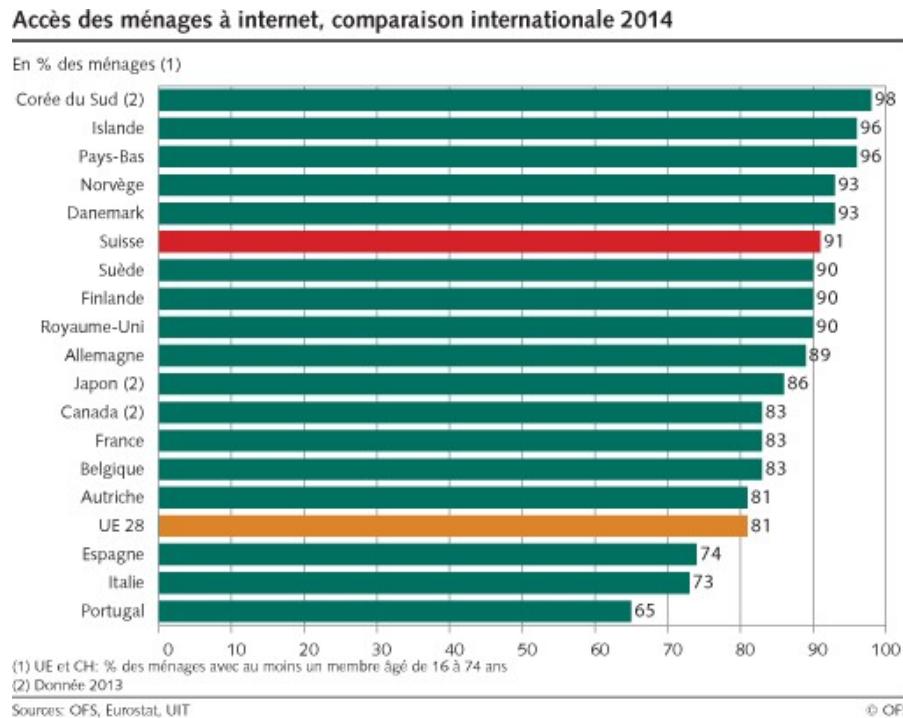


Haut débit

# Pourquoi?

- Demande croissante en services de communication
- Transport de données multimédia volumineuses



# Introduction

- Codecs
- Solutions de transfert de paquets

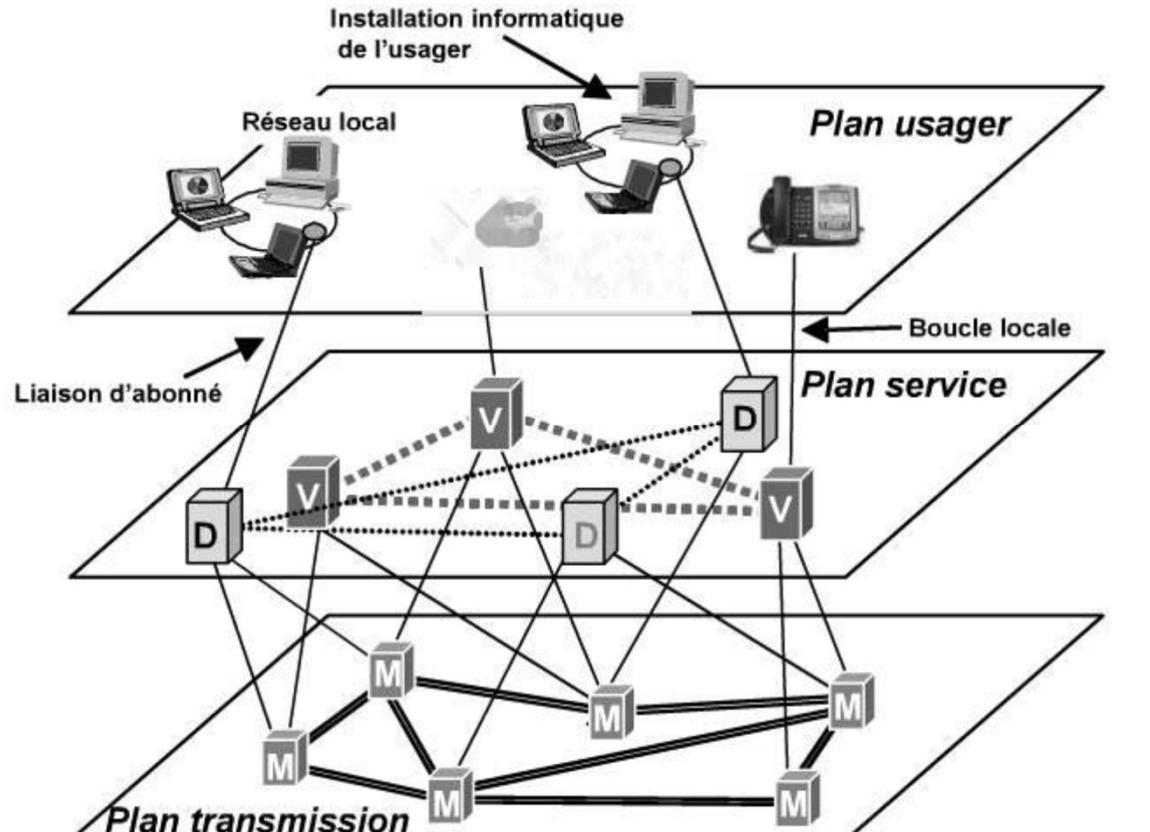
	Routage de paquets	Commutation de paquets
Description	les paquets sont aiguillés par chaque noeud de transfert en fonction de leur destination.	Mise en place d'un chemin entre les entités en communication
Exemples	Internet (1 <sup>re</sup> , 2 <sup>e</sup> , 3 <sup>e</sup> génération)	Réseau téléphonique, X 25 (80), relais de trame, ATM, MPLS (Multi Protocol Label switching), OPENFLOW
Avantages	Souple (la route peut varier )	Qualité de service
Inconvénients	Difficile d'assurer une certaine qualité de service	Mise en place du chemin pour les différents flots de paquets, plus cher

