
	REJ	Reject : trame rejetée ; retransmettre à partir de N(R)
U	SABME	<i>Set Asynchronous Balanced Mode Extended</i> : initialisation de la procédure
	FRMR	<i>Frame Reject</i> : trame rejetée, erreur non récupérable
Etc.		

Afin de réduire le trafic de service, une **fenêtre d'émission** d'une taille *N* (entre 1 et 127) indique que le *commutateur* enverra *N* trames d'affilée et attendra un acquittement en retour. La taille de la fenêtre varie au cours du temps selon la qualité de la transmission (meilleure elle est, plus *N* est grand).

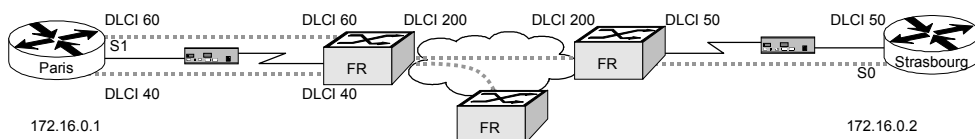
Le champ *N_A(S)* est le **numéro de séquence** de la trame envoyée par le commutateur A ; *N_A(R)* est celui de la trame *dernièrement* reçue du commutateur B, augmenté de 1. Si, après *N* trames envoyées, le commutateur A reçoit un *N_B(R)* inférieur à son *N_A(S)*, cela signifie que des trames ont été perdues ou endommagées. Il retransmet alors toutes les trames à partir du *N_B(R)* reçu, et *N_A(S)* devient égal à *N_B(R)*.

Configurer les PVC

Dans notre réseau, un site peut communiquer avec plusieurs autres sites : les communications sont dites mutipoints. L'utilisation des interfaces non numérotées (*unnumbered*) est toujours possible, mais il vaut mieux considérer le réseau Frame Relay comme étant un réseau IP à part entière : il sera plus évolutif et pourra être administré. Notre plan d'adressage (voir chapitre 7) prévoit d'affecter le réseau 172.16.0.0/16.

De plus, l'interface du routeur doit être configurée avec plusieurs DLCI (un PVC par site distant). À Paris, notre opérateur nous a affecté les DLCI 40 et 60, respectivement pour Toulouse et Strasbourg :

Figure 10-9.
Exemples de DLCI



```
interface serial1
ip address 172.16.0.1 255.255.255.248
encapsulation frame-relay ietf
frame-relay lmi-type q933a
frame-relay interface-dlci 40 broadcast
frame-relay interface-dlci 60 broadcast
```

Interface multipoint : jusqu'à 6 sites sur ce subnet

L'option "broadcast" indique que les broadcasts IP seront transmis sur la ligne série, permettant ainsi aux protocoles de routage tels qu'OSPF de fonctionner (cf. chapitre 11).

Correspondance entre adresses IP et DLCI

Sur le réseau intersite, les routeurs utilisent le protocole **Inverse ARP** pour découvrir les adresses IP des routeurs distants et les associer aux DLCI.

LE POINT SUR INVERSE ARP (RFC 1293)

Le protocole **ARP** (*Address Resolution Protocol* — RFC 826) permet à une station IP de connaître l'adresse physique (MAC ou autre) d'une autre station en connaissant son adresse IP. Le protocole **RARP** (*Reverse ARP* — RFC 903) permet à une station d'obtenir, à partir de son adresse MAC et auprès d'un serveur d'adresses, l'adresse IP qui lui a été affectée.

InARP (*Inverse ARP*) est le mécanisme inverse d'ARP : ce protocole permet à une station (typiquement un routeur) de connaître l'adresse IP du routeur se trouvant à l'autre bout d'un circuit virtuel (Frame Relay ou ATM). Les paquets envoyés sont identiques à ceux d'ARP. Le routeur envoie une requête InARP, et attend une réponse contenant l'adresse IP du routeur distant. Le routeur associe alors l'adresse IP reçue au DLCI local du circuit virtuel. Plusieurs routeurs distants peuvent répondre si les circuits virtuels sont de type multipoint. InARP fonctionne sur le même principe pour d'autres protocoles, tels que Decnet, Apple Talk ou IPX.

Si vous rencontrez des problèmes d'incompatibilité avec ce protocole, ou si InARP n'est pas supporté par le routeur distant, vous devez associer manuellement l'adresse IP de destination avec le DLCI :

```
interface serial 1
ip address 172.16.0.1 255.255.255.248
encapsulation frame-relay ietf
frame-relay lmi-type q933a
frame-relay map ip 172.16.0.6 40 broadcast
frame-relay map ip 172.16.0.2 60 broadcast
```

L'opérateur configure les mêmes DLCI sur son équipement (FRAD ou commutateur) relié au routeur.

Configurer les SVC

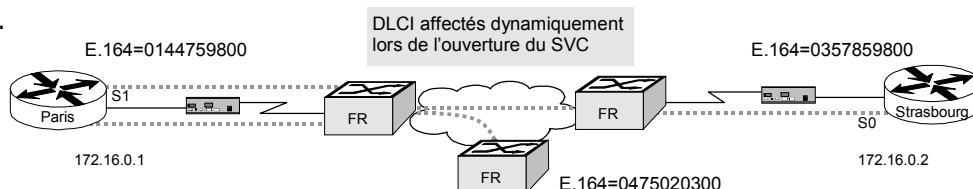
Le choix de circuits virtuels commutés peut être intéressant à double titre :

- Du point de vue du coût, tout d'abord. L'opérateur facture le SVC uniquement lorsqu'il est ouvert (facturation à la durée et/ou au volume).
- Du point de vue des performances ensuite. Si de nombreux CV doivent être utilisés (cas d'un réseau parfaitement maillé, par exemple), fermer ceux qui sont inutiles permet de libérer des ressources mémoire et CPU dans les routeurs et les commutateurs.

En plus de la signalisation Q.933 et de la procédure LAP-F, les SVC nécessitent l'emploi d'un troisième mécanisme, celui de **l'adressage** (voir la fin de ce chapitre pour plus de détails). Frame-Relay utilise soit celui du RNIS (E.164) dans le cas des réseaux publics, soit X.121 dans le cas des réseaux privés et publics. Cet adressage de niveau 3 est utilisé par le protocole de signalisation Q.933 pour ouvrir les SVC, c'est-à-dire affecter dynamiquement les DLCI d'entrée et de sortie dans chaque commutateur traversé. Les trames sont ensuite acheminées en fonction des DLCI qui réalisent un adressage de niveau 2.

Cette fois, l'activation des SVC nécessite une configuration manuelle, non des DLCI, mais des adresses E.164 ou X.121, ainsi que l'association des SVC avec les adresses IP.

