

**www.Mcours.com**  
Site N°1 des Cours et Exercices Email: [contact@mcours.com](mailto:contact@mcours.com)

# *Panorama des Technologies Haut-débit*

Conférence Université Paris 6 • 20 Mai 1998

*Francis IA  
Architecture réseau  
([francis\\_ia@hotmail.com](mailto:francis_ia@hotmail.com))*

# Agenda

- Besoins ?
- Technologies haut-débit des réseaux d'entreprises (Gigabit Ethernet, ATM)
- Technologies haut-débit des réseaux télécoms (SDH, ATM)
- Cas particulier : IP over ATM (MPLS, MPOA)
- Vision d'un opérateur télécom de l'évolution des technologies haut-débit (marché, axes de développement)
- Conclusion : Q & R

***www.Mcours.com***  
Site N°1 des Cours et Exercices Email: [contact@mcours.com](mailto:contact@mcours.com)

# Entreprise

# Introduction - Quels besoins

- Inventaire des applications et téléservices
  - héritage du passé,
  - populaires du présent,
  - promesses de l'avenir.
- Besoin tj croissant d'interconnexion...
- Définition du besoin : «haut-débit» ou «débit au plus juste» ?
- Analyse de l'impact sur l'infrastructure de communication
  - Nouveaux protocoles de communication
  - Nouvelles techniques de fabrication d'équipements réseaux (composants, logiciel OS, architecture interne, etc.)
  - Nouvelles architectures réseaux

# Applications d'entreprise

- Intégrer les applications du passé...
  - mainframes, systèmes propriétaires (SNA, DecNet, etc.)
  - LAN sous NOS (Network Operating System) Novell IPX/SPX
- Supporter ce qui est à la mode en ce moment...
  - Intranet,
  - ouverture sur l'Internet,
  - Extranet, et VPN
- Evoluer vers le futur en minimisant les changements...
  - Intégration de la voix, donnée et image,
  - démocratisation des applications multimédia communicantes (vidéoconférence, groupware multimédia, etc.)
  - Voix sur IP ou «le service de la voix moins cher»
  - Classes et qualité de service, différenciation des services.

# Impact réseaux

- Le réseau d'entreprise ne cesse de croître en taille
  - LAN, interconnexion de LANs,
  - backbone, Campus, MAN, et interconnexion par WAN.

⇒ *Bien maîtriser les différents coûts réseaux & télécoms*
- La bande passante n'est jamais suffisante,...., mais pas toujours «gratuite»,...
- mais ce n'est pas tout
  - Différentiation de trafics selon criticité des applications (Serveur de gestion de paie vs Web intranet d'information)
  - Différentiation de privilèges (CEO vs cadre junior)
  - QoS pour support optimal du multimédia
  - Intégration de la voix, données et de l'image

*Les nouveaux réseaux doivent être rapides,...., et intelligents.*

# Réponses : les solutions réseaux émergents

- «Toujours plus vite» - Surenchère perpétuelle sur la bande passante «brute»
  - Ethernet 100Mbps, 1000Mbps (Gigabit Eth.), et Térabit Eth. (???)
  - Gigabit router, Térabit router
- «Toujours plus haut» - La commutation monte dans les niveaux OSI.
  - commutation niv. 2, niv. 3, niv. 4, et peut être jusqu'à niv. 7 (???)
- ATM, une technologie éprouvée, des années d'avance sur la demande, mais toujours en attente de son adoption totale...
  - Le protocole «Multi» (multi-débits, multi-protocoles, multi-services, multi-CoS/QoS)
  - IP, et ATM :  $1 + 1 = 3$ 
    - «Classical IP» (RFC 1577, RFC 1483), LANE,
    - MPLS, MPOA, PNNI.
- «l'IP nouveau est arrivé»
  - CoS/QoS
  - support temps-réel (RSVP, RTP/RTCP, IP multicast, etc.)
  - IPv6...

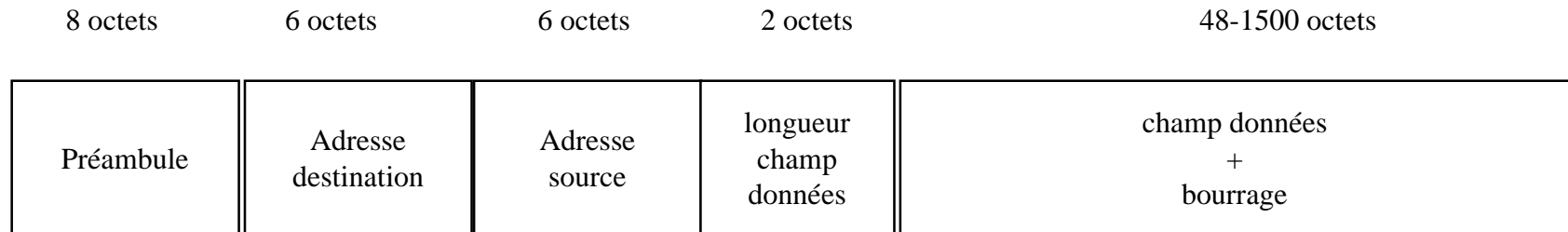
# Gigabit Ethernet, dernier né de la famille 802.3

- Caractéristiques premières du 802.3z
  - Utilise le même format de trame Ethernet (10/100Mbps).
  - Utilise le même mode d'accès CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection)
  - Half et full duplex
  - Exploite le draft IEEE 802.1p et 802.1Q pour le support VLAN et multimédia.
- Points faibles
  - Basé sur des technologies LANs (Ethernet), pour couvrir nouvelles demandes (multimédia, réseau backbone et campus).
  - Draft en cours d'élaboration, et encore beaucoup de solutions «propriétaires» sur le marché. Impact sur
    - intéropérabilité,
    - évolutivité
    - pérennité des investissements
  - Essentiellement nouvelle norme de TRANSMISSION.

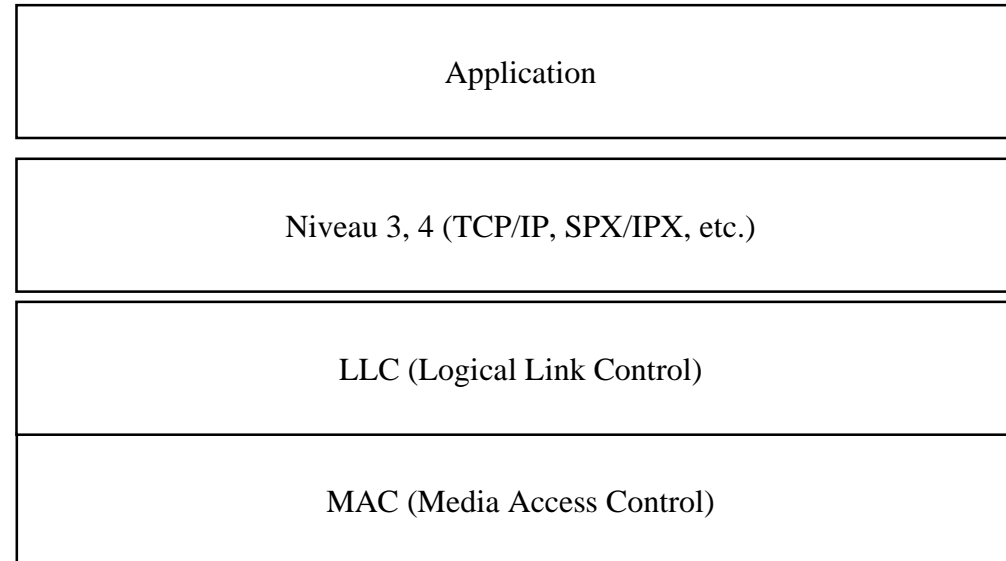


# Simplicité du Gigabit Ethernet

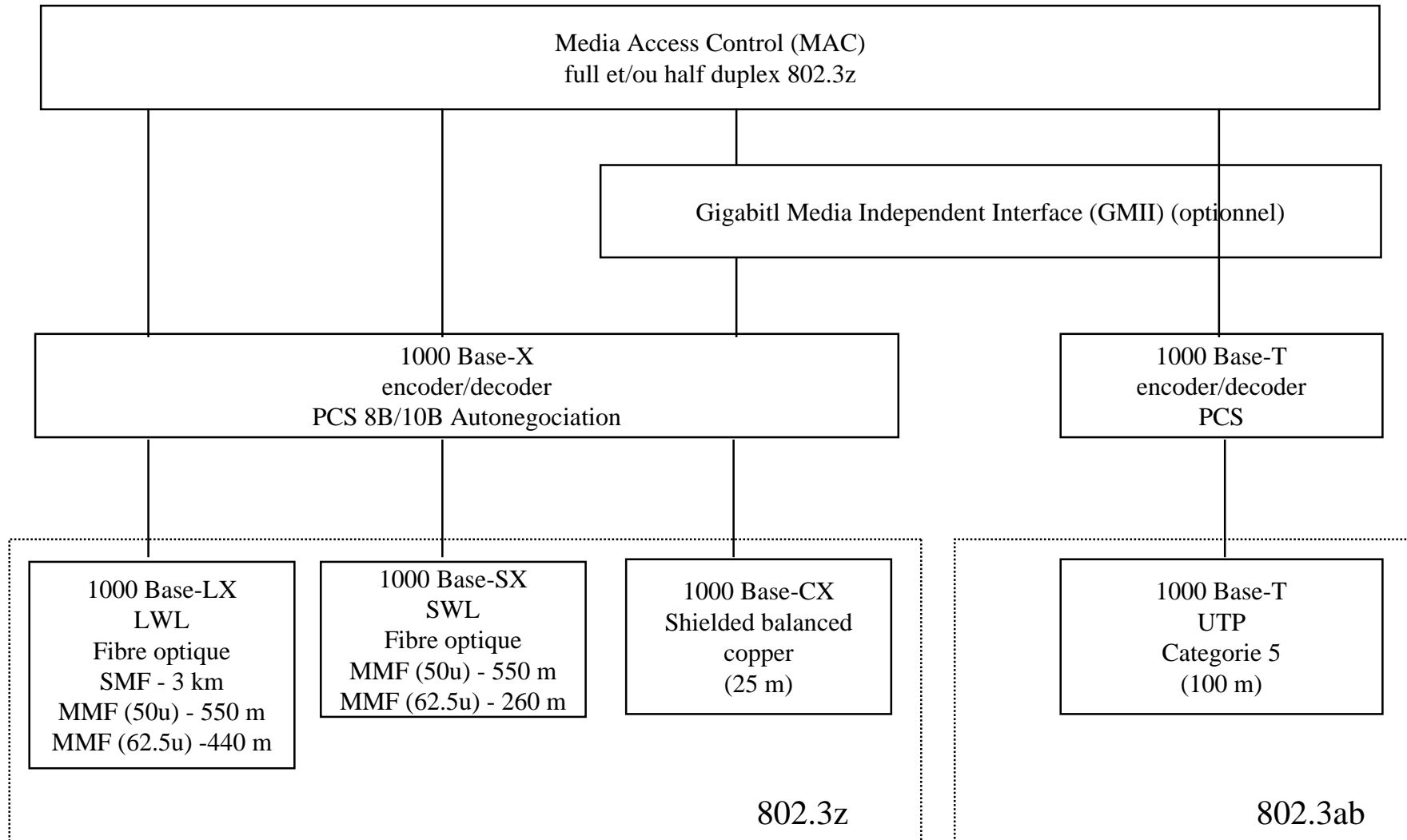
Même format de trame Ethernet 802.3



Même mode d'accès CSMA/CD



# Complexité du Gigabit Ethernet



# Protocoles complémentaires du Gigabit Ethernet

- IEEE 802.1p
  - Complément aux ponts MAC
    - Classes de trafic niveau 2,
    - filtrage dynamique pour multicast (utilisation dynamique d'adresses Group MAC)
  - Draft, en attente de ratification
- IEEE 802.1Q
  - ou «Virtual Bridged Local Area Network»
  - Porte sur
    - les LAN pontés et commutés
    - et LAN virtuels (VLAN)
  - Sujets traités
    - définition des capacités d'un pont «VLAN aware»
    - ajouter à IEEE 802.1D (Spanning tree) le support de VLAN (interopérabilité avec les ponts ignorant les VLANs)
  - Draft tardif, et caractéristiques limitées

