

Chapitre 1 : Introduction

Objectif : Faire communiquer des machines distantes (sans les relier point à point) → On découpe le réseau en plusieurs parties :

- Hôtes (machines d'extrémité)
- Sous réseau de communication (composé de commutateurs et de lignes de transmission)

Commutateur : équipement qui se caractérise par un certain nombre de liens entrants et sortants.

Cas du réseau téléphonique :

- Réseau d'accès = équipement qui connecte l'hôte au premier commutateur
- Réseau de transport = sous-réseau de communication

Mode connecté : On crée une connexion avec le destinataire, on échange avec lui et on ferme la connexion. Le chemin source/destination est marqué → toute l'info passe par le même chemin.

Pb : si panne, il faut reformer la co avant de continuer à émettre.

Mode non connecté : on ne prévient pas le destinataire

Commutation de circuit : Allocation fixe, fonctionnement synchrone

On découpe le support de communication :

- Soit fréquemment (une communication téléphonique sur chaque bande)
- Soit temporellement : chaque période de temps est allouée à un utilisateur.

Commutation de circuit : On met en relation directement les différents nœuds pour propager la donnée. Chemin émetteur/récepteur = tuyau

Commutateur de circuit : Correspondance entre une bande de fréquence sur le lien entrant avec une bande de fréquence sur le lien sortant. Temps constant pour être traversé

Commutation de paquet : Pas d'allocation fixe, asynchrone

Multiplexage statistique : On envoie les paquets quand ils sont prêts, donc de manière asynchrone → on profite des blancs de certaines communications pour faire passer les paquets d'autres

Commutateur de paquets : On reçoit des paquets de façon asynchrone, on regarde si le paquet est correct. On doit choisir parmi les paquets celui qu'on envoie en premier, puis on l'envoie sur le lien de sortie correspondant → Temps de traversée variable.

Qualité de service

Commutation de circuit : une fois que la co est établie, plus de soucis de perf => On mesure le taux de rejet de connexion.

Commutation de paquet : On mesure l'intégrité des paquets reçus.

Adressage : Plusieurs types :

- Adressage structuré : facilite le routage (ex : Numéros de téléphone)
- Adressage non structuré : taille des adresses plus faibles (ex; ethernet)

Chapitre 2 : X-25

X25 : transmission à bas débit sur des supports de qualité incertaine

1 - HDLC

HDLC : High Level Data Link Protocol : un des seuls trucs normés de X25

Objectif : Permettre l'envoi de trames sur un support de communication

Peut faire de l'émission de données avec et sans connexion : On configure les équipements sans connexion, et ensuite on échange les données avec connexion.

Modes de connexion :

- maître/esclave (mode normal de réponse : NRM) : multi-point : le maître gère tout (ouverture/fermeture de connexion), les esclaves ne peuvent parler que si on les autorise.
- Mode pair-à-pair (Mode Asynchrone équilibré : ABM)

a - Structure de la trame



Un fanion (qui vaut 01111110) est ajouté au début et à la fin de la trame.

Pb : si on a la valeur du fanion dans les données à transmettre → Si on a 5 1 consécutifs à transmettre, l'émetteur ajoute un 0 juste après. Au niveau du récepteur, si on a le motif 5 1 puis 1 0, on enlève le 0. Sinon, c'était un fanion.

Notez qu'on a qu'une seule adresse : les esclaves ne peuvent pas parler entre eux, donc la communication va toujours du maître vers l'esclave ou de l'esclave vers le maître.

Commande : Indique le type de trame

Code d'erreur : code polynomial. Toute trame erronée est supprimée. (fanions non comptabilisés dans le champ d'erreur).

b - Configuration du champ de commande

N° bit	1	2	3	4	5	6	7	8
Trame I	0	N(S)			P/F	N(R)		
Trame S	1	0	S		P/F	N(R)		
Trame U	1	1	M	M	P/F	M	M	M

Trois types de trames :

- **Information(I)** : envoi de données en mode connecté. Elles sont numérotées. Dans le sens de transmission, on envoie en même temps que les données un ACK pour le paquet d'avant (piggybacking)
- **Supervision(S)** : contrôle de flux + reprise sur erreur
- **Non numérotée** (Unnumbered : U) : ouverture, fermeture de connexion + envoi de données sans connexion

Infos que l'on peut souvent retrouver sur les chronogrammes à côté des trames :

N(S) : Numéro de la trame envoyée

N(R) : Numéro de la trame attendue

P/F : permet de faire du polling.

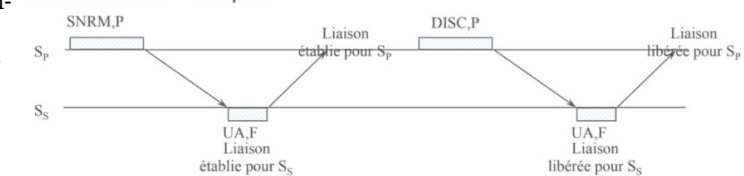
SNRM : Set NRM : demande de connexion

SABM : Set ABM : demande de connexion

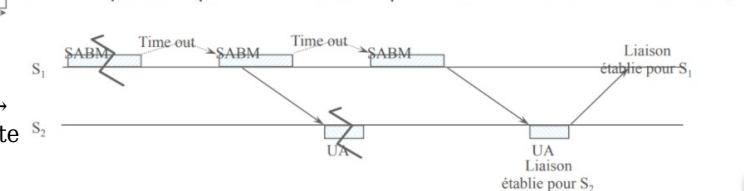
UA : Unnumbered Acknowledgement

DISC/Us : Déconnexion

Mode Normal de Réponse



Mode Équilibré (plus illustration reprise sur erreur de transmission)



Eclair gris foncé : pas transmis correctement

Pas de numérotation de connexion → Au plus une connexion ouverte à chaque fois.

Les trames U ne sont pas protégées par les mécanismes de trames S. Pour celles-là, si il y a erreur de transmission, on attend un certain et on retransmet.

c - Fiabilisation des trames I

On utilise **ARQ** (Automatic ReQuest) : on envoie explicitement des infos pour que l'émetteur recommence.

Si on reçoit une trame dont le numéro ne correspond pas au numéro attendu, ou que le délai de retransmission est passé, on la retransmet.

Contrôle de flux: mécanisme de fenêtre comme dans TCP (à taille constante). On peut émettre ou réémettre les trames dont le numéro est dans la fenêtre. Les ACK sont cumulatifs. On valide en donnant le numéro de la trame qu'on attend. Si le récepteur a des données à envoyer, il glisse son ACK dans les données.

d - Mécanismes de supervision

4 types de trames S:

- **RR** : Receiver Ready : matérialise les accusés de réception positifs ; RR,n : on attend la trame n. Les RR pas soumises au contrôle de flux ni aux mécanismes de reprise. Les trames I incluent implicitement une trame RR.
- **RNR** : Si le récepteur a un pb, il demande à l'émetteur de s'arrêter avec une RNR,n. Toutes les trames envoyées entre temps ne sont pas traitées par le récepteur. Au delà de la trame n, il faut tout recommencer, mais tout jusqu'à n a été correctement reçu.
- **REJ** : Reprendre à partir de la première erreur. Dès qu'une erreur survient, on la supprime et à la prochaine trame correcte qui arrive, on demande à recommencer depuis l'erreur : mécanisme Go-back-n. On demande ça avec une trame REJ,n, qui demande la reprise de tout à partir de n COMPRIS.
- **SREJ** : Rejet sélectif. On rejette explicitement la trame n → on valide tout jusqu'à n, non inclus, et on garde en mémoire toutes les trames correctes qui arrivent, et on attend de recevoir n. Limite: on ne peut rejeter qu'une trame à la fois.

Les trames RR permettent de faire du polling : Quand le maître a fini d'envoyer des données à un esclave, il met le bit P à 1 pour indiquer à l'esclave qu'il peut parler. L'esclave répond avec un RR avec le bit F à 1. (Ou sinon, le maître envoie juste un RR avec le bit P à 1)

e - LAP-B

Utilise HDLC, mais ne fonctionne qu'avec des connexions équilibrées (ni NRM ni UI) : On utilise que SREJ.

2 - X25

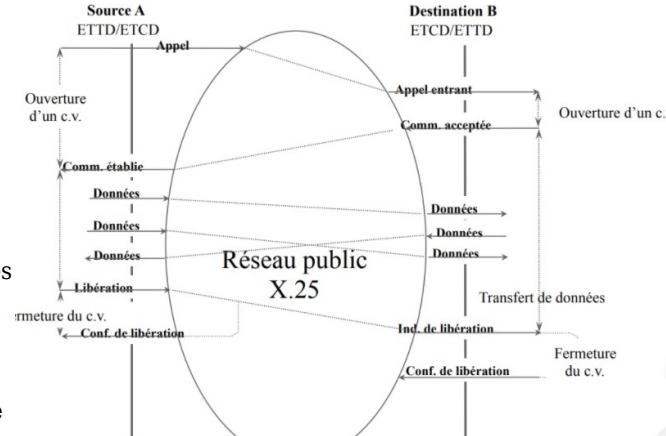
Achemine les paquets en mode connecté.

Un fragment de données : encapsulé dans X25 puis dans une trame I. La procédure LAPB (qui s'occupe d'envoyer les trames), se déroule sur chaque lien indépendamment.

En-tête du paquet : 4 octets :

- 12 bits de numéro de connexion
- Premiers bits qui indiquent si la numérotation se fait modulo 8 ou 128 (XX01/XX10 : module 8/128 et XX dépend du type de paquet)
- Type du paquet

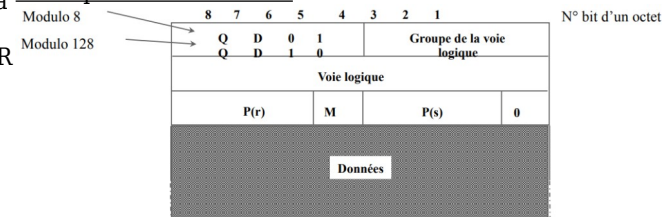
Vie d'un circuit virtuel



a - Routage

S'effectue étape par étape. Au moment de mettre en place la connexion, on regarde la table de routage commutateur par commutateur pour choisir le chemin. Ensuite, on ne sert plus des tables. On a aussi des connexions permanentes, pour lesquelles pas besoin de mettre en place la connexion.

b - Paquets de données D



P(S) : Paquet envoyé, P(R) : paquet attendu.

bit Q : permet de distinguer les paquets de contrôle des paquets de données

bit D : donne la portée des accusés de réception : ils peuvent portée de bout en bout du circuit, ou de proche en proche (mais pas les deux à la fois)

c - Fragmentation

On ne peut en faire que si les accusés sont de proche en proche. bit M = 0 : message complet, =1 : paquet intermédiaire.

Taille min des paquets : 32 octets. Taille max : 128 octets.

d - Déconnexion

Plusieurs cas de figure : fin de la communication ou refus de connexion. Dans le message de déconnexion on peut transmettre pourquoi le refus (débit trop important ou réseau trop chargé).

Chapitre 3 : Frame Relay

1 - Historique

Frame Relay (relaying de trame) : protocole à commutation de paquets (couche de liaison) pour les échanges dans WAN.

Objectif : augmenter les débits offerts aux utilisateurs

Contexte : déploiement fibre optique dans les réseaux des opérateurs + commutateurs de paquets plus fiable → remplacement de X.25 qui est trop lourd en termes de mécanismes de fiabilité (on passe son temps à renvoyer des trames RR).

→ simplifier fonctionnement global du réseau et les mécanismes de niveau liaison.

→ un seul protocole qui s'occupe de la vérification et de la commutation des trames (cc Ethernet, à la différence qu'en Ethernet on est en mode non connecté) (fusionner les niveaux LAP-B et X.25 permet d'aller plus vite)

Première idée : **Frame Switching** (commutation de trames) qui unifie les parties réseau d'accès (cuivre) et réseau de transport (fibre) → mauvaise idée car bcp d'erreurs sur cuivre (besoin de contrôle) et très peu sur fibre (envie de simplicité).

Idee retenue : **Frame Relay** (relaying de trames) pour le cœur de réseau.

On sépare la signalisation (connexions) et l'envoi de données (on veut tout de même fiabiliser la connexion car c'est un point critique : routage, acceptation/refus, ...).

2 - Fonctions remplies par le protocole du relaying de trames

Dans les noeuds du réseau (vient de LAP-B / X.25) :

- **délimitation** (fanion de début/fin de trame), **transparence** (faire disparaître le fanion)
- **multiplexage/démultiplexage des trames**
- **vérifications longueur trame** (nombre entier d'octets, ni trop longue ni trop courte)
- **élimination des trames avec FCS incorrect**

- **commutation** sur le champ de référence **DLCI** (Data Link Connection Identifier).

Renvoyé aux extrémités du réseau :

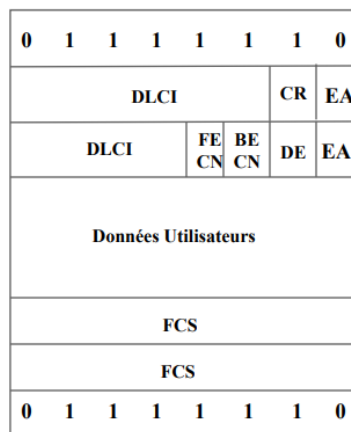
- contrôle de flux
- reprise sur erreur

→ quand on envoie des paquets X.25 / TCP IP / UDP IP, c'est X.25 / TCP / l'application qui s'en occupera.

(attention, même si c'est des trames que l'on va commuter, on reste dans la catégorie des réseaux "à commutation de paquets").

