

Gigabit Ethernet — SDH — MPLS — ATM

Martin Heusse

Gigabit Ethernet

- Supports

- ✓ Fibre : 1000BASE-SX (fibre multimode portée de 2 à 500m) et 1000BASE-LX (fibre monomode ; portée jusqu'à 5km)

- ▶ 8B10B

- ✓ Cuivre : 1000BASE-T (portée : moins de 25m)

- 1000BASE-T : comment est-ce possible ?

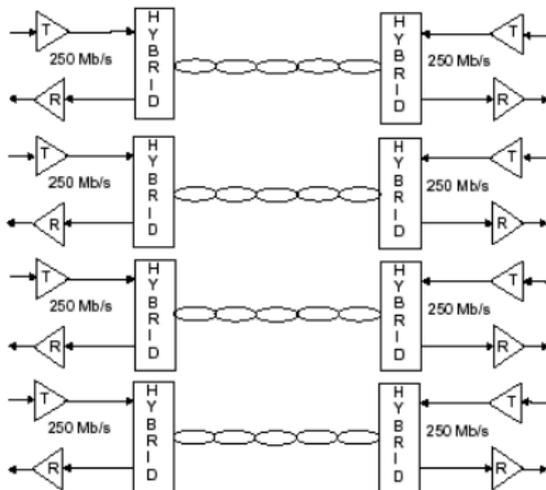
Deux fois un milliard de bits par seconde sur 4 paires de fils !

- ✓ Utilisation des 4 paires dans les deux sens (suppression d'écho)
- ✓ Égalisation (suppression des interférences inter-symbole)
- ✓ Modulation : 125 Mbaud/paire
- ✓ Symboles à 4 dimensions (4 paires), sur 5 niveaux (2 bits + 1 niveau de rab')
- ✓ Encodage 4DPAM5 (Pulse Amplitude Modulation)
(deux bits encodés par paire torsadée par temps-symbole)
- ✓ Correction d'erreur (FEC)

- Le canal n'est jamais silencieux (comme pour 100baseT)

- ✓ Utilisation d'un entrelaceur

1000 BASE-T

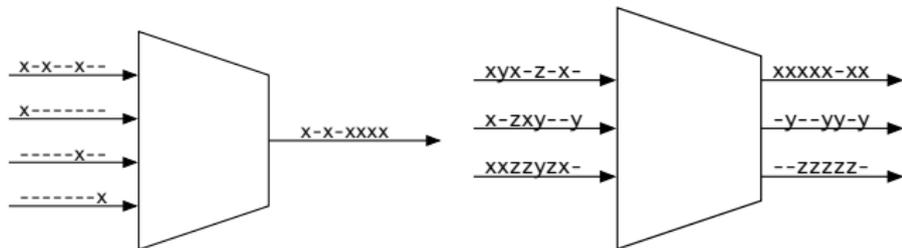


SDH / SONET

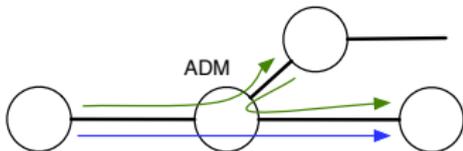
- Hiérarchie *synchrone* (\neq plésiochrone \neq asynchrone)
 - \Rightarrow démultiplexage «simple»
- Échantillonnage à 8 KHz (fréquence d'échantillonnage du téléphone)
- SDH et SONET définissent les modalités du *multiplexage* sur fibres optiques (principalement)
- Les systèmes de transmission sur fibre installés récemment utilisent presque tous SDH ou SONET
- SONET est un standard américain
 - SDH est utilisé dans le reste du monde
- Le débit élémentaire de transport de SDH est de 155.52Mb/s (STM-1)
 - ✓ Les autres débits (STM-4N) sont ses multiples : $4 \times N \times 155.52\text{Mb/s}$
 - ✓ 622.08 Mb/s (STM-4); 2488.32 Mb/s (STM-16)...