- Un paquet est transporté dans une trame : un paquet IP est transporté dans une trame PPP (Point To Point Protocol)

# Transfert de paquets

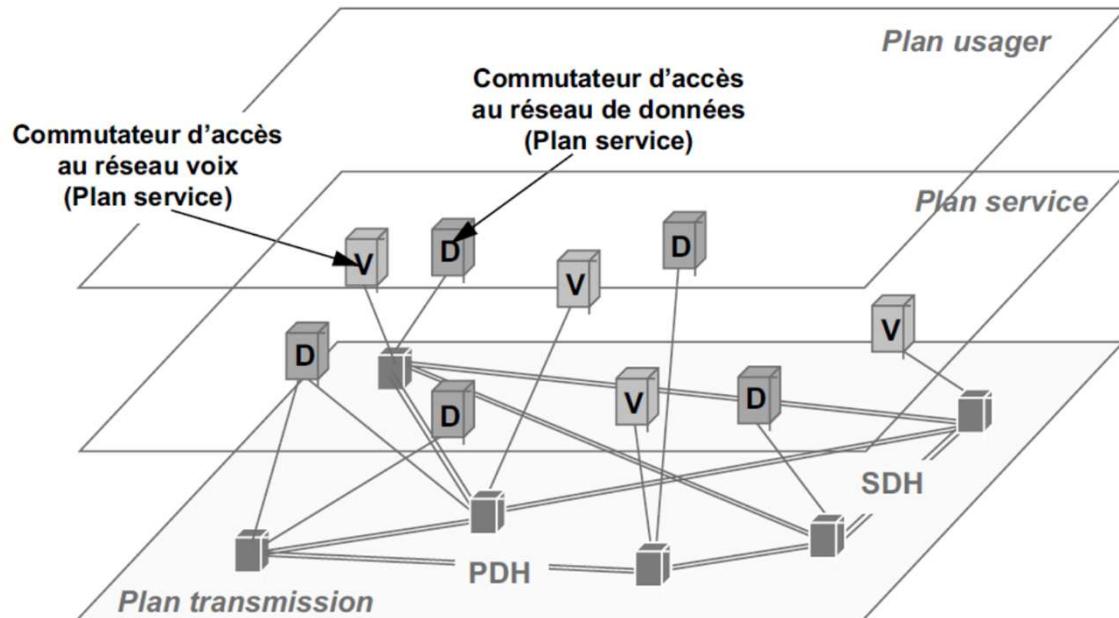
Commutation	Réseau téléphonique	X.25	Relais de trames	ATM	MPLS	OpenFlow
Routage	Arpanet Cyclades		Internet première génération	Internet seconde génération DiffServ	Internet troisième génération Intelligence	
	1970			2000		

# 1-1 Les réseaux de transport



Un réseau peut être modélisé comme la superposition de trois plans:

- **Le plan usager:** installation de l'utilisateur final
- **Le plan service:** Correspond au point où le service requis par l'usager, service données ou voix, est mis à sa disposition. L'usager est relié au plan service par une liaison d'abonné appelée **boucle locale**. Les éléments actifs de ces réseaux (commutateurs, routeur...) ne sont pas reliés directement entre eux
- **Le plan transmission** qui correspond au réseau réel de transport des données et de la voix. Les techniques de numérisation et de multiplexage autorisent le transport de tout type de flux (voix, données, images). C'est à ce réseau que sont reliés les éléments actifs du réseau de transport.