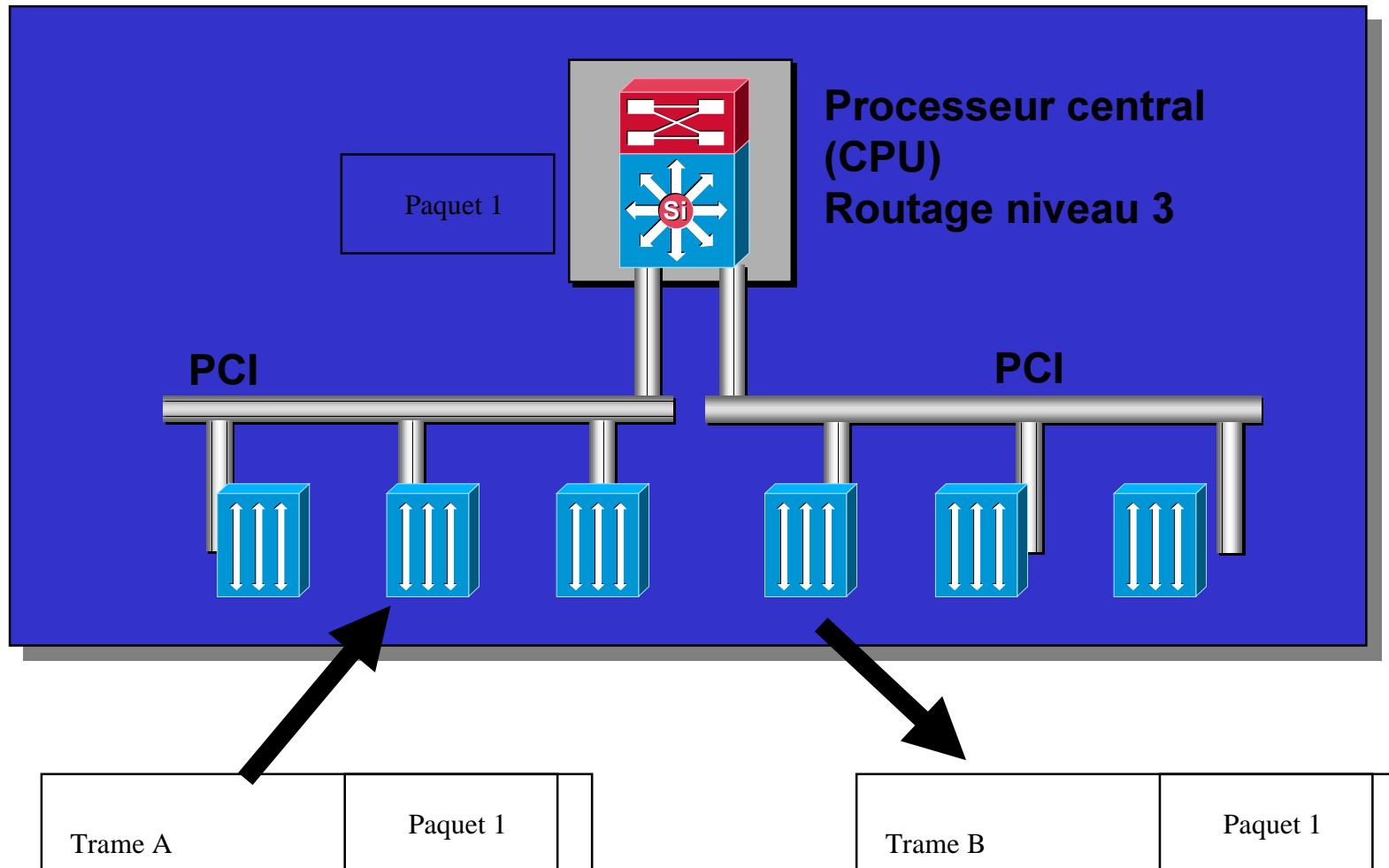
# Alliance Gigabit Ethernet

- Mai 1996 : constitution de l'alliance
- 120 membres aujourd'hui (Cisco, 3Com, Bay Networks, Fore Systems, etc.)
- But
  - accélérer la sortie de normes Gigabit Ethernet
  - Encourager et organiser des manifestations/tests d'interopérabilités inter-constructeurs
- Site Web <http://www.gigabit-ethernet.org>

# Layer x switching

- Ce que c'est...
  - Décision de commutation basée sur les informations de routage niveau 3 (IP, IPX, etc.) pour la commutation niveau 3,
  - et combinées avec d'autres informations de niveaux supérieures, applicatives (TCP, UDP, SPX, etc.) pour la commutation niveau 4 ou supérieure (??).
  - Possibilité d'exécuter des fonctions de traitements protocolaires du type :
    - décrémentation TTL IP,
    - contrôle du CRC IP et/ou MAC,
    - réécriture de l'en-tête MAC (changer VLAN-ID ou priority-ID par exemple)
  - Possibilité d'exécuter des traitements supplémentaires au niveau 3 (sécurité, multimédia, statistiques, billing (?), etc).
- Et ce n'est pas..
  - un routeur
  - ni un commutateur niveau 2

# Composants d'un commutateur niveau 3



# Points forts

- Commutation niveau 3
  - service par paquet
  - contrôle checksum
  - réécriture d'en-têtes niv. 3 et/ou MAC (L3 TTL, priority ID, VLAN-ID, etc.)
  - Majorité des traitements faits en hardware (ASIC)
- Service de routage
  - Maîtrise de la topologie
  - Convergence rapide
  - «Policy routing» possible
  - Re-routage
  - Partage de charge

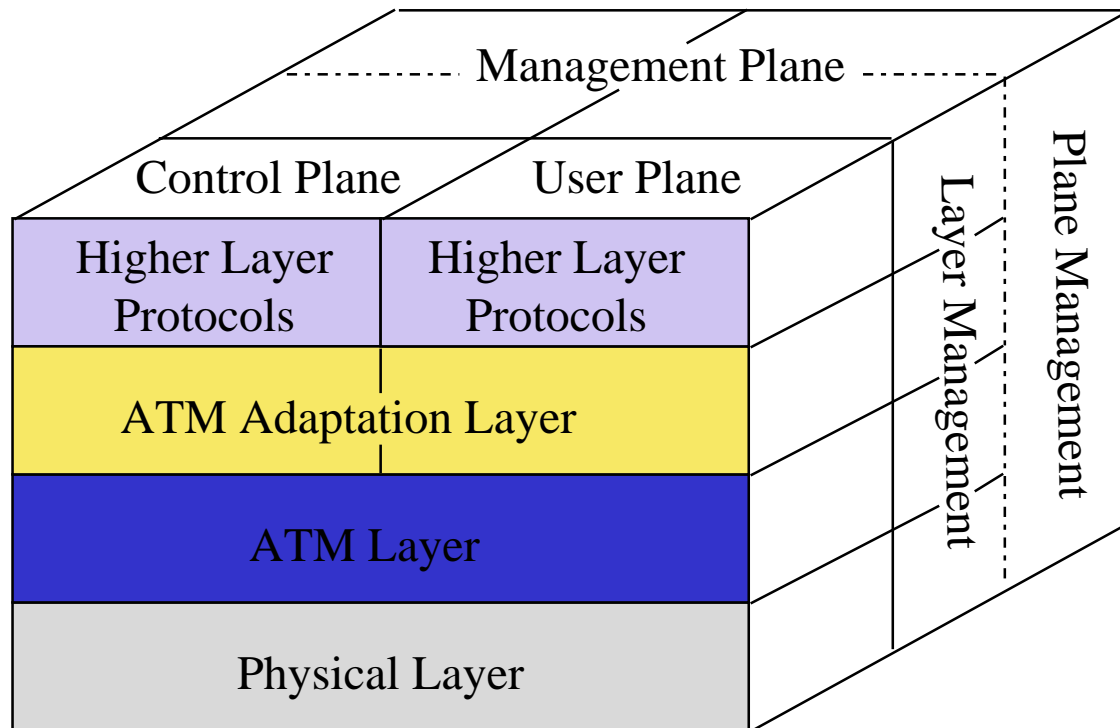
Attention aux mécanismes «propriétaires»  
car pas de standards de commutation niveau 3 (ou plus)

# ATM (Asynchronous Transfer Mode)

- Architecture
- QoS
- IETF Classical IP
- ATM Forum LANE
- ATM Forum MPOA
- IETF MPLS



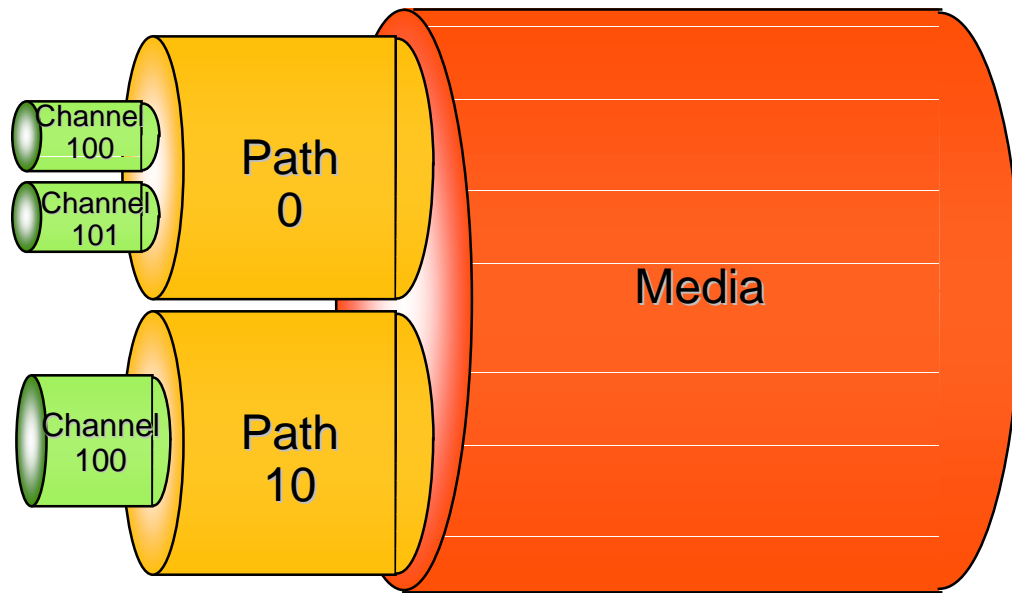
# Modèle de référence ATM



# Modèle de Référence Protocoles

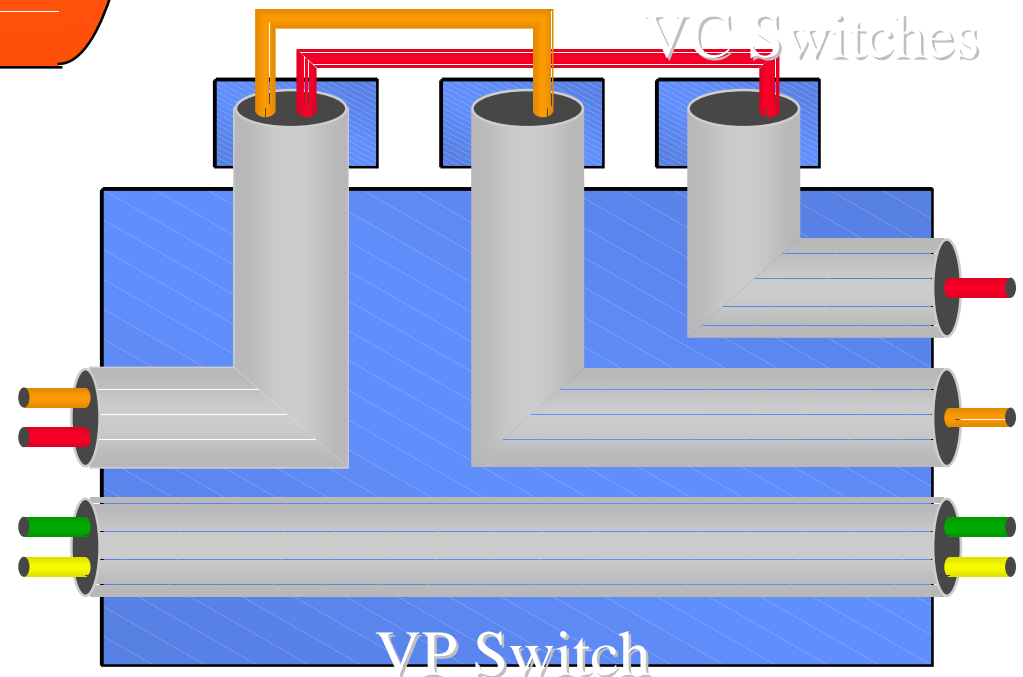
Higher Layer Functions	HIGHER LAYERS	
Convergence	CS	A
Segmentation and Reassembly	SAR	A L
Generic Flow Control Cell Header Generation/Extraction Cell VPI/VCI Translation Cell Multiplex and Demultiplex	A T M	
Cell Rate Decoupling HEC Sequence Generation/Verification Cell Delineation Transmission Frame Adaptation Transmission Frame Generation/Recovery	TC	P H Y S I C A L
Bit timing Physical Medium	PM	