3 - Format des trames : LAP-F

- **Fanions de début de fin** (identique à HDLC pour délimitation et transparence)
- **DLCI** peut être étendu jusqu'à 4 octets, certains sont réservés pour la gestion de FR ou de l'interface
- **CR** : Commande/Réponse (équivalent du bit PF)
- **EA** : Extended Address
- **DE** : Discard Eligibility permet d'indiquer les trames prioritaires par rapport à la perte (en cas de congestion, elles seront supprimées en premier)
- **BECN** : Backward Explicit Congestion Notification (notification congestion vers l'arrière)
- **FECN** : Forward Explicit Congestion Notification (vers l'avant)
- **Données** : paquet X.25, paquet IP, ...
- **Code erreur** sur deux octets (même polynôme générateur qu'HDLC) : une trame erronée est supprimée.



(attention : sur l'image, bits de poids faibles d'abord)

Taille maximale : 8188 octets (recommandée : 4096 octets) → possible car taux d'erreur binaire faible grâce à fibre optique. Tous les équipements doivent savoir traiter des trames qui font au moins 260 octets.

Différence avec trames HDLC :

- **plus de champ de commande/contrôle** qui permettait de définir le type de trames :

- il n'y a pas d'ouverture/fermeture de connexions donc les trames U disparaissent
- il n'y a pas de contrôle de flux / reprise sur erreur donc les trames de supervision S disparaissent
- il n'y a plus que des trames de données, mais ici pas besoin de les numéroter car pas de mécanisme de reprise, toutes les trames suivent le même chemin (pas de réordonnancement), pas d'acquittement, ...

on a donc plus que des trames I (ou UI mais dans le cadre de connexion)

- **structure du champ d'adresse** : ici c'est en réalité le numéro de la connexion (dans un mode circuit virtuel, ce sont les messages d'ouverture/fermeture qui contiennent les adresses).

Le numéro de connexion comporte au moins 10 bits (peut être augmenté à 17 ou 24) : le champ d'adresse est sur 2, 3 ou 4 octets et le premier bit de l'octet EA permet de dire si l'octet en question est le dernier ou pas.

- **ajouts** de DE, BECN et FECN

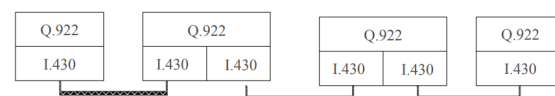
4 - Piles de protocoles

On distingue les piles de protocoles utilisées pour les données de celles pour la mise en place des connexions.

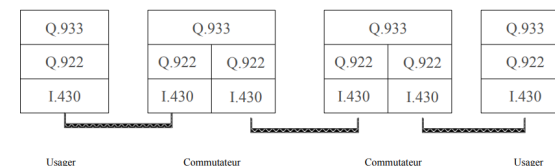
On parle des protocoles :

- **Q.922** (données) : protocole de relayage de trames qui utilise le format LAP-F. Il s'occupe d'acheminer les trames entre les extrémités.
- **Q.933** (connexions) : protocole qui s'occupe de l'ouverture des connexions Q.922. Il contient l'adresse de destination, les caractéristiques de la connexion... et c'est là que s'effectue le routage (construit de proche en proche : chaque commutateur prend sa décision de routage). Pour que les commutateurs reconnaissent les trames Q.933 (qui sont encapsulées dans les Q.922), on utilise le DLCI 0.

Envoi de données – Plan U (Usager)



Gestion des connexions – Plan C (Contrôle ou Commande)



Les trames à commuter (Q.922) utilisent ensuite le numéro de DLCI choisi par les commutateurs consécutifs. Ceux-ci ont stocké le numéro dans la table de routage et ne prennent aucune décision lors d'un transfert de données.

Q.922 n'a aucun mécanisme de fiabilisation : on les rajoute dans Q.933 (temporisation comme sur HDLC par exemple).

5 - Service en mode connecté (Q.933)

Deux types de connexion :

- **permanente** (PVC), établie par abonnement : les abonnés précisent de quel débit ils ont besoin vers tel endroit → mise en place invisible des connexions par le réseau (mise à jour des tables de commutation)
- **commutée** (SVC), ouverte à la demande : utilisation de Q.933 pour établir les connexions. → Q.933 met donc en place des SVC.

4 types de messages (qui utilisent donc DLCI=0 pour être identifiés par les commutateurs) :

- **SETUP** : demande de connexion. En l'absence de réponse (connect ou release) on réémet, ...
- **CONNECT** : acceptation de connexion
- **RELEASE** : demande de déconnexion
- **RELEASE COMPLETE** : acceptation de déconnexion

→ fiabilisé aux extrémités.

La demande de connexion contient les adresses et les paramètres de la connexion.

Mais pas de format d'adresse proposé par FR → utilisation d'adresses X.25, IP, téléphoniques... selon qui l'utilise. → utilisation d'un champ type d'adresse dans les messages de connexion (en plus des adresses source et destination). Attention on a le même type d'adresse source et destination : le relayage de trame ne sert qu'à relayer des messages entre deux extrémités, et ça peut être des paquets X.25, des paquets IP, ...

6 - Les paramètres de Frame Relay

C'est des nouveautés par rapport à X.25 (et elles perdurent dans les contrats de service qui sont négociés avec les opérateurs).

- **CIR (Committed Information Rate)** : **débit garanti** (débit des trames prioritaires par rapport à la perte et pour lesquelles on a garantie de QoS en termes de délai et taux de perte). Le débit garanti du sens sur une période notée Tc. Ce qui est garanti est donc le volume $B_c = CIR * T_c$.

- **EIR (Excess Information Rate)** : débit en excès pour les trames non prioritaires. Aucune garantie de QoS (Best Effort) ni en termes de pertes ni de délai. De la même manière, c'est sur une période T_c et le volume est $Be = EIR * T_c$.

Trames $DE=0$: prioritaires par rapport à la perte (supprimées en dernier en cas de congestion). On peut toujours avoir des pertes, mais on les évite grâce au circuit virtuel, l'acceptation de connexion, le routage...

- **CAC (contrôle d'admission des connexions)** : fonction pour vérifier si on peut ou non **accepter une connexion** (repose sur les paramètres CIR, Bc et Be et se base sur les probabilités de perte de trames, les délais d'acheminement, ...). On utilise des files d'attente : on regarde ce qu'on peut garantir en fonction de la demande de connexion et de celles qu'on a déjà acceptées. Ces algos ne sont pas normalisés (ils sont à l'appréciation de l'opérateur).

- **Surveillance des paramètres de trafic / User Parameter Control** : le premier commutateur **vérifie que l'utilisateur respecte son contrat**.

A chaque trame, on regarde si engagements respectés (si $DE=0 \rightarrow CIR$, sinon $\rightarrow EIR$). 2 façons de surveiller :

- **fenêtre coulissante** : $\forall t$, $\text{volume}(t-T_c, t) \leq B_c$. Compliqué à mettre en place (stocker date et taille de toutes les trames reçues pdt T_c).
- **fenêtre sautante** : $\forall k$, $\text{volume}(k.T_c, (k+1).T_c) \leq B_c$. Simple à mettre en place (pour chaque connexion, on ne gère que le volume et le numéro de la période)

Coulissante est + restrictive. C'est sautante qui est retenue (avec $T_c=1s$).

Si trame conforme \rightarrow laisse passer. Sinon \rightarrow déclasser (DE passe à 1) ou supprimer.

7 - Contrôle de congestion - 1er mécanisme

a - Evolution

- Dans X.25 : on fait du contrôle de flux pour faire du contrôle de congestion \rightarrow lourd (accusés de réception congestionnent...).
- Relayage de trames : se focaliser sur comment limiter les congestions. Comme on est en mode connecté, on dit que si congestion on réduit le débit. \rightarrow mécanisme de notification (mais X.25 faisait ça...) \rightarrow on décide de "piggybacker" la notification dans les trames de données !

b - Congestion

Encombrement d'une file d'attente de sortie d'un commutateur. C'est une notion qualitative :

- ça peut être un taux de remplissage de la file. Ce seuil est à bien choisir (délai entre détection et réaction du réseau) \rightarrow il faut une marge (mais si trop importante, sous utilisation du réseau). Technique simple car un seul paramètre à déterminer mais risque d'instabilité (oscillation autour du seuil) \rightarrow mécanisme à deux seuils (mais 2nd paramètres à régler...).
- regarder la valeur et la dérivée du taux de remplissage
- ... pas normalisé

1er mécanisme

Si une trame rentre dans un nœud congestionné, on tague avec $FECN=1$ (sens de passage des trames : notification vers l'avant). Le destinataire mesure le taux de trames $FECN=1$ et quand taux atteint, on envoie un (des) message de contrôle (avec un DLCI particulier car pas trame données) vers la source pour qu'elle réduise son débit.

Lorsque la congestion est dissipée, le débit augmente graduellement.

2ème mécanisme (complémentaire)

Un nœud congestionné positionne $BECN=1$ si le lien duquel le message vient est congestionné (sens inverse de passage : notification vers l'arrière). Ça a du sens car les liens sont bidirectionnels.

Dès qu'on reçoit une trame avec $BECN=1$, on réduit le débit (puisque on sait qu'on va tomber sur un nœud congestionné).

$FECN$ est plus lent, mais $BECN$ ne marche que s'il y a du trafic bidirectionnel.

Dans les deux cas, on signale une congestion mais aucune info sur lieu ou gravité. On peut pénaliser une connexion qui vient de débiter.

Il peut y avoir des améliorations, mais si on veut être équitable, il faut garder pleins d'infos, et sûrement plus de signalisation (ici c'est juste avec $FECN$, vs X.25).

C'est surtout $FECN$ qui peut être amélioré : le commutateur demande la réduction du débit plutôt que le destinataire (mais ça peut conduire à beaucoup d'ordres si le chemins comporte beaucoup de nœuds congestionnés) cf ATM.

Mécanismes en plus :

- Suppression des trames $DE=1$ dès l'accès au réseau en cas de congestion.
- Pour dérouler le routage, échanges de messages entre les commutateurs sur l'engorgement du réseau

- Protocoles de mesures sur le réseau, de configuration d'équipement...

8 - Comparaison X.25/FR

	X.25	Frame Relay
Qualité Support	faible	forte
Temps de Transit	élevé	faible
Débits	peu - jusqu'à 64 Kb/s	64 Kb/s - 2 Mb/s
Multiplexage	Niveau 3	Niveau 2
Contrôle de flux	Niveau 2 et 3, local et de bout en bout	Par l'application (boucle ouverte et de bout en bout)
Contrôle de Congestion	Mécanisme à fenêtre	Notification de congestion
Garantie livraison des données	oui	non
PDU / Couches OSI couvertes	Paquets (taille variable) 1, 2 et 3	Trames (taille variable) 1 et les principales fts de 2

Le plus important : augmentation des débits (mais ça ne fonctionne que sur les supports fiables).

9 - Conclusion

Premier forum regroupant équipementiers, opérateurs, ... pour accélérer la standardisation ITU qui est très lente \rightarrow le FR-Forum. Il a travaillé avec l'IETF pour le transport de paquets IP sur du FR, et s'est aussi occupé sur le transfert de la voix sur FR (format des messages, signalisation pour pouvoir émuler de la téléphonie d'entreprise sur du FR (avant VoIP !)). Par exemple, ces trames seront plus petites et on pourra les faire passer avant les grosses qui comportent des morceaux de fichier.

Chapitre 4 : ATM

Réseaux ATM (= Asynchronous Transfer Mode)

1 - Historique

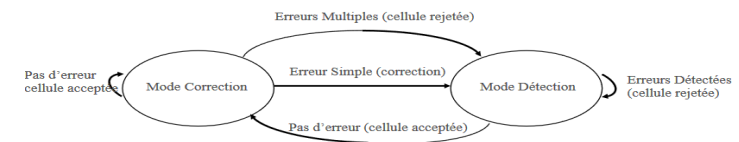
- nouvelles applications des réseaux de télécommunication (voix, vidéo, données...) \rightarrow **débits très hétérogènes**
- améliorations des technologies (généralisation fibre optique, amélioration des commutateurs)
- limites des solutions existantes
- besoin "d'unifier" la double solution réseaux "paquets" + réseaux "circuits"

\rightarrow Développement d'une solution universelle : les réseaux ATM

Pile des protocoles d'ATM

Couche Supérieure
AAL = Couche d'adaptation à l'ATM
Couche ATM
Couche Physique

Classe de Service	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Contraintes Temporelles	oui	oui	non	non
Débit	constant	variable	variable	variable
Type Fonctionnement	Orienté connexion	Orienté connexion	Orienté connexion	Sans connexion
Exemples	• Circuit • Téléphonie • Visiophonie	• Vidéo à débit variable • Parole avec compression	• Données en mode connecté Fichiers	• Données en mode non connecté - Messages



Caractéristiques générales d'ATM :

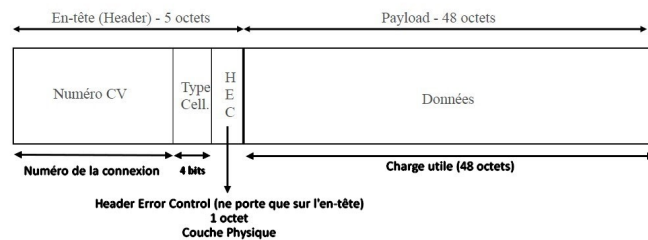
- mode connecté (comme pour X.25 et FR)
- mode paquets de taille unique et petits (car débits non fixes + petits paquets utiles pour éviter trop de bourrage quand on transmet de la voix + commutateurs plus simples avec taille fixe)
- peu de contrôle d'erreur, de flux ou de congestion

Fonctions des différentes couches

- Couche AAL = couche de transport, c'est sur cette couche que portera toute la complexité protocolaire (cette dernière dépendra du type d'application)
- Couche ATM = acheminement des données et surveillance des transmissions, cette couche applique un protocole simple pour ne pénaliser aucune application
- Couche Physique = transmission sur le support

Format général des cellules ATM

Cellule ATM = 53o (taille fixe) = 5o d'en-tête + 48o de données



Remarques :

- pas de contrôle d'erreur sur les données
- longueur totale = 53 octets → vient d'un compromis entre 32o pour la voix et 64o pour les données

Les classes de service AAL (différentes classes selon l'application)

Remarque : Ce système de classification peut encore être utilisé pour la création de nouvelles solutions de réseaux de télécommunications.