Figure 10-10.
*Affectation
dynamique
des DLCI.*



```

interface ser 1
ip address 172.16.0.1 255.255.255.248
encapsulation frame-relay ietf
frame-relay svc
frame-relay lmi-type q933a
map group strasbourg
map group toulouse

map-list strasbourg source-addr E.164 0144759800 dest-addr E.164
0357859800
ip 172.16.0.2 class operateur broadcast ietf

map-list toulouse source-addr E.164 0144759800 dest-addr E.164 0475020300
ip 10.16.0.6 class operateur broadcast ietf

map-class frame-relay operateur
frame-relay traffic-rate 256000 384000

```

Les CIR et AIR sont utilisés lors de la négociation qui a lieu à l'ouverture du SVC. Ces paramètres doivent être identiques à ceux configurés dans le commutateur.

Gérer la qualité de service

Quel que soit le type de CV, le routeur peut moduler les flux de données selon l'état du réseau (en cas de congestion). Sur les routeurs Cisco, la qualité de service est gérée en activant la fonction *traffic shaping* (voir chapitre 14). À cette occasion, le routeur met en place une file d'attente par DLCI, et adapte le flux en fonction des informations envoyées par le commutateur :

```

interface serial 1
ip address 172.16.0.1 255.255.255.248
encapsulation frame-relay ietf
frame-relay lmi-type q933a
frame-relay traffic-shaping

```

L'activation de la fonction **ELMI** (*Extended Local Management Interface*) permet au routeur de connaître automatiquement les paramètres Frame Relay en recevant les messages LMI du commutateur (sur le DLCI 0). Le commutateur communique ainsi au routeur les valeurs des paramètres CIR, Be et Bc :

```
frame-relay qos-autosense
```

Les commutateurs peuvent informer les routeurs de l'état du réseau de deux manières : via les messages **CLLM** (*Consolidated Link Layer Management*) ou via le bit **BECN** (*Backward Explicit Congestion Notification*). Nous préférons le mode CLLM (appelé *foresight* chez Cisco) au mode BECN, moins fiable (voir encadré "Le point sur Frame Relay").

```

interface s 1
ip address 172.16.0.1 255.255.255.248
encapsulation frame-relay ietf
frame-relay lmi-type q933a
frame-relay traffic-shaping
frame-relay qos-autosense
frame-relay class opérateur
!
map-class frame-relay opérateur
frame-relay adaptive-shaping foresight

```

Pour les SVC, ajoutez :
 Frame relays svc
 map group
 map-list ...
 ip ... class opérateur ...

← ...et supprimez cette commande.

Il se peut que les fonctions CLLM et ELMI ne soient pas disponibles sur le FRAD de l'opérateur ou que l'on y rencontre des incompatibilités. La solution est donc de configurer manuellement tous les paramètres. L'équivalent de la configuration précédente est, de ce fait, plus complexe :

```

interface s 1
bandwidth 512
ip address 172.16.0.1 255.255.255.248
encapsulation frame-relay ietf
frame-relay lmi-type q933a
frame-relay traffic-shaping
frame-relay class opérateur

map-class frame-relay opérateur
frame-relay traffic-rate 256000 384000

```

La commande *traffic-rate* indique le CIR et l'AIR, que nous avons respectivement positionnés à 256 Kbit/s et 384 Kbit/s. Si la valeur de l'AIR est omise, la valeur par défaut est celle du débit de la ligne indiquée par la commande *bandwidth*.

Il est possible de définir plus finement les paramètres de qualité de service décrits dans la norme Q.922. Le routeur Cisco permet même de le faire dans les deux sens, bien que, généralement, les opérateurs proposent des valeurs identiques afin de simplifier la configuration des commutateurs et la grille tarifaire. Le profil "personnalisé" présenté ici se substitue alors au profil opérateur précédemment décrit :

```

map-class frame-relay personnalise
frame-relay cir in 1280000
frame-relay bc in 256000
frame-relay be in 256000
frame-relay cir out 2560000
frame-relay bc out 256000
frame-relay be out 128000
frame-relay idle-timer 30

```

CIR = Bc/Tc

EIR = Be/Tc

AIR = CIR + EIR = (Bc+Be) / Tc

À partir des trois valeurs CIR, Bc et Be, on peut déduire celle de Tc (2 secondes en entrée et 1 seconde en sortie).

Toujours dans l'optique de gérer la qualité de service, vous pouvez affecter une priorité plus faible à certains protocoles en positionnant le bit DE dans les trames qui les véhiculent :

```
int s 1
frame-relay de-group (1) 50 ← Liste de DLCI (rien = tous les DLCI)

frame-relay de-list (1) protocol ip characteristic tcp 20
frame-relay de-list 1 interface e 0 characteristic list 100 access-list
101
...
```

Par exemple, les protocoles tels que FTP pourront être marqués de cette manière afin de privilégier la voix sur IP en cas de congestion du réseau.

Les sous-interfaces

Dans certains cas, il peut être intéressant d'utiliser le principe des sous-interfaces proposé par Cisco, afin d'activer un secours RNIS individuellement, par PVC, et non pas sur la chute de l'interface série. Les sous-interfaces permettent également de configurer le *traffic shaping*, ainsi que d'autres paramètres Frame Relay PVC par PVC.

Sur notre routeur Cisco, l'interface physique est configurée en Frame Relay et est associée à des sous-interfaces logiques (une par DLCI). Nous avons choisi un DLCI par site distant, donc un mode point à point pour chaque sous-interface, ce qui permet de ne pas utiliser d'adresse IP sur la liaison WAN.

```
interface s 1
encapsulation frame-relay ietf
frame-relay lmi-type q933a
frame-relay traffic-shaping
frame-relay qos-autosense

interface serial1.1 point-to-point
ip address 172.16.0.1 255.255.255.252
frame-relay interface-dlci 40
    class operateur

interface serial1.2 point-to-point
ip address 172.16.0.5 255.255.255.252
frame-relay interface-dlci 60
    class personnalise
```

Pour terminer, il est possible d'optimiser l'utilisation des liaisons série en compressant les données (norme FRF.9 du Frame Relay Forum).

`frame-relay map payload-compress frf9 stac` ← Méthode Stacker

Cette commande peut s'appliquer à une interface physique ou à une sous-interface.