# Composants du circuit virtuel ATM



- **Trois composants**

- **Media**
- **Virtual Path (VP)**
- **Virtual Channel (VC)**



# ATM est multi-débits

- **100 Mbps MMF**
- **155.52 Mbps MMF, SMF, CAT 5**
- **25 Mbps CAT 3**
- **SONET OC-3 / STM 1 (155Mbps)**
- **SONET OC-12/ STM 4 (622 Mbps)**
- **SONET OC-48/ STM 16 (2.5 Gbit/sec)**
- **DS1 (1.544 Mbps)**
- **DS3 (44.736 Mbps)**
- **E1 (2.048 Mbps)**
- **E3 (34.368 Mbps)**
- **E4 (139.264 Mbps)**
- **J2 (6.312 Mbps)**

# Types d'AAL selon classes de services

	Class A	Class B	Class C	Class D
Timing Bet Src & Dest	Required		Not Required	
Bit Rate	Constant	Variable		
Connection Mode	Connection-Oriented			Connection less
AAL Types	1	2	3/4, 5	3/4

# QoS et CoS ATM

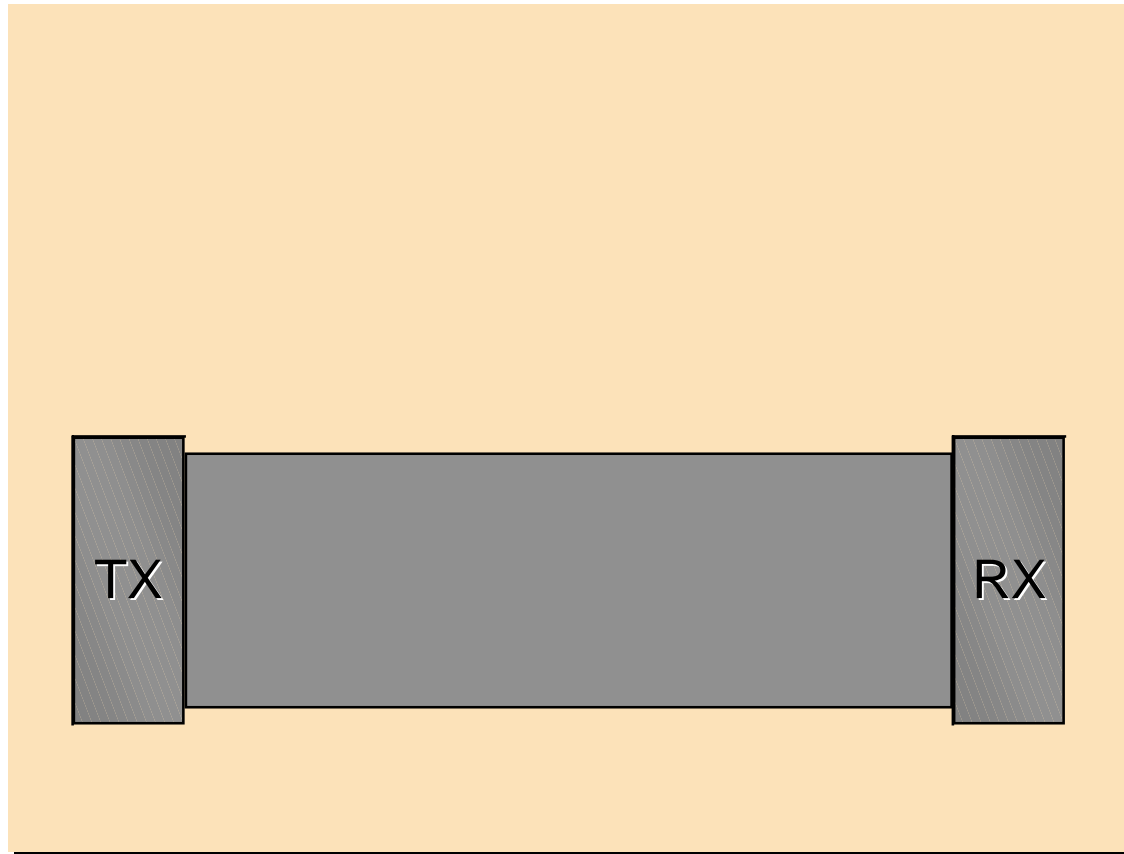
- Qu'est une qualité de service ?
  - Ensemble de paramètres techniques permettant de caractériser une application (temps réel, non-pédicible, etc.)
- Comment ATM implémente la QoS ?
  - Etape 1 : définir selon les règles «standard ATM»
    - la qualité du service,
    - les types de trafic,
    - le contrat de trafic.
  - Etape 2 : concevoir l'architecture ATM capable de supporter la QoS exigée.
  - Etape 3 : mettre en oeuvre des mécanismes de vérification du bon respect de la QoS et du contrat de trafic par l'application.
    - Traffic Shapping
    - Police de trafic (Usage Parameter Control, UPC)
  - Etape 4 : implémenter les mécanismes de gestion de trafic & contrôle de flux pour garantir le maintien du contrat de trafic.

# caractérisation & mesures

- Caractérisation des applications
  - Prédicible, constant, avec synchro horloge exigeante.
    - vidéo non-compressée
  - Variable mais avec des limites connues (et prédictibles)
    - vidéo compressée, et audio
  - Variable non-prédicible
    - LAN, Internet
- Mesures QoS par ATM
  - Peak Cell rate (PCR)
  - Cell Delay Variation tolerance (CDVT)
  - Sustainable Cell rate (SCR)
  - Maximum Burst Size (MBS)

# Classes de services ATM

- CBR
- VBR
- UBR
- (ABR)



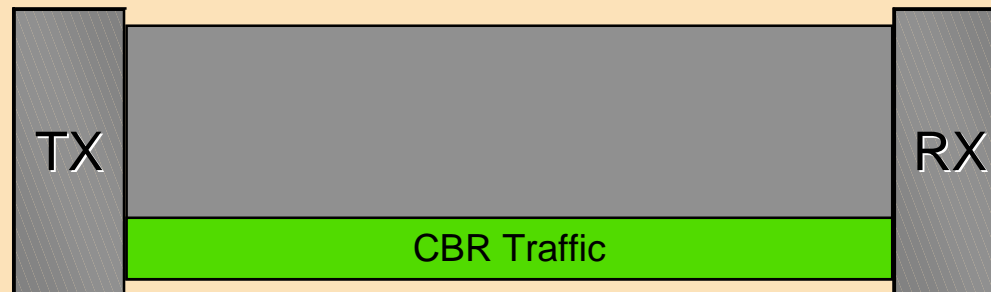


# Classes de services ATM

- **CBR**
- VBR
- UBR
- (ABR)

## Constant Bit Rate Service

- Bande passante fixe, mode circuit.
- idéal pour la voix, video non-compressée, émulation circuit

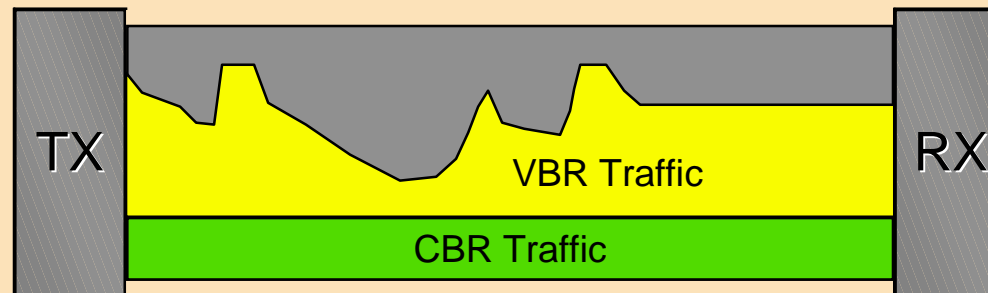


# Classes de services ATM

- CBR
- VBR
- UBR
- (ABR)

## Variable Bit Rate Service

- adapté au flux par rafale
- les rafales ne doivent pas dépasser le maximum spécifié et sa durée.

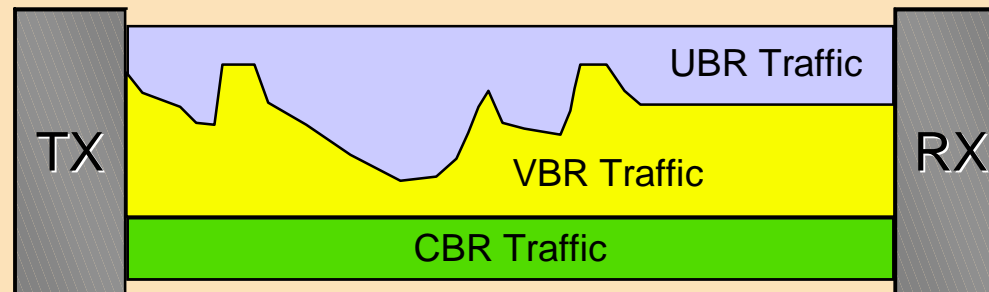


# Classes de services ATM

- CBR
- VBR
- UBR
- (ABR)

## Unspecified Bit Rate Service

- Bande passante variable
- Pas de contrôle de trafic. Buffering et intelligence nécessaires dans Adaptation Layer des devices.