1 - Les couches physiques pour l'ATM

"ATM a été conçu pour fonctionner sur tout type de support physique (fibre optique, cuivre, hertzien, synchrone ou asynchrone...)" → couche physique découpée en 2 (pour pouvoir émettre les cellules ATM sur les différents supports) :

- sous-couche de convergence de transmission (partie haute) :
 - découplage/délimitation des cellules ATM (spécifique/lié à ATM)
 - création/vérification HEC (spécifique/lié à ATM)
 - adaptation à la trame de transmission de la couche physique (encapsulation des cellules ATM dans les messages de niveau physique)
 - création/récupération de trames
- sous-couche du support physique (partie basse, classique) :
 - horloge binaire
 - support physique

a - Adaptation des débits

- on a rien à émettre → on émet des cellules vides (+ mécanisme de scrambling)
- cellules prêtes → on les donne à la couche physique (= support de communication avec un certain débit), donc de manière asynchrone : si débit cellules ATM > débit support → cellules ATM mise en file d'attente

- on intercale des messages (aussi des cellules) entre les cellules pour assurer le bon fonctionnement des équipements

b - Protection contre les erreurs

→ automate à état avec une détection des erreurs qui ne porte que sur l'en-tête (par HEC)

c - Délimitation des cellules

Cellules de taille constante → utilisation du code d'erreur pour délimiter les cellules

→ recherche permanente du HEC

Principe : On cherche le code d'erreur une première fois, une fois qu'on l'a, on "coupe" les trames tous les 53 octets tout en vérifiant qu'on retombe bien à chaque fois sur le code d'erreur. → synchronisation

→ technique plus robuste que celle du fanion type HDLC (qui était trop coûteuse)

2 - La couche ATM

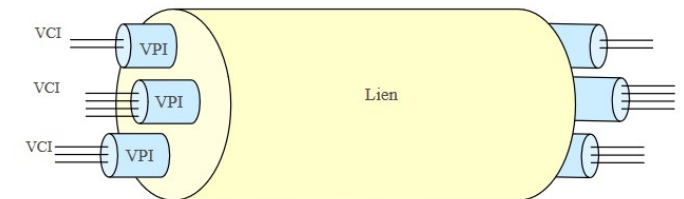
a - Connexions ATM

Le mode connecté d'ATM fonctionne sur un numéro de connexion / numéro CV (= de circuit virtuel) → mode circuit virtuel avec numéros relatifs, sans numérotation des cellules

Numéro CV séparé en 2 parties :

- VCI = n° de circuit virtuel
- VPI = n° de conduit virtuel

→ Dans un même conduit virtuel, on a plusieurs circuits virtuels (plusieurs petits tuyaux dans un gros tuyau, cf. schéma). Tout ce qui passe dans un même conduit virtuel est du même type de service (permet d'associer une qualité de service à un ensemble, le conduit).



VCI - Virtual Channel Identifier

VPI - Virtual Path Identifier

Circuit virtuel = entre 2 extrémités du réseau (connexions commutés)

Conduit virtuel = entre 2 noeuds du réseau (connexions permanentes)

→ 2 type de commutateurs :

- commutateur ATM / switch = regarde VPI et VCI
- brasseur = regarde uniquement le champ VCI

b - Format cellules ATM

voir plus haut

c - Champ type de cellule

seule partie permettant de différencier les cellules avec :

- 3 bits du **PTI** (=Payload Type Identifier)
 - 1er bit : indique cellule de gestion ou de données
 - 2ème bit : si cellule de données, indique si la cellule est passée par un noeud congestionné (EFCI)
 - 3ème bit : laissé à la couche AAL
- 1 bit de **CLP** (= Cell Loss Priority)

d - Contrôle ATM

Dans les réseaux ATM on a des **UNI** (= User to Network Interface) et des **NNI** (= Network to Network Interface).

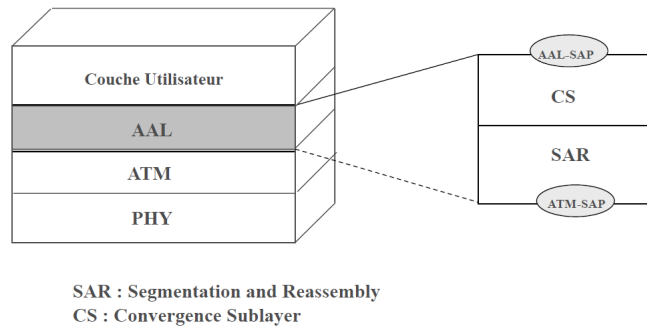
On a différentes fonctions :

- **CAC** : Call Admission Control (admission de connexion)
- **UPC/NPC** : User/Network Parameter Control (contrôle des paramètres utilisateur/réseau)
- **RM** : Resource Management (gestion de ressources)
- **PC** : Priority Control
- **TS** : Traffic Shaping (remise en forme du trafic)

3 - Les couches AAL

a - Couches AAL subdivisées en 2 parties :

- **CS** (= Convergence Sublayer) : partie haute → contient les fonctions spécifiques (traitement d'erreurs, synchronisation...)
 - redécoupée en 2 sous-couches :
 - **CPCS** : contrôle d'erreur (moins lourd que si c'était sur la couche SAR)
 - **SSCS** : fiabilité supplémentaire (signalisation) : protocole qui fait de la numérotation de messages, du contrôle de flux et du polling pour savoir ce qui a été reçu correctement
 - **SAR** (= Segmentation And Reassembly) : partie basse
 - fournit simplement à la couche ATM des tronçons de 48 octets (taille charge utile)



b - Les différentes AAL

On avait différentes classes au début de la standardisation d'ATM, chaque classe devait avoir son AAL. Devant la lenteur de la standardisation AAL, il y a eu nécessité de la création d'une AAL supplémentaire simple :

AAL-5 → objectif : transmettre des paquets IP au-dessus d'ATM + signalisation

→ On a pas une AAL-5 mais DES AAL-5 (c'est même la seule qui soit réellement opérationnelle, à ce moment là de la standardisation).

Chapitre 5 : ATM Suite

0 - Vocabulaire

PG (Peer Group) = Niveau dans la hiérarchie PNNI

PGL (Peer Group Leader) = Leader d'un PG

maxCR = maximum Cell Rate, débit max de cellules sur un chemin

avCR = available Cell Rate

GCAC = Generic Cell Rate Algorithm

1- Routage en ATM -PNNI

a - Présentation générale

Routage = ensemble de protocole qui transmettent l'état du réseau pour calculer les routes

→ Pour assurer l'universalité d'ATM on agrège les informations pour ne pas avoir à connaître tout l'état du réseau à chaque instant

Le routage doit permettre d'assurer la qualité de service par le choix d'une route "bonne" et ensuite par la réservation des ressources (si tout le monde la trouve bien et l'utilise on ne respecte plus la QoS) → c'est la notion de **routage QoS**

Pour l'acheminement des paquets, on peut faire du routage "bond par bond" ou du routage par source (source = premier commutateur)

routage par source

→ évite les boucles de routage

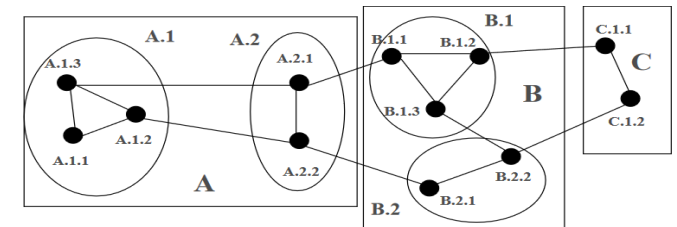
→ mais la décision est prise par la source → vérifier que les ressources sont disponibles → introduction des fonctions GCAC (vérifie les ressources sur le premier commutateur) et CAC (sur un commutateur donné vérifie les ressources locales)
→ si on arrive sur un commutateur et les ressources ne sont plus disponibles alors on fait du crankback (= backtracking en ATM)

b - Protocole PNNI (similaire à OSPF)

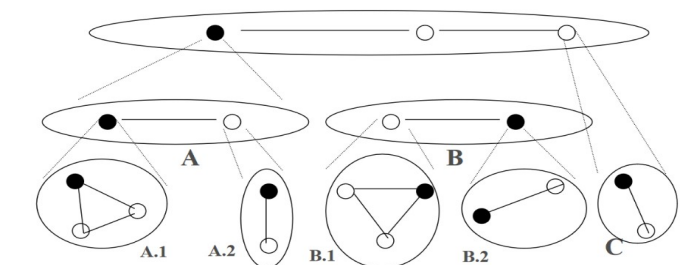
Commutateur construit tout seul sa base de donnée topologique (liens et leurs états) et la met à jour en recevant des messages de type HELLO

Pour le passage à l'échelle on structure le réseau hiérarchiquement sur 13 octets → 104 niveaux possibles
L'adresse totale est sur 20 octets

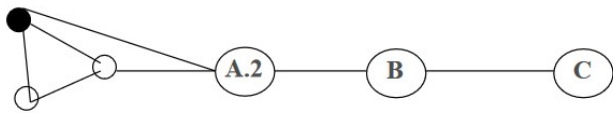
Vu au niveau le plus bas



Vu au niveau supérieur, le nœud noir est le **leader** (PGL) il transmet les informations vers le niveau supérieur et distribue les infos du niveau supérieur vers les niveaux inférieurs



Vision du réseau par un noeud, tous les noeuds d'un même niveau ont les mêmes informations



Ex: Connaissances de A.1.1

→ Chaque élément d'un chemin dans le réseau a des caractéristiques propres (avCR, maxCR, possibilité ou non de multicast)

→ Créer des contraintes sur le chemin (**Métrique**)

Les métriques peuvent être additives (variation du retard de cellule, le coût, ou le retard max) ou multiplicative (ratio max de perte de cellules)

→ Ces métriques permettent de calculer des infos sur les chemins f - Acheminement (version agrégée)

a - Agrégation

- elle permet de réduire les tables de routages et de simplifier la représentation du réseau

ex : on représente un sous-réseau par ses points d'entrée et de sortie avec un lien logique entre les deux (métriques du sous réseau sont ensuite associé au lien logique)

b - Remarques intermédiaires

- Standard ne fournit pas les algorithmes mais juste le protocole PNNI qui permet de distribuer les informations sur le réseau
- But du routage va être de trouver un compromis entre la qualité de l'information et le coût de la signalisation associé

c - Calcul des routes

PNNI transmet les informations mais ne calcule pas les routes

Avant on avait qu'une seule métrique (nombre de bond pour IP)

→ Dijkstra

Maintenant on en a plusieurs (délai, coût, perte) → pas de vraie solution → on hiérarchise les métriques (généralement le coût en premier) et on essaie de la minimiser, si égalité on passe à la suivante

d - Calcul des tables

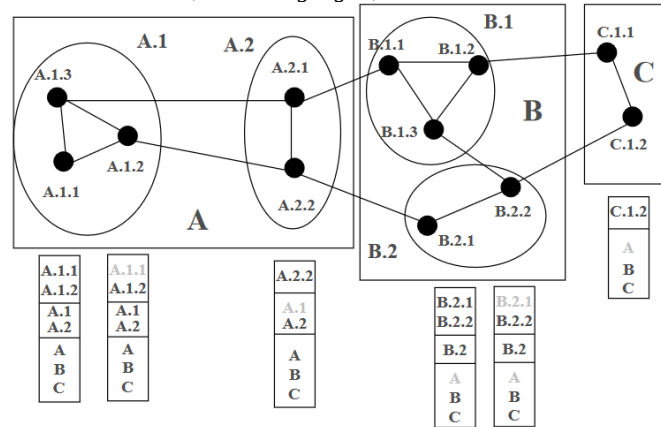
→ route dépend de la demande de connexion (si trop de monde route n'est plus viable)

→ solution trouvée : on pré calcule un certain nombre de routes, on en choisit une à la demande de connexion et si aucune ne convient on recalcule

e - Acheminement

- Demande de connexion se fait depuis la source
- premier commutateur regarde sa table de routage, récupère une route, vérifie la disponibilité des ressources avec la fonction GCAC et met le chemin complet dans le message de demande de connexion
- demande de connexion suit la route du premier commutateur
- chacun des commutateurs vérifie avec CAC qu'il peut toujours accepter la demande de connexion et si elle est acceptée alors mise à jour de la table de commutation

sf - Acheminement (version agrégée)



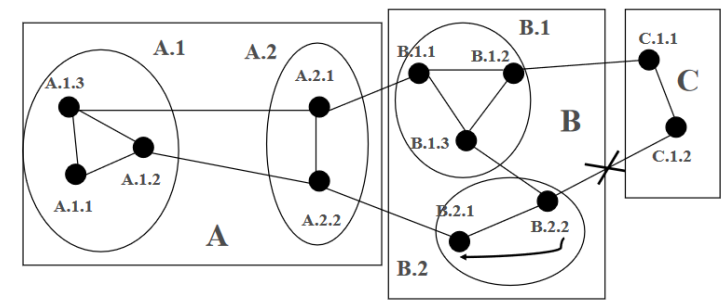
route(la plus à gauche) indique A-B-C, puis que pour atteindre B on passe par A.1-A.2, et que pour aller de A.1 dans A.2 on passe par A.1.1 et A.1.2

g - Crankback

mauvaise estimation par GCAC → un noeud ne peut pas accepter la connexion → 3 solutions possibles :

- refuser la connexion
- repartir de la source et tout recommencer
- repart du dernier noeud qui a regardé sa table de routage

→ dernière solution qui est préférée



2- QoS, Traffic et Gestion des Ressources en ATM

a - Classes de service

t Censé être géré par AAL mais comme ça marchait pas on a introduit les contrats de trafic.