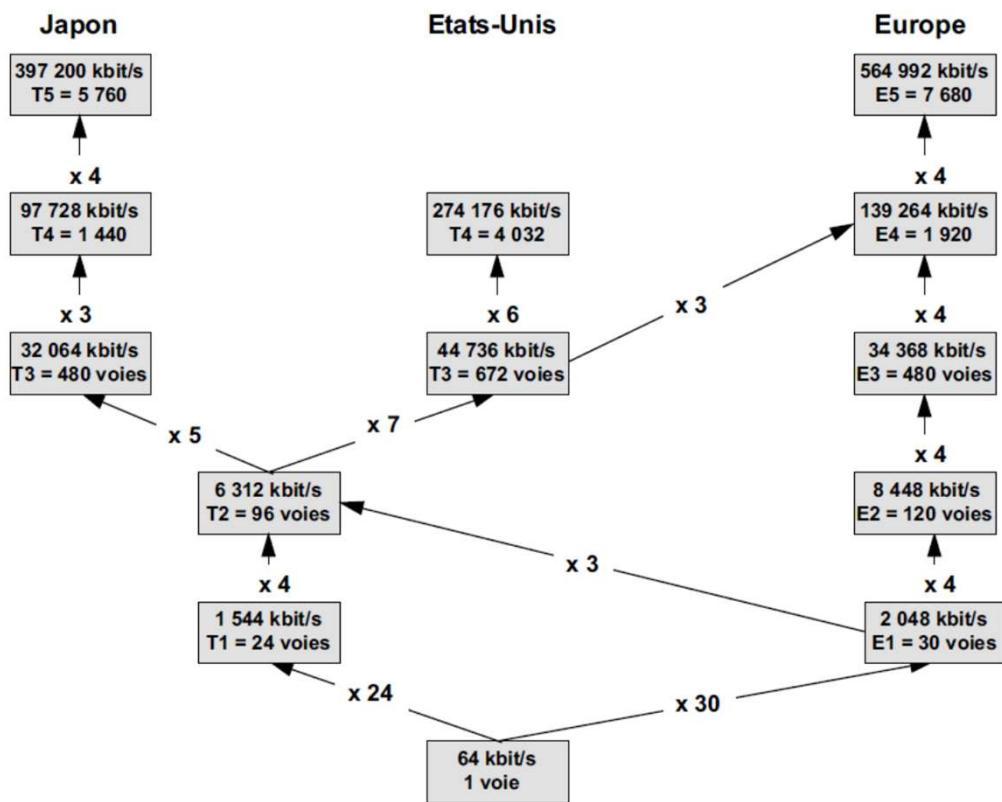


- Les réseaux WAN D'abord basées sur le multiplexage fréquentiel pour le transport de la voix analogique, elles ont évoluées vers la transmission numérique avec la hiérarchie numérique plésiochrone ou PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) .
- La hiérarchie PDH est apparue avec la numérisation de la voix et la nécessité de transporter simultanément plusieurs canaux téléphoniques sur un même support.
- PDH utilise le multplexage MIC (Modulation par impulsion et codage PCM Pulse Code Modulation): multiplexage temporel
- PDH a constitué la base de tous les réseaux de transmission jusqu'aux années 1990.

# La trame MIC

Consiste à numériser un signal analogique (en l'occurrence sonore) par échantillonnage, quantification et codage.