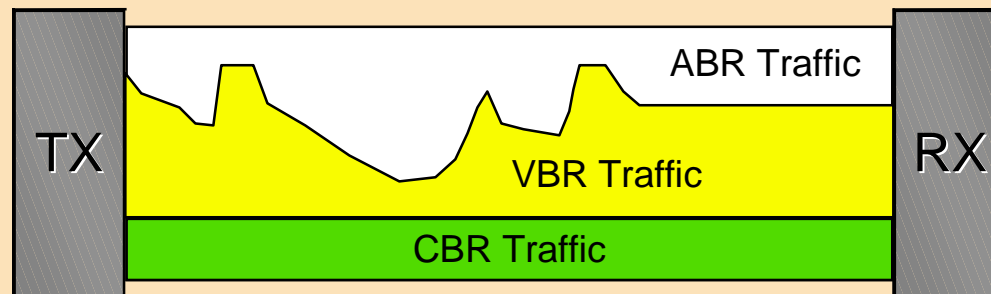


# Classes de services ATM

- CBR
- VBR
- (UBR)
- ABR

## Available Bit Rate Service

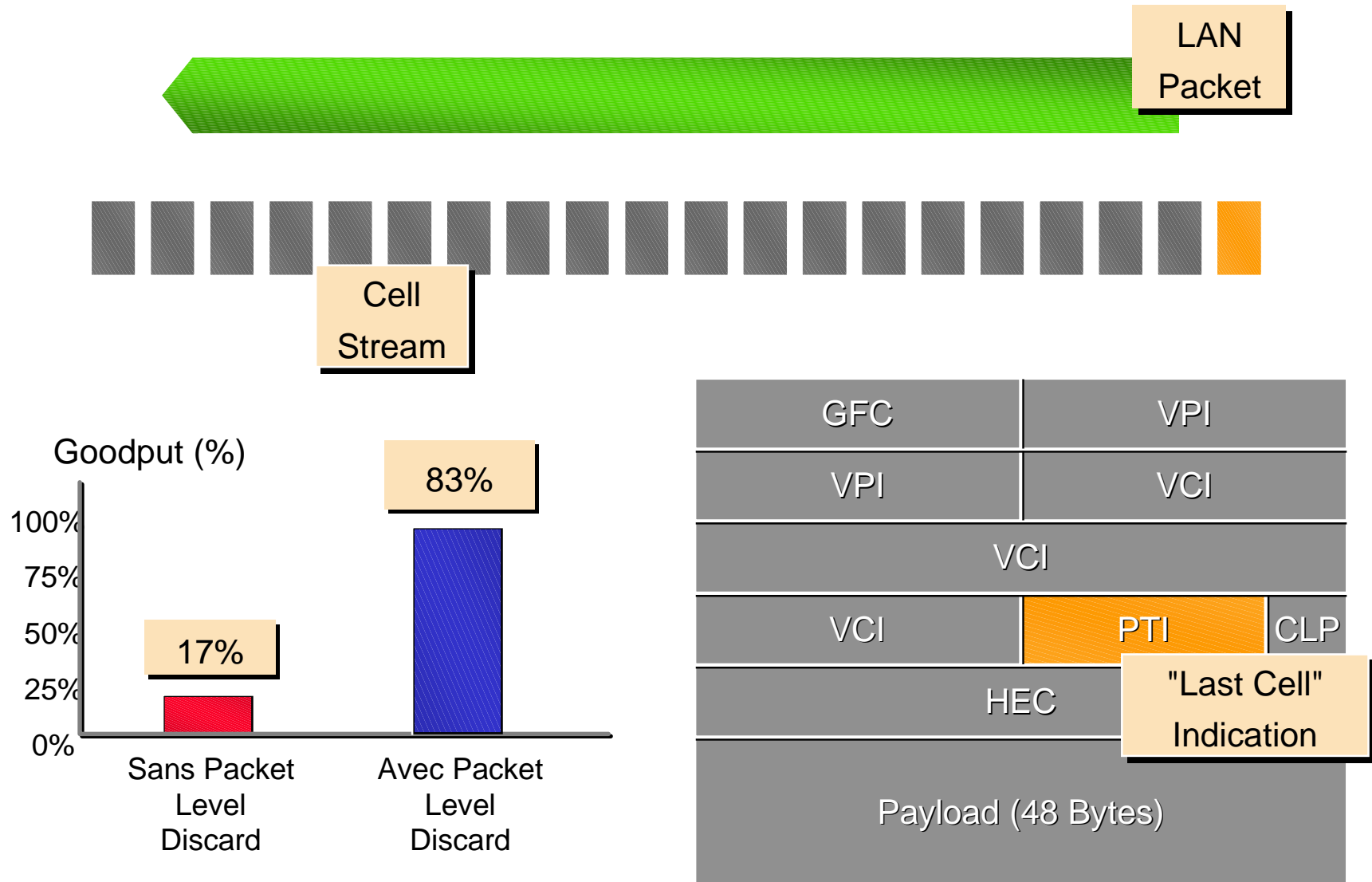
- Bande passante variable
- Intelligence intégrée dans «end systems» pour réagir aux instructions de contrôle de trafic du réseau.



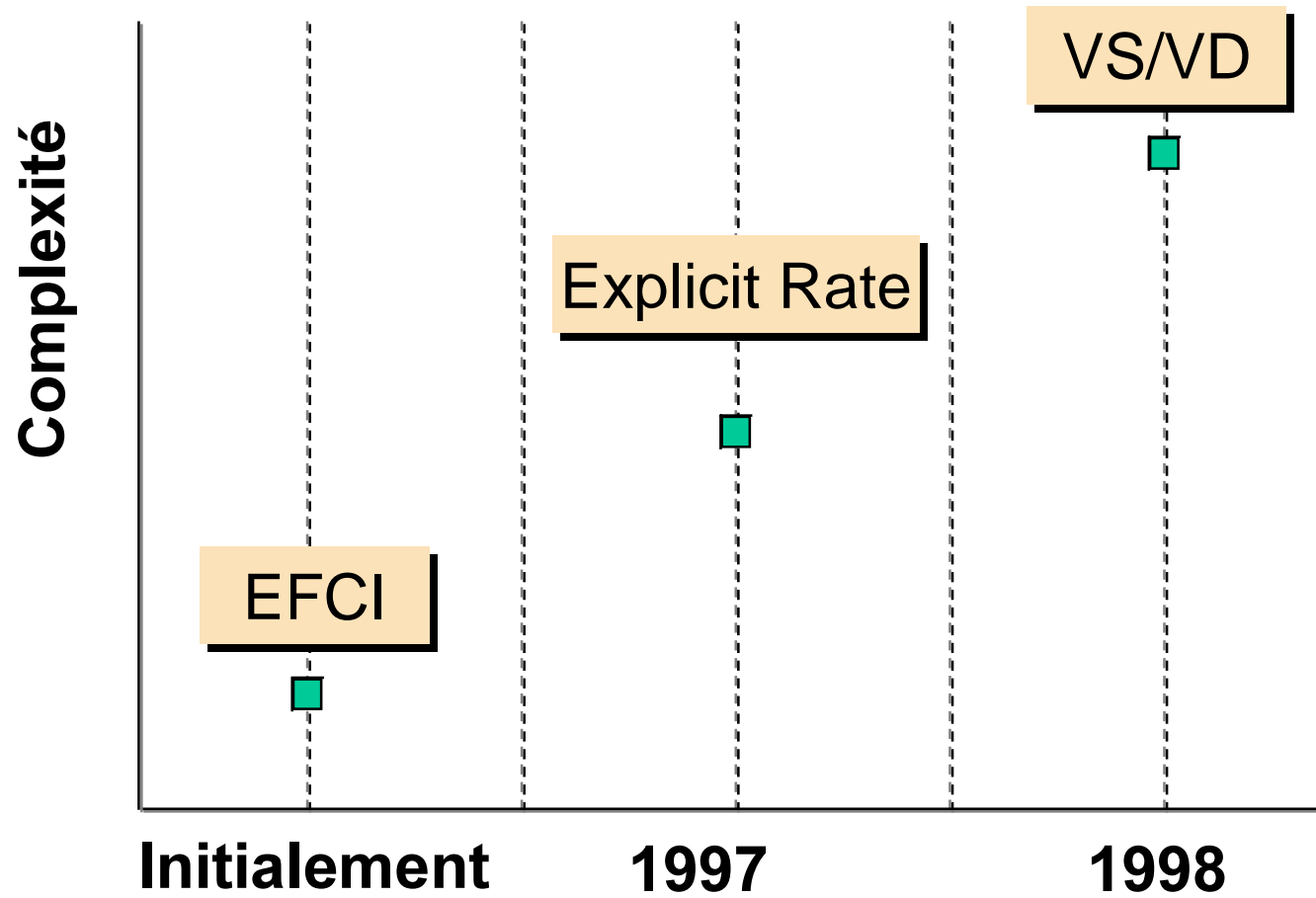
# Gestion de trafic

- A l'établissement de la connexion
  - CAC, Connection Admission Control : pour contrôler l'établissement de connexions ATM, avec définition de contrat de trafic et QoS, avec vérification de capacité à le respecter par le réseau ATM
- Au cours de la communication
  - Traffic Shapping : pour permettre à l'émetteur de contrôler le trafic qu'il génère sur le réseau.
  - UPC, Usage Parameter Control : pour contrôler le respect du contrat de trafic et QoS par l'émetteur, au niveau de l'équipement réseau.
- Contrôle de trafic par le réseau
  - PLD, Packet Level Discard : au niveau de l'équipement ATM, de traiter «intelligemment» avec efficacité les congestions.
  - Mécanismes ABR (Available Bit Rate) : ensembles de mécanismes pour contrôler de bout-en-bout dans le réseau ATM le trafic (contrôle de congestion + contrôle de flux)

# Packet Level Discard (PLD)



# Evolution ABR



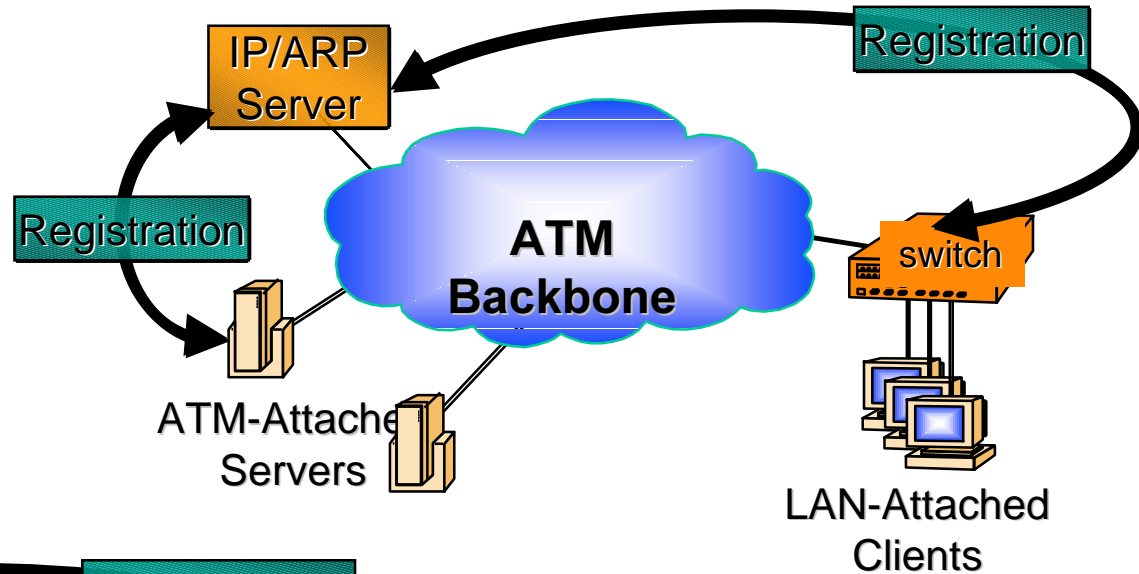
# ATM pour le LAN

- IETF Classical IP (RFC 1577)
  - Nuage ATM traité comme un ou plusieurs subnets IP
  - support de VLAN au niveau de subnets IP
  - Pas de support de multicast
  - un serveur ATM-ARP unique (standard)
    - Goulet d'étranglement
    - SPF (Single Point of Failure)
- ATM Forum LANE (LAN Emulation phase 1 & phase 2)
  - Support multi-protocoles (pas uniquement IP)
  - Indépendant des protocoles niveau supérieur.
  - Intégration des équipements et applications existantes sans nécessité de modification.
  - Compatibilité totale avec les standards LAN (Ethernet, Token Ring)