Mettre en place un réseau ATM

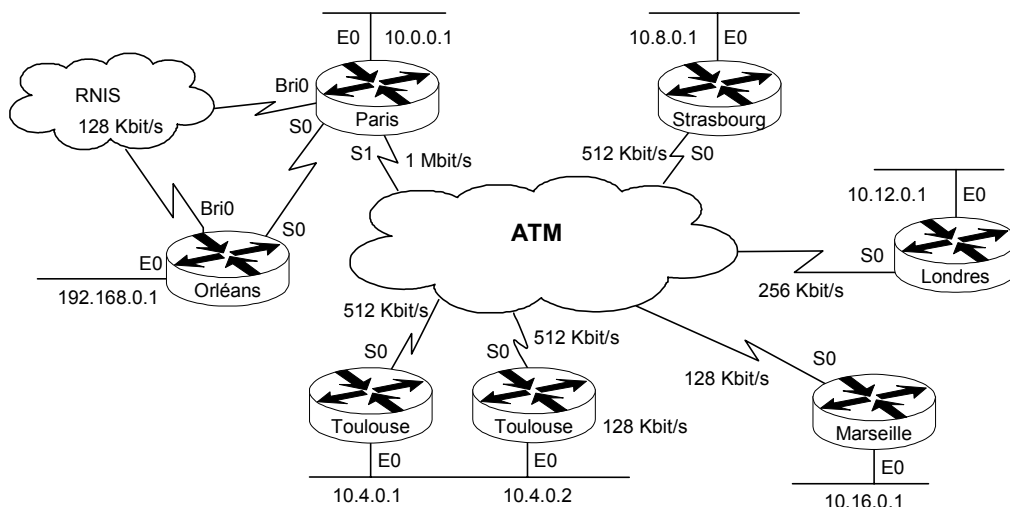
Les réseaux ATM sont réservés aux hauts débits : à partir de 34 Mbit/s en France, et de 45 Mbit/s aux États-Unis. La facturation associée est donc très élevée.

Nous nous plaçons ici dans cette situation.

Comme précédemment, l'opérateur local installe son modem numérique (le CSU) dans vos locaux. L'opérateur retenu pour le réseau ATM installe éventuellement un commutateur ATM qu'il connecte au modem. L'interface série du routeur sera ensuite connectée à l'un des ports du commutateur.

Figure 10-11.

Réseau intersite reposant sur un réseau opérateur ATM.



Qualité de service et facturation

Avec ATM, les opérateurs peuvent contrôler précisément la qualité de service. Ils élaborent leur offre commerciale à partir des mécanismes offerts par le protocole.

Par exemple, ATM permet de **gérer la congestion** du réseau et d'offrir différentes **classes de service**, ce qui permet de proposer une facturation adaptée à chaque type de situation (flux voix et/ou données et/ou vidéo). Comment ? La réponse est intimement liée au fonctionnement du protocole ATM.

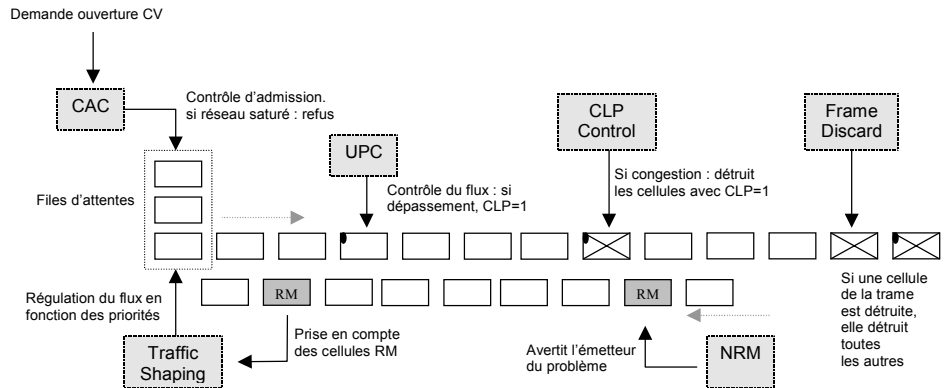
La gestion du trafic : TMS 4.0 (ATM Forum af-tm-0056.000)

La spécification TMS (*Traffic Management Specification*) définit les paramètres et procédures relatifs à la gestion du trafic ainsi qu'à la qualité de service. Elle reprend les normes de l'ITU en précisant leur fonctionnement (paramètres et procédures pris en charge ou non) et, surtout, en les modifiant. Elle définit également les procédures et algorithmes permettant aux commutateurs ATM d'assurer la qualité de service demandée.

Procédure	Description
CAC (<i>Connection Admission Control</i>)	Avant d'autoriser l'ouverture d'un CV, chaque commutateur vérifie qu'il pourra bien assurer la qualité de service demandée sans remettre en cause celles déjà accordées.
UPC (<i>Usage Parameter Control</i>)	Chaque commutateur vérifie que le flux émis dans un CV respecte bien la QOS demandée. En cas de dépassement, les cellules sont marquées avec le bit CLP positionné à "1" et peuvent être détruites.
CLP Control (<i>Cell Loss Priority control</i>)	L'équipement terminal (par exemple, le routeur) peut positionner le bit CLP à "1" dans les cellules qui ne sont pas prioritaires. En cas de congestion ou de dépassement de la QOS, les commutateurs détruiront ces cellules en priorité.
NRM (<i>Network Resource Management</i>)	Si des signes de congestion apparaissent (remplissage d'une file d'attente, par exemple), les commutateurs peuvent émettre des cellules RM à destination de l'émetteur d'un flux (retour sur la qualité de service - <i>feedback</i>) l'invitant à réguler son trafic via le mécanisme de <i>traffic shaping</i> .
Traffic Shaping	Les équipements terminaux et les commutateurs peuvent modifier les caractéristiques du flux émis (réduction du débit, régulation d'un trafic erratique, etc.).
Frame Discard	Si une cellule est détruite, le commutateur peut détruire toutes les autres cellules appartenant aux mêmes données (par exemple, toutes les cellules d'un paquet IP).

Figure 10-12.

Gestion
de la qualité
de service
par ATM.



Les classes de service ATM Transfer Capabilities (ITU I.371 et TMS)

Les procédures détaillées ci-dessus ont pour but d'assurer une certaine qualité de service aux applications. Celles-ci ont le choix entre **cinq classes de service** adaptées à différents types de flux. Par exemple, les cellules véhiculant un canal voix d'une conversation téléphonique doivent être transmises avec une grande régularité (les horloges de l'émetteur et du récepteur doivent être synchronisées). En revanche, un flux de type réseau local, qui est par nature erratique (trafic par rafales), ne nécessite pas la même qualité de service.

Ces classes de service sont accessibles via différentes interfaces d'accès à ATM, appelées **AAL** (*ATM Adaptation Layer*).

Classe de service	Caractéristiques du trafic	Applications
CBR (<i>Constant Bit Rate</i>)	Le débit est constant et garanti.	Voix non compressée en émulation de circuit (accès de préférence via AAL-1)
rt-VBR (<i>Real-Time Variable bit Rate</i>)	Le débit est variable et est garanti. Le délai de transit est garanti et varie peu.	Données (accès de préférence via AAL-2)
nrt-VBR (<i>Non Real-Time Variable bit Rate</i>)	Le débit est variable et est garanti.	Vidéo + voix compressées (accès de préférence via AAL-2 ou AAL-5)
ABR (<i>Available Bit Rate</i>)	Le débit est variable et peut être modifié si le réseau le demande (en cas de congestion, par exemple).	Données (accès de préférence via AAL-5)
UBR (<i>Unavaible Bit rate</i>)	Acheminement sans garanti, au mieux des capacités du réseau (<i>best effort</i>).	Données (accès de préférence via AAL-5)

La classe de service UBR n'offre aucune garantie de service, tandis que l'ABR est la plus utilisée, notamment par l'UNI 4.0.