SDH : débits des données-client

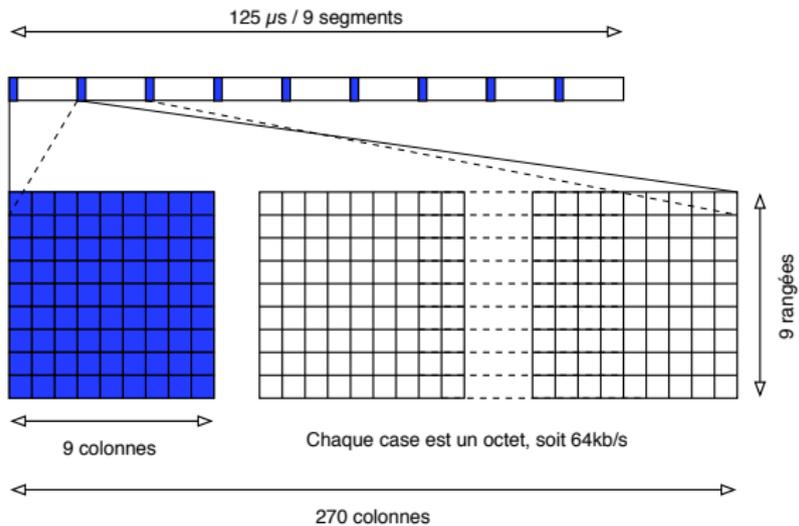
- 2/6/34/45/140 Mb/s contenus dans des *containers*
- Multiplexage, démultiplexage, tri



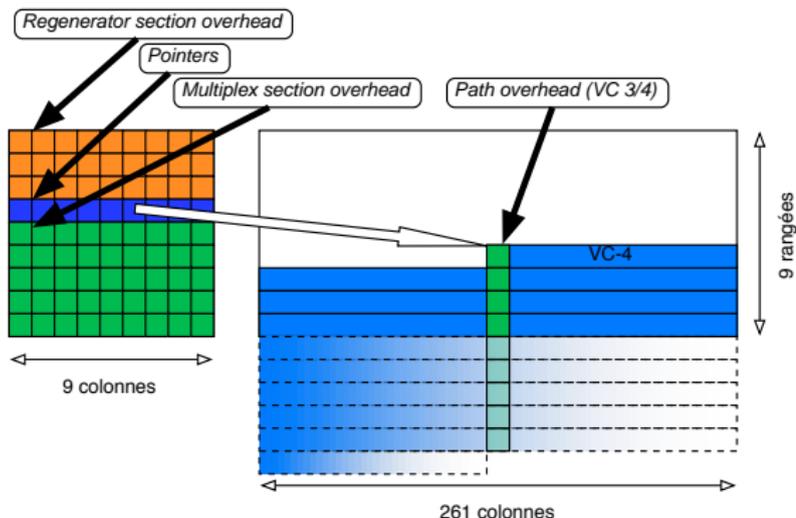
- *ADM : Add/Drop Multiplexer*



Trame SDH / STM-1



Conteneurs virtuels



- Les trames STM-N transportent plusieurs connexions de débits plus faible multiplexées (N fois plus de colonnes)
⇒ *Virtual Containers (VC)*
- Exemple : VC-12 ; 2,304 Mb/s ; 9 lignes, 4 colonnes
✓ 4 octets d'entête/VC → 2,048 Mb/s de *débit utile (EI)*
VC-4 ; 150.336 Mbit/s ; 9 lignes, 261 colonnes

Conteneurs virtuels (suite)

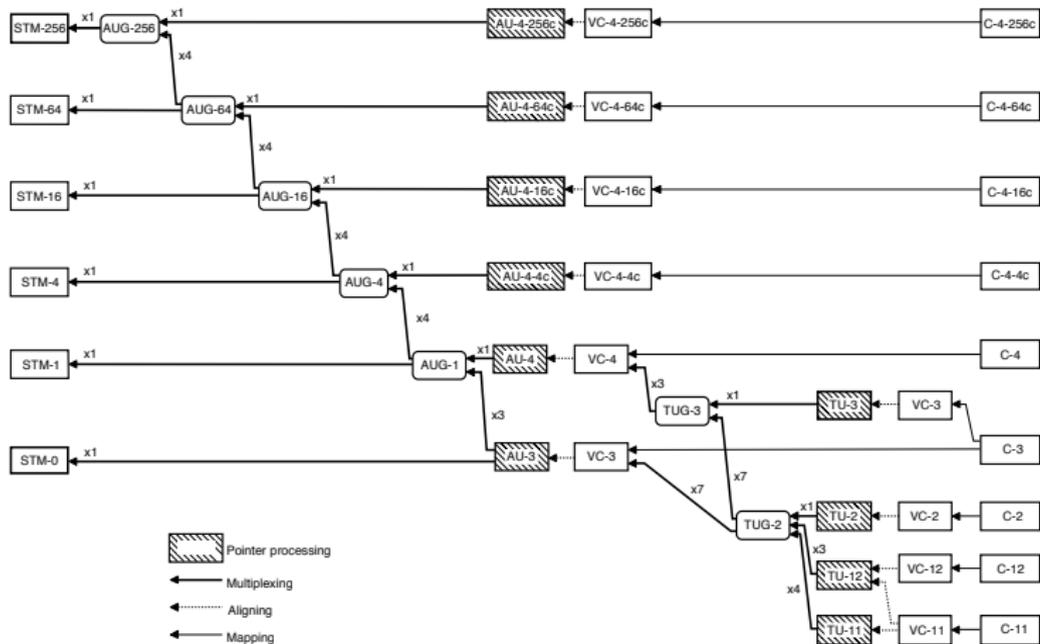
✓ 9 octets d'entête/VC

(checksum, signalisation d'erreur, type des données)

