

Les réseaux grande distance

Routage et réseaux d'accès

C. Pham

Université de Pau et des Pays de l'Adour

Département Informatique

<http://www.univ-pau.fr/~cpham>

Congduc.Pham@univ-pau.fr



Qu'est-ce qu'un réseau longue distance?

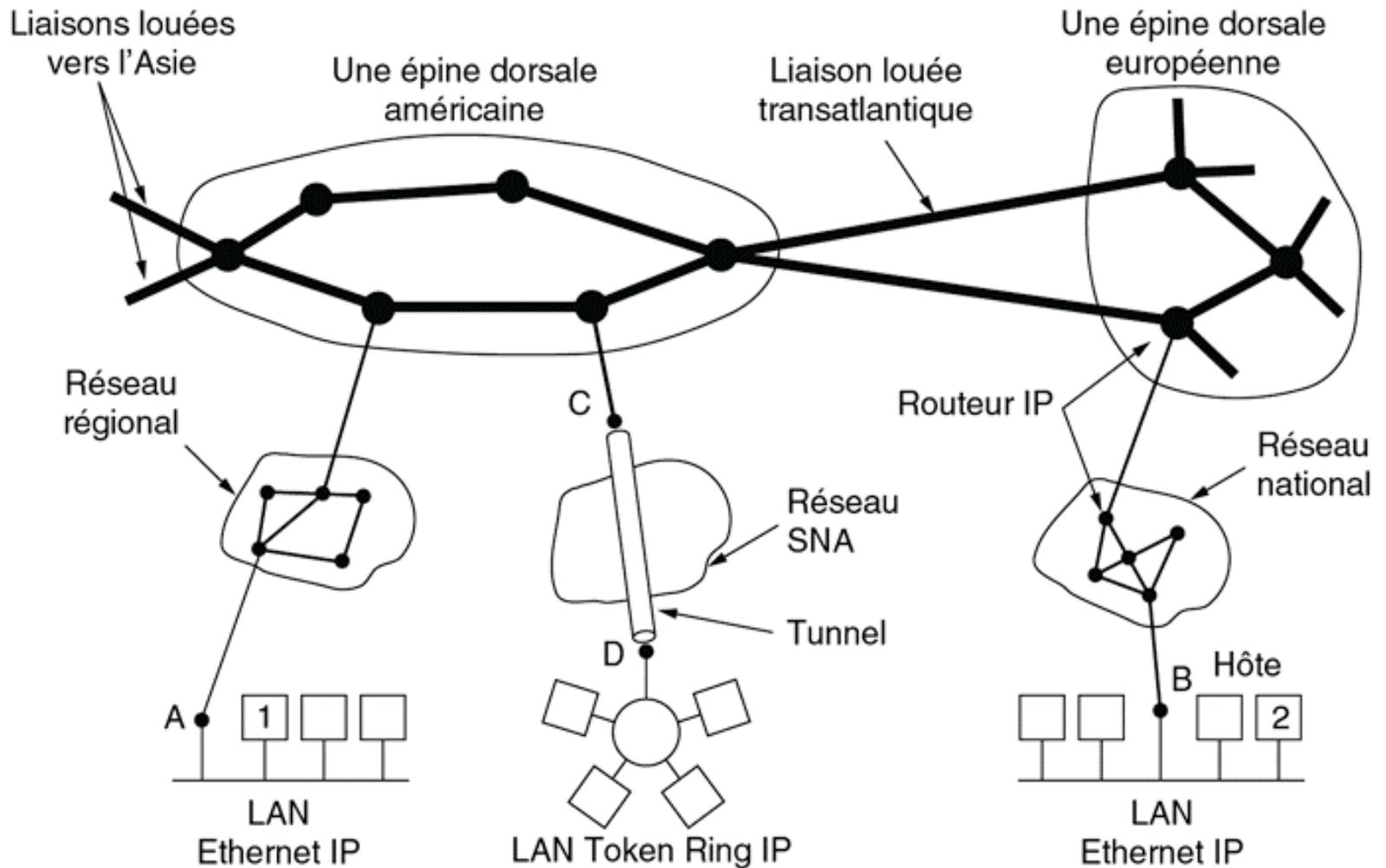
■ Réseaux longue distance

- grande couverture géographique,
- hétérogénéité des modes de transmission,
- mélange de réseaux publics et privés,
- agrégation du trafic,
- tarification par des opérateurs.

■ Comment aller plus loin?

- technique de transmission WAN
- noeuds de "commutation » appelé routeurs,
- interconnexion de réseaux,
- introduction du routage.