LA SIGNALISATION UNI 4.0 (ATM FORUM AF-SIG-0061.000)

L'UNI (*User Network Interface*) reprend les normes de l'ITU en précisant leur fonctionnement (paramètres et procédures pris en charge ou non), et surtout en les modifiant :

- Appels point à point (**Q.2931**) sans les fonctions OAM (*Operations, Administration and Maintenance*).
- Adressage **NSAP** (ISO 8348, ITU X.213, RFC 1629).
- Couche **SAAL** (Q.2100, Q.2110, Q.2130) ; vpi/vci = 0/5.
- Appels point à multipoint (**Q.2971**) avec extensions pour que les feuilles puissent accepter de nouveaux participants à la conférence en cours (dans Q.2971, une conférence à plusieurs est gérée sous forme d'arbre, dont seule la racine permet à d'autres utilisateurs de rejoindre une conférence).
- Direct Dialling In (Q.2951).

L'ATM Forum a ajouté les extensions suivantes à Q.2931 :

- Gestion des **adresses de groupe** ATM (adresses *anycast*) identifiées par le préfixe C50079. Par exemple, le groupe C50079.00000000000000000000.00A03E000001.00 permet de joindre le LECS (*LAN Emulation Configuration Server*) .
- Négociation des caractéristiques de la connexion (CBR, VBR, rt-VBR, ABR, UBR).
- Présentation individuelle des paramètres de qualité de service.
- Paramètres décrivant la classe de service **ABR**.
- **Signalisation proxy** : un nœud ATM peut gérer la signalisation à la place d'un autre nœud qui ne la supporte pas. Permet également à un serveur disposant de plusieurs interfaces ATM de ne posséder qu'une seule adresse NSAP.

En l'état actuel de la norme, les cellules RM (**Resource Management**) ne sont utilisées que pour réguler le trafic ABR.

Connecter le routeur au réseau de transport

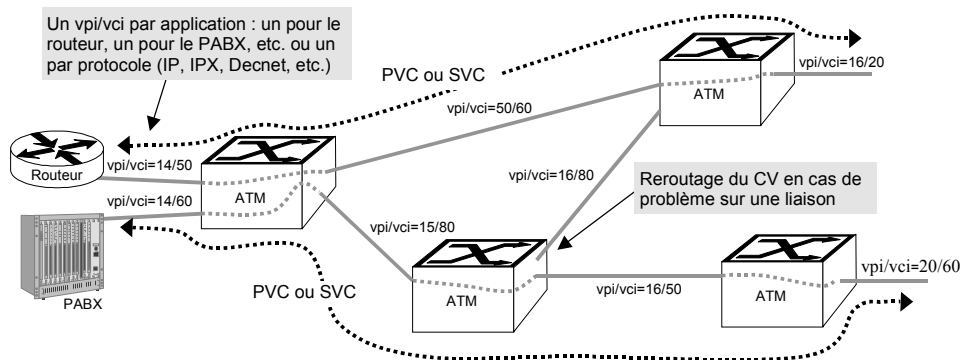
La norme ATM définit un ensemble de protocoles reposant sur la commutation de petites cellules de taille fixe (58 octets dont 5 d'en-tête).

Chaque cellule est identifiée par un couple d'adresses **VPI** (*Virtual Path Identifier*) et **VCI** (*Virtual Channel Identifier*), adresse locale partagée par deux commutateurs. Il n'y a pas d'adressage de bout en bout, mais uniquement un adressage point à un point entre deux commutateurs. Un commutateur recevant une trame avec un VPI/VCI donné la routera sur un autre port et l'enverra avec un autre VPI/VCI, et ainsi de suite.

La connexion entre deux commutateurs ATM s'effectue par l'ouverture de circuits virtuels permanents (**PVC**, *Permanent Virtual Circuit*) ou commutés (**SVC**, *Switched Virtual Circuit*), c'est-à-dire ouverts à la demande via le protocole de signalisation Q.2931 (qui utilise quelques Kbit/s du VPI/VCI = 0/5).

L'intérêt des SVC est que la qualité de service peut être spécifiée à la demande permettant ainsi de réduire (encore) les coûts. Sur un PVC, le débit est fixé une fois pour toutes et engendre un coût fixe.

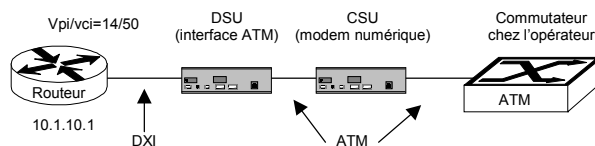
Figure 10-13.
Circuits virtuels et vpi/vci ATM.



Si le routeur ne dispose pas d'interface ATM

La manière la plus simple de connecter nos réseaux locaux est de configurer l'interface série du routeur en mode **DXI** (*Data eXchange Interface*). Ce mode de fonctionnement implique l'utilisation d'un DSU (*Data Service Unit*) externe fourni par l'opérateur. Le DSU se charge d'adapter le flux série émis et reçu par le routeur en cellules ATM.

Figure 10-14.
Connexion d'un routeur à un commutateur ATM.



L'exemple suivant montre un PVC configuré sur notre routeur parisien à destination du réseau de Strasbourg :

```
interface serial 0
ip address 172.16.0.1 255.255.255.248
encapsulation atm-dxi
dxi pvc 14 50 mux
dxi map ip 172.16.0.2 14 50 broadcast
```

VPI = 14 / VCI = 50

Le paramètre “mux” indique que nous avons choisi l’encapsulation de type multiplexage par circuit virtuel : un seul protocole (IP dans notre cas) utilisera le PVC identifié par le vpi 14 et le vci 50. L’encapsulation LLC/SNAP (paramètre “snap” à la place de “mux”) n’apporterait aucun avantage et ajouterait un overhead de 8 octets par paquet IP.

L’INTERFACE DXI (ATM FORUM AF-DXI-0014.000)

La norme **DXI** (*Data eXchange Interface*) définit le protocole de niveau 2 utilisé pour échanger les données entre un équipement non ATM (*via une interface série V.35 ou HSSI*) et un DSU ATM. Trois modes de fonctionnement sont possibles.

Dans le **mode 1a**, le routeur place ses données dans une trame DXI (SDU de 9 232 octets), puis le DSU réalise l’encapsulation AAL-5, la segmentation SAR AAL-5 et l’accès l’UNI. Ce mode supporte 1 023 CV simultanés.

Dans le **mode 1b**, le routeur réalise l’encapsulation AAL-3/4 puis place le résultat dans une trame DXI (SDU de 9 224 octets). Le DSU réalise la segmentation SAR AAL-3/4 et l’accès UNI. Le mode 1a est également supporté, mais le mode 1b doit être utilisé pour au moins 1 CV. Ce mode supporte 1 023 CV simultanés.