Les classes de services de l'ATM-Forum sont :
(vocabulaire selon ATM-Forum n'est pas le même que celui de
ITU-T, le prof donne celui d'ATM-Forum sans précisé l'autre)

- Constant Bit Rate (CBR)
- Variable Bit Rate temps réel (VBR-rt), Variable Bit Rate non temps réel (VBR-nrt)
- Available Bit Rate (ABR)
- Unspecified Bit Rate (UBR)
- Guaranteed Frame Rate (GFR)

	Garantie délai	Garantie gigue	Garantie débit	Garantie Perte	Indication congestion
CBR	oui	oui	oui	oui	non
VBR	oui	Oui/non	oui	oui	non
UBR	non	non	non	non	oui
ABR/GFR	non	non	Oui (minimum)	oui	oui

Garantie apporté aux différents trafics

VBR → si temps réel on a garanti sur la gigue sinon pas de garantie dessus

Les trafics CBR et VBR ne peuvent pas réduire leur débit (ils correspondent à la voix et la vidéo)

b - Paramètres de qualité de service

On sépare les descripteurs de trafic (trafic à l'entrée du réseau) et les besoins en qualité de service (ce dont l'utilisateur a besoin)

Les descripteurs sont :

- le débit crête (max de débit, pour toutes les qualités de service sauf UBR)
- débit minimum (seulement pour ABR)
- débit moyen à long terme (pour le trafic VBR)
- la gigue à l'accès réseau
- nombre max de cellules que l'on peut envoyer au débit crête (VBR)

Pour les paramètres de QoS on les sépare aussi en 2 :

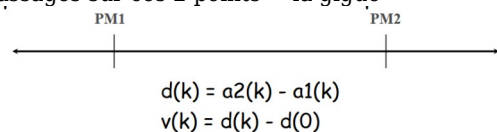
- les négociables (gigue introduite par le réseau, le délai et la perte)
- non négociables :
 - Cell Error Rate et Severely Error Cell Block Ratio → caractérise les erreurs de transmission
 - Cell Misinsertion Rate → cellule envoyées dans une mauvaise connexion

c - Gigue : Mesures et Problèmes

Dès l'entrée dans le réseau, il y a de la gigue qui vient du multiplexage des différents flux et de la gigue d'insertion. → La gigue vient du fait que le nombre de flux multiplexés varient selon le commutateur.

Mesure de la Gigue :

2 points de mesures → la différence entre les délais séparant les passages sur ces 2 points = la gigue



1 point → on prédit la valeur du débit pour un instant suivant ($c(k+1)$) à partir de la valeur de l'instant actuel auquel on va ajouter l'inverse du débit (T)

Et la gigue est la différence entre le débit prédit ($c(k)$) et le débit réel ($a(k)$)

$$y(k) = c(k) - a(k)$$

$$c(k+1) = \max(c(k), a(k)) + T$$

Problèmes liés à la gigue :

- Trafic contraints temporellement (ex : voix) → sensible à la gigue
- AAL1 absorbe une partie de la gigue → création d'un buffer et délivre périodiquement
→ dimensionnement du buffer vient initialement d'une étude de performance

d - Generic Cell Rate Algorithm (GCRA)

Vérifier les paramètres utilisateurs (descripteurs de QoS) :

- surveillance du débit se fait avec le relayage de trames
- par contre rien pour surveiller la gigue

→ Algorithme GCRA pour surveiller la gigue

Principe rapide :

Si la cellule est en retard ou à l'heure → utilisateur utilise ce qu'il a demandé ou moins → pas de problèmes

Si la cellule est en avance → non respect du contrat de trafic → le réseau peut refuser la cellule

- T : Temps entre 2 cellules,
- τ : gigue supportée / trafic réel conforme à l'intervalle d'émission T
- $TAT(k)$ = Heure théorique d'arrivée cellule #k
- $a(k)$ = Heure d'arrivée réelle cellule #k

$$TAT(0) := a(0); TAT(1) := TAT(0) + T;$$

Pour tout k Faire

$$y(k) := TAT(k) - a(k);$$

Si $y(k) \leq \tau$ Alors

/* Cellule Conforme */

$$TAT(k+1) := \max(TAT(k), a(k)) + T;$$

Sinon

/* Cellule Non-conforme */

$$TAT(k+1) := TAT(k);$$

finsi

FinPour

52

→ on peut obtenir un mécanisme semblable avec une file d'attente et un débit sortant constant, on ne fait pas attendre les cellules mais on compte combien on en a (à tout instant)
→ Si la file déborde alors le trafic n'est pas conforme
→ Ce mécanisme est le leaky bucket

3- Boîtes à Outils des contrôles de trafic

a - A l'échelle de temps du délai A/R

Allocation rapide de ressource → pour les flux VBR on peut demander du flux en plus

Adaptation du débit d'émission → pour le trafic ABR la destination envoie un message de contrôle pour voir ce qu'on peut lui envoyer → principe AIMD sur chaque lien entre la source et la destination on transmet le min entre ce qui est possible de passer sur le lien et ce qui a été transmis avant

Contrôle de congestion → uniquement pour les trafic ABR et UBR
→ noeud congestionné envoie un message pour réduire le débit (indication de la congestion avant et arrière avec EFCI/EBICI)

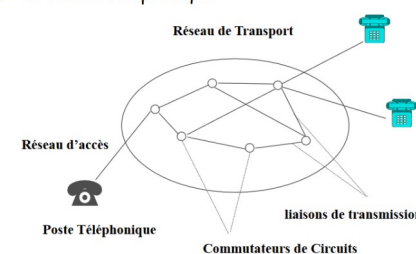
b - A l'échelle des cellules ATM

Contrôles des paramètres utilisateurs → lisser le trafic, supprimer des cellules non vitales (trafic ABR) ou suspendre les ressources si le trafic n'est pas conforme

Ajout de mécanisme au niveau des commutateurs → file d'attente par flux ou classe de service

Chapitre 6 (RTC)

Un réseau téléphonique



Réseau à commutation de circuit : communication via un chemin entre le commutateur de raccordement de l'appelé et l'appelant + circuit physique réservé pour la téléphonie

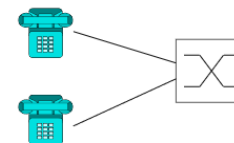
Partage figé du support → permet de multiplexer plusieurs communications à la fois : même quantité de ressources sur chacun des liens (découpage fréquentiel puis temporel)

Commutateurs de circuits : récupèrent les signaux, les séparent (fréquentiellement ou temporellement), les commutent, les transposent, puis les multiplexent.

Temps de traversée (très faible + constant : aucune procédure de retransmission) essentiellement constitué par la somme des temps de propagation sur les différents liens.

1 - Réseaux d'accès

Paire de cuivre torsadée relie les commutateur de raccordement (utilisateurs résidentiels)



- Abonné Résidentiel : Commutateur de Rattachement ∈ Réseau Téléphonique Raccordement par ligne d'abonné
- Abonné Professionnel : Commutateur Privé (PABX : Private Automatic Branch eXchange) Raccordement par le câblage d'immeuble.

Remplacement actuel par IPBX pour passage à la téléphonie sur IP.

Équipements d'extrémités possibles : téléphones analogiques (signal acoustique → signal électrique) ou téléphones numériques (signal vocal → signaux numériques → codage)
Sur des terminaux analogiques, on ne peut pas revenir en arrière quand on compose un numéro (ex : téléphone à cadran) alors que sur les numériques c'est faisable (retour possible tant qu'on appuie pas sur la touche envoi).

Poste Téléphonique (ouvre et ferme la ligne) -brèves ouvertures de ligne : signalisation décimale ou impulsionnelle <→ commutateur de rattachement -Signalisation à fréquences vocales : un chiffre = combinaison de 2 fréquences ; numérotation + Audiotel

2 - Numérisation de la voix

Peut être fait sur le téléphone, sur le PABX ou le commutateur de raccordement.

Attention, quand on numérise la voix, on numérise aussi la signalisation (ie. l'ensemble des informations permettant la mise en place et la fermeture des communications téléphoniques).

■ Sur la paire torsadée

- ♦ utilisation de la bande de fréquence : 300-3400Hz
- ♦ Shannon la fréquence d'échantillonnage doit être supérieure à 2 fois la plus grande fréquence
- ♦ Fréquence retenue : 8000 Hz

■ Échantillonnage, Quantification, Numérisation : MIC (Modulation par Impulsion et Codage)

- ♦ 1 octet toutes les 125 μs ⇒ 64 Kb/s

MIC en français → PCM en anglais (Pulse Coding and Modulation)

Échantillonnage : on relève la valeur la valeur toutes les 125 microsecondes.

Quantification : découpage de type logarithmique (fonction d'expansion inverse (exponentielle) sur le récepteur)

Codage (attribution valeur axe des ordonnées) :

256 niveaux, soit 8 bits selon la loi A

(différent aux USA)

→ Qualité estimée par la moyenne des

notes de cobaye (entre 1 et 5) : Mean Opinion Score

Après numérisation la voix est codée.

Techniques de codage réduisent le débit et la qualité

Pour estimer la qualité du codeur, métrique MOS (Mean Opinion Score) :

- ♦ 'cobayes' testent la qualité 'dans l'absolu' des codeurs :

- ♦ 1 = Mauvais, ... 5 = Excellent.

Quelques scores :

Standard	G.711	G.728	G.729	ETSI GSM 06-10	USA IS96 CDMA
Date of approbation	1972	1992	1995	1988	1992
Bit Rate kb/s	64	16	8	13	8/4/2/1
MOS	4.2	4.0	4.0	3.6-3.8	3.3-3.5

Echo

♦ Acoustique

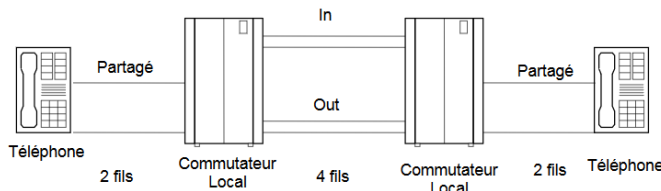
- ♦ retour de l'écouteur au microphone
- ♦ pas gênant si le temps d'aller-retour <= 20 ms
- ♦ Gênant dès que ce temps dépasse 40 ms

♦ Limitation de l'écho :

- ♦ Suppresseurs d'écho : Perte quand l'interlocuteur parle. Problème quand les 2 parlent en même temps.
- ♦ Annuleurs d'écho :
 - Plus complexe. Estimation de l'écho pour le supprimer.
 - Filtre numérique adaptatif (au niveau des commutateurs internationaux pour les liaisons satellites ou des centres de commutation mobile)

Dans le tableau quelques codecs avec les débits associés. Les codecs GSM ont été utilisés en UMTS et peuvent être utilisés en LTE. Les derniers codecs LTE ont des débits entre 6 et 24 Kbits/s avec une fréquence d'échantillonnage de 16000 Hz. Comme on le voit, il sera donc nécessaire de faire des conversions entre ces différents types de réseau

Echo Electrique:



♦ 2 fils <-> 4 fils nécessite un annuleur d'écho

3 - Multiplexage MIC (technique de Time Division Multiplexing)

Trames MIC : 32 octets (période de 125 microsecondes)

- le 1er (numéro 0) pour la synchronisation (idem à HDLC)
- le numéro 16 pour la signalisation
- les octets 1 à 15 et 17 à 31 pour les 30 communications téléphoniques différentes

Le débit agrégé est de 32*64 kbit/s soit 2,048 Mbit/s (on dit souvent par abus 2 Mbit/s).

Les octets non occupés par des communications sont laissés vides (pas de variation de délai).