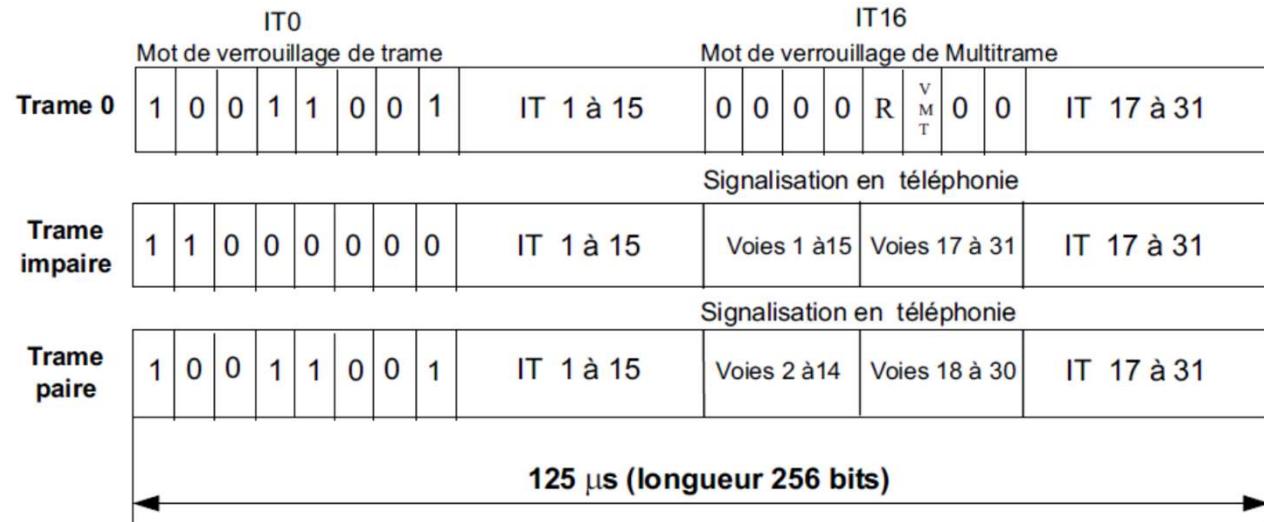
- La parole correspond à un signal sonore dont la plage de fréquences va de 300 à 3400 Hz.
- Echantillonnage: le signal sonore est échantillonné à une certaine fréquence d'échantillonnage  $f_e = 8000$  Hz.
- Quantification: chaque mesure est quantifiée selon une échelle en puissances de 2, en l'occurrence  $2^8$  soit 256 valeurs "quantiques" (un octet) .
- Si l'on veut assurer la synchronisation entre l'émetteur (la personne qui parle) et le récepteur (la personne qui écoute), il faut que le débit de la voie de transport soit égal au débit de sortie de l'émetteur, soit  $8000 \times 8$  bits/s = 64000 bits/s.



Les différents regroupements en hiérarchie PDH.

- Le multiplex de base est constitué du regroupement de plusieurs canaux téléphoniques de 64 kbit/s. Ces regroupements sont différents en Europe, au Japon et en Amérique du nord, ce qui conduit à la définition de différentes hiérarchies plésiochrones
- Chaque intervalle de temps IT peut transporter un échantillon de voix ou toute autre information numérique.
- Les surdébits entre les différents niveaux sont dus aux signaux de contrôle et de supervision, les niveaux 5 ne sont pas normalisés par l'UIT-T .
- La trame de base E1 regroupe 30 voies de communication ( IT ou slots Time) et deux voies de services de 8 bits, la trame comporte donc 256 bits.
- Le système PDH peut fonctionner sur du câble coaxial ou du faisceau hertzien.