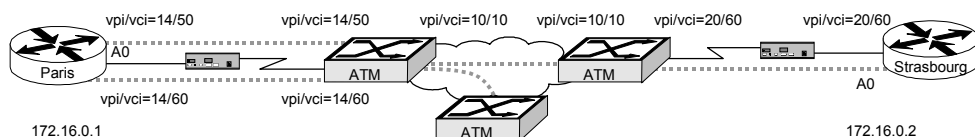
Dans le **mode 2**, le routeur réalise l’encapsulation AAL-3/4, puis place le résultat dans une trame DXI (SDU de 65 535 octets). En cas de besoin, le DSU peut convertir l’encapsulation AAL-3/4 en AAL-5 (changement d’encapsulation). Le DSU réalise ensuite l’assemblage SAR (AAL-3/4 ou AAL-5) et l’accès UNI. Ce mode supporte 16 millions de CV simultanés.

Si le routeur supporte ATM

La seconde solution consiste à insérer une carte ATM dans le routeur. Fonctionnellement, celle-ci se comporte comme un DSU et peut être directement connectée au CSU (c’est-à-dire le modem numérique) de l’opérateur ou à un commutateur.

Pour la même interconnexion Paris-Strasbourg et Paris-Toulouse, la configuration devient la suivante :

Figure 10-15.
Configuration
des vpi/vci
ATM



```

interface atm 0
ip address 172.16.0.1 255.255.255.248
atm pvc 1 14 50 aal5mux ip
atm pvc 2 14 60 aal5mux ip
map-group operateur
!
map-list operateur
ip 172.16.0.2 atm-vc 1 broadcast
ip 172.16.0.6 atm-vc 2 broadcast

```

Identifiant du PVC propre à Cisco
(interne au routeur)

L'encapsulation choisie, "aal5mux", est la même que précédemment : un CV transporte le protocole IP. Cependant, l'encapsulation LLC/SNAP, utilisée conjointement avec l'interface ATM, nous donne la possibilité supplémentaire de pouvoir exécuter **Inverse ARP**, et donc de simplifier la configuration :

```

interface atm 0
ip address 172.16.0.1 255.255.255.248
atm pvc 1 14 50 aal5snap inarp 5
atm pvc 2 14 60 aal5snap inarp 5

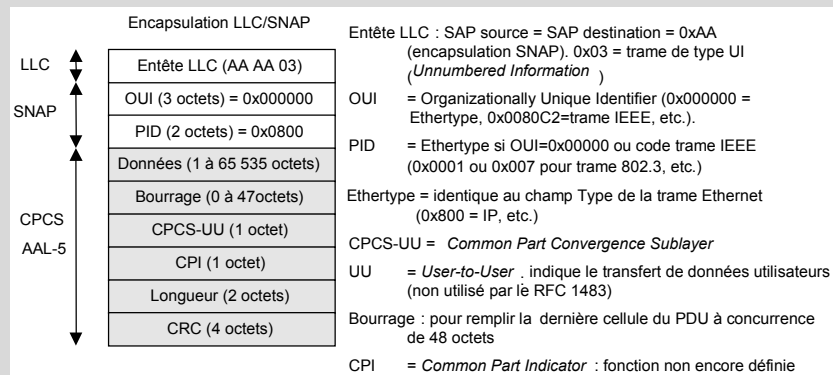
```

La valeur 5 affectée à "inarp" indique que la procédure Inverse ARP est lancée toutes les 5 minutes. La correspondance manuelle entre adresse IP et circuit virtuel n'est donc plus nécessaire.

L'ENCAPSULATION DES PROTOCOLES DANS LES CELLULES ATM (RFC 1483)

Le transport d'un protocole dans des cellules ATM requiert l'utilisation de l'interface **AAL-5** (*ATM Adaptation Layer 5*), accessible via la couche **CPCS** (*Common Part Convergence Sublayer*). L'encapsulation peut être réalisée de deux manières : soit en dehors d'ATM, soit au niveau d'ATM.

La première méthode permet de transporter plusieurs protocoles dans un seul circuit virtuel ATM ; elle utilise pour cela l'encapsulation **LLC/SNAP** (*Logical Link Control/Sub Network Access Protocol*).



La seconde méthode, appelée **multiplexage par circuit virtuel**, consiste à encapsuler le protocole directement dans le PDU AAL-5, ce qui implique l'utilisation d'un circuit virtuel ATM par protocole.

Configurer les SVC

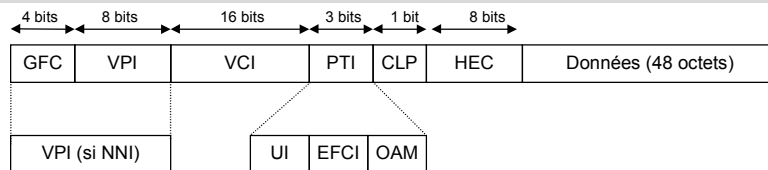
Si l'opérateur nous en donne la possibilité, la mise en place de SVC permet, comme pour Frame Relay, de réaliser des économies : l'opérateur facture en fonction de l'utilisation (à la durée et/ou au volume). De plus, si les CV sont nombreux, la fermeture des SVC lorsqu'ils ne sont pas utilisés permet de libérer des ressources CPU et mémoire dans les routeurs et les commutateurs.

L'utilisation des SVC implique l'activation de deux nouveaux mécanismes :

- Un PVC pour le protocole SAAL (*Signaling ATM Adaptation Layer*) qui gère les SVC (ouverture, fermeture, etc.). Le vpi/vci utilisé est 0/5.
- L'utilisation d'un adressage global (de niveau 3) permettant d'identifier les nœuds du réseau. L'adressage utilisé par ATM est de type NSAP ; trois encapsulations d'adresses sont possibles : DCC, ICD et E.164 (reportez-vous à la fin de ce chapitre pour plus de détails).

LE POINT SUR ATM (ITU I.361)

ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) découpe la bande passante en tranches de temps fixe appelées **cellules**.



GFC (*Generic Flow Control*). Priorité de la cellule (0 = la plus basse).

VPI (*Virtual Path Identifier*). Identifie le chemin virtuel (255 possibilités).

VCI (*Virtual Channel Identifier*). Identifie la voie virtuelle au sein du chemin virtuel (65 535 possibilités).

PTI (*Payload Type Indicator*). Le premier bit indique si la cellule transporte des données de contrôle ou des données utilisateur. Dans ce dernier cas, le deuxième bit, appelé **EFCI** (*Explicit Forward Congestion Indication*), indique à l'application qu'il faut prévoir des délais d'acheminement pour les cellules à venir (suite à une congestion par exemple). Positionné à "1", le troisième bit indique que le champ d'information contient des données utilisées par les applications d'administration **OAM** (*Operations, Administration and Maintenance*).