La diversité des réseaux



Introduction aux WANs

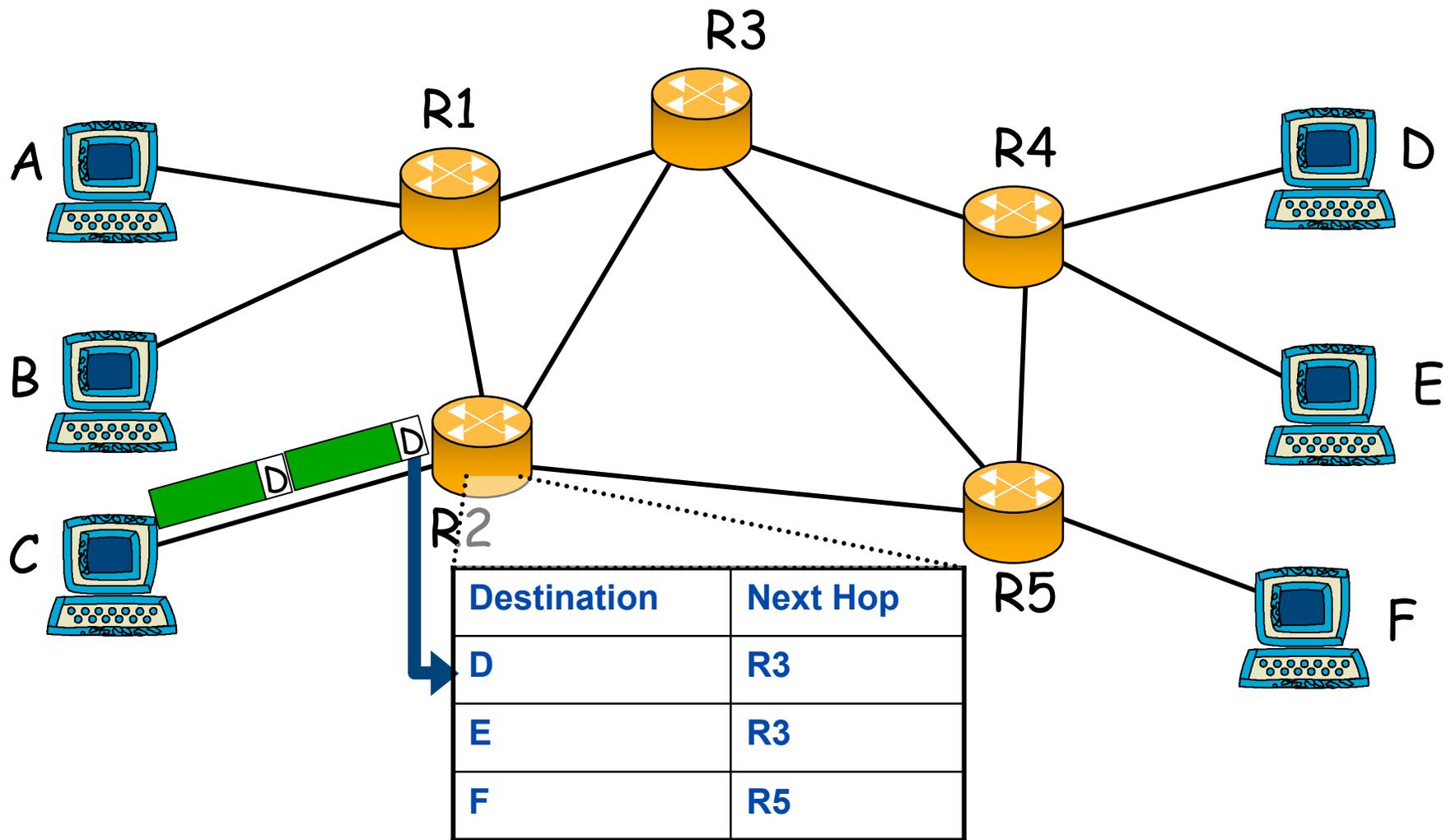
Support de Cisco

Interconnexion de réseaux, routage

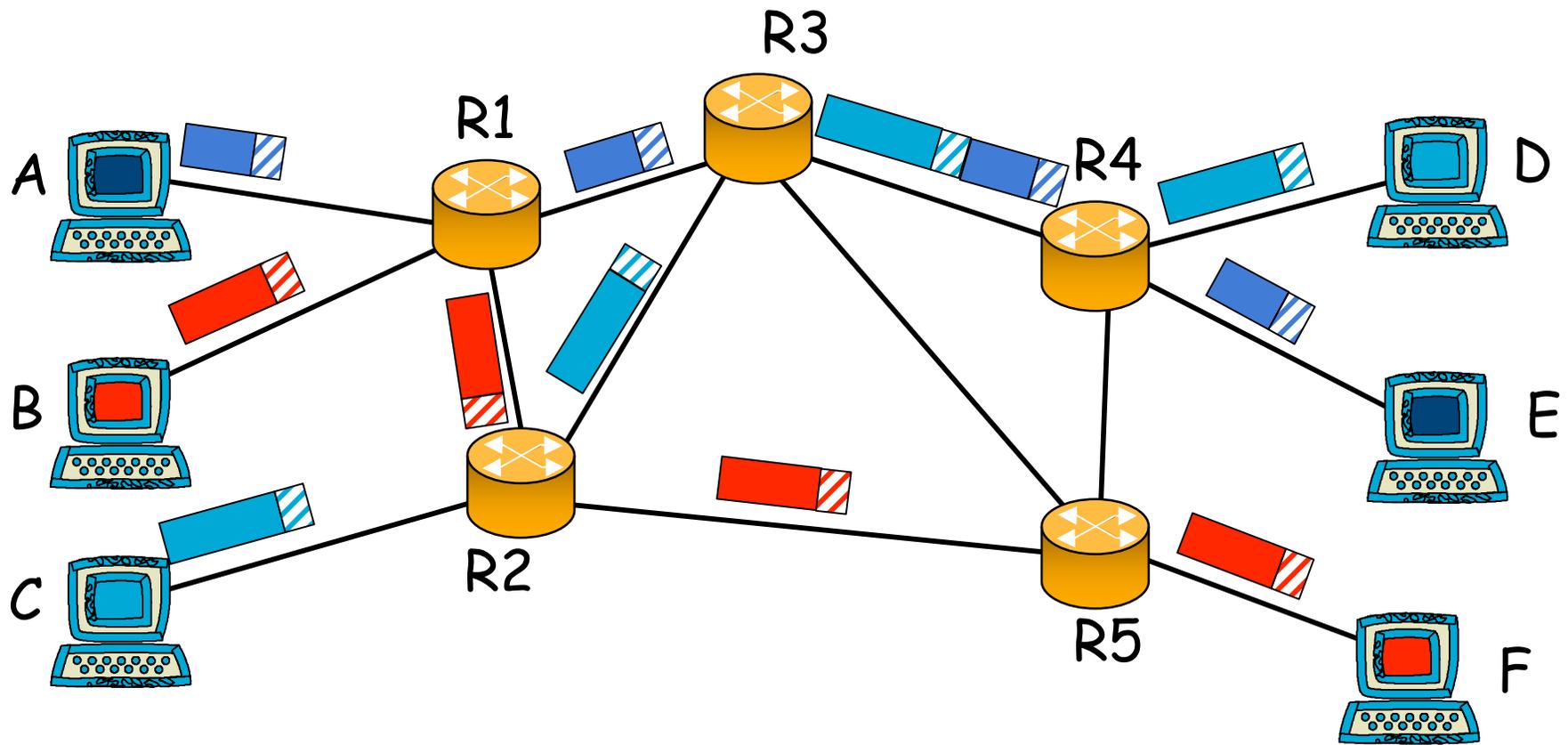
Le routeur et la fonction de routage, c'est...

- **...trouver une route d'une source vers une destination**
 - Envoyer les paquets vers les liens de sortie.
 - Stocker les paquets dans les files appropriées.
 - Traiter les paquets selon la QoS requise.
- **Supposons que vous désirez vous connecter en Antartique:**
 - Quelle route prendre?
 - Existe-il une route optimale?
 - Que se passe t-il si un lien tombe en panne?
- **La fonction de routage tente de répondre à ces questions**