VC-3 ; 48.960 Mbit/s 9 lignes, 85 colonnes

✓ 9 octets d'entête/VC

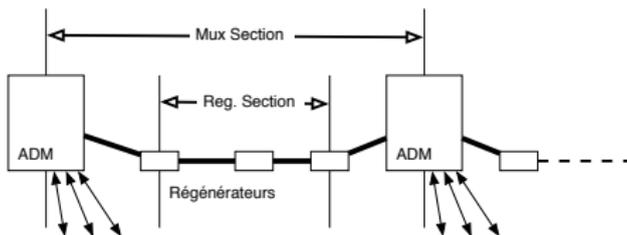
Conteneurs virtuels (suite)



(source : tektronix.com)

Entêtes SDH

- *Regenerator section* :
 - ✓ Section du réseau située entre deux régénérateurs
 - ✓ Indication de début de trame, *checksum*...
- *Pointers*
 - ✓ Indique où les conteneurs commencent
 - ✓ Éventuellement leur fréquence
- *Multiplexer section overhead*
 - ✓ Entête utilisé d'un multiplexeur à l'autre



Packet over SDH (PoS) (RENATER 3)

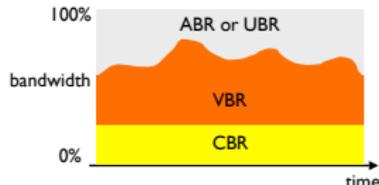
- Transmission de paquets IP sur SDH
- Architecture :

IP	réseau (3)
PPP	lien (2)
SDH	physique (1)

- SDH : *Scrambling* avant transmission
(évite la perte de synchronisation en cas de suites de bits identiques)

ATM Asynchronous Transfer Mode

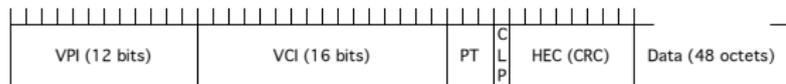
- Cellules de 53 octets :
 - ✓ 4 octets d'identification de la connexion (VC ; VP)(voir là)
 - ✓ 1 octet de contrôle
 - ✓ 48 octets de données
- Cellules de taille fixe
 - traitement de durée fixée (*hardware*) en chaque commutateur
 - Le cadrage est un problème de détection de (début de) trame
- Multiplexage statistique et notion de connexion
 - ✓ Différents types de trafics : VBR ; CBR ; UBR
 - ✓ Garantie du respect de l'ordre des cellules
 - ✓ Éventuellement garanties de service



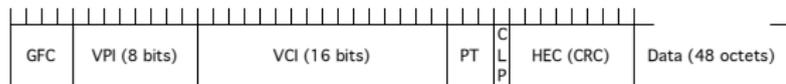
ATM : Réseau de connexions virtuelles

- Les cellules circulent sur des circuits virtuels (réseau *orienté connexion*)
Identification du circuit virtuel par le couple VPI/VCI (*Virtual Circuit/Path Id*)
- Entête de cellule ATM :

Cellule NNI (commutateur à commutateur)



Cellule UNI (terminal à commutateur)



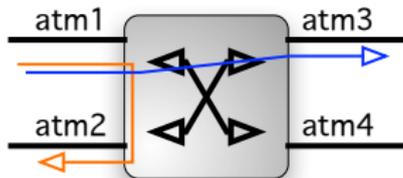
- ✓ PT : Type des données (AALI...)
- ✓ CLP : priorité de suppression de cellule
- ✓ GFC : non utilisé
- ✓ HEC (*Header Error Control*) : CRC sur l'entête. Sert à la détection de début de trame.

Comme la taille est fixe, le problème du cadrage (des cellules) est résolu !