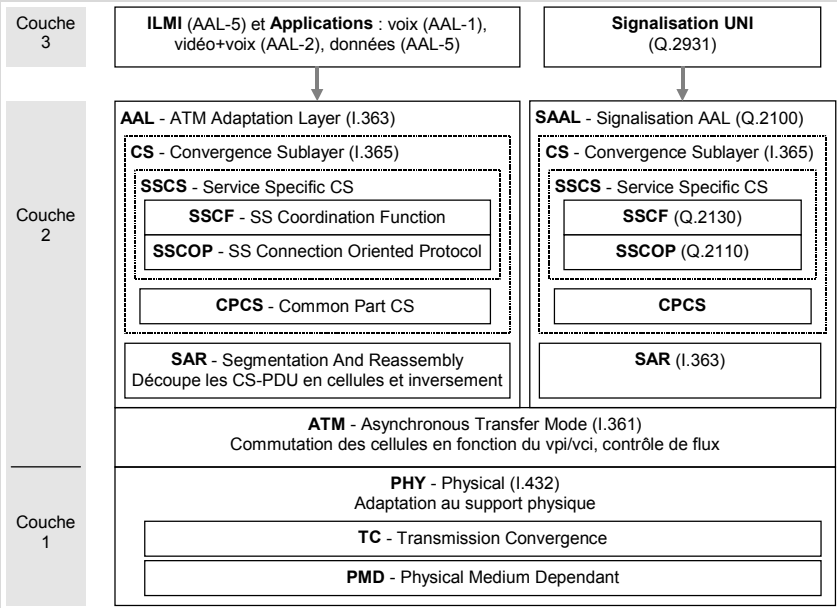
CLP (*Cell loss Priority*). Positionné à "1", ce bit indique que la cellule peut être détruite par le commutateur en cas de congestion.

HEC (*Header Error Control*). Cet octet permet à la couche TC (*Transmission Convergence*) d'opérer un contrôle d'erreur sur l'en-tête de la cellule.

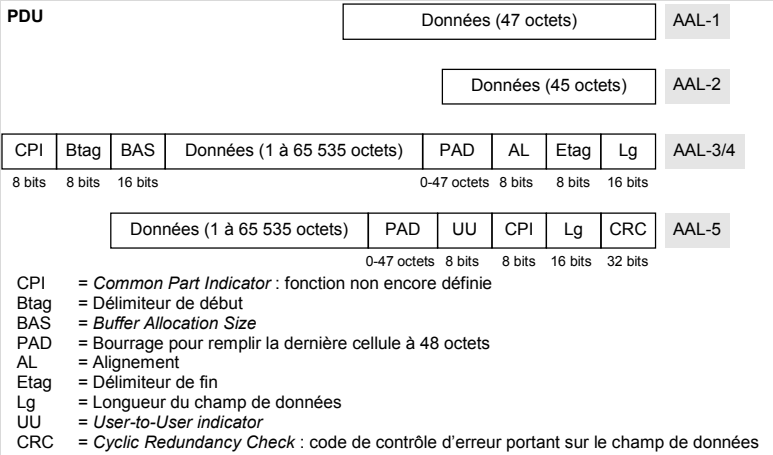
...

LE POINT SUR ATM (ITU I.361 – SUITE)

Les applications transmettent leurs données à la couche **AAL** (*ATM Adaptation Layer*) qui se charge de les convertir en cellules, puis de les envoyer en respectant le niveau de service demandé (AAL-1 à AAL-5 et SAAL).



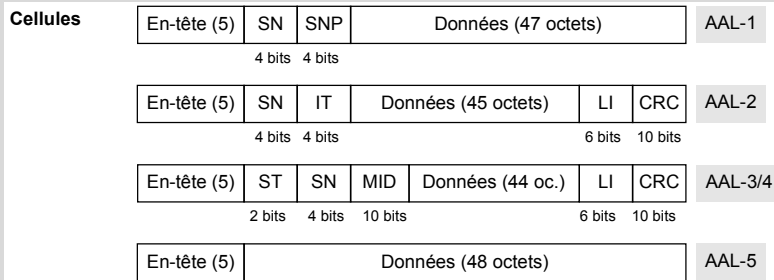
La couche AAL, et donc les sous-couches qui la composent, est adaptée à chaque type de service (AAL-1, AAL-2, AAL-3/4, AAL-5 et SAAL). Par exemple, la couche **CS** accepte des données au format **CS-PDU** (*Convergence Sublayer-Protocol Data Unit*).



...

LE POINT SUR ATM (FIN)

De même, la couche **SAR** structure différemment les 48 octets du champ de données des cellules ATM (appelé SAR-PDU).



SN = *Sequence Number* : détecte les cellules manquantes ou erronées
 SNP = *Sequence Number Protection* : code autocorrecteur portant sur le SN
 IT = *Information Type* : début, continuation ou fin d'un CS-PDU
 ST = *Segment Type* : début, fin, continuation ou segment simple
 MID = *Multiplexing Identifier* : partage d'un circuit virtuel par plusieurs applications de la couche SAR
 LI = *Length Indicator* : nombre d'octets significatifs dans le cas d'une cellule partiellement remplie
 CRC = *Cyclic Redundancy Check* : code de contrôle d'erreur portant sur le champ de données

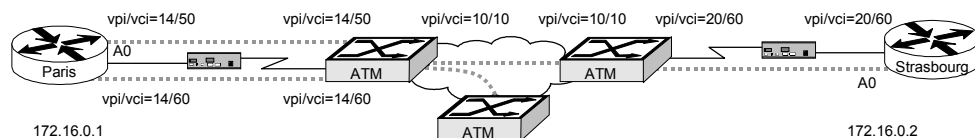
En comparant les deux schémas précédents, on constate que les PDU des AAL-1 et AAL-2 sont directement insérés dans une cellule ATM. La couche AAL n'utilise donc pas obligatoirement les mécanismes de segmentation et d'assemblage.

Il existe également une couche SSCS pour Frame Relay (I.365.1).

La commande **map-list** permet de configurer manuellement la correspondance entre adresses NSAP et adresses IP :

Figure 10-16.