IT₀ :

- ♦ trames paires : mot de verrouillage de trame (MVT)

MVT = 10011011

- ♦ trames impaires : mot de fonctions (MFT) - alarmes

MFT = 11xxxxxx

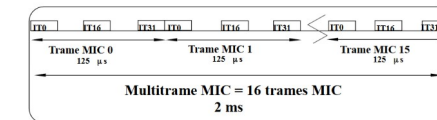
IT₁₆

- ♦ signalisation de 2 voies téléphoniques

- ♦ verrouillage multitrame

Constitution Des Multitrames

- signalisation complète = 16 trames
- durée d'une multitrame = 0,125 * 16 = 2 ms
- taille d'une multitrame = 256 * 16 = 4096 bits
- IT16 de la trame 0 = synchronisation multitrame



MULTIPLEXAGE MIC

Signalisation des voies téléphoniques

■ IT16 des trames 1 à 15 :

- ♦ IT16 de la trame i (1 ≤ i ≤ 15) = signalisation des voies i et i+16

- ♦ signalisation sur 4 bits

- Période de signalisation : 0,125 * 16 = 2 ms

- Débit de signalisation : 4 / 0,002 = 2 kb/s

- Débit de transmission : 1 / 0,002 = 500 multitrames/s

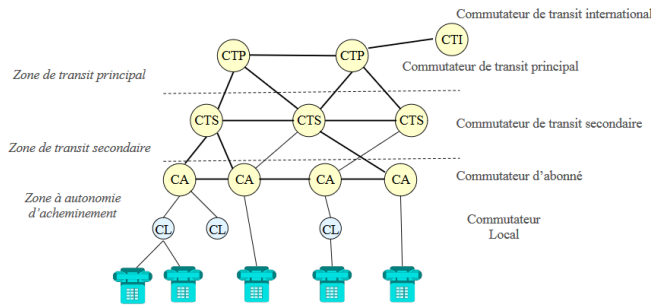
Les systèmes américains (et japonais) reposent sur des trames MIC de 24 octets + 1 bit. La période est de 125 μs (idem). Il n'y a pas d'octet réservé pour la signalisation. Le débit est alors de 193bit/125μs soit environ 1,5Mbit/s. Le bit supplémentaire intitulé « F » permet de faire la délimitation

a - Commutateurs

Hiérarchie :

- Commutateur de Transit Principal (CTP) : trafic national (quelques dizaines)
- Commutateur de Transit Secondaire (CTS) : " régional (quelques centaines)
- Commutateur d'abonnés/raccordements (CA) : définition (quelques milliers)

Topologie pas en arbre, elle n'est pas quelconque et retrace cette hiérarchie (ci-dessous)



b - Adressage

Hiérarchie :

- Code pays (PP) : 33 en France
- Code région (Z) : 1 à 5 en France, 6 et 7 mobiles, 8 n° verts, 9 ADSL/fibre
- Code département (AB) : 2 chiffres
- Numéro commutateur rattaché (PQ ou PQM) : 2 ou 3 chiffres
- Numéro abonné sur ce commutateur (CDU) : 3 ou 4 chiffres (nb abonnés max)

c - Routage

Quand on parle de routage, il faut distinguer plusieurs aspects :

- Le protocole de routage : il permet l'échange d'informations entre les commutateurs pour dérouler/paramétrer l'algorithme de routage
- L'acheminement : c'est là que l'on se sert des résultats de l'algorithme.
- L'algorithmique de routage : elle décide les routes à emprunter
-

→ algorithmique : problème de graphe (on cherche à minimiser le nombre de liens pour la communication dans un réseau représenté par un graphe : algo de Dijkstra mais plus complexe car complications)

→ routage "bond par bond"

Plusieurs familles d'« algorithmes » ont vu le jour

- Hiérarchiques : suit la topologie du réseau
- Partage de charge : à l'aveugle, répartit les appels sur les différents chemins connus
- Adaptatifs : tient compte de l'état courant du réseau
 - ◆ Permet de beaucoup mieux traiter :
 - Les pointes de trafic (type "fête des mères")
 - Les pannes d'équipements (liens, nœuds)
 - ◆ Mais impose des échanges de messages entre les commutateurs

exercices)

(cf

d - Planification du réseau

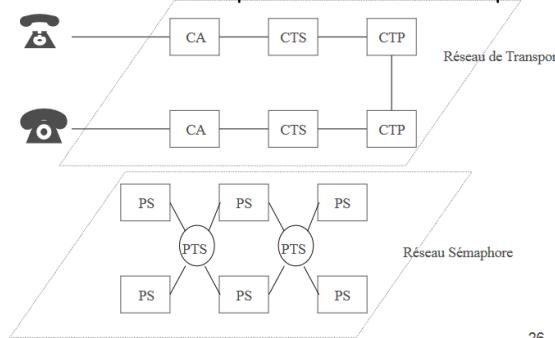
La garantie de qualité de service est de moins d'un appel sur mille refusé par manque de ressources dans le réseau téléphonique dans les 99% des heures les plus chargées.
→ éviter trop de refus ou d'interruptions (attention au matériel endommagé, aux pics de trafic, etc...) : matrice de trafic

e - Réseau Sémaphore (signalisation)

Réseau de type paquet & enrichissant la signalisation (avec des messages)

On ne prend pas les ressources du réseau de transport !

Le système précédent conduit à une signalisation fiable
PTS : Point Transfert Sémaphore, PS : Point Sémaphore



26

Chapitre 7 : SS7 (Système de Signalisation n°7)

Introduction

En télécom, on sépare les données échangées (la voix pour le tel) des données de gestion de signalisation, car les deux ont des besoins très différents (voix nécessite débit constant et faible délai, signal nécessite fiabilité sans contrainte de délai). C'est le mot d'ordre de SS7

1 - Historique

- Début de l'automatisation : signalisation analogique, multiplexage FDM
→ voix ou signal, mais pas les deux en même temps (perte de temps)
- Passage au numérique : multiplexage temporel avec trames MIC
→ voix et signal. Simultanées, gain en fiabilité
- Distinction de 2 types de signalisation :

- Signal. Associée circuit : associée à un circuit de communication
→ pour mise en place directe de com (double appels, transferts)
- Signal Non-associée circuit : pour nouveaux services indirects
→ routage, services mobiles, réseau intelligent (= numéros verts)

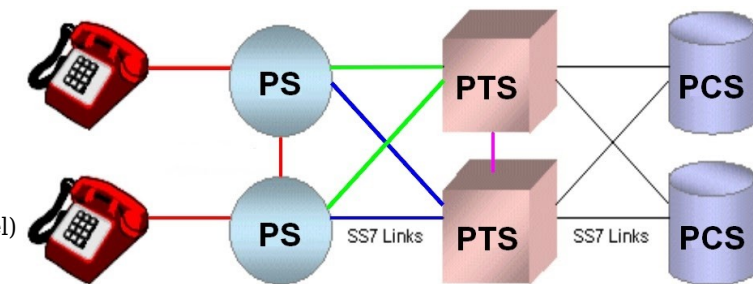
- Distinction de 2 modes de signalisation :

- Mode associé : signalisation et voix emprunte le même chemin
→ intervalle de temps de signal exploité en paquets, répartis entre les utilisateurs d'une même trame MIC
→ pb : limité pour signalisation non-associée circuit.
- Mode quasi-associé : décorrélation partielle du chemin de voix et signalisation (les commutateurs doivent recevoir l'info, la décorrélation se fait uniquement entre)
→ facilite la signalisation non-associée
→ permet une fiabilisation par partage de charge, retransmission,..

→ SS7 sépare logiquement la voix (sur réseau « commutation de circuit ») et la signalisation (sur réseau « sémaphore »)

2 - Le réseau sémaphore

a - Structure physique



Topologie différente entre réseau téléphonique (Rouge) et réseau sémaphore (reste)

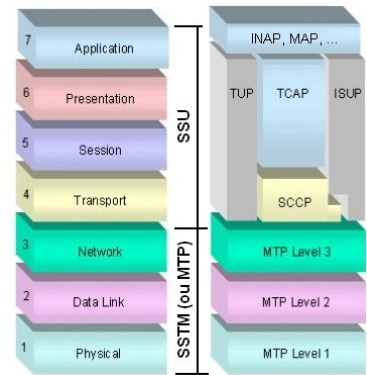
Constitution :

- Points Sémaphores (PS) : équipements d'extrémité (en parallèle des commutateurs)
- Points de Transfert Sémaphore (PTS) : commutateurs de paquets intermédiaires
- Points de Contrôle de Services (PCS) : équipements autres que commutateurs (DataBase, Nœuds de contrôle, ...)

Les PS communiquent toujours par intermédiaire de PTS, laissant 2 chemins possibles ici (vert et bleu). Le chemin rose sert de chemin de secours

b - Structure protocolaire

Le réseau sémaphore est découpé en 2 parties :



b.1 - SSTM (Sous-système de Transfert Message)

- transmet les messages entre PS de manière fiable (comme X25)
- dispo 99,999 % du temps, pas de duplication, très faible taux de déséquence / pertes / erreurs non-récupérées
- constitué de 3 couches (Message Transfer Part, MTP)

b.1.a - MTP-1 (couche physique)

- rôle : désigne les intervalles de temps dans les trames MIC
- voir PDH et SDH dans chap. suivants pour montée en débit par multiplexage des trames

b.1.b - MTP-2 (couche liaison)

- rôle : fiabilisation de l'envoi des trames
- trames de format similaire à HDLC (mais pas besoin de mise en place ni d'adr car mode non-connecté (ou plutôt connexion permanente), car un seul type de trame/flux)

1111110	BSN (7)	BIB	FSN (7)	FIB	LI (6)
---------	---------	-----	---------	-----	--------

- FSN / FIB : numéro / bit de trame envoyée
- BSN / BIB : numéro / bit d'ACK de la trame précédemment reçue
- un ACK par trame (BSN de la trame reçue doit correspondre à FSN de la dernière envoyée)
- si trame erronée : on la supprime, et la suivante arrivera avec BIB =!FIB pour le signaler (donc FIB reste tjrs le même, s'inverse qd il y a une erreur)

- LI : longueur de la trame, permet d'en déduire son type :
- LI = 0 : trame de remplissage
- LI = 1 / LI = 2 : trame de contrôle (alignement, surveillance des erreurs, ... → même si pas de message à transmettre, on émet tjrs qqchose)
- LI < 63 : trame de longueur LI
- LI = 63 : trame plus longue

b.1.c - MTP-3 (couche réseau)

- rôle : envoie de la signalisation entre les PS
- teste les chemins possibles et fais un choix / bascule si trop d'erreurs sur l'un

SIO	PS dest. (14)	PS origine (14)	Code Circuit (12)	
-----	---------------	-----------------	-------------------	--

- SIO = SI (Service Indicator : SCCP, TUP, ISUP ...) + SSF (SubService Field : International, national, local ...)
- présence d'adr car mode non-connecté (pour limiter nbr de msg + MTP-2 déjà fiable)
- pas de segmentation en paquets car msg légers et homogènes (pour limiter lourdeur protocolaire)
- code circuit : permet de calculer le chemin (pour que tous les msg suivent le même)
- possibilité de faire du partage de charge

- limites de MTP-3 :
- Besoin d'un code circuit, mal défini si il n'y a pas de « circuit »
- Saut PS-PTS-PS ne suffit pas dans le cas non-associé circuit (ex : mobiles)
- Adresse Ps courte et limitée : réseau au plus national
- solution : protocole SCCP, voir plus loin

b.2 - SSU (Sous-Systèmes utilisateurs)

- regroupe les protocoles sur équipements d'extrémités (routage, réseau intelligent, RNIS, mobiles ...)
- TUP (Telephone User Part, messages de base)
- ISUP (TUP enrichi de RNIS pour services complémentaires)
- INAP (Intelligent Network Application Part), MAP (Mobile Application Part) ,... : autres applications
- TCAP, SCCP

b.2.a - SCCP (Signaling Connection Control Point)

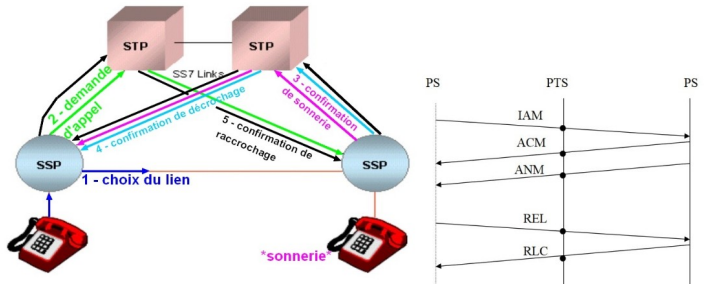
- rôle : double-routage pour contrer limites de MTP-3 (gère réseau international, fournit des codes circuits factices, ...)
- 4 classes de services (avec/sans connexion et avec/sans séquence / ou avec/sans contrôle de flux)

- adr de longueurs variables, contenant un id d'application utilisatrice, une appellation globale (num. de tel.)
- fonctions de traduction pour déduire les PS à utiliser
- b.2.b - TCAP (Transaction Capability Application Part)
- rôle : protocole transactionnel pour fiabiliser les signalisation non-associée circuits
- Fonctionne selon un schéma requête/réponses
- sous-couche transaction (session au dessus de SCCP), encadrer les messages avec des instructions (Begin, Continue, Abort, End ...)
- sous-couche composant : envoie les requêtes/réponses (Invoke, Return error/result, Reject...)
- Permet l'utilisation des réseaux intelligents (numéros verts etc ..) en permettant l'échange entre PS et PCS (qui peuvent être des DataBases qu'on interroge)

3 - Exemple de communication

Exemple : Tel de gauche appelle tel de droite

- 1 - Commutateur choisit le lien
- 2 - Commutateur demande à PS d'envoyer la demande d'appel au PS distant
- procédure :
- ISUP forme le msg (IAM) avec num. appelant et num. appelé
- MTP-3 encapsule avec adr des PS source et dest. et code circuit
- MTP-2 encapsule et envoie vers PTS
- Au PTS : désencapsulation, vérification, réencapsulation
- Au PS dest. : désencapsulation, vérification, et si ok sonnerie sur la ligne appelée
- 3 - Envoie d'un ACK de sonnerie dans l'autre sens (ACM)
- 4 - Envoie d'une notif de décrochage dans l'autre sens (ANM)
- 5 - Envoie d'une notif de raccrochage par le raccrochant (REL), et d'un ACK de raccrochage dans l'autre sens (RLC)



Chapitre 8 : Hiérarchies numériques & SDH

0 - Vocabulaire du chapitre

PDH : Plesiochronous Digital Hierarchy (Hiérarchie numérique presque synchrone)

SDH : Synchronous Digital Hierarchy (Hiérarchie numérique synchrone)

SONET : Synchronous Optical NETwork (~ SDH aux Etats-Unis)

Trame physique : Une trame au niveau télécoms (ne pas confondre avec les trames des réseaux classique comme la trame Ethernet! Une trame physique encapsule des trames 'classiques').

1 - Motivations

Chapitre 7 : le multiplexage temporel MIC de passer 30 communications simultanées.

Problème : ce n'est pas suffisant pour les liens entre grands commutateurs, gérant beaucoup de communications en même temps.

Avec l'arrivée du numérique et de la fibre pour les cœurs de réseaux, le débit des liens a augmenté donc une solution a été recherchée pour généraliser les principes de MIC (faible délai, synchronisme, faible complexité).

2 - Caractéristiques générales

Les solutions PDH et SDH sont toutes deux des hiérarchies numériques avec plusieurs niveaux de multiplexage.

a - PDH

Multiplexage des canaux de même débit uniquement.