# Trame de base E1

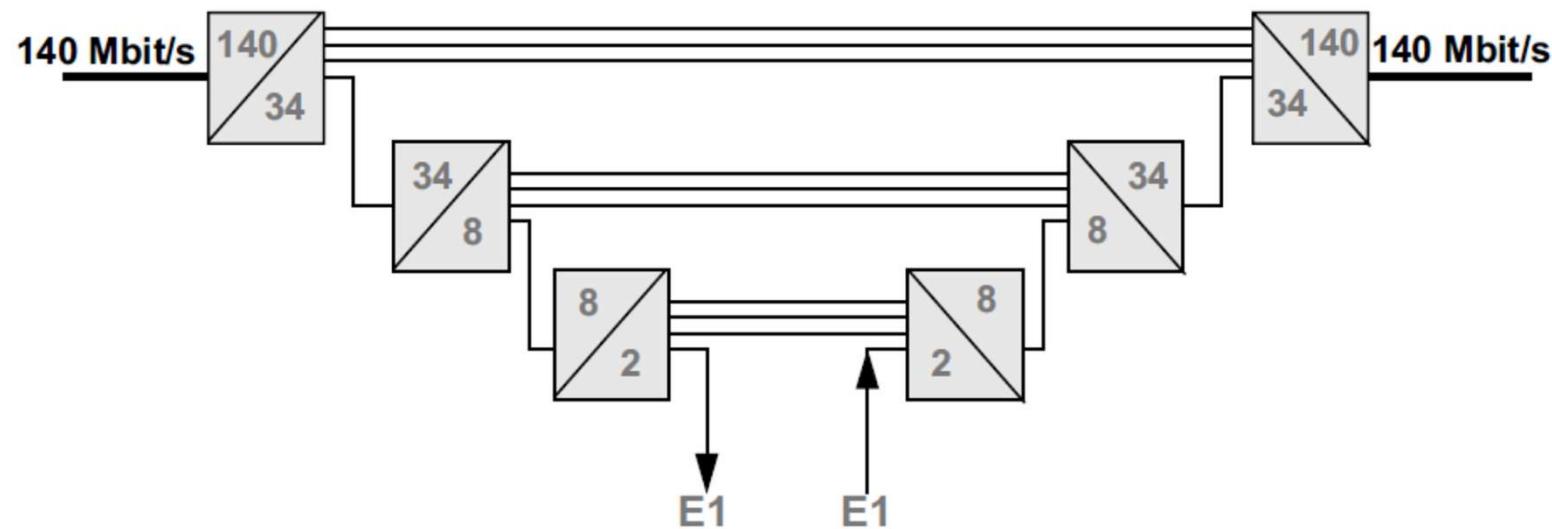


L'organisation de la trame G.704 ou G.732 (téléphonie).

- trame paire : 10011001
- trame impaire : 11000000

- La position de chaque voie est déterminée en comptant un certain nombre de temps d'horloge à partir d'une combinaison particulière de bits appelée **mot de verrouillage de trame (MVT)** qui balise le début de la trame de 32 voies (IT)
- Les trames sont regroupées selon une structure dite de **multitrame**, cette structure regroupe deux sous-groupes de 16 trames numérotées globalement de 0 à 31.
- L'intervalle IT 0 sert à délimiter les trames par un mot de verrouillage
- L'intervalle IT16 transporte des informations de signalisation.

# Extraction d'un conduit dans une Hiérarchie PDH



l'extraction d'un conduit à 2 Mbit/s d'un lien à 140 Mbit/s dans une Hiérarchie PDH

Pour insérer ou retirer un message,  
il faut démultiplexer le train  
numérique, puis le multiplexer à  
nouveau.

# La hiérarchie synchrone SDH/SONET

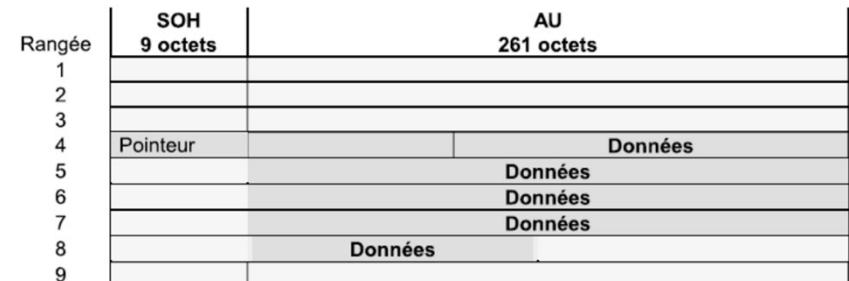
- La hiérarchie synchrone se distingue essentiellement de la hiérarchie plésiochrone par la distribution d'horloge à tous les niveaux du réseau réduisant ainsi les écarts d'horloge.
- On distingue deux types de hiérarchie synchrone : la hiérarchie SDH en Europe et la hiérarchie **SONET** (*Synchronous Optical NETwork*) aux États-Unis.
- Pour garantir la connectivité des différentes hiérarchies, des niveaux identiques ont été définis, le premier niveau de la hiérarchie:
  - SONET : **STS-1** (*Synchronous Transport Signal – level 1*) ou **OC1** (*Optical Carrier-1*) est défini à 51,84 Mbit/s.
  - La hiérarchie SDH fixe un premier niveau (ou trame de base) à 155,52 Mbit/s (**STM-1**, *Synchronous Transport Module – level 1*).
- Avantages
  - Indépendance vis à vis des opérateurs en terme de signalisation, structure des trames, synchronisation, débits, etc...
  - Unification des systèmes américains, européens et japonais
  - Insertion et prélèvement d'informations sans procéder à un multiplexage/démultiplexage coûteux

# Correspondance entre SONET et SDH.

Correspondance entre SONET et SDH.