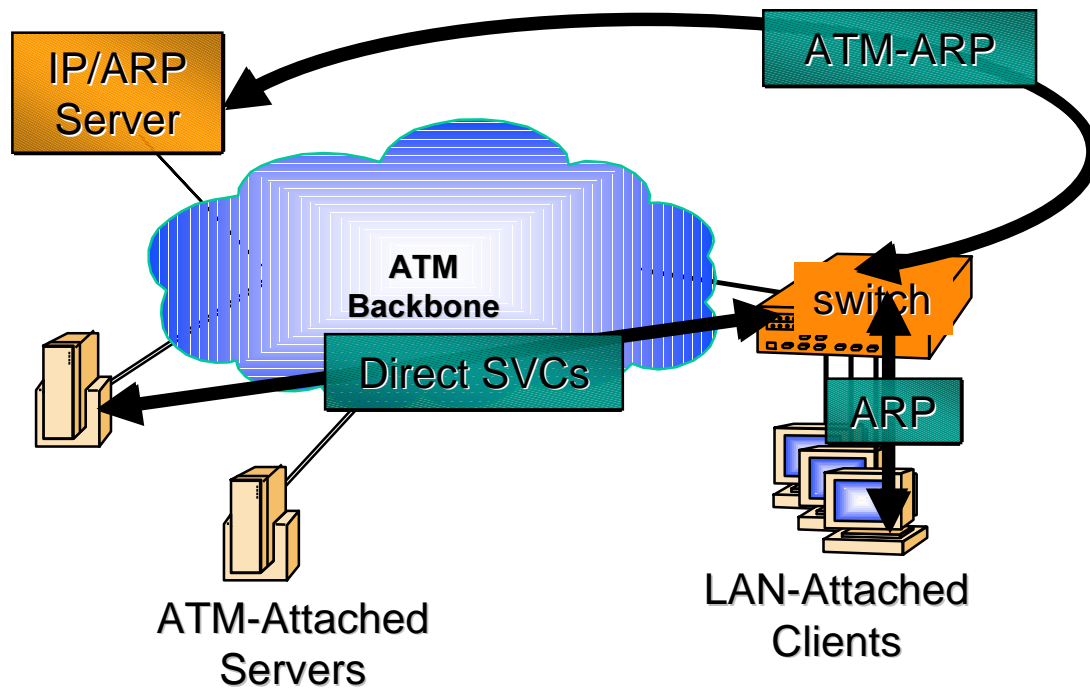


# Classical IP (RFC 1577)

Initialisation



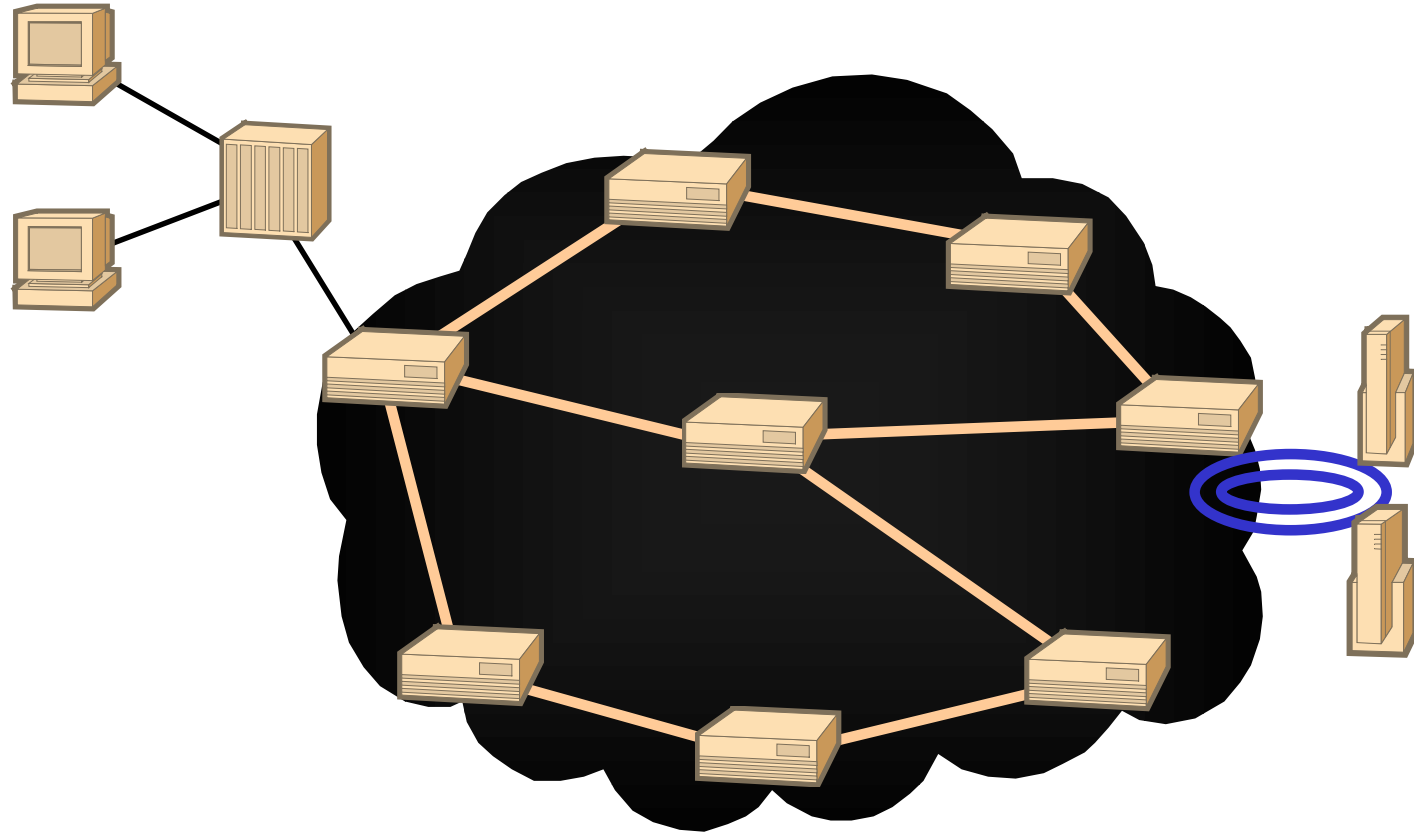
Communication



# Composants de ATM LANE

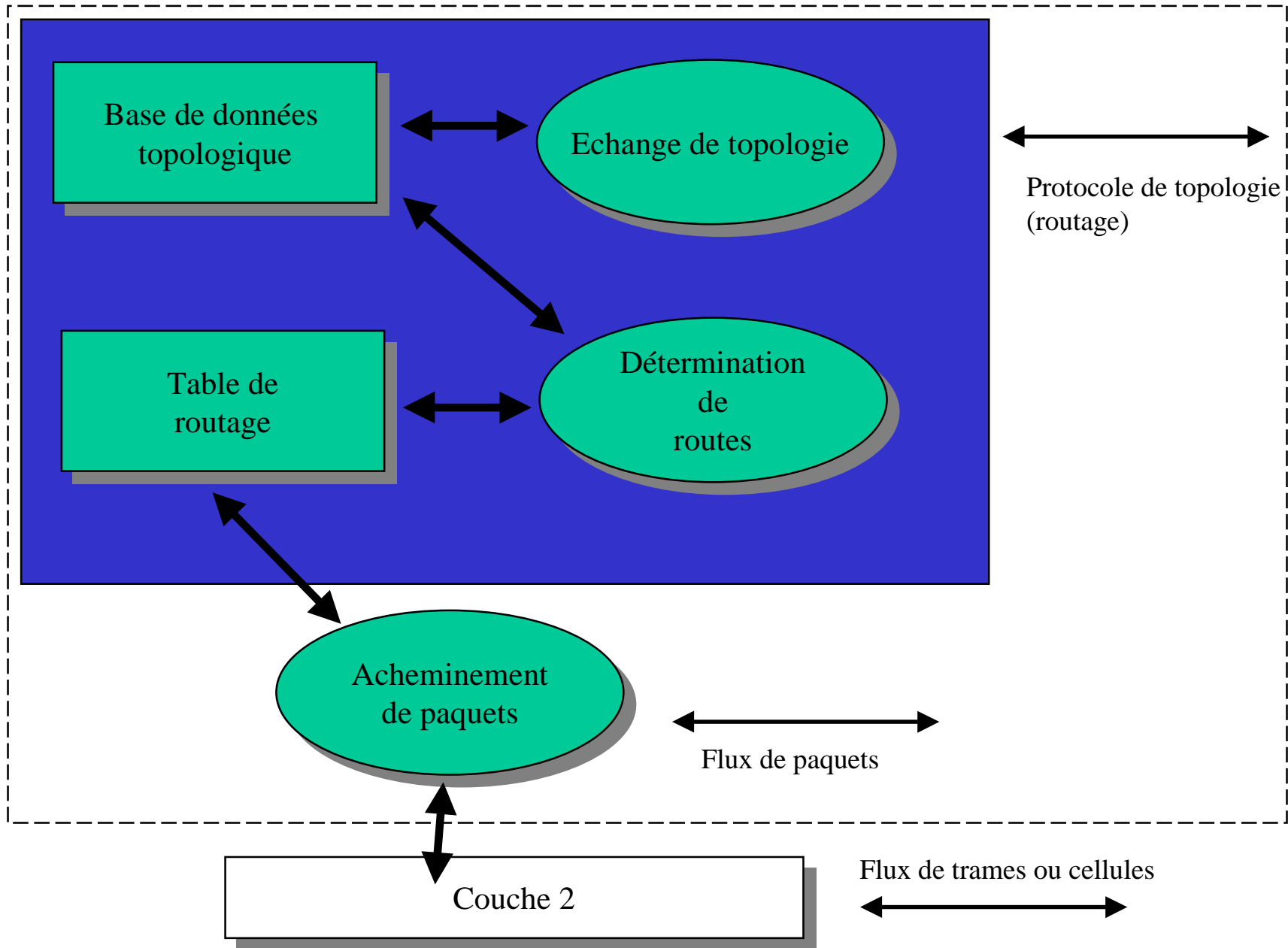
- Plusieurs serveurs distincts
  - LEC (LAN Emulation Client) : au niveau d'un éq. client (edge device, ou poste client) pour communiquer en LANE avec d'autres LECs.
  - LES (LAN Emulation Server) : serveur de résolution d'adresse MAC-ATM.
  - BUS (Broadcast and Unknown Server) : serveur de broadcast (diffusion) & multicast
  - LECS (LAN Emulation Configuration Server) : serveur de configuration des composants LANE.
- Un LAN émulé est constitué de
  - un LES
  - un BUS
  - et autant de LECs qui se joignent à lui.

# Des problèmes existent...



- **Plusieurs éléments intermédiaires**
- **Temps de latence élevé**
- **Coûts administratifs importants**

# Qu'est-ce-qu'un routeur ? (Modèle fonctionnel)



# Qu'est-ce-que MPOA ?

- MPOA, Multi-Protocol Over ATM est la solution pour «court-circuiter» le routeur !!!
- Définition ATM Forum = ensembles de protocoles permettant l'établissement «cut-throuhs» (ou raccourcis de routage) d'inter-VLAN, court-circuitant le routeur après routage des premiers paquets.
- MPOA Phase 1 (ratifié 07/97) uniquement défini pour IPv4 et IPX
- Modèle Client-Serveur avec MPOA Client (MPC), et MPOA Server (MPS)

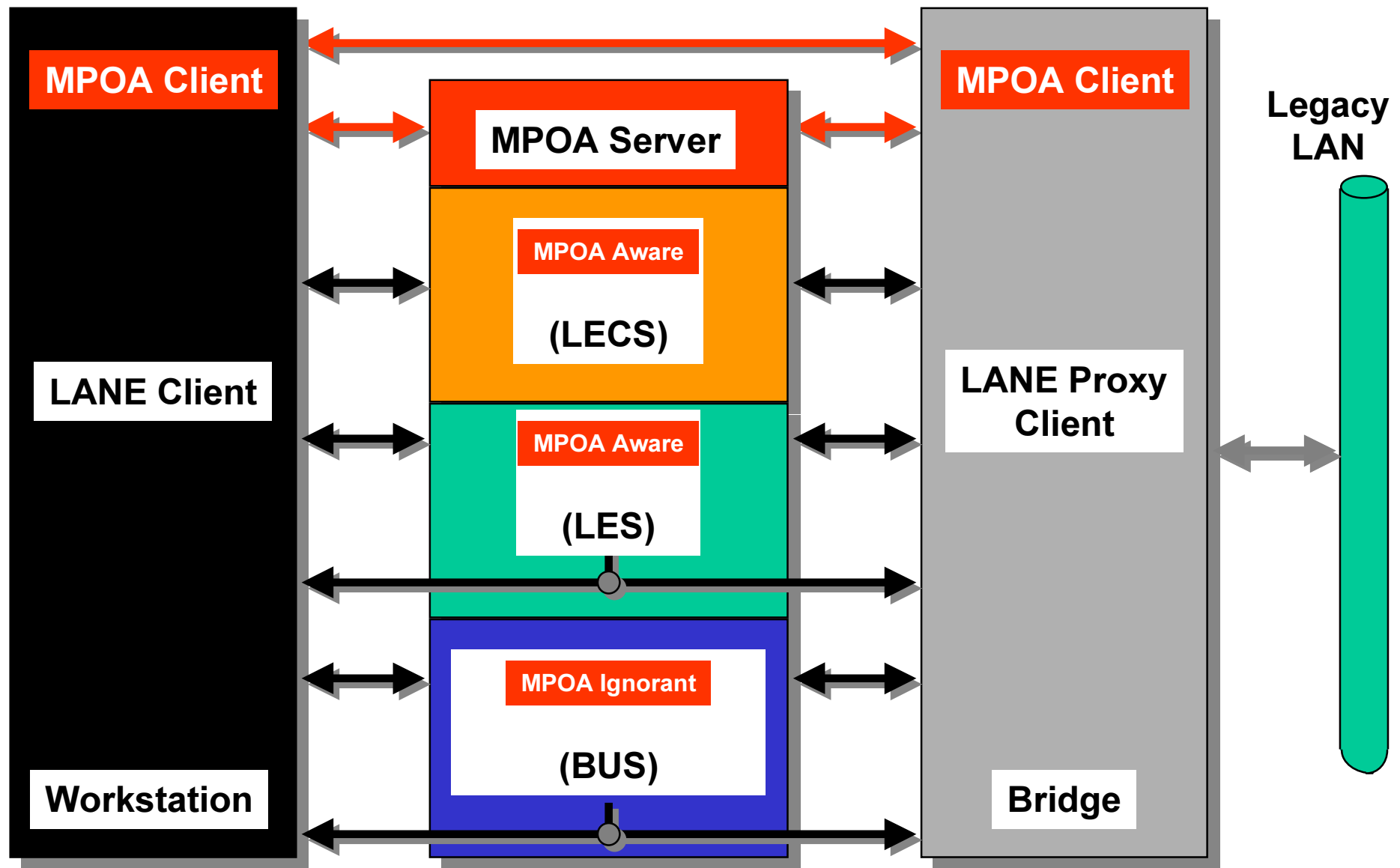
# Pourquoi MPOA ?