Plusieurs niveaux :

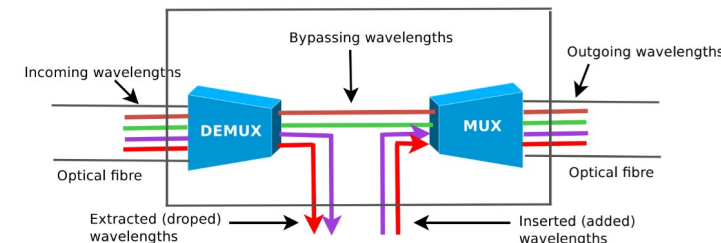
- Trame MIC (32*64 kbit/s)
- Multiplexage de 4 MICs ensemble (=8 Mbit/s)
- Ainsi de suite, x4 à chaque fois, jusqu'à 140 Mbit/s

b - SDH

Les canaux de même débit c'est bien pour la téléphonie mais nul pour le reste → besoin de généraliser.

Les canaux peuvent avoir des débits de type $n*1,5 \text{ Mbit/s}$ ou $n*2 \text{ Mbit/s}$.

Cadeau bonus : on peut récupérer le contenu d'un canal sans avoir à tout démultiplexer.



c - Contrôle d'erreurs

Utilisation d'un CRC placé en début de trame ou réparti dans la SDH

trame physique.

Parfois, utilisation de bit de parité.

d - Synchronisation

Chaque composant a sa propre horloge et les horloges finissent par dériver les unes des autres.

PDH : On s'efforce de borner la dérive des horloges (avec buffer pour compenser).

→ PDH est "presque synchrone"

SDH : Les horloges sont asservies à une horloge principale.

→ SDH est "synchrone"

3 - SDH

a - Origine

PDH a été une première approche de la numérisation du réseau téléphonique.

C'était bien pour le point à point de faible débit, mais pas suffisant pour une grosse infrastructure de cœur de réseau, notamment en raison du besoin de tout démultiplexer pour récupérer les données d'un seul canal.

→ Création de SDH pour régler tous les soucis.

b - Caractéristiques

- Trames contiguës à $f=8000\text{Hz}$
- Trame de base (STM-1) : 155Mbit/s
- Débit des canaux multiplexés entre 1,5Mbit/s et 150Mbit/s
- Trame max : $\text{STM-64} = 4*\text{STM-16} = 4*(4*\text{STM-4}) = 4*(4*(4*\text{STM-1}))$
→ Débit max = ~10Gbit/s
- Pas (ou très peu) de débit perdu à cause du multiplexage
→ Faibles pertes pour le plus bas (LO) & le plus haut (HO) niveau de multiplexage
- Délai d'un canal stable (temps de propagation uniquement)
- Possibilité d'utilisation par différents types de données (téléphonie, IP, ...)
- Transport d'octets et non plus de bits

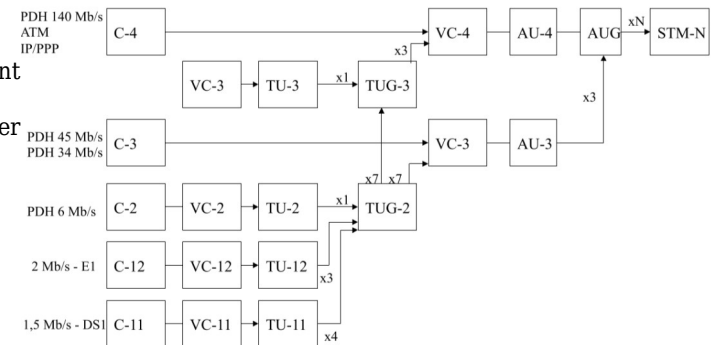
c - Composition

- Affluents = canaux en entrée du réseau SDH
- Container = contient l'information des affluents
- Container virtuel = container + informations de contrôle
- Unité d'affluent / Unité administrative : Wagonnet dans lequel on place le container virtuel, avec un emplacement fixe dans la trame SDH

→ Problème, on met le container dès qu'un wagon arrive

→ Solution : pointeur vers le début du container dans la trame

d - Schéma de multiplexage



On s'en fout un peu du détail mais faut surtout voir que c'est très hiérarchique

e - Fiabilité

Réseaux SDH très fiables !

Pour le point à point, on a deux fibres parallèles dont une de secours en cas de panne de la première.

Pour les anneaux, morceaux de fibres de secours pour refermer l'anneau en cas de problème sur une partie.

Topologie maillée : liaisons de secours un peu partout, au cas où.

Tout cela permet de borner le temps d'indisponibilité du réseau, jusqu'à être quasi-invisible (communication téléphonique non coupée)

4 - Conclusion

Les technologies hiérarchiques et en particulier SDH ont été beaucoup utilisées en topologie anneau pour relier les commutateurs téléphoniques d'une ville et en topologie maillée pour tout le territoire.

Historiquement très utilisées pour les réseaux métropolitains, elles sont peu à peu remplacées par Ethernet.

Chapitre 9 : Réseaux RNIS

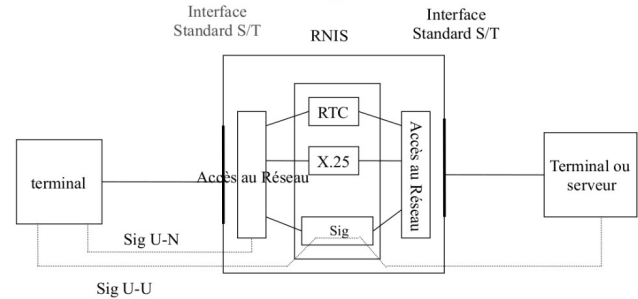
1 - Résumé en quelques termes - Contexte Historique

Un réseau numérique à intégration de services (RNIS) est un réseau de télécommunications constitué de liaisons numériques permettant, par rapport au réseau téléphonique analogique, une meilleure qualité et des débits pouvant atteindre 2 Mbit/s contre 56 kbit/s pour un modem classique analogique.

C'est un réseau qualifié de "Réseau d'accès".

Objectif : Proposer un accès unifié et numérique aux réseaux d'opérateurs

2 - Architecture générale du RNIS



Transmission de Données, téléphonie et signalisation associée via l'archi ci dessus.

2 types de signalisation : Signalisation User-User et Signalisation User-Network.

Pour la signalisation U-U, correspond par ex à la mise en place des communications téléphoniques par X25. Pour la signalisation U-N, elle correspond par ex à la signalisation échangée entre l'Utilisateur et le premier commutateur pour gérer la liaison. L'utilisation de la liaison d'abonné se fait à l'aide d'une technique de multiplexage temporel avec plusieurs canaux bidirectionnels (montant/descendant). On a deux types d'accès proposés :
- Accès de base BRI (Basic Rate Interface) : 2 canaux B 64kbts/s + 1 canal D 16kbts/s → En ajoutant fonctions de synchro : BRI = 192 kbts/s
- Accès au débit primaire PRI : 30 canaux B 64kbts + 1 canal D 64 kbts : PRI = 2048 kbts/s

Tout est numérique. Signalisation véhiculée par le canal D du commutateur de raccordement au terminal ou à l'adaptateur. L'allocation des canaux B se fera dynamiquement au niveau du commutateur de raccordement.

Protocole découpé en 3 parties :

- La signalisation → Passe par Canal D (que ce soit sig U-U ou U-N)
- Les données utilisateurs (données, voix) → Majoritairement sur canal B
- La gestion (pour configurer les équipements) → Majoritairement sur canal D

Concernant la couche physique, les topologies utilisées chez l'abonné sont soit le bus passif (multipoint) soit l'étoilé (point à point).

3 - Format de Trames RNIS

La technique de codage :
Les informations sont codées comme suit :
- Les "1" sont codés par une tension nulle
- Les "0" sont codés par une impulsion alternativement positive et négative. Attention, il doit y avoir au de "0" codés positivement que négativement.

Format de trame sur une période de 250µs avec un décalage de 2 bits entre les trames montantes et descendantes.
Attention : On émet en permanence des trames dans les 2 sens ! Pour la transmission, on est toujours sur du Multiplexage temporel. On notera qu'on a besoin de définir une méthode d'accès car plusieurs émetteurs dans le sens montant.

4 - Principe de la Méthode d'accès

Le problème de l'accès au canal ne se pose que dans le sens montant et seulement pour le canal D.
Le choix s'est porté sur une méthode d'accès aléatoire : le CSMA/CR (proche du CSMA/CD).

Explication du protocole CSMA/CD :

- Avant d'émettre, on va écouter le canal E. S'il est libre suffisamment longtemps, on tente sa chance.
- Ensuite on commence à émettre (sur le canal D) et on écoute le canal en écho
- Contrairement au CSMA/CD, on va résoudre la collision et pas seulement la détecter : Tant que ce que l'on reçoit sur E est identique à ce que l'on a émis sur D, on continue à émettre. Sinon, c'est que l'accès a été donné à un autre terminal. On attendra que le canal soit à nouveau libre.

Les méthodes d'accès aléatoires sont liées à la couche physique : Le canal D est exploité par un protocole de la famille de HDLC. La trame HDLC sera composée notamment d'un champ d'adresse, un champ de commande, un champ de donnée, un champ FCS et 2 fanions au début et à la fin de la trame.

01111110	adresse	commande	Données	FCS	01111110
----------	---------	----------	---------	-----	----------

Dans le cas où plusieurs terminaux émettent en même temps, la résolution de sera sur l'adresse. De plus, pour être équitable, mise en place par la méthode d'accès d'un mécanisme d'attente pour l'accès au support.

5 - Protocole LAP-D

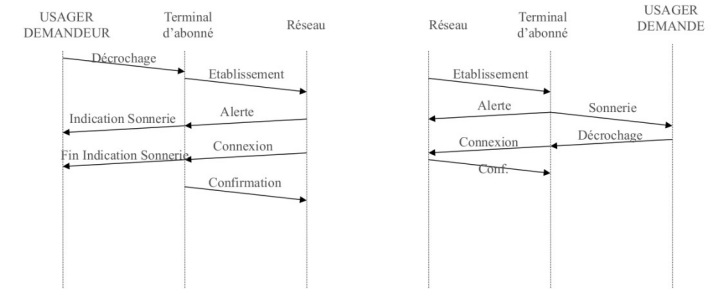
Le protocole utilisé pour l'échange de trame entre deux entités de niveaux 2 situées des deux côtés des interfaces S et T est LAP-D (un dérivé d'HDLC) standardisé sous l'acronyme ITU Q.921.

Beaucoup de choses similaires à HDLC (délimitation, transparence, numérotation). Les erreurs sont contrôlés grâce au champ "FCS" de la trame. Une Trame erronée sera supprimée et reprise par un mécanisme de Go-Back-N.

Le format de Trame est similaire en tout point à celui exposé ci-dessus (qui correspond à HDLC), sauf pour la taille du champ adresse qui est ici de 2 octets. On notera que la trame contiendra l'adresse du terminal TEI : dans le sens montant pour dire qui émet et dans le sens descendant pour dire à qui est destinée la trame (contrairement à HDLC qui n'a pas besoin de l'adresse de la machine dans le sens montant étant donné qu'il a un fonctionnement de type polling, donc le maître sait à quel esclave il donne la parole).

6 - Le protocole "D"

Le protocole de signalisation au dessus de LAP-D s'appelle Protocole "D". Il sert à faire la signalisation usager-réseau et usager-usager. Il a été créé pour remplacer la signalisation analogique. On y retrouve donc également des messages d'ouverture de connexion, de fermeture de connexion, de sonnerie etc... Le schéma ci dessous donne une illustration.



Chapitre 10 : Architecture des réseaux ADSL

1 - Introduction

Objectif : suivre l'évolution d'internet (commerce en ligne, voip, streaming, ...) → débits croissants, qualité de service
Solutions techniques : nouvelles infra (cher, ...) ≠ infra existantes (adaptations)

a - Historique : boucle locale

Historiquement : utilisation téléphonique (paire de cuivre, quelques km) → ce qu'on appelle boucle locale
Utilisation de modem vocaux → limité (bruit, distance, temps de communication, ..)
Modulation numérique PAM (Pulse Amplitude Modulation)

Liaisons spécialisées analogiques et numériques (paires de cuivre)

DSL : solution pour exploiter la boucle locale

b - La technologie ADSL

Expérimentations fin 90's, normalisation milieu 90's

Débits max théoriques : 15.24Mbps descendant, 1.8Mbps montant

Principaux éléments :

- ATU : unité d'émission-réception ADSL
- ATU-C : ATU du centre de commutation (opérateur)
- ATU-R : ARU de l'extrémité distante (clients)
- Séparateurs : filtres qui séparent les fréq vocales et les fréq ADSL
- Interface V-C : entre le modem du centre de commutation et le commutateur
- Interface U-C : entre le modem du centre et la ligne d'abonné
- Interface U-R : entre le modem distant et la ligne d'abonné
- Interface U-[CR]2 : équivalent de U-[CR] après le filtre
- Interface T-R : entre l'ATU-R et la couche de commutation
- Interface T/S : entre la terminaison du réseau ADSL et l'install de l'utilisateur

ATM : concurrent d'époque à TCP/IP → vite dépassé et abandonné

2 - L'architecture réseau

a - Architecture générale

Pour l'opérateur historique :

- On essaye d'utiliser au max les infra existantes (boucle locale)
- Investissement dans des nouveaux équipements (réseau paquet)

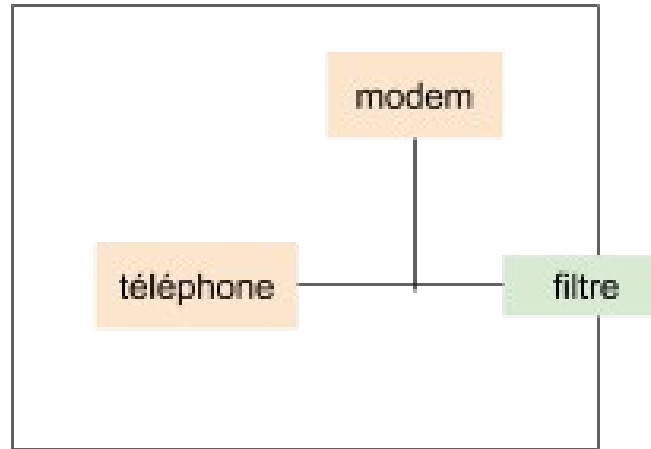
Pour les opérateurs alternatifs :