Commutation de circuits virtuels

- Les identifiants de VP, VC changent à chaque traversée de *switch* (*label swapping*) !
- Table de commutation :

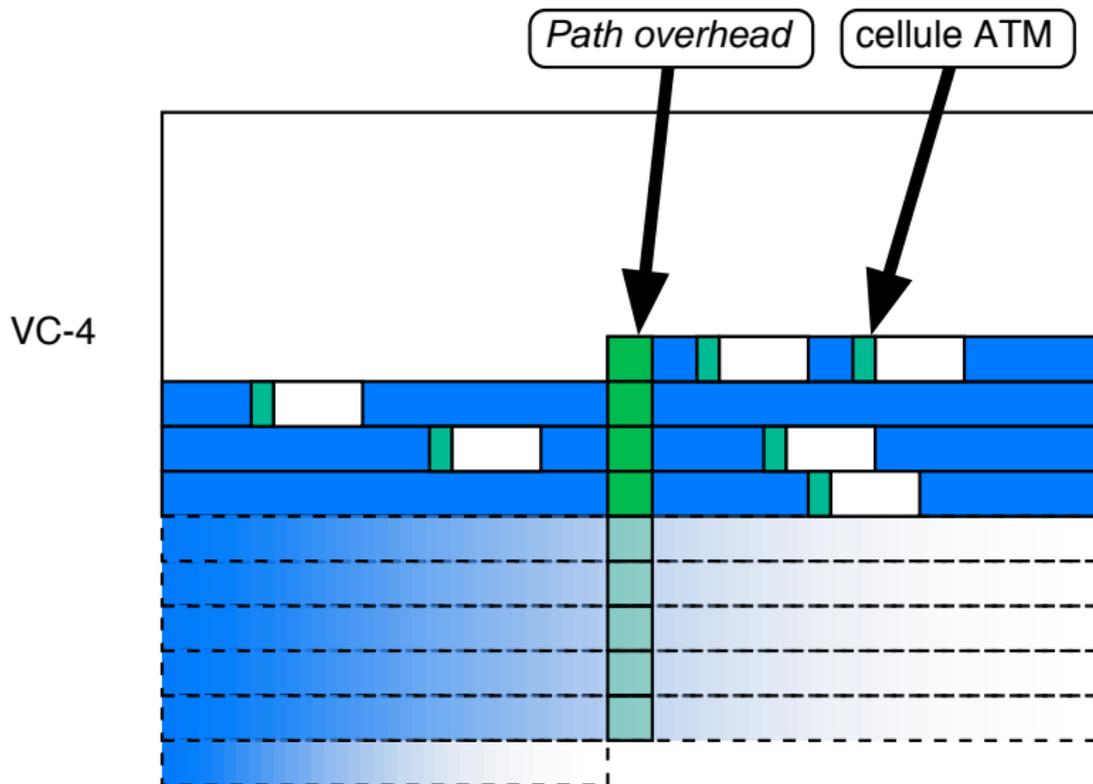
Line in	VPI/VCI in	Line out	VPI/VCI out
atm1	0x123/0xabcd	atm2	0x456/0x7890
atm1	0x321/0xabcd	atm3	0x111/0xaa11



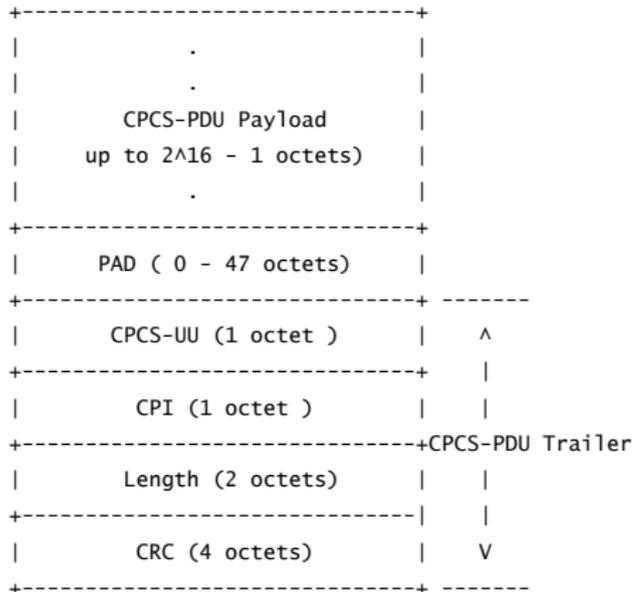
Utilisations d'ATM

- Couches d'adaptation ATM
 - ✓ AAL0 : pas d'adaptation, cellules brutes
 - ✓ AAL1 : flux à débit constant (voix)(CBR)
 - ✓ AAL2 : flux à débit variable (voix compressée / suppression des silences)
 - ✓ AAL3/4 : encapsulation de données de type paquet (peu utilisé, peu efficace)
 - ✓ AAL5 : transport de paquets : découpage, ré-assemblage
- Point à point : aDSL
- Communication longue distance
- ★ Utilisation limitée comme protocole de réseau universel