- Pour l'entreprise
  - Fournir une solution d'interconnexion qui convienne aux petites entreprises comme pour les fournisseurs de services (réseaux de moyenne, grande)
  - Solution basée sur les normes existantes, sans remise en cause de l'investissement.
  - Grâce à un nouveau concept d'architecture, diminuer les coûts d'équipements et d'intervention.
- Objectifs techniques
  - Permettre aux protocoles de niv. 3 d'exploiter au maximum ATM
    - CV directs entre éq. sans passer systématiquement par un routeur pour les trafics inter-VLANs et inter-subnets
    - Possibilité de bénéficier de la QoS ATM; intégration QoS IP/ATM
  - Autres objectifs
    - séparer transfert de données et fonctions de routage.
    - coût inférieur des composants L2/L3 vs routeur complet dans commutateur LAN

# Composants MPOA

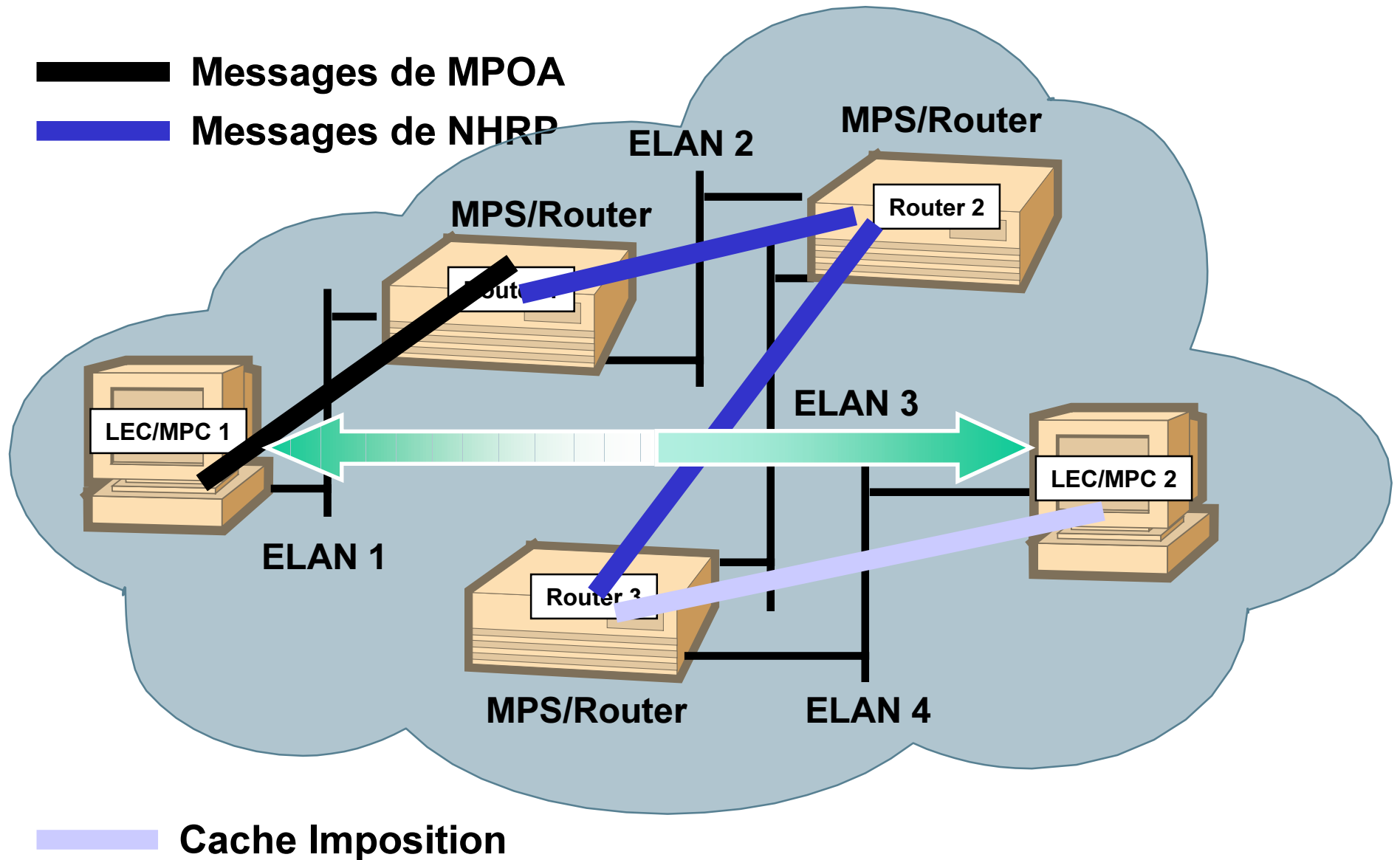
- Serveur MPOA (MPS)
  - Next Hop Resolution Protocol (NHRP)
  - intégré dans les routeurs
- Client MPOA (MPC)
  - Le client LANE (LEC) avec des extensions MPOA
  - intégré dans les cartes adaptateurs, et les edges devices
  - identifie les flux et décide d'envoyer des requêtes MPOA
- MPOA utilise les composants existants
  - LES pour la résolution d'adresses pour identifier les composants MPOA
  - LECS pour la configuration des composants clients et serveurs MPOA
- Composant NHRP (IETF)
  - intégré dans les routeurs
  - pour convertir les adresses niv. 3 en adresse ATM
  - suit le cheminement créé par l'ensemble des routeurs.

# Diagramme des composants MPOA/LANE





# Exemple de communication MPOA



# MPLS (Multi-Protocol Label Switching)

- Multi-protocoles au niveau 3
  - Non seulement IPv4, IPv6
  - mais également «prévu» IPX, AppleTalk, DECnet
- Multi-protocoles au niveau 2
  - Non seulement ATM
  - mais également Frame Relay, SDH, etc.)
- Solution de routage intégré = intégrer les fonctions de routage des couches 2 et 3 au sein d'un même protocole (niveau 3 dans MPLS)
- Les routes sont transférées à la couche ATM par le protocole de signalisation légère LDP (Label Distribution Protocol).
- Processus MPLS
  - Affecter le trafic à acheminer selon une QoS et une destination définies à une classe appelé FEC (Forwarding Equivalent Class)
  - Associer un label à chaque FEC géré pour pouvoir traverser le nuage ATM. Le label est constitué d'une information de taille fixe et courte.
  - Au niveau des commutateurs du nuage, seul le label est analysé pour l'acheminement du paquet.
- Pour ATM, le label est codé dans le champ VPI/VCI

# MPLS vs MPOA

	<i>MPLS (routage intégré)</i>	<i>MPOA (routage par couche)</i>
<i>Résolution d'adresse</i>	<b>Pas d'adresse ATM</b>	<b>NHRP</b>
<i>Routage</i>	<b>OSPF</b>	<b>OSPF (IP) / PNNI (ATM)</b>
<i>Signalisation</i>	<b>LDP</b>	<b>PNNI</b>

# IP, protocole clé de l'entreprise

- CoS/QoS selon IPv4
  - Proposition de Cisco à l'IETF d'exploiter 3 bits de TOS (Type of Service) du datagramme IP pour gérer les 6 valeurs restantes non encore utilisées, pour identifier les Classes de Service IP.
  - Permettre alors de mettre en oeuvre au niv. IP des mécanismes de
    - étiquetage des datagrammes IP (labellisation)
    - pour ensuite employer des mécanismes de
      - police de trafic, CAR (Committed Access Rate)
      - WRED (Weighted Random Early Discard), un PLD IP version Cisco
- Support du multimédia
  - RSVP (Resource reserVation Protocol),
  - RTP/RTCP (Real-time Transport protocol, Real-time Transport Control Protocol).
- IPv6
  - champs IPv6, Priority et Flow label, pour caractériser les flux
  - meilleure intégration des mécanismes RSVP et RTP/RTCP.

Opérateur  
Télécom

# Besoins

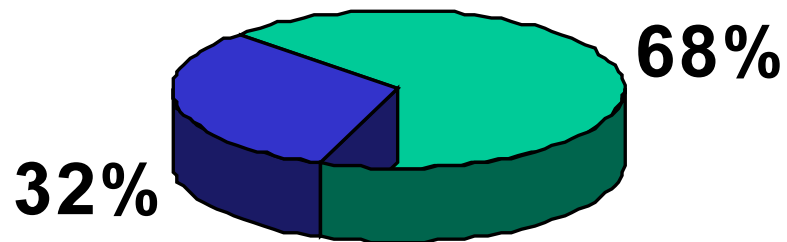
- Quoi vendre ?
  - services d'accès avec maîtrise des coûts (bande passante chère, nécessité d'utilisation maximale des liens, etc.)
  - services d'accès «à valeur ajoutée»
    - de base, premium (gold, platinum)
    - différenciation des services
    - VPN
    - Intranet/Internet/Extranet
- Comment faire ?
  - Quel(s) services mettre en oeuvre ?
  - Quel(s) réseau(x) construire ?
  - Quelles sont les technologies réseaux haut-débit choisir ?

## *La cible, l'entreprise*

La bande passante WAN est la grosse portion du budget télécom pour une entreprise.