Configuration
des vpi/vci
ATM



```

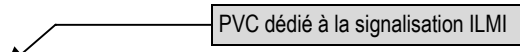
interface atm 0
ip address 172.16.0.2 255.255.255.248
atm nsap-address
  47.0091.81.000000.0061.705b.7701.0800.200c.1A2B.01
AFI|ICD|Préfixe DSP|ESI|SEL
atm pvc 1 0 5 qsaal
map-group operateur
!
map-list operateur
ip 172.16.0.2 atm-nsap 47.0091.81.000000.0061.705b.7701.0800.200c.1000.02
broadcast
  
```

PVC dédié à la signalisation
Q.2931

Adresses ATM

```
ip 172.16.0.6 atm-nsap 47.0091.81.000000.0061.705b.88a7.0900.20ab.2000.01
broadcast
```

Une autre manière d'affecter l'adresse NSAP à l'interface est d'utiliser la signalisation **ILMI** (*Integrated Local Management Interface*). Elle permet au routeur d'obtenir le préfixe de l'adresse, le DSP (champs ESI et SEL) étant toujours affecté par l'équipement terminal (le routeur). Le PVC dédié à ILMI est : vpi/vci = 0/16 :



```
atm pvc 2 0 16 ilmi
atm esi-address 0800200c1000.02
```

ESI	SEL
-----	-----

La première partie du chiffre correspond au champ *ESI* (6 octets, l'équivalent d'une adresse MAC) ; la seconde au champ *Selector* (1 octet) de l'adresse NSAP. Le reste de l'adresse (13 octets) est affecté automatiquement par le commutateur ATM *via* ILMI.

L'activation de cette signalisation permet également au routeur et au commutateur de surveiller l'état des circuits virtuels.

LA SIGNALISATION ILMI 4.0 (ATM FORUM AF-ILMI-0065.00)

La signalisation ILMI (*Integrated Local Management Interface*)* est un protocole permettant aux commutateurs ATM d'échanger des informations avec les équipements terminaux (stations ATM, routeurs, etc.), telles que :

- la configuration et l'état des circuits virtuels ;
- les préfixes des adresses NSAP ;
- les services et options supportés par les équipements.

Le protocole utilisé par ILMI est **SNMP** (*Simple Network Management Protocol* — RFC 1157), qui utilise les services de **AAL-5** (vpi/vci = 0/16). La base de données **MIB** (*Management Information Base*) contient des informations relatives aux couches physique et ATM, aux circuits virtuels (état des vpi/vci), aux adresses, ainsi qu'aux services supportés et pouvant être négociés (version UNI, nombre maximal de vpi/vci, qualité de service, etc.).

Par exemple, ILMI permet de configurer les LEC (*LAN Emulation Client*) et de trouver le LECS (*LAN Emulation Configuration Server*).

La bande passante utilisée par ILMI ne doit pas dépasser 1 % du débit de la ligne, et 5 % en pic.

*Note : le 1^{er} « I » signifiait *Interim* car l'ATM Forum attendait la normalisation de l'ITU. Mais celle-ci s'étant fait attendre, l'ATM Forum a définitivement entériné sa proposition de norme.

Gérer la qualité de service

Les normes prévoient de nombreux et complexes mécanismes pour gérer la qualité de service sur ATM. Seuls certains d'entre eux sont disponibles sur nos routeurs.

Pour les PVC, seules les caractéristiques du flot de données peuvent être spécifiées :

```
atm pvc 1 14 50 aal5snap 384 256 inarp 5
```

Cette commande précise qu'un maximum de 384 Kbit/s sera alloué à notre PVC et que le débit moyen du trafic sera de 256 Kbit/s.

Les possibilités de paramétrage sont plus étendues en ce qui concerne les SVC puisque l'on peut demander l'activation de **classes de service**. Celles-ci sont décrites implicitement par des combinaisons de paramètres :

```
map-list opérateur
ip 172.16.0.2 atm-nsap 47.0091.81.000000.0061.705b.7701.0800.200c.1000.02
broadcast class trafficUBR
ip 172.16.0.6 atm-nsap 47.0091.81.000000.0061.705b.88a7.0900.20ab.2000.01
broadcast class trafficNrtVBR
```

```
map-class trafficUBR
atm forward-peak-cell-rate-clp1 384
atm backward-peak-cell-rate-clp1 256
```

Cette combinaison de paramètres active la classe de service nrt-VBR.

```
map-class trafficNrtVBR
atm forward-peak-cell-rate-clp1 384
atm forward-sustainable-cell-rate-clp1 256
atm forward-max-burst-size 128
atm backward-peak-cell-rate-clp1 384
atm backward-sustainable-cell-rate-clp1 256
atm backward-max-burst-size 128
```

La qualité de service peut être différente dans chaque sens.

Le suffixe "clp1" indique que le paramètre s'applique aux cellules dont le bit CLP est positionné à 1 ou 0. Le suffixe "clp0" permet d'appliquer les mêmes paramètres aux cellules dont le bit CLP est à 0 (c'est-à-dire non marquées en suppression).

Dans le cas de la classe de service "trafficUBR", aucune bande passante n'est réservée pour le SVC. C'est le mode de fonctionnement par défaut si aucun paramètre n'est spécifié.

Enfin, il est possible d'activer la procédure de contrôle CAC (*Connection Admission Control*) au niveau du routeur.

```
atm sig-traffic-shaping strict
```

Avec cette commande, l'ouverture d'un SVC ne sera possible que si les commutateurs ATM sont capables d'assurer la qualité de service demandée.

Les paramètres décrivant les classes de service (ITU I.356 et ATM Forum TMS 4.0)

Chaque classe de service (UBR, ABR, etc.) est définie par un ensemble de paramètres qui décrivent les caractéristiques du flux qui sera généré, ainsi que la qualité de service demandée. Ces paramètres peuvent, par exemple, être configurés sur nos routeurs.

Paramètre	Description du trafic
PCR (<i>Peak Cell Rate</i>)	Débit maximal autorisé en pointe (nombre maximal de cellules par secondes)
SCR (<i>Sustainable Cell Rate</i>)	Débit moyen autorisé (nombre moyen de cellules par secondes)
MBS (<i>Maximum Burst Size</i>)	Nombre de cellules autorisées pendant le débit en pointe. PCR/MBS = durée pendant laquelle le débit en point est autorisé
MCR (<i>Minimum Cell Rate</i>)	Débit minimal demandé (nombre minimal de cellules par secondes)
Paramètre	Description de la qualité de service
CDV (<i>Cell Delay Variation</i>)	Demande d'une variation maximale du délai de transit (la gigue - <i>jitter</i>). Le flux doit être le plus constant possible ($\pm$ CDV millisecondes). La fonction UPC utilise pour cela l'algorithme GCRA (<i>Generic Cell Rate Algorithm</i>) de type <i>Leaky Bucket</i> ⁽¹⁾ .
MCTD (<i>Maximum Cell Transfer Delay</i>)	Délai maximal de transit des cellules entre l'UNI de l'émetteur et l'UNI du récepteur.
CLR (<i>Cell Loss Ratio</i>)	Pourcentage acceptable de cellules pouvant être perdues (appliqué aux cellules ayant le bit CLP positionné à "0")
Autre paramètre	Description
RM (<i>Resource Management</i>)	Traitement des cellules RM permettant d'adapter le trafic en fonction de l'état du réseau reporté par les commutateurs (<i>feedback</i>).

(1) *Leaky Bucket* signifie littéralement "seau (d'eau) percé". Voir le chapitre 14 à ce sujet.

Le tableau suivant indique les combinaisons autorisées. Ainsi, le paramètre PCR seul indique implicitement la classe de service UBR. En revanche, la configuration des paramètres SCR et MBS seuls ne correspond à aucune classe de service ; elle représente donc une combinaison invalide.