ATM sur SDH



AAL5



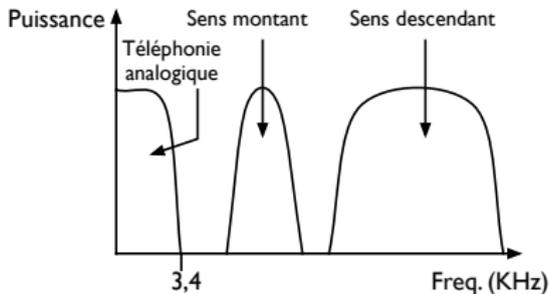
- 1 bit dans le PT signale la dernière cellule
- Le bourrage justifie les données à droite dans la dernière cellule

UU : User to User information, CPI = 0

ADSL

- *Asymmetric Digital Subscriber Line*
- Accès à haut débit sur paire de cuivre :
Typiquement 8Mbit/s descendant et 768 Kbit/s montant
(VDSL (*Very High Speed DSL*) : jusqu'à 52–1.5 Mb/s, ADSL2+ :
20–1 Mb/s)
- Utilisation des techniques de transmission développées pour les réseaux hertziens : l'OFDM (utilisé aussi dans le cadre du CPL, Wimax, 802.11a/g, télévision numérique)

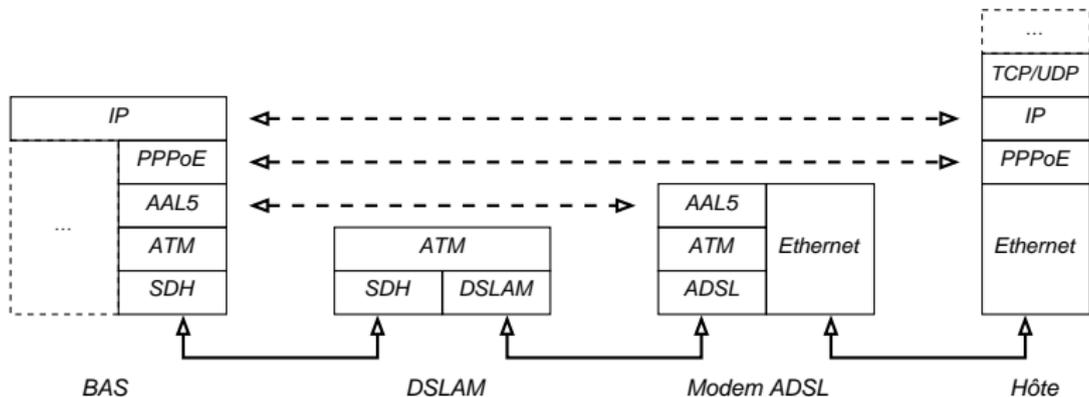
ADSL



- Spectre découpé en 3 canaux : téléphonie, montant et descendant
Un filtre analogique permet de séparer le signal téléphonique
- Utilisation d'un grand nombre de sous-porteuses au sein de chaque canal (OFDM)

ADSL : architecture

- DSLAM : *DSL Access Module*
- BAS : *Broadband Access Server* (1 BAS \Leftrightarrow 1 plaque FT)

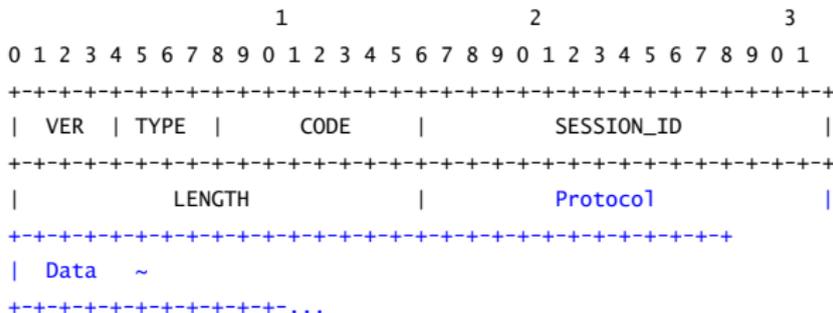


Cette architecture n'est pas la seule utilisée...