- Utiliser services de l'opérateur historique + déploiement de leur propre infra

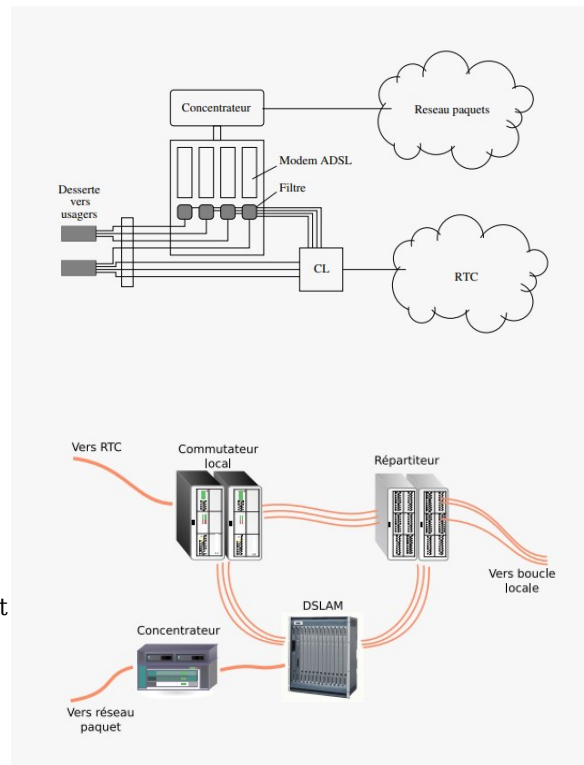
Globalement : favoriser la concurrence (obligation pour l'opérateur historique de louer son infra)

b - Le réseau domestique

Maison



c - Le noeud de raccordement d'abonnés



Environ 13k en France début 2008

Vocab :

- RTC : Réseau téléphonique commuté (seulement téléphone)
- Boucle locale : comme RTC mais en cuivre, et internet dessus
- CL = Commutateur Local

d - Le DSLAM

Digital Subscriber Line Access

Situé à proximité du CL de RTC, en aval du répartiteur d'entrée, dans les locaux de l'opérateur historique

Ensemble de modems xDSL côté commutateur

Equipement du FAI

e - Le réseau de données

Réseau IP du FAI

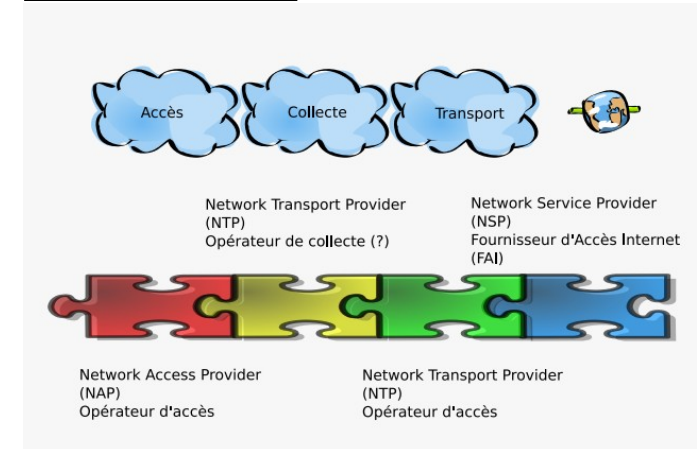
Gestion des utilisateurs (identification, tarification, ..)

Broadband Access Server

- Extrémité de l'encapsulation IP, gère une dizaine de DSLAM, jusqu'à 10k users

3 - Interconnexion et dégroupage

a - Les différents acteurs



SNAG = Service Network Architecture Group

- Service Domain : assuré par un NSP
- Transport Domain : assuré par NSP, NTP ou NAP
- Access Domain : assuré par NSP ou NAP
- Premises domain : réseau de l'utilisateur

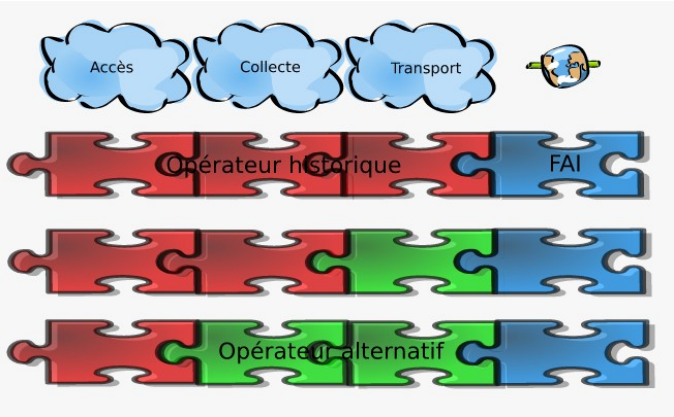
b - Les fournisseurs de service et leurs clients

Mise en relation :

- Sur un CTS/CTP : opérateur historique = fournisseur d'accès, téléphonie élémentaire uniquement (modem vocal), dépendant des équipement de l'opérateur historique
 - Sur un CL/CAA : possible fournisseur d'accès tiers, tous services envisageable
- Population plus ou moins vaste
Nécessite présence de l'opérateur alternatif

Options des FAIs alternatifs :

- Option 1, accès à la paire de cuivre (le dégroupage), souhaitée par les acteurs :
Opérateur historique ; loue accès à la paire de cuivre
Opérateur alternatif : dispose d'équipement dans le NRA
 - Option 3, destinée aux opérateurs :
Opérateur historique : fournit accès à un circuit virtuel permanent
Trafic concentré en point, opérateur tiers le collecte
 - Option 5, destinée directement aux fournisseurs d'accès
Opérateur historique : se charge de l'accès et collecte DSL
FAI alternatif : assure uniquement la fourniture de service IP
- Option 2 et 4 BALEK (envrai elles sont nulles)



c - Le dégroupement

2002 UE : obligation des opérateurs historiques de permettre interconnexion de boucle locale avec réseau d'un opérateur alternatif (dégroupage)

Objectif : permettre aux Op Alt d'accéder à l'utilisateur final
Investissement progressif dans boucle locale. Peut être limité dans le temps

Dégroupage partiel : téléphonie classique reste pour Op His, Op Alt autres services (accès Internet, VOD...)

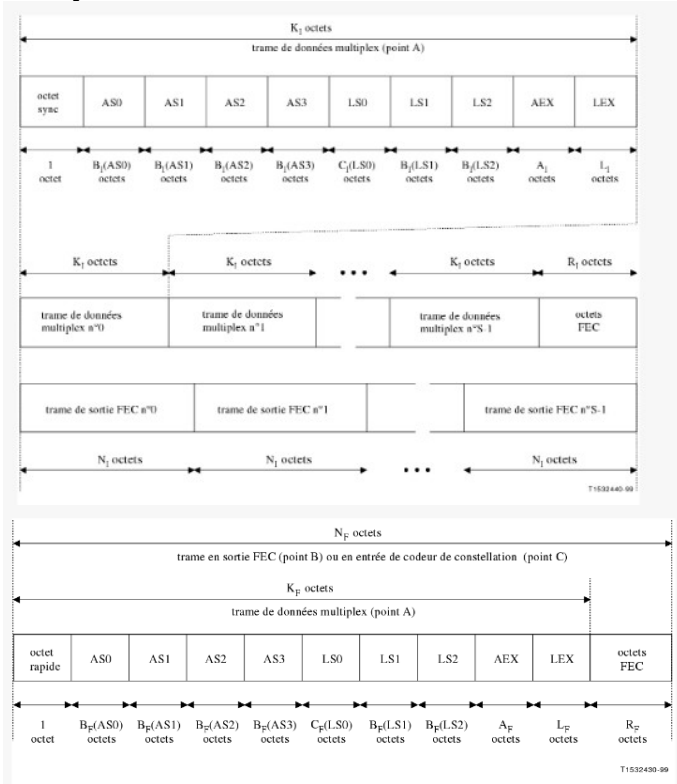
Dégroupage total : Op Alt peut fournir tous les services au client

4 - Architecture protocolaires

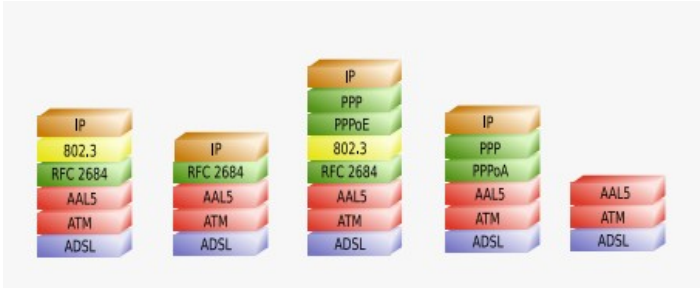
a - Supertrame ADSL

Trame : données rapide et entrelacées (fast / interleaved data)
Trame 0 : CRC des fast data
Trame 1, 34 et 35 : exploitation, administration et maintenance

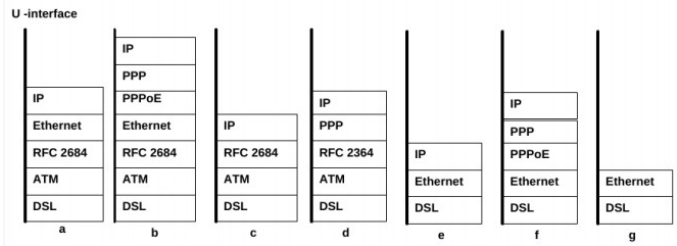
b - Le plan de données



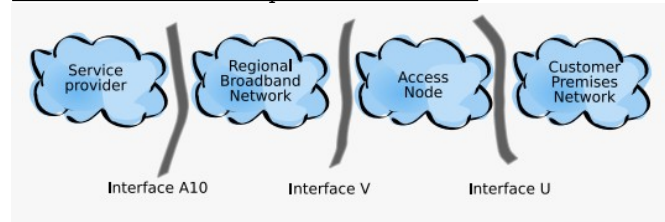
Piles recommandées par le DSL Forum



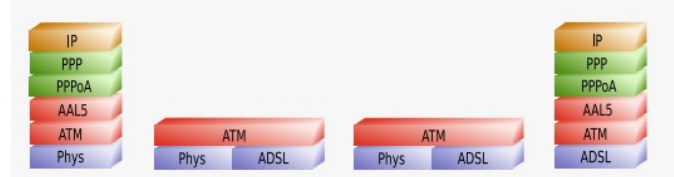
Piles protocolaire de l'interface U



4 archi recommandées par le DSL Forum :



1) Transparent ATM Core Network



Circuit ATM établit de bout en bout, Trafic au dessus acheminé de manière transparente

2) L2TP Access Aggregation

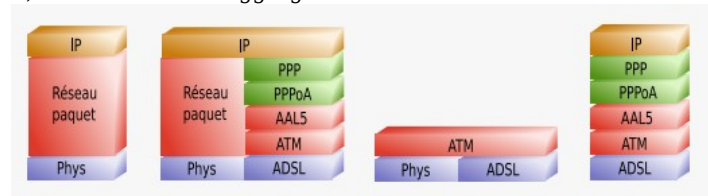


L2TP utilisé pour acheminer le trafic PPP jusqu'au NSP
Le BAS joue le rôle de LAC, communiquant avec le LNS dans le réseau NSP

Équivalente, pour NSP à un accès par modem sur RTC

Nombre d'AN par LAC variable

3) PPP Terminated Aggregation



Le trafic PPP s'arrête au BAS, il ne va pas jusqu'au NSP
Le BAS achemine ensuite le trafic IP directement vers le NSP

4) Virtual Path Tunneling Architecture



Similaire à 1), Circuit virtuel entre utilisateur et AN

c - Le plan de contrôle

1) LAA

Etablissement des sessions :

Etablissement de la connexion PPP Client-Serveur :

Côté Client : ATU-R et Côté Serveur : LAC

Détermination du fournisseur de service souhaité : (mécanisme de realm)

Choix du LNS en conséquence

Etablissement d'un tunnel vers le LNS :

Utilisation d'un tunnel existant si possible

Au travers d'un réseau paquet, par exemple IP

Phase d'authentification entre le LNS et le client

Terminaison des sessions :

Trafic PPP acheminé entre le client et le LNS

Terminaison à l'initiative du client

Emission d'un message LCP/PPP

Message reçu par le LNS

Terminaison éventuelle du tunnel L2TP

Entre le LNS et le LAC

A l'initiative du LNS

Si non utilisé par une autre connexion PPP

Terminaison possible sur time-out

2) PTA

Etablissement des sessions :

Connexion PPP Client-BAS :

Initiative du client

BAS : authentifie, configure l'interface IP et effectue la compatibilité du client

Etablissement d'une session entre le BAS et le NSP :

Identifiant obtenu en fonction de l'utilisateur

Paquet IP acheminé par cette session

Pas de routage classique des paquets IP

Dialogue réalisé par le BAS :

Avec le client (PPP)

Avec l'AAA du NSP (RADIUS)

Peu de changement pour le client par rapport à du vocal

Terminaison des sessions :

Terminaison de connexion PPP

Par le client entre Client et BAS

BAS

Confirme fin de connexion

Libère l'adresse IP dans son pool local et auprès du NSP

Notification auprès du NSP

Compatibilité

3) VPTA

Etablissement/fin des sessions :

Mise en place du SVC entre le CPE et l'AN :

Nécessité du déploiement de Q.2931

Utilisation d'un virtual path tunnel (VPT) :

Entre l'AN et le NSP

Encapsulation d'un VC pour le client

PPP/ATM de bout en bout :

Entre le client et le NSP

Pas de LAC, pas de BAS

Chapitre 11 : FTTH

1 - Introduction et motivations

a - Historique

Plusieurs générations successives pour les réseaux d'accès télécoms pour particuliers.