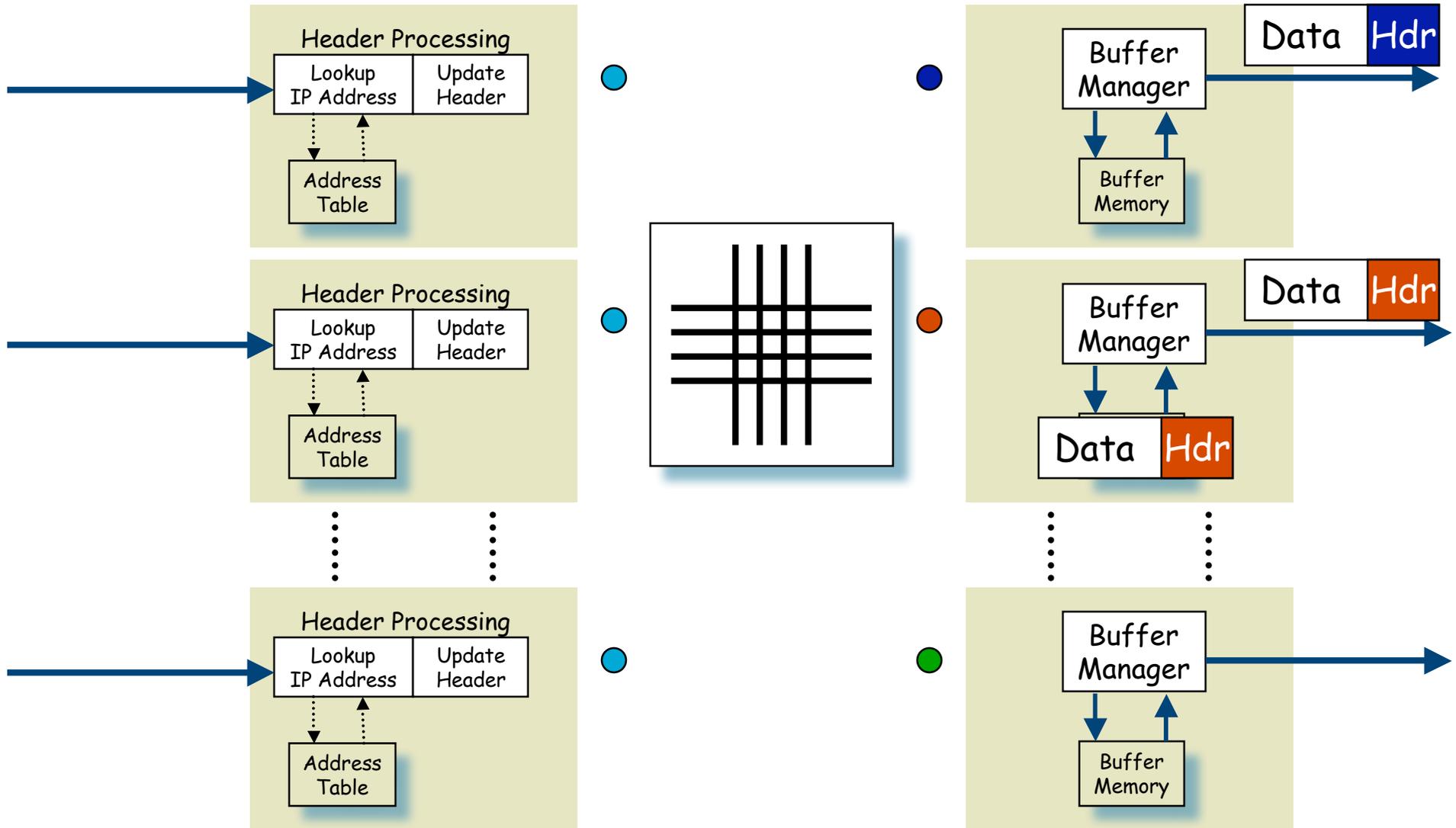
Le routage illustré



Le routage illustré



Architecture générique d'un routeur



Les protocoles de routage

■ Fonctions de base, protocole de routage

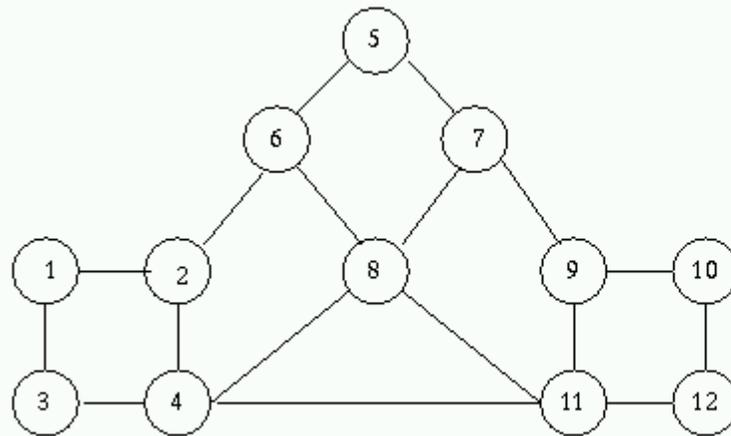
- déterminer et mise à jour des tables de routages,
- répartition des charges pour éviter les congestions,
- critères pour déterminer le coût d'une liaison (nombre de noeuds, temps de traversée, taille des files d'attente etc.)

■ Fonctions avancées, liées à la qualité de service

- définir des classes de trafic, ordonnancement,
- instaurer la sécurité,
- contrôle de flux et contrôle de congestion,
- qualité de service: temps-réel, multimédia etc.

Routage: principes de base

- Un algorithme de routage remplit une table de routage dans les routeurs



Dest	Hop	Dest	Hop
1	-	7	3
2	2	8	2
3	3	9	2
4	3	10	2
5	2	11	3
6	2	12	3

- PB: Choix local sur un système global

Le problème du routage

- **Comment effectuer des choix locaux corrects?**
 - chaque routeur doit connaître quelque chose de l'état global.
- **L'état global est:**
 - de manière inhérente grand,
 - dynamique,
 - difficile à recueillir.
- **Un protocole de routage doit intelligemment « résumer » et exploiter les informations les plus pertinentes.**

Un routage efficace c'est...

- **Une taille minimale pour les tables**
 - consultation des tables (lookup) plus rapide,
 - moins d'informations à échanger.
- **Minimiser la fréquence des messages de contrôle**
- **Robuste en évitant**
 - les ``trous noirs'',
 - les boucles,
 - les oscillations.
- **Trouver une route optimale**

Choix pour les protocoles de routage

■ Centralisé vs distribué

- centralisé est simple mais sujet aux pannes et à la congestion.

■ Routage par la source vs hop-by-hop

- taille de l'entête importante pour le routage par la source.

■ Stoquastique vs déterministe

- stoquastique répartie la charge mais dé-séquence.

■ Dépendant ou indépendant de l'état?

- dépendant de l'état plus efficace mais plus complexe.

L'environnement du routage

■ Environnement

- les liens et les routeurs ne sont pas fiables,
- il y a peu de routes alternatives,
- le trafic change rapidement.

■ Deux algorithmes principaux

- distance vector
- link-state

■ Tous deux assument que les routeurs connaissent

- l'adresse de chaque voisin,
- le coût pour atteindre un voisin.

■ Tous deux permettent à un routeur de construire des informations globales de routage en communiquant seulement avec ses voisins directs.