Classe de service	Description du trafic				Qualité de service			Autre paramètre
	PCR	SCR	MBS	MCR	CDV	MCTD	CLR	
CBR	X				X	X	X	
rt-VBR	X	X	X		X	X	X	
nrt-VBR	X	X	X		X		X	
ABR	X			X	X		X	X
UBR	X							

D'autres paramètres relatifs à la gestion de la qualité de service sont prévus par la norme :

- CER (*Cell Error Ratio*). Taux maximal de cellules pouvant être en erreur.
- SECBR (*Severely Errored Cell Block Ratio*). Taux maximal de cellules consécutives (par blocs de N définis dans ITU I.610) pouvant être en erreur.
- CMR (*Cell Misinsertion Rate*). Taux maximal de cellules pouvant être mal insérées (c'est-à-dire dont les erreurs portant sur l'en-tête n'ont pas été détectées).

La détection des erreurs et la surveillance des performances sont réalisées par la couche OAM (*Operations, Administration and Maintenance* – ITU I.610).

L'adressage

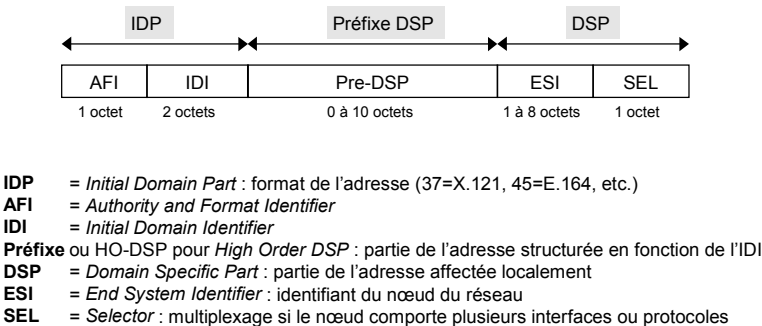
L'adressage NSAP (ISO 8348, ITU X.213, RFC 1629)

NSAP (*Network Service Access Point*) définit un **adressage global de niveau 3** permettant d'identifier les utilisateurs d'un réseau ATM, Frame Relay ou RNIS. Dans le cas du RNIS, il s'agit tout simplement du numéro de téléphone.

	Adresse locale	Adresse globale
Protocole	Niveau 2	Niveau 3
Frame Relay	DLCI	E.164 ou X.121
ATM	VPI/VC1	NSAP (encapsulation DCC, ICD ou E.164) ou E.164
RNIS	SAPI/TEI	E.164

L'apparent paradoxe d'un adressage de niveau 3 utilisé par des protocoles de niveau 2 s'explique par le fait que ces protocoles agissent en **mode connecté**. L'adressage global est utilisé par les **protocoles de signalisation** (situés au niveau 3) pour établir les communications de niveau 2 (les circuits commutés RNIS ou virtuels ATM) ; la commutation de circuit RNIS ou de cellule ATM n'utilise ensuite que des adresses locales de niveau 2.

Figure 10-17.
Format générique
d'une adresse NSAP.

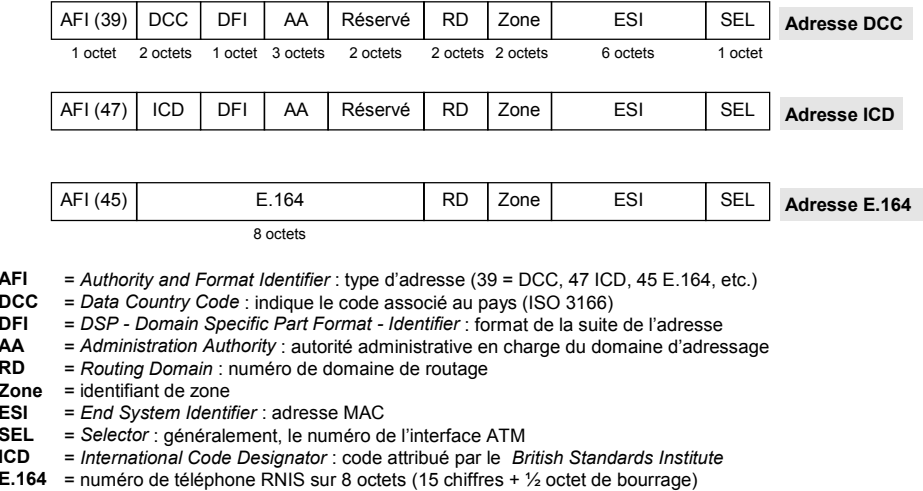


L'adressage ATM

ATM peut utiliser trois types d'adresses encapsulées au format NSAP :

- DCC pour les réseaux publics et privés ;
- ICD pour les réseaux privés ;
- E.164 pour les réseaux publics, soit de manière native, soit encapsulée dans une adresse NSAP.

Figure 10-18.
Format
des adresses ATM.



Dans les réseaux publics, ATM utilise une adresse E.164 native.

L’adressage Frame Relay

Les réseaux Frame Relay peuvent utiliser deux types d’adresses :

- **E.164**, identique aux numéros de téléphones RNIS
- **X.121**, identique aux réseaux X.25.

Figure 10-19.
Format
d’une adresse E.164.

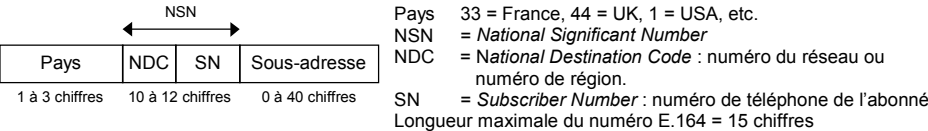
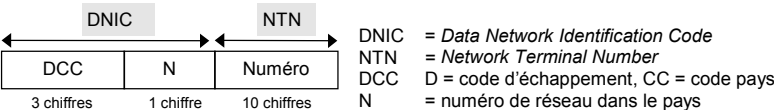


Figure 10-20.
Format
d’une adresse X.121.



Interopérabilité entre Frame Relay et ATM

Les réseaux Frame Relay et ATM peuvent être utilisés conjointement de deux manières : soit par encapsulation de Frame Relay dans les cellules ATM, soit par conversion de protocole. L’opérateur peut ainsi offrir un réseau avec une interface Frame Relay tout en utilisant ATM au sein de son réseau fédérateur.

La seconde méthode consiste à convertir une trame Frame Relay en un PDU AAL-5.

Frame Relay	ATM
Encapsulation NLPID ou SNAP (RFC 2427)	Encapsulation SNAP/LLC sur AAL-5 (RFC 1483)
Bit DE	Bit CLP
Bit FECN	Bit EFCI
LMI	ILMI
Inverse ARP (PVC)	Classical IP : Inverse ARP (PVC) et serveur ATM (SVC)