SONET	SDH	Débit en Mbit/s
OC1		51,84
OC3	STM-1	155,52
OC9		466,56
OC12	STM-4	622,08
OC18		933,12
OC24		1 244,16
OC36		1 866,24
OC48	STM-16	2 488,32

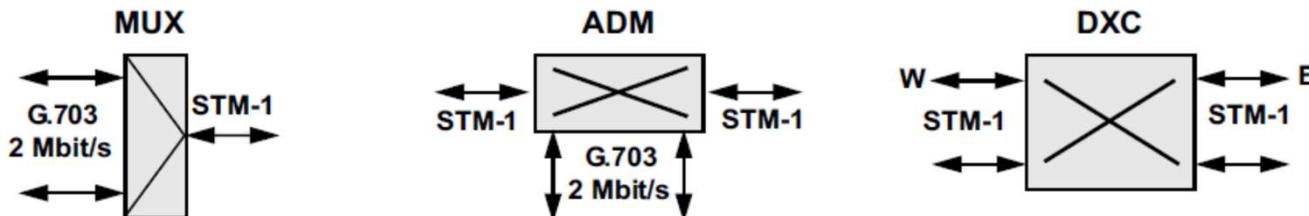
- structure simplifiée de la trame SDH



La trame de base comporte 2 430 octets émis avec une période de récurrence de 125 µs soit un débit de 155,52 Mbit/s. Elle est divisée en neuf éléments ou rangées de 270 octets, chaque élément est divisé en deux champs. Un champ de surdébit de 9 octets par rangée (**SOH**, *Section OverHead*) contient les informations de supervision, notamment les pointeurs. Les données sont déposées dans les champs utiles (261 octets) de chacune des rangées (**AU**, *Administrative Unit*). L'ensemble des données déposées forme un *container*.

# Les équipements SDH

- Support de transmission: idéalement la fibre optique
- Les **multiplexeurs d'accès (terminaux)** permettent le multiplexage et le démultiplexage de plusieurs affluents plésiochrones et/ou synchrones.
- Les **multiplexeurs à insertion/extraction (ADM, Add Drop Mux)** assurent le transfert des données d'Est en Ouest ( $E \leftrightarrow W$ ) tout en autorisant l'extraction et/ou l'insertion de sous-débit.
- Les **brasseurs numériques (DXC, Digital Cross Connect)** modifient l'affectation des flux d'information entre un affluent d'entrée et un affluent de sortie. Le croisement de flux est défini par l'opérateur, il est permanent.



ADM



DXC



# La commutation de cellule

- Circuits virtuels:
  - VCI (Virtual Channel Identifier) : numéro de canal virtuel
  - VPI (Virtual Path Identifier) : numéro de chemin virtuel
  - un VP peut contenir plusieurs VC (multiplexage)
  - un VP est une connexion multipoint
- Les VCI et VPI sont contenus dans l'en-tête ATM de chaque cellule (données d'acheminement)
- La commutation peut agir en fonction
  - du VPI uniquement : on parle alors de brasseur
    - un ensemble de circuits virtuels (VPI,VCI) ayant une même destination forme un même conduit virtuel (VPI)
    - permet de commuter plusieurs voies simultanément
    - commutation rapide
  - du VPI et du VCI : on parle alors de commutateur
    - multiplexage/démultiplexage des VP
    - commutation au niveau des VC

## *topologie d'un réseau SDH*

- technologie SDH peut être mise en œuvre sur toutes les formes de topologie : point à point, arborescente, bus, anneau et maillée