Générations liées au type de support utilisé.

Pendant longtemps, paire de cuivre torsadée : déjà déployée pour le téléphone → On pouvait s'en resservir pour les données, sans déployer une nouvelle infrastructure.

Historique des solutions "cuivre" :

- solutions analogiques sur les fréquences du téléphone
- solutions numériques sur les fréquences du téléphone (RNIS)
- solutions numériques sur des fréquences différentes (ADSL)

Le câble : Initialement dédié à la TV, architecture arborescente se prêtant bien à la télé : trafic surtout descendant, une même donnée est envoyée à beaucoup d'utilisateurs (broadcast)

Utilisation pour les réseaux de transfert de données → compliqué, le câble étant en partie partagé entre les utilisateurs, au contraire de la paire de cuivre.

Impossible d'utiliser du CSMA, la fin du câble n'est pas partagée → on ne peut pas entendre ses voisins.

Dernier support : la (sainte) fibre optique:

Déploiement ancien dans le coeur de réseau car:

- peu de fibres à installer
- seule façon de faire passer de gros débits

Déploiement métropolitain rapide, mais longs débats sur l'accès car coûts de déploiement élevés.

b - Motivations

Essouffement des débits de l'ADSL

"Si le hertzien va plus vite que le filaire, il faut changer de filaire"

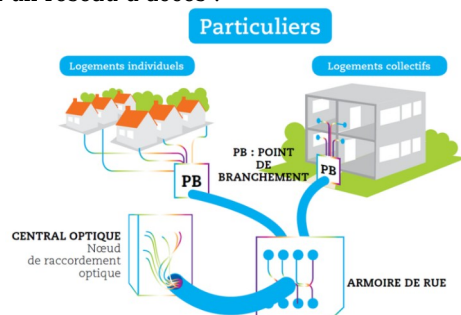
→ Déploiement d'un réseau d'accès fibre optique, en partant d'une feuille blanche. Les premières réflexions ont lieu dans les 90s

Le cloisonnement des services n'est pas efficace, et on choisit le mode paquet car on a affaire à des débits variables. À ce moment-là, réflexion sur l'intégration de service → choix de ATM, prisé des opérateurs, créé pour cet usage, pensé pour la qualité de service (QoS) différenciée.

Besoins en débit potentiellement énormes, seule la fibre en est capable.
Inconvénient : coûts de déploiement exorbitants (la preuve, c'est toujours pas fini 30 ans après).

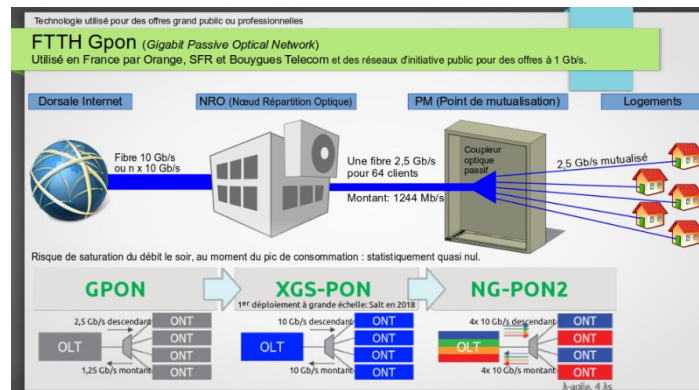
Fibre en sommeil avec l'avènement d'ADSL et de la compression vidéo.

Structure d'un réseau d'accès :



2 - Les solutions FTTH

a - P2MP (Point to Multipoint)



Le PM n'est pas alimenté.

Sens descendant → multiplexage

Sens montant → méthode d'accès, les ressources sont partagées entre utilisateurs (qui ne s'entendent pas)

Solution la plus utilisée : G-PON, 2.5 Gbit/s ↓, 1.25 Gbit/s ↑

b - P2P (point à point)

Similaire à P2MP, mais plus de coupleur optique, on a une simple armoire de brassage, l'utilisateur possède SON lien 1Gbps jusqu'au NRO. Pas de partage de ressources donc, mais des ressources potentiellement perdues. technique privilégiée par Free.

c - FTTH Active Ethernet

Solution exotique avec une fibre 1Gbps ↓ 500Mbps ↑ entre le NRO et le PM, qui est un commutateur Ethernet, donc actif et nécessitant une alimentation électrique (potentiellement sujette à coupure)

On se concentre sur les solutions PON (Passive Optical Network), celles où le PM n'est pas alimenté électriquement.

Plusieurs standards :

- APON : ATM PON
- BPON : Broadband PON, extension d'APON

Ces deux solutions ont été expérimentées au moment d'ADSL et de la compression vidéo, et donc pas retenues.

- G-PON : Gigabit PON, fait par ITU-T
- E-PON : Ethernet PON, fait par l'IEEE

P2P utilise essentiellement E-PON, mais c'est du point à point, donc pas vraiment importance. Le choix du PON est plus important dans P2MP puisqu'on partage les ressources. Free = EPON, tous les autres en GPON.

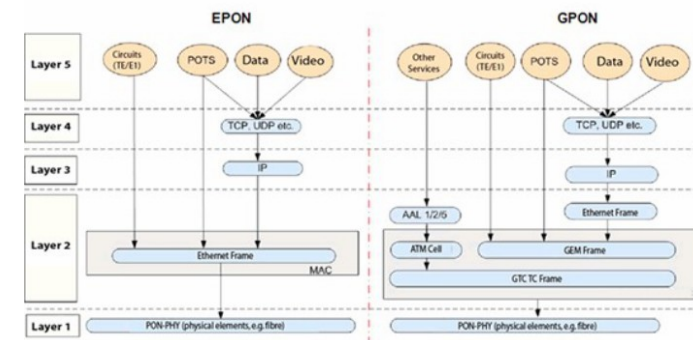
d - Partage de ressources

sens ↓ : 1 émetteur, pb d'ordonnancement

sens ↑ : pb de méthode d'accès (sauf FTTHLA, FTTH P2P).

les utilisateurs ne s'entendent pas → polling → trafics dissymétriques

3 - Principales solutions protocolaires



EPON : Ethernet véhicule tous les flux, pile de protocole + légère

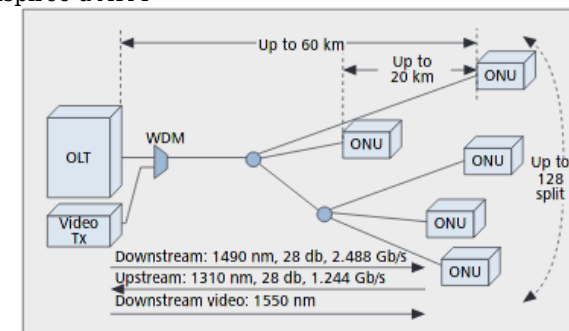
GPON : possibilité d'utiliser ATM pour la voix, l'émulation de LAN, IP sur ATM, Ethernet sur ATM), mais plus possible sur les équipements modernes.

Seuls certains flux passent sur Ethernet, et la convergence se fait sur GTC (GPON Transmission Convergence).

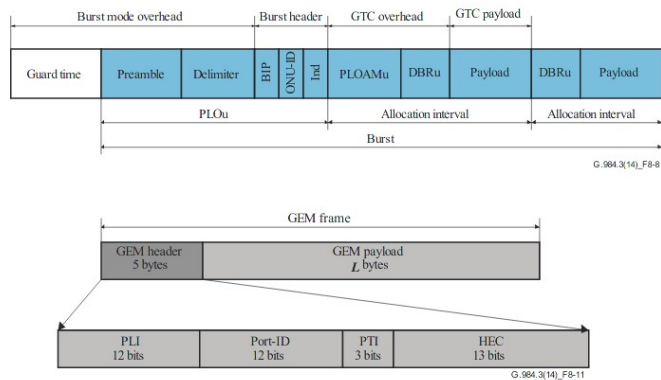
Trames Ethernet et émulation de réseaux circuits → trames GEM (Generic Encapsulation Mode)

a - GPON : ITU-T G.984.1 à G.984.4

Splitting 1:64 à 1:128, 1.25Gbit/s ↑ 2.5 Gbit/s ↓, encapsule tous types de données, mais aujourd'hui seulement Ethernet. La QoS est inspirée d'ATM



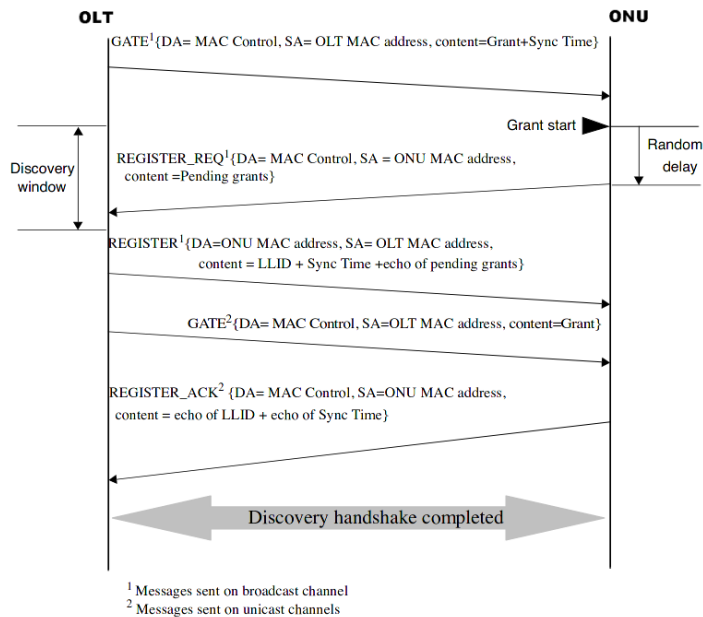
Architecture protocolaire et principes :



b - EPON

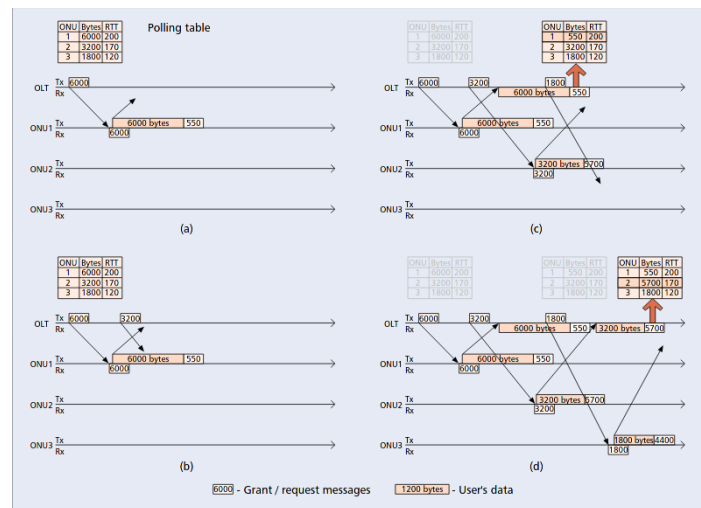
Standard IEEE, propose la configuration de P2P et P2MP. Standard beaucoup + simple mais QoS moins traitée.

Pour qu'un terminal rejoigne le réseau :



OLT envoie des ressources → chaque terminal tire une durée aléatoire → répond avec une demande d'enregistrement → l'OLT accuse réception de la demande et donne un ID de flux, puis un message de polling pour terminer la prise de mesure et calculer le temps de propagation.

Calculs effectués par les ONU pour éviter la collision entre les trames des OLT :



Données remontées par les ONU : état de leur buffer → pas de débit garanti.

c - Comparaison EPON vs GPON

Ne sont normalisés que les protocoles, pas la partie algorithmique (qui alloue les ressources en ↑, décide de l'ordre d'envoi des trames en ↓)

- Formats d'encapsulation et de trames + compliqués dans GPON
- Pour l'overhead, c'est - clair : l'overhead d'encapsulation est légèrement + élevé dans GPON, mais GPON peut piggy-backer les requêtes en même temps que les envois de données, là où EPON envoie ses messages GATE/REPORT dans des trames Ethernet (taille minimale + grande)
- QoS différenciée mieux faite dans GPON que dans EPON

	EPON		GPON	
Line rate	Downstream	1.25 Gb/s	Downstream	1.24416/2.48832 Gb/s
	Upstream	1.25 Gb/s	Upstream	1.24416 Gb/s
	Bit rate after 8B/10B line coding	1 Gb/s	Bit rate after scrambling line coding	1.24416 Gb/s
Guard time	Laser on-off	512 ns	Laser on-off	≈25.7 ns
	Automatic gain control (AGC)	96 ns, 192 ns, 288 ns, and 400 ns	Preamble and delimiter	70.7 ns
	Clock and data recovery (CDR)	96 ns, 192 ns, 288 ns, and 400 ns		
Frame size	Ethernet frame	64–1518 bytes	General encapsulation method (GEM)	GEM header
				Frame fragment
Overhead for bandwidth allocation	GATE/REPORT	64 bytes (smallest size of Ethernet frame)	Status report message	2 bytes

d - Évolutions

Les deux standards ont évolué mais déploiements tardifs. Problème ouvert : plus d'utilisateurs qui se partagent un même débit, ou avoir moins d'utilisateurs ?

En théorie, en sens ↓, on veut multiplier les utilisateurs pour améliorer le multiplexage statistique et le lissage du trafic. En ↑, - clair :

- pour les méthodes d'accès aléatoires, c'est le contraire. En P2P, pas de collisions et pleine utilisation des ressources. Mais sinon, + d'utilisateurs = + de collisions
- pour du polling, c'est - net, mais les calculs d'allocation de ressources sont + complexes.