PPPoE (suite)

- Ensuite : paquets LCP comme pour les autres variantes de PPP

- ✓ Le numéro de session ne change plus : il identifie le client, éventuellement parmi plusieurs (comme en IP sur câble)
- ✓ les données de la trame PPPoE sont une trame PPP :



- **En dégroupé** : IP/AAL5/ATM par exemple (le BAS est le DSLAM...)
- ATM n'est pas toujours utilisé (cas du VDSL) : IP/Ethernet
 - ✓ On parle de DSLAM IP
 - ✓ L2TP permet de transporter des trames PPPoE vers un BAS à travers un réseau IP

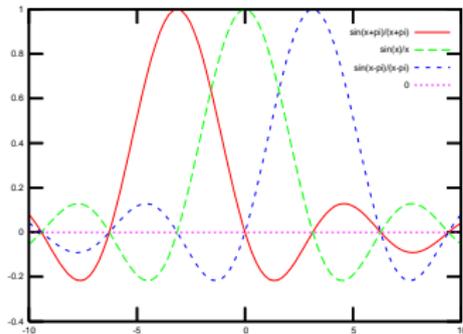
OFDM

Orthogonal Frequency Division Multiplexing

- Beaucoup de signaux simples (robustes) transmis en parallèle (dans des bandes de fréquence juxtaposées) (on considère que le canal est d'atténuation et de phase constante dans chaque bande)
- Bonne utilisation du spectre
- Complexité limitée à l'émetteur et au récepteur
 - Fonctionne même si certaines bandes de fréquence ne passent pas, ou mal (→ canal de réponse fréquentielle non plate)

OFDM / Orthogonal Freq. Division Multiplexing

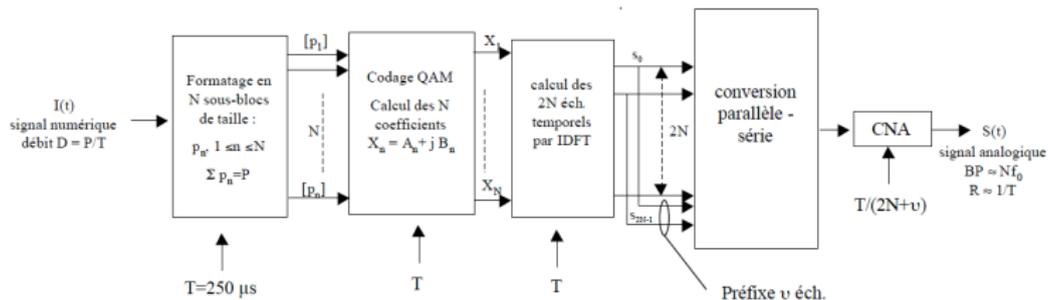
- Exemple : spectre de trois signaux carrés modulés (bien choisis)



- Le signal à transmettre est réparti sur les différents sous-canaux
 - ✓ Utilisation d'une simple FFT pour la combinaison des signaux
 - ✓ Nécessité d'une grande précision **en fréquence** à la réception.

OFDM / Orthogonal Freq. Division Multiplexing

(suite)



Quelques précisions

- Espacement des porteuses 4.3125 kHz
- **On peut considérer le canal comme homogène (atténuation, phase) sur l'ensemble de la bande de la sous-porteuse**
- 250 canaux (ADSL)(Répartis entre ses montant et descendant)
- Durée de symbole : $231.88\mu s$ ($1/4.3125E3$) — Préfixe cyclique (CP) + temps de garde ajouté à chaque symbole → temps-symboles de $250\mu s$

Autres applications de l'OFDM

- 802.11a,g (48 sous-porteuses)
- CPL (Courant porteur de ligne) (84 sous-porteuses)
- DVB-T (TNT en français) (jusqu'à 8192 sous-porteuses) ; DAB (radiophonie numérique)
- WiMAX (OFDMA : on confie un intervalle de temps et un sous-ensemble de porteuses à chaque émetteur)
- Futurs systèmes cellulaires

IP over Optical (ipo)

- Technologie

- ✓ WDM (*Wavelength Division Multiplexing*)

- ▶ CWDM (*Coarse*) \neq DWDM (*Dense* : écartement de (50 ou) 100 GHz/0,8 nm)
- ▶ DWDM : ré-amplification optique tous les 120km par exemple jusqu'à 45 longueurs d'onde dans une fibre

- ✓ Brassage optique

- ▶ Commutation spatiale (fibre/fibre)
- ▶ Conversion de longueur d'onde (λ/λ)
- ▶ optique-electrique-optique (OEO) ou tout optique

- ✓ Établissement de chemins optiques à la demande

- ✓ Transport de trafics hétérogènes (Ethernet; SDH)