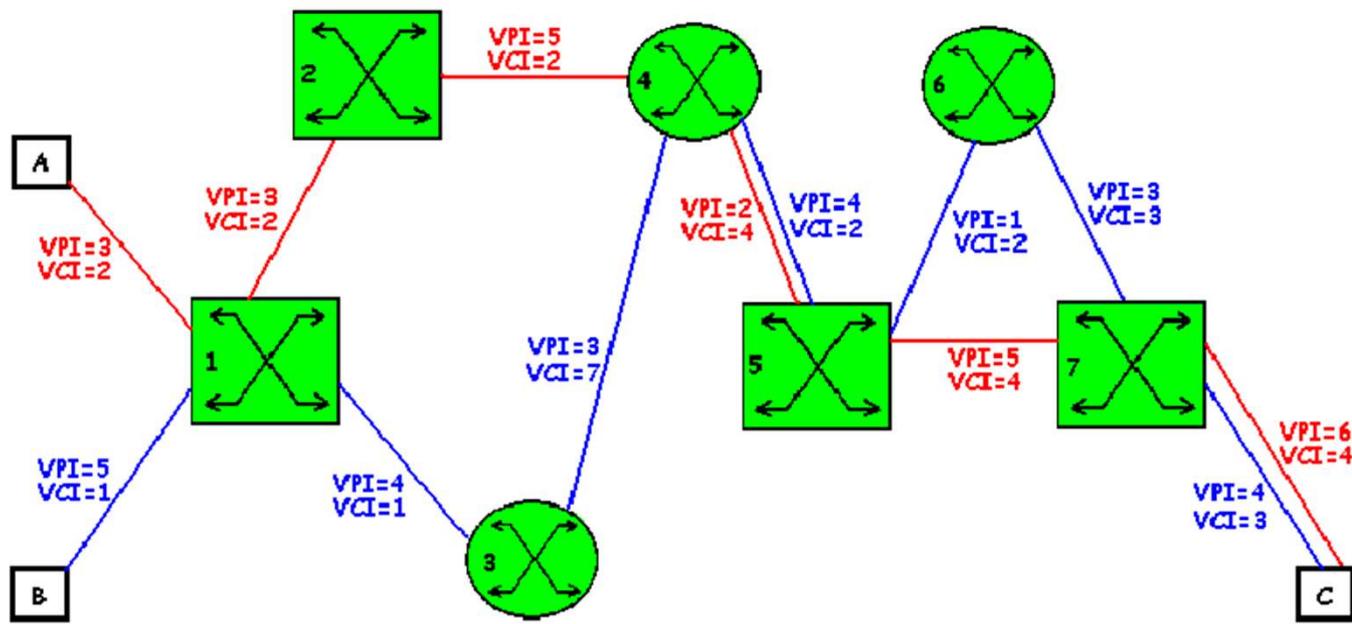
# 1-2 ATM

- Au cours des années 1970, la recherche de la performance a orienté les concepteurs de réseaux vers la réalisation de réseaux à commutation de paquets (*Packet switching*) avec le protocole X.25, le relais de trames (**FR**, *Frame Relay*), puis l'**ATM** (*Asynchronous Transfer Mode*).
- En traitant des unités de données de taille réduite et fixe(*cellules*), l'ATM a considérablement réduit les temps de traitements. La commutation est alors directement réalisée par des systèmes matériels (*hardware*) et non plus logiciels, ce qui autorise des débits de plusieurs centaines de mégabit par seconde.
- Architecture ATM
  - Couche physique: assure l'adaptation des cellules au système de transport physique utilisé (généralement SDH ou SONET)
  - Couche ATM: effectuer la commutation et le multiplexage des cellules
  - AAL (*ATM Adaptation Layer*): adapter les unités de données (segmentation et réassemblage) des protocoles supérieurs à la couche ATM .

# ATM

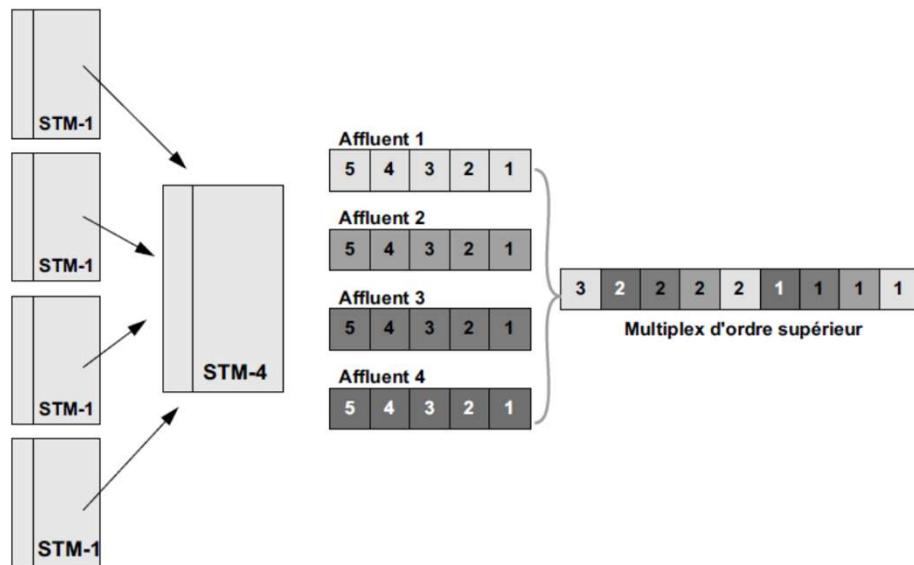
- L'ATM est une technologie en mode connecté, les données ne sont acheminées dans le réseau qu'après l'établissement d'une voie virtuelle (**VCC**, *Virtual Channel Connection*). Le circuit établi peut-être :
  - bidirectionnel en mode point à point (*unicast*),
  - unidirectionnel en mode point à multipoint (*multicast*).
- Références permettant d'identifier le circuit virtuel entre deux nœuds:
  - Le numéro VCI (Virtual Channel Identifier), ou identificateur de voie virtuelle.
  - Le numéro VPI (Virtual Path Identifier), ou identificateur de conduit virtuel.