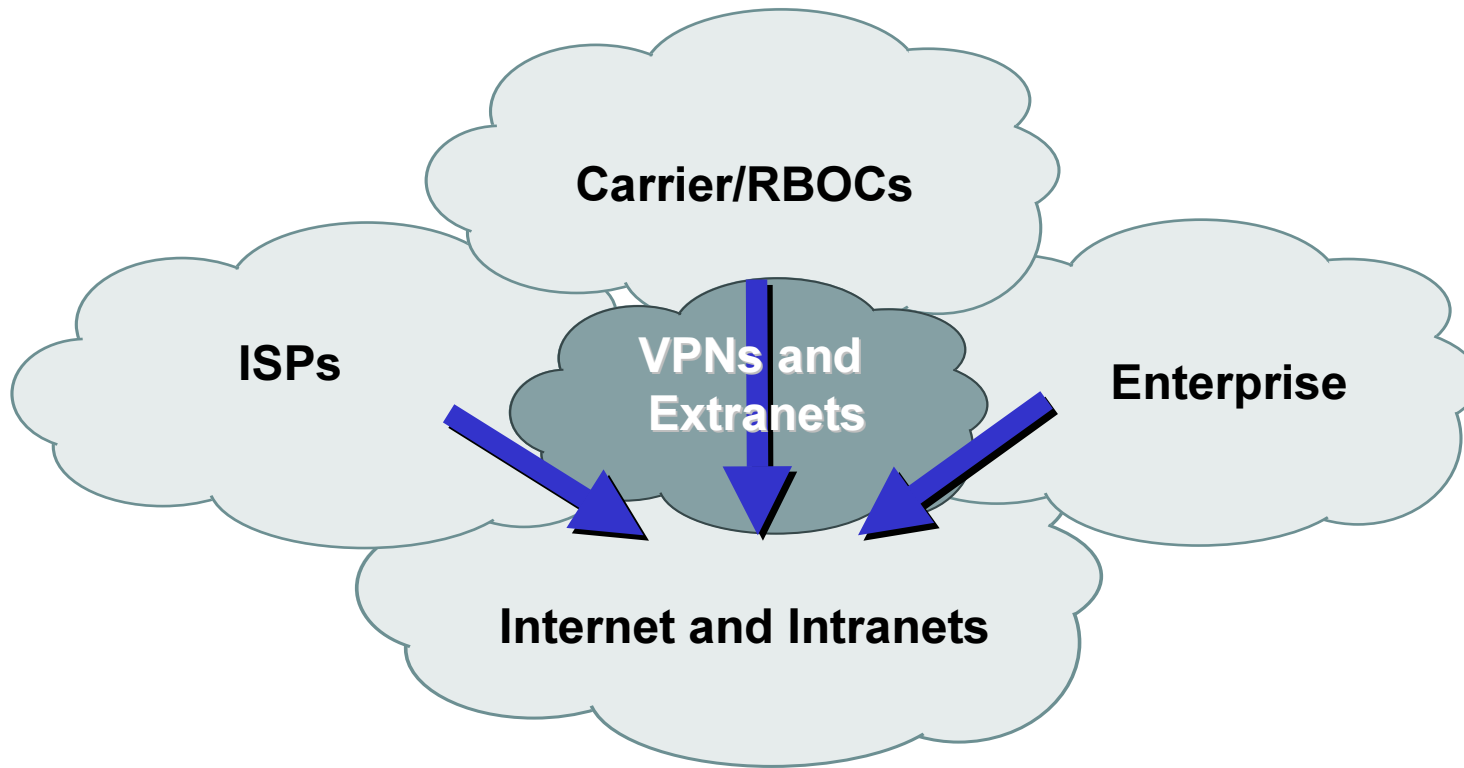
■ WAN Service Charges

■ Network Equipment Costs



**% of networking budget**

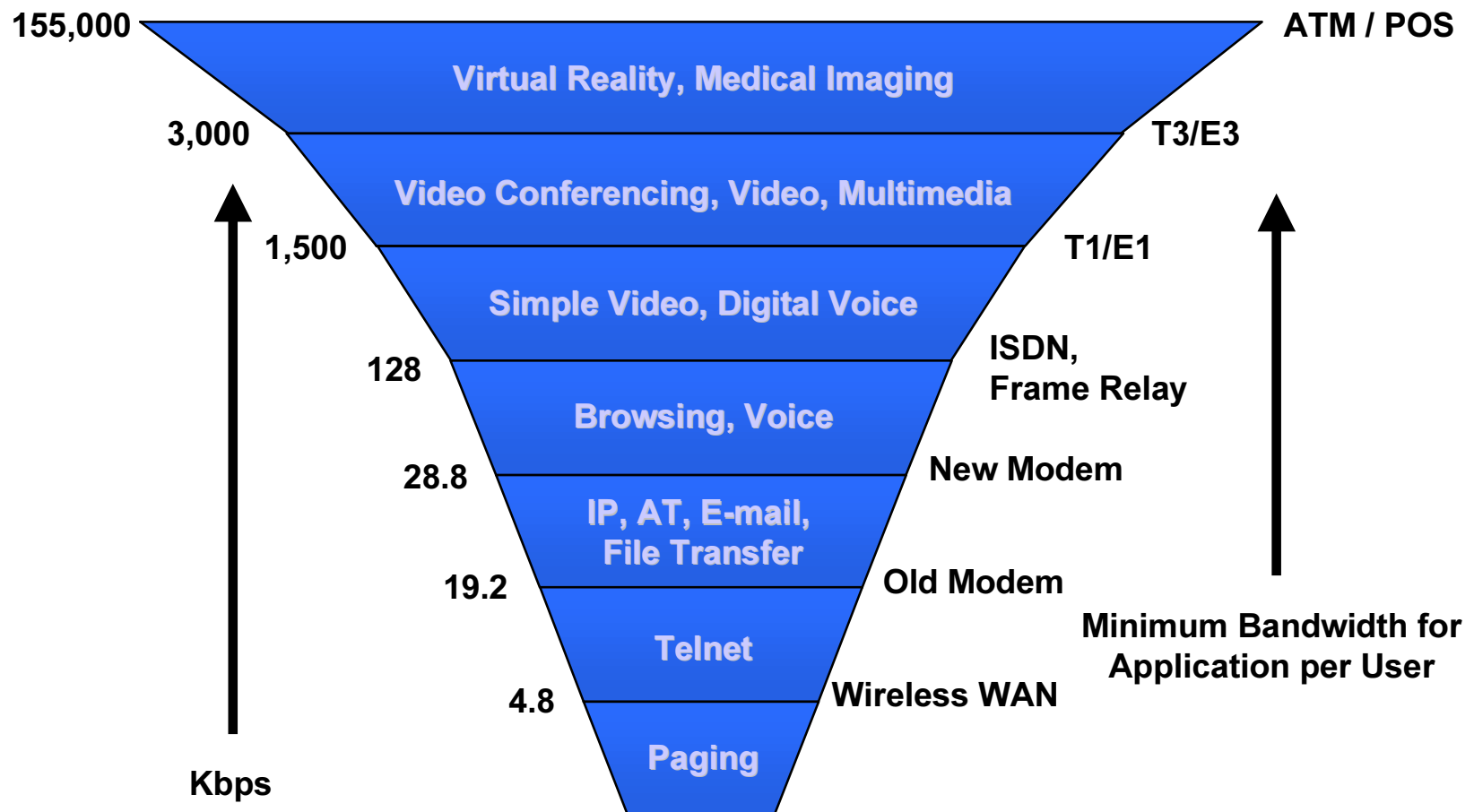
# *La dominance incontestée de IP*



Convergence Internet, Intranet et Extranet



# *Applications/Services réseaux*



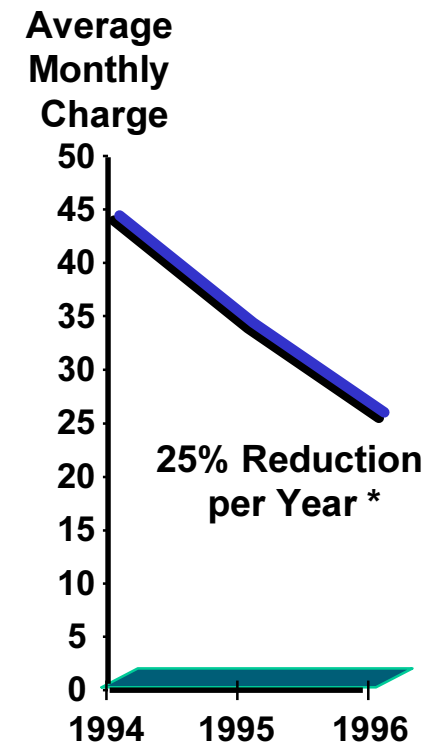
Les nouvelles applications exigent de nouveaux services réseaux.

# Soucis d'un telco-ISP

- Dépense et coûts de déploiement et d'opérations
- Dilemme entre l'obligation de vendre de l'offre catalogue et celle de supporter la différenciation des prix.
- Architecture suffisamment flexible pour faire face à l'évolution des technologies clients (56kbps V90, xDSL, câble, satellite)



\* Source: Maloff Company, [www.maloff.com](http://www.maloff.com)

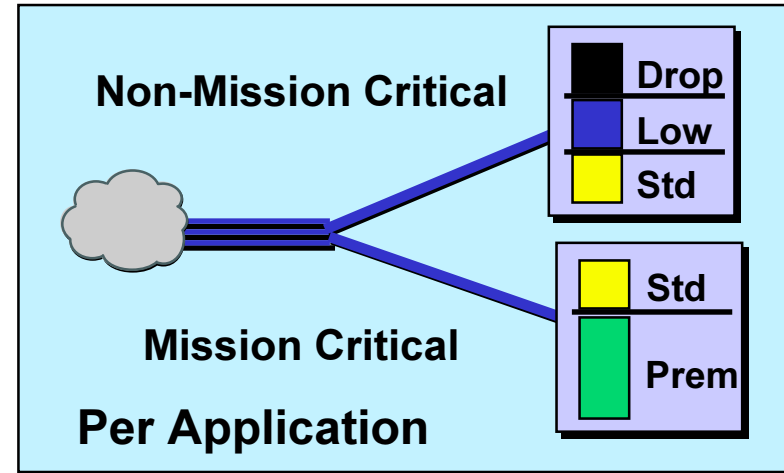
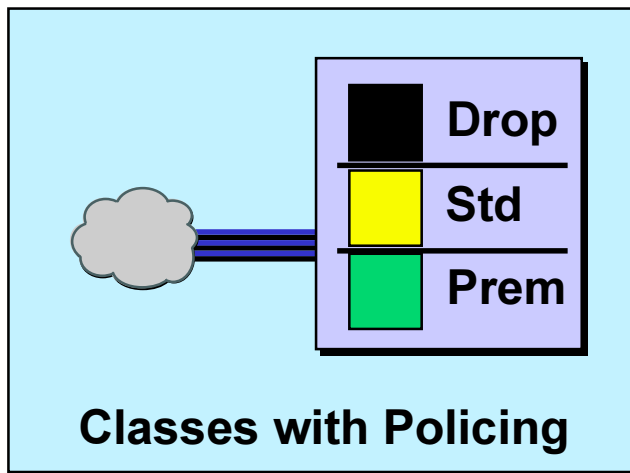
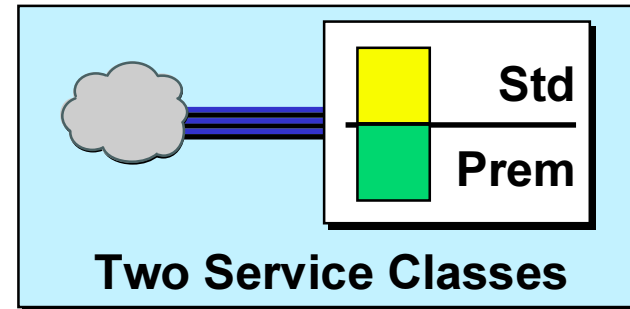
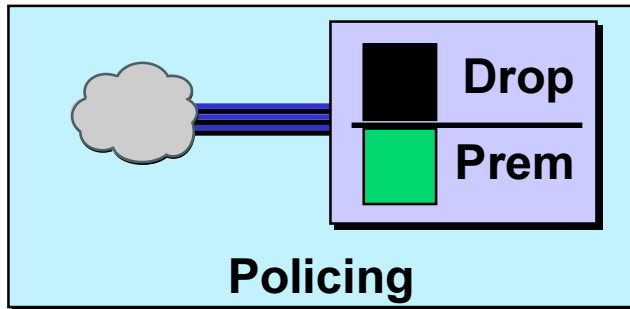


# Mutation de l'offre - Acteurs en présence

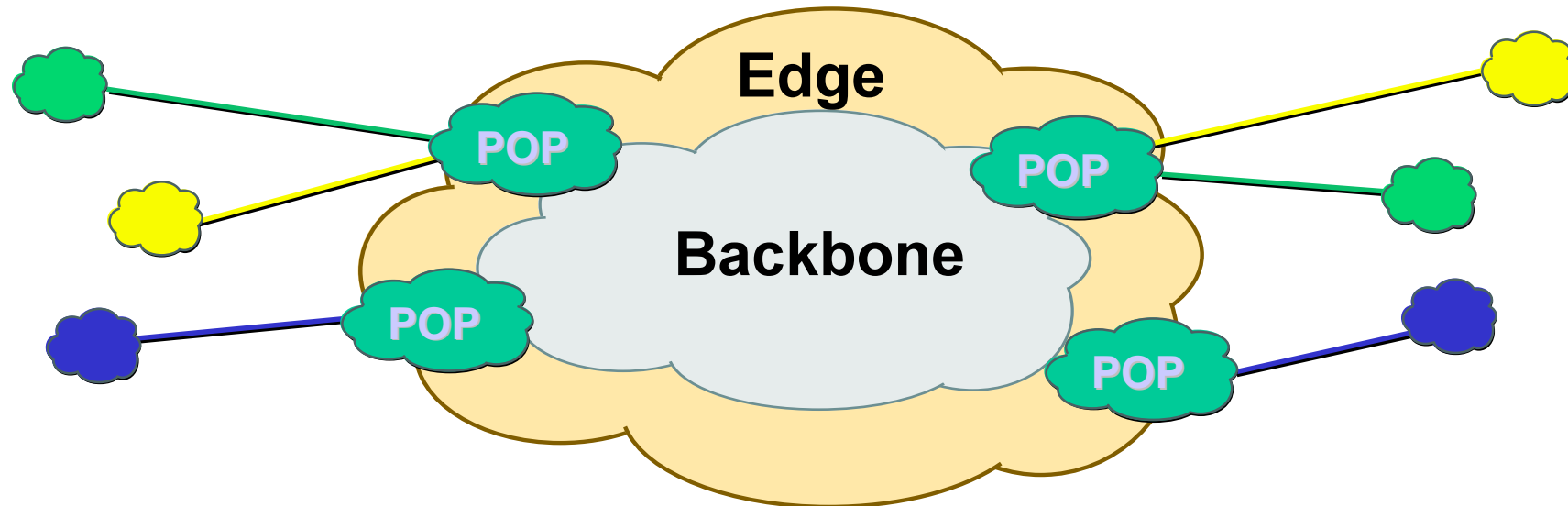
- Equipementiers télécoms
  - Alcatel, Nortel, Lucent, Siemens & Newbridge, etc.
- Equipementier réseaux informatiques
  - Cisco, 3Com, Bay Networks, Fore Systems, etc.
- Evolution des acteurs en cours = fusion des deux types d'équipementiers
  - Alcatel avec Cisco
  - Siemens/Newbridge avec 3Com
  - Lucent en pleine politique d'acquisition (Livingston, Prominet, Yurie Systems, etc.)
  - Nortel ?