Les protocoles de routages pour réseaux paquets

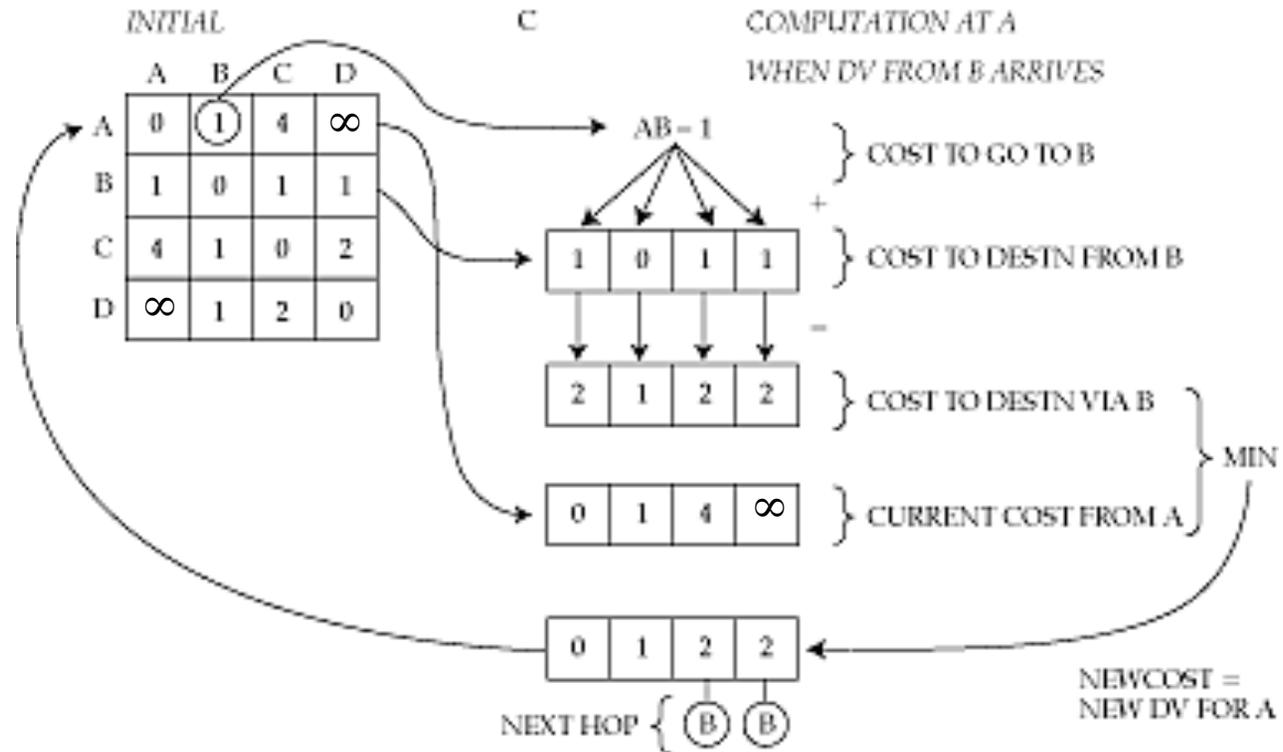
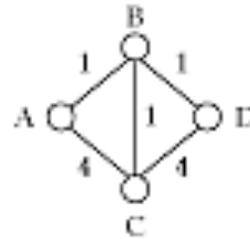
■ Vecteur de distance (Distance-Vector, DV)

- chaque routeur ne connaît initialement que le coût de ses propres liaisons, les routeurs échangent entre-eux des informations de coûts,
- chaque routeur n'a qu'une vision partielle du réseau: coût vers chaque destination,
- fonctionne bien sur des systèmes de petite taille.

■ Etat des liens (Link-State, LS)

- chaque routeur construit une vision complète de la topologie du réseau à partir d'informations distribuées,
- ne pas confondre connaître la topologie et connaître tous les noeuds terminaux,
- fonctionne sur des grands réseaux.