# Exemple



où les rectangles figurent des brasseurs et les disques des commutateurs simples.

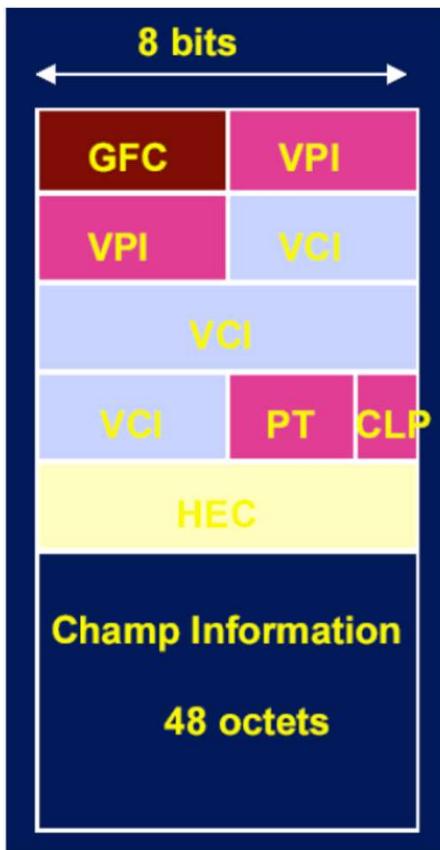
# Principe du multiplexage d'octets.



- Le multiplexage des différents affluents d'ordre  $N$  vers un affluent d'ordre  $N+1$  est réalisé par entrelacement d'octets

- Commutation de cellule de taille fixe : 53 octets
- Cellule
  - 5 octets d'en-tête + 48 octets de données
  - Commutation plus simple et plus rapide
  - meilleure gestion de la mémoire et des files d'attente
  - transmission de cellules sur un circuit virtuel (VCI+VPI)
- ATM est utilisé dans
  - les cœurs de réseaux IP et les points d'interconnexion
  - les cœurs de réseaux voix (GSM) : voix/ATM
  - le transport sur les lignes ADSL (IP/PPP/ATM niveau physique)

# Format de cellules



- GFC (*Generic Flow Control*) (4 bits) : Contrôle de flux générique.
- PT ( Payload Type ): sur 3 bits: identifie si la cellule contient des données utilisateur ou de gestion
- HEC: Header Error Control
- CLP (Cell Loss Priority): indique une priorité, si CLP=0 la cellule est prioritaire, si CLP=1 la cellule peut être détruite par l'opérateur en cas de saturation
- Le champ VCI/VPI (*Virtual Circuit Identifier/Virtual Path Identifier*) contient la référence.
- Sur l'UNI, la longueur totale de la référence VCI + VPI est de 24 bits.
- Sur l'interface NNI, la longueur de la référence VCI + VPI atteint 28 bits.

## Exercice 1

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

- a) Donner en octets, le volume du son à transporter en admettant qu'il n'y a aucune compression
- b) Si le message est transmis intégralement d'un seul bloc, quel est le temps nécessaire à son acheminement en supposant que le temps de propagation du signal est négligeable.
- c) La voie concernée fait partie d'un réseau à commutation de paquets. Chaque paquet a une longueur en octets de 1024 comprenant une partie de service (adresses, détection d'erreur, champs de service) de 256 octets. Combien de paquets correspondent au message précédent
- d) Même question pour le cas d'un réseau ATM ; combien de cellules ATM sont-elles nécessaires pour véhiculer le message.

## Exercice 2

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

# Exercice 3

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

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

- 1) Quel est le volume du message  $M$  ?
- 2) Quel est le débit nécessaire de la voie transmettant le son en temps réel ?
- 3) Quel réseau peut-on utiliser ?

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

c) On utilise un réseau ATM pour le transport du message  $M$ , Combien de cellules ATM faut-il pour transporter le message  $M$  ?

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

## Exercice 4

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

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

Un utilisateur a voulu télécharger un fichier d'une taille de 20 Mo. La première moitié du téléchargement s'est effectuée avec un débit réel de 15 Mbit/s puis le débit réel a chuté de moitié. Combien de temps durera le téléchargement ?  
donnez le détail des calculs (1 Mo = 1024x1024 octets).