# Différentiation des services d'accès

**www.Mcours.com**  
Site N°1 des Cours et Exercices Email: [contact@mcours.com](mailto:contact@mcours.com)



# Architecture réseau Opérateur



## Fonctions Edge

- Aggregation accès clients
- Services de police de trafic :  
  Sécurité  
  Quality of Service
- Services et taxation de trafic (accounting)

## Fonctions Backbone

- Transport haut-débit
- Contrôle de Congestion
- Services administration:  
  Classes/Quality of Service  
  Multimedia
- Traffic management

# Services Opérateurs

- service voix
- services data
  - LS, X25
  - Frame Relay
  - ATM
  - IP
- Services accès
  - RNIS,
  - xDSL (HDSL, ADSL, etc.)
  - satellite,
  - câble ???
- Telco-ISP
  - connectivité Internet
  - hébergement de sites (Web, FTP, etc.)
  - Extranet
  - VPN

# Choix réseaux pour l'opérateur

- PoP (Point of Presence)
  - multi-services réseaux (RTC/RNIS, xDSL, câble, IP, FR, ATM, etc)
  - haut niveau de concentration/aggrégation de trafics utilisateurs: MegaPoP, ou GigaPoP
  - intégrant des capacités de gestion de services «à valeur ajoutée»
    - sécurité
    - Qualité de Service
  - intégrant des capacités de collecte/valorisation de tickets de taxation de trafic élaborées.
- Backbone
  - technologies de transmission/commutation/routage niv.3 haut-débit
  - Contrôle de trafic
  - support de CoS/QoS au niveau des «gros tuyaux»
  - souple pour supporter des services VPN, Extranet.

# Technologie de transmission SDH

- SDH = Synchronous Digital Hierarchy
- Technique de transmission idéal pour construire la couche «physique» du backbone de l'opérateur.
- Technique de multiplexage «avancé»
  - Avantage par rapport au PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) = extrême souplesse d'insertion/extraction de circuit
  - Naturellement (dans sa structure de trame) adapté pour transmettre de grandes capacités de circuits
  - Renouvelle l'infrastructure de l'opérateur pour mieux supporter le service «traditionnel» de la voix.
- ATM vs SDH ?
  - pas concurrents mais complémentaires
  - SDH offre à ATM une couche physique fiable, «self-healing», à haut-débit sur fibre optique, et optimisée pour transmettre ATM.
  - ATM offre au SDH une couche de commutation multi-débit, multi-services.
- IP over SDH ?
  - Uniquement adapté à l'opérateur service unique IP.



# Commutation vs routage haut-débit

- Tendence est à la commutation Frame relay, avec un coeur de réseau souvent en commutation ATM.
- Grand choix de fournisseur de commutation FR/ATM
  - Siemens/Newbridge
  - Ascend (ex. Cascade)
  - etc.
- Routage IP haut-débit = IP over SDH (ou SONET)
- Implémentés chez
  - les grands ISPs
  - les telco-ISPs
- Evolution(s) futur «proche»
  - MPOA for WAN
  - MPLS

# pour l'opérateur, MPOA ou MPLS ?

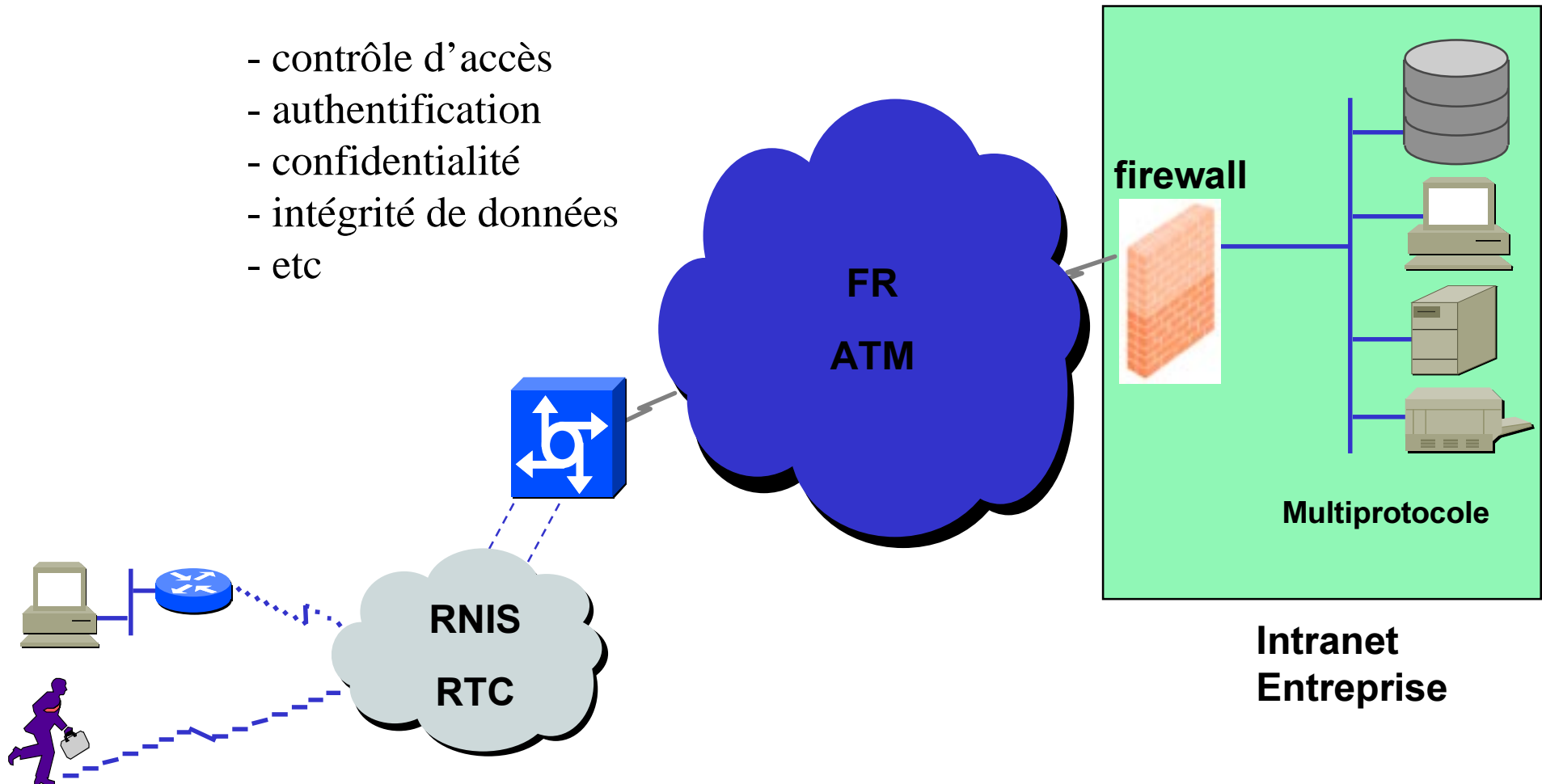
- Besoin =
  - avec croissance du marché IP chez le telco, impératif d'améliorer le transport d'IP.
  - Les applications multimédia se développant, il faut de la QoS et multicast.
- Solution = IP over ATM ... mais comment ?
- MPOA vs MPLS

Critères	MPOA	MPLS
Boucle de routage	-	+
Optimisation de bout-en-bout	-	+
Compatibilité avec l'infrastructure existante	+	-

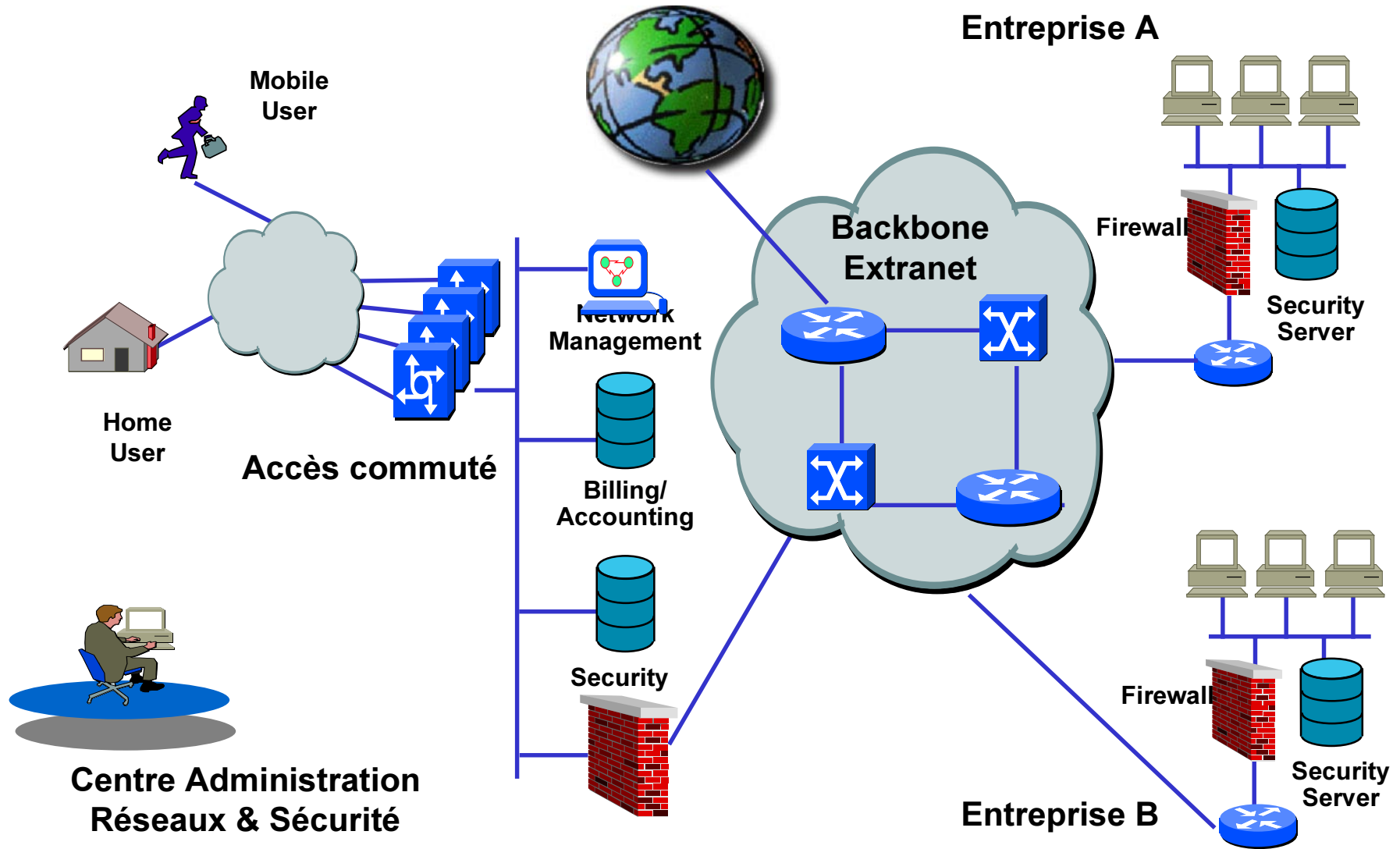
Pas de technologie support IP/ATM pour le telco aujourd'hui suffisamment adaptée

# Cas 1 de mise en oeuvre : accès distant Intranet

- contrôle d'accès
- authentification
- confidentialité
- intégrité de données
- etc



# Cas 2 : Extranet sécurisé



# Vision de l'opérateur

- Dans les équipements d'accès
  - forte concentration des modes d'accès (multi-services d'accès)
  - gestion QoS et multicast intelligente
  - forte densité (nombre de ports par équipement très grand) pour construire des gigaPoPs
  - intégration de mécanismes de taxation pour facturation «sophistiquée»
- Dans les équipements backbone
  - très haut-débit, évolutif («scalable»)
  - support du multi-VPNs (QoS, CoS, clients, etc.)
  - robuste, avec fiabilité réellement «carrier-class»
  - intégration de mécanismes de taxation pour facturation «sophistiquée».
- 2 marchés distincts
  - Full-IP
  - généraliste

# Conclusion générale