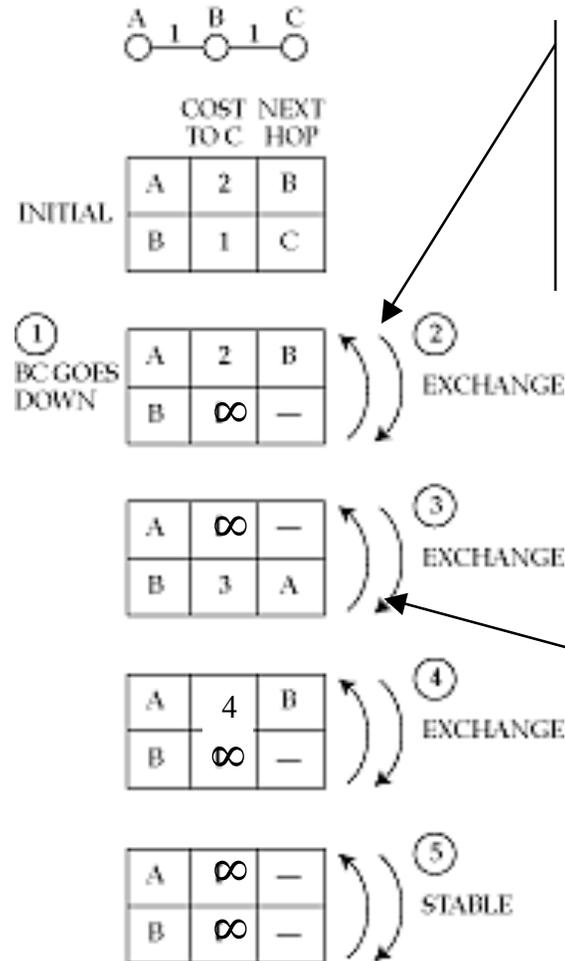
Distance Vector: Example



Problèmes avec le Distance Vector

■ Comptage à l'infini

- Les packets peuvent osciller entre A et B



B envoie à A son nouveau DV. En même temps, A envoie à B son DV indiquant une 2-hop chemin pour C.

A découvre que B n'a plus de chemin vers C et lui indique donc le changement. B par contre croit avoir un moyen de joindre C avec un 3-hop chemin.

Distance Vector: Dealing with the problem

■ Path vector

- DV carries path to reach each destination

■ Split horizon

- never tell neighbor cost to X if neighbor is next hop to X
- doesn't work for 3-way count to infinity

■ Triggered updates

- exchange routes on change, instead of on timer
- faster count up to infinity

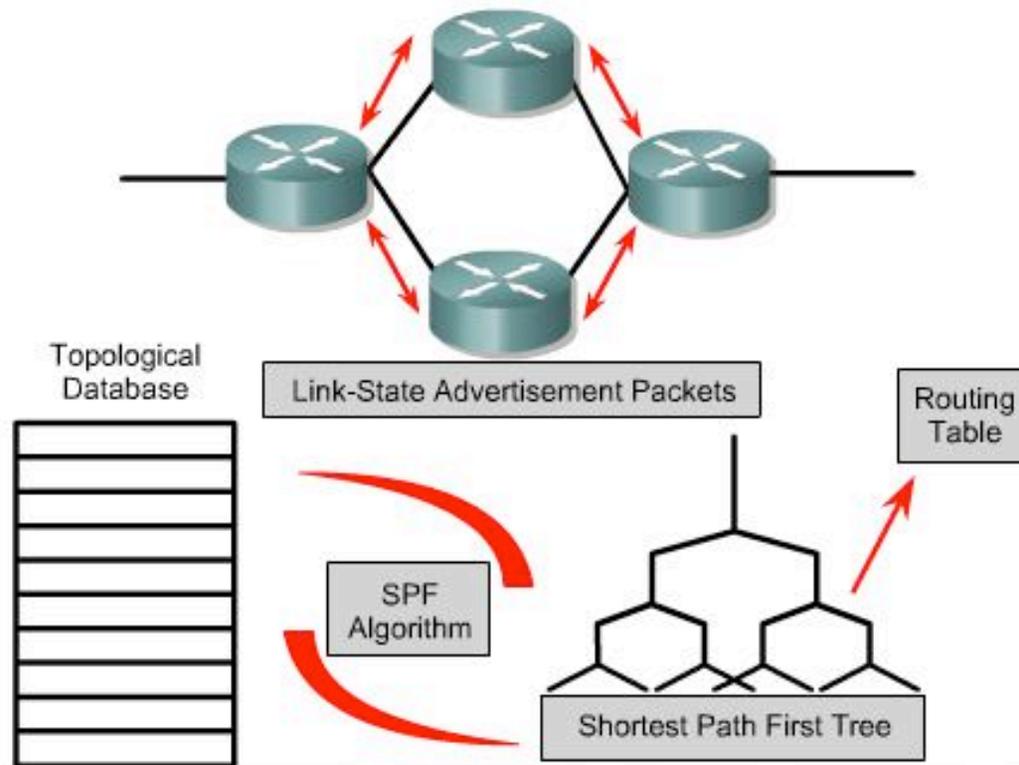
■ More complicated

- source tracing
- DUAL (Diffused Update Algorithm)

Link state routing

- **In distance vector, router knows only *cost* to each destination**
 - hides information, causing problems
- **In link state, router knows entire network topology, and computes shortest path by itself**
 - independent computation of routes
 - potentially less robust
- **Key elements**
 - topology dissemination
 - computing shortest routes