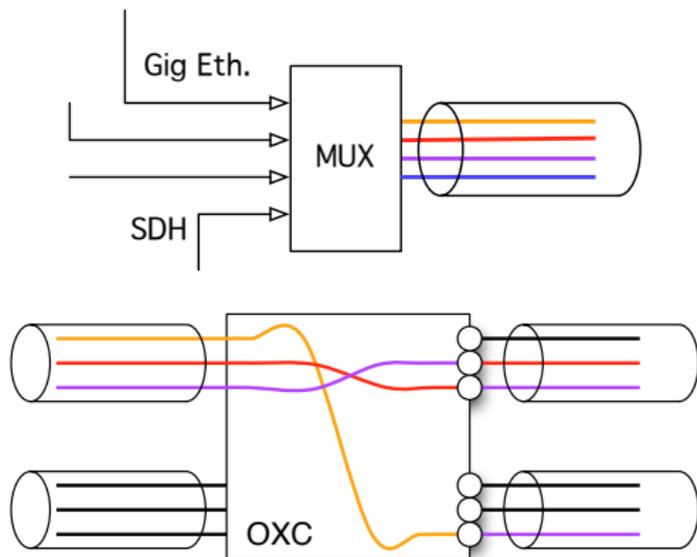
- ▶ Possible car le système est entièrement physique (réamplification optique)
- ▶ VPN optique

- * Comment ce réseau est vu/exploité par IP?

- ✓ Problème similaire avec un réseau ATM sous-jacent

Multiplexeur WDM

Brasseur optique



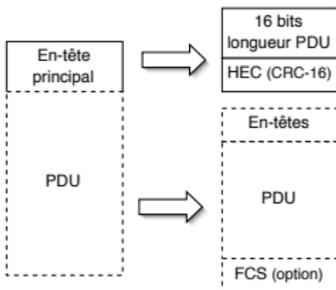
Renater 4

- Fibres noires loués, DWDM
- Dans chaque λ : 10GbE
- MPLS
- Réseau parallèle à Renater 3 (liens POS)

Transport de paquets sur liaison optique

- Les cas aDSL : IP/PPPoE/ATM/SDH/optique
- IP/ATM/SDH/WDM
 - ✓ Utilise éventuellement le savoir-faire ATM
 - ✓ Problème de l'adaptation de la QoS ATM à IP
 - ✓ ATM+AAL5 → sur-débit de 25% !
- IP/SDH/WDM (POS : *Packet over SDH*)
 - ✓ *overhead* : 3%
 - ✓ Multiplexage temporel «strict» (SDH) : pertes de bande passante
 - ✓ Nécessité d'une encapsulation → PPP
- IP/WDM : l'avenir
 - ✓ Nécessité d'une encapsulation → trames GFP (*Generic Framing Procedure*)
 - ✓ Gestion du réseau simplifiée (depuis IP)
 - ✓ IP : multicast optimisé, QoS suivant le paradigme IP
- IP / Ethernet / WDM
 - ✓ 8B10B : sur-débit de 25% !

Trame GFP

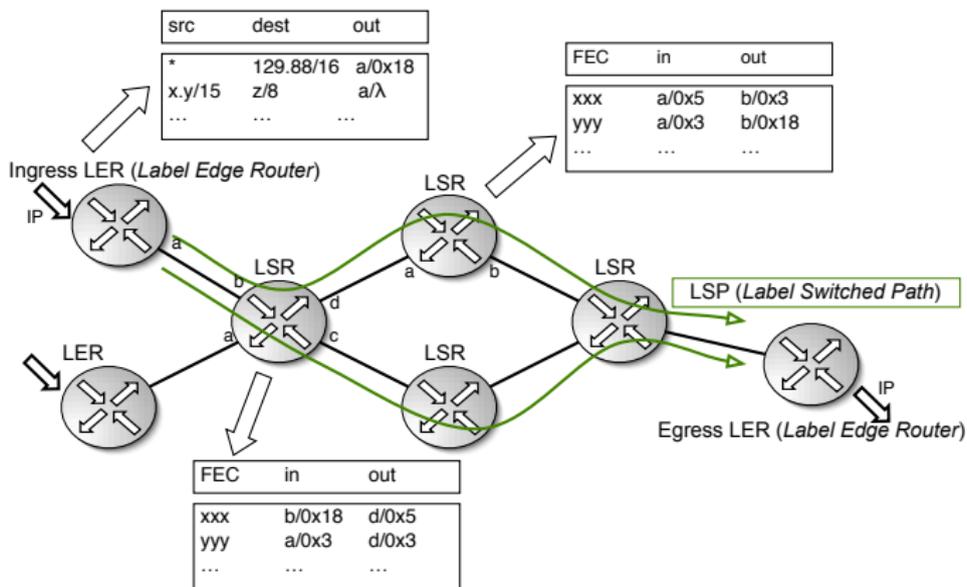


- Point à point
- Détection de trame par le HEC (style ATM)
- Les trames GFP pourraient être transportées sur SDH (IP/GFP/SDH/opt.)
- Pas d'allongement incontrôlé des trames comme dans PPP (échappement des octets de contrôle)(effet peu gênant en pratique)