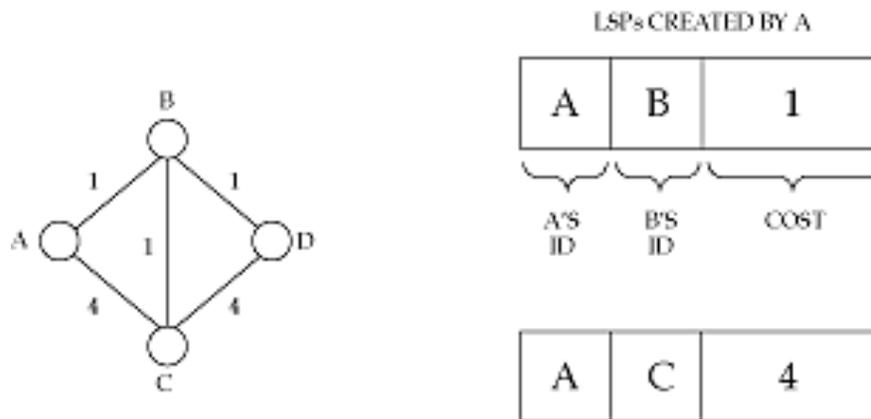
Etat des liens: vue d'ensemble



Routers send LSAs to their neighbors. The LSAs are used to build a topological database. The SPF algorithm is used to calculate the shortest path first tree in which the root is the individual router. A routing table is then created.

Link state: topology dissemination

- A router describes its neighbors with a *link state packet (LSP)*



- Use *controlled flooding* to distribute this everywhere
 - store an LSP in an *LSP database*
 - if new, forward to every interface other than incoming one
 - a network with E edges will copy at most 2E times

Sequence numbers

- **How do we know an LSP is newer than an other one?**
- **Use a sequence number in LSP header**
- **Greater sequence number is newer**
- **What if sequence number wraps around?**
 - smaller sequence number is now newer!
 - (hint: use a large sequence space)
- **On boot up, what should be the initial sequence number?**
 - have to somehow purge old LSPs
 - two solutions
 - aging
 - lollipop sequence space

Link state vs. distance vector

■ Critères

- stabilité
- Plusieurs métriques de routage dans un LSP
- Temps de convergence plus faible (pas toujours vrai)
- Coût de communication plus grand
- Coût mémoire plus grand

■ Les 2 sont largement utilisés

Les protocoles de routage (interne)

■ RIP (v1 et v2)

- Routing Information Protocol, v2 supporte le VLSM
- Nombre de saut comme métrique
- Nombre de saut maximum = 15
- Mise à jour des tables de routage toutes les 30s

■ IRGP

- Interior Gateway Routing Protocol (Cisco)
- Bande passante et délai comme métrique
- Mise à jour des tables de routage toutes les 30s

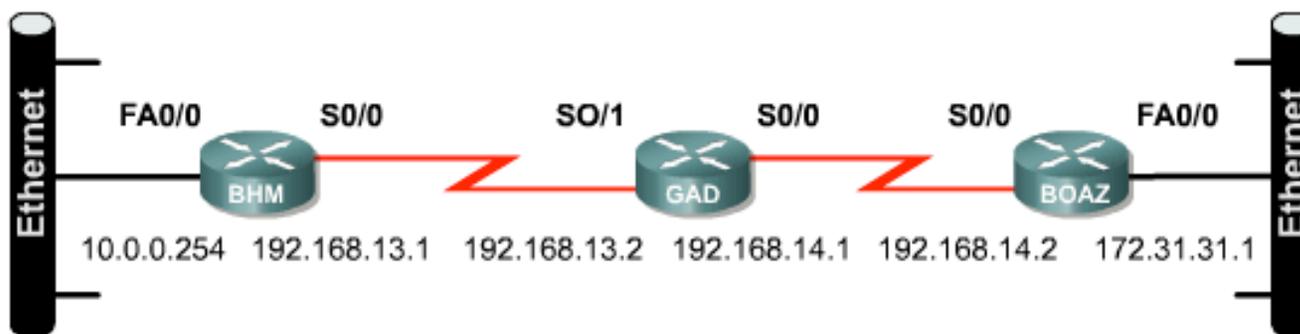
■ OSPF

- Open Shortest Path First, supporte le VLSM
- Notion de zones administratives
- Utilise SPF (Dijkstra) pour calculer le plus court chemin
- Le coût d'un lien dépend de la capacité ($10^8/\text{capacité}$)
- Paquet HELLO toutes les 10s ou 30s

■ EIGRP

- Enhanced IGRP (Cisco), supporte le VLSM
- Utilise l'équilibrage
- Utilise DUAL (Diffused Update Algorithm) pour calculer le + court chemin

Exemple de configuration de RIP sur IOS

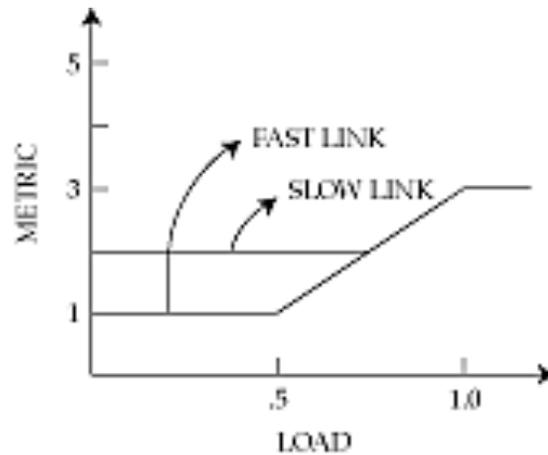


```
BHM(config)#router rip
BHM(config-router)#network 10.0.0.0
BHM(config-router)#network 192.168.13.0
```