Niveau 2.5

- Réseau d'*overlay* : l'approche classique
- MPLS (*Multi Protocol Label Switching*)
 - ✓ Routage à partir d'un label ajouté au paquet
 - ✓ \neq overlay
- Un grand nombre de réseaux installés sont orientés «connexion»
 - ATM
 - SDH
 - WDM + OXC
 - Frame Relay
- Le label seul décide du traitement subi ensuite
- Commutation rapide (moins vrai aujourd'hui)
- Découplage plan de commande / plan de transfert

Concepts



Points importants

- À l'entrée du réseau
 - ✓ Classification en fonction de la destination (éventuellement autre chose)
En fonction du label/interface d'entrée !
 - ✓ Chaque couple (interface ; label) est une nouvelle interface pour IP
 - ✓ Ajout du label (32 bits)
- En cœur de réseau
 - ✓ L'aiguillage est déterminé en fonction de la LIB (*Label Information Base*)
 - ✓ **Label swapping**
 - ✓ Établissement/maintien/suppression des LSP
- En sortie
 - ✓ Suppression du label ()
 - ✓ Routage IP

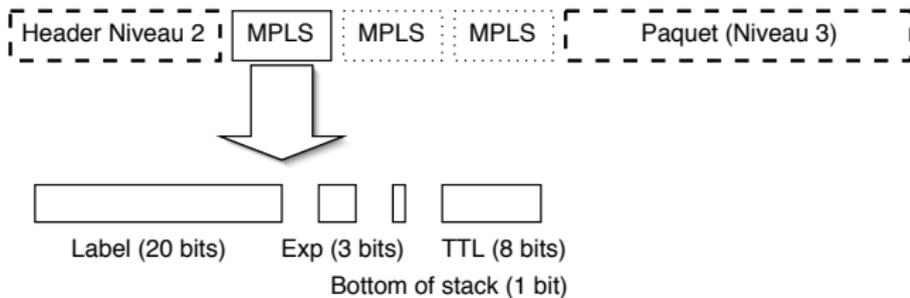
Notion de FEC

Forwarding Equivalence Class

- Groupe de paquets demandeurs d'un traitement semblable
par ex. même source, destination, ports niveau 4 (...)
- Trafic en transit au sein d'un réseau
 - ✓ Diminution de la table de routage des routeurs hors bordure
 - ✓ Par ex. : Adresses apprises par BGP
- Distribution de label \Leftrightarrow rendre cohérents les mappings FEC/label sur tous les routeurs

MPLS shim header

- Sur LAN & liens PPP



- Il peut y avoir plusieurs *shim headers*

✓ Le bit S indique le dernier

MPLS sur ATM

- en-tête ATM : 5 octets dont 4 disponibles
 - VPI
 - VCI
- Différentes possibilités (décidé à l'établissement du LSP)
 - Label → VPI/VCI
 - 2 labels combinés
 - VPI + Label combinés

Établissement des LSPs

- LDP : conçu pour MPLS
- CR-LDP
 - ✓ LDP + routage explicite
- RSVP-TE
- Extension de protocole de routage
 - ✓ BGP → MP-BGP (extension pour IPv6, VPN-IPv4...)

Ingénierie de trafic avec MPLS

- Ingénierie de trafic
 - ✓ Faire correspondre les ressources à la demande
 - ✓ Distribution sur plusieurs chemins
 - ✓ Re-routage rapide en cas de disparition d'un lien
- Distribution sur liens «parallèles»
 - ✓ Routage de tous les paquets du même micro-flot sur le même chemin
 - ✓ C'est au niveau des routeurs *ingress* que la répartition se fait
- Établissement/utilisation de statistiques de trafic !
 - ✓ À définir ?

G-MPLS

- *Generalized MPLS*
- Le trafic est en majorité IP
(MPLS n'est pas lié à IP cependant)
- G-MPLS est un protocole de gestion visant l'universalité
 - ✓ Diminution du nombre de protocoles mis en jeu
- Utilisation dynamique des ressources
- Prendre en compte à bas niveau les caractéristiques des trafics IP
 - ✓ QoS
- Différents types de LSR :
 - Commutateur niveau 2
 - OXC
 - Commutateur ATM
 - ADM/brasseur SDH

G-MPLS

- Pas forcément de *shim header*
 - ⇒ Dans un réseau DWDM, la longueur d'onde marque les paquets
 - ✓ Dans SDH, le label est un intervalle de temps
- Signalisation sur un lien : protocole LMP (*Link Management Protocol*)
 - ✓ Vérification de l'état du lien
 - ✓ Bande passante disponible...