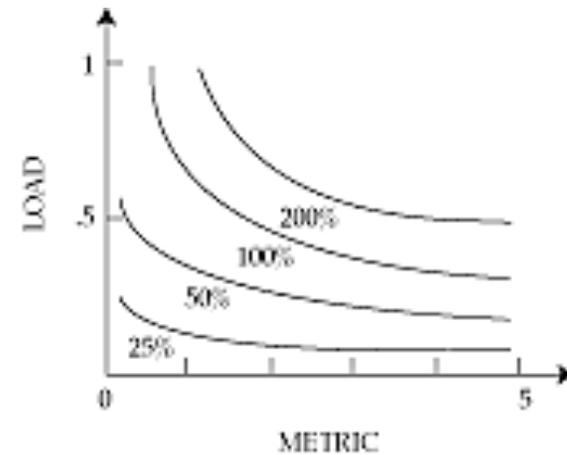
```
GAD(config)#router rip
GAD(config-router)#network 192.168.14.0
GAD(config-router)#network 192.168.13.0
```

```
BOAZ (config)#router rip
BOAZ (config-router)#network 192.168.14.0
BOAZ (config-router)#network 172.31.0.0
```

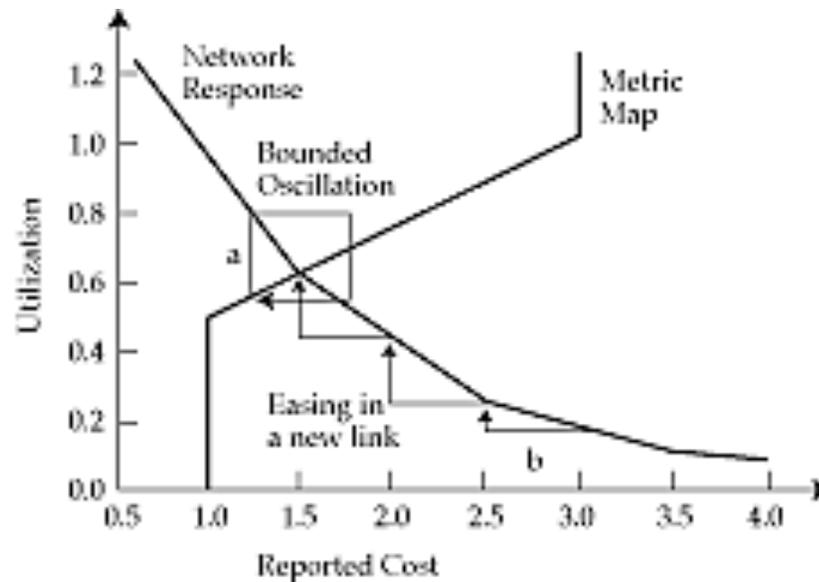
Routing dynamics



(a) METRIC MAP



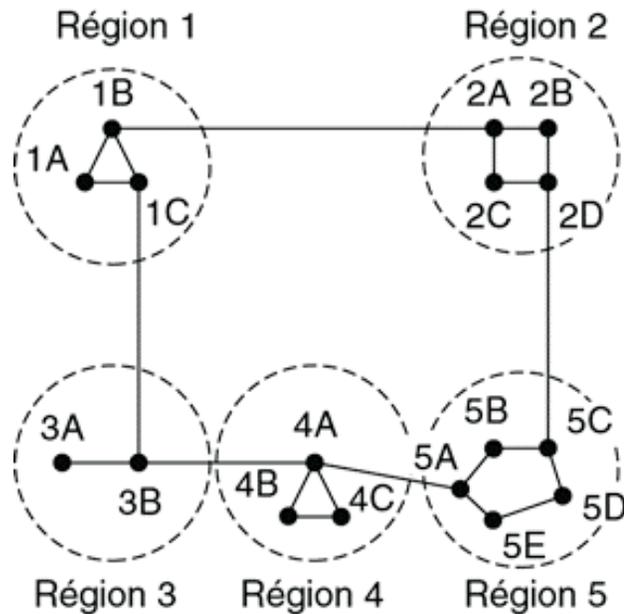
(b) NETWORK RESPONSE MAP



Hierarchical routing

- **Large networks need large routing tables**
 - more computation to find shortest paths
 - more bandwidth wasted on exchanging DVs and LSPs
- **Solution:**
 - hierarchical routing
- **Key idea**
 - divide network into a set of domains
 - gateways connect domains
 - computers within domain unaware of outside computers
 - gateways know only about other gateways

Le routage hiérarchique: exemple



- seulement quelques routeurs à chaque niveau,
- les gateways participent avec plusieurs protocoles de routage

Table complète pour 1A

Dest.	Ligne	Sauts
1A	–	–
1B	1B	1
1C	1C	1
2A	1B	2
2B	1B	3
2C	1B	3
2D	1B	4
3A	1C	3
3B	1C	2
4A	1C	3
4B	1C	4
4C	1C	4
5A	1C	4
5B	1C	5
5C	1B	5
5D	1C	6
5E	1C	5

Table hiérarchique pour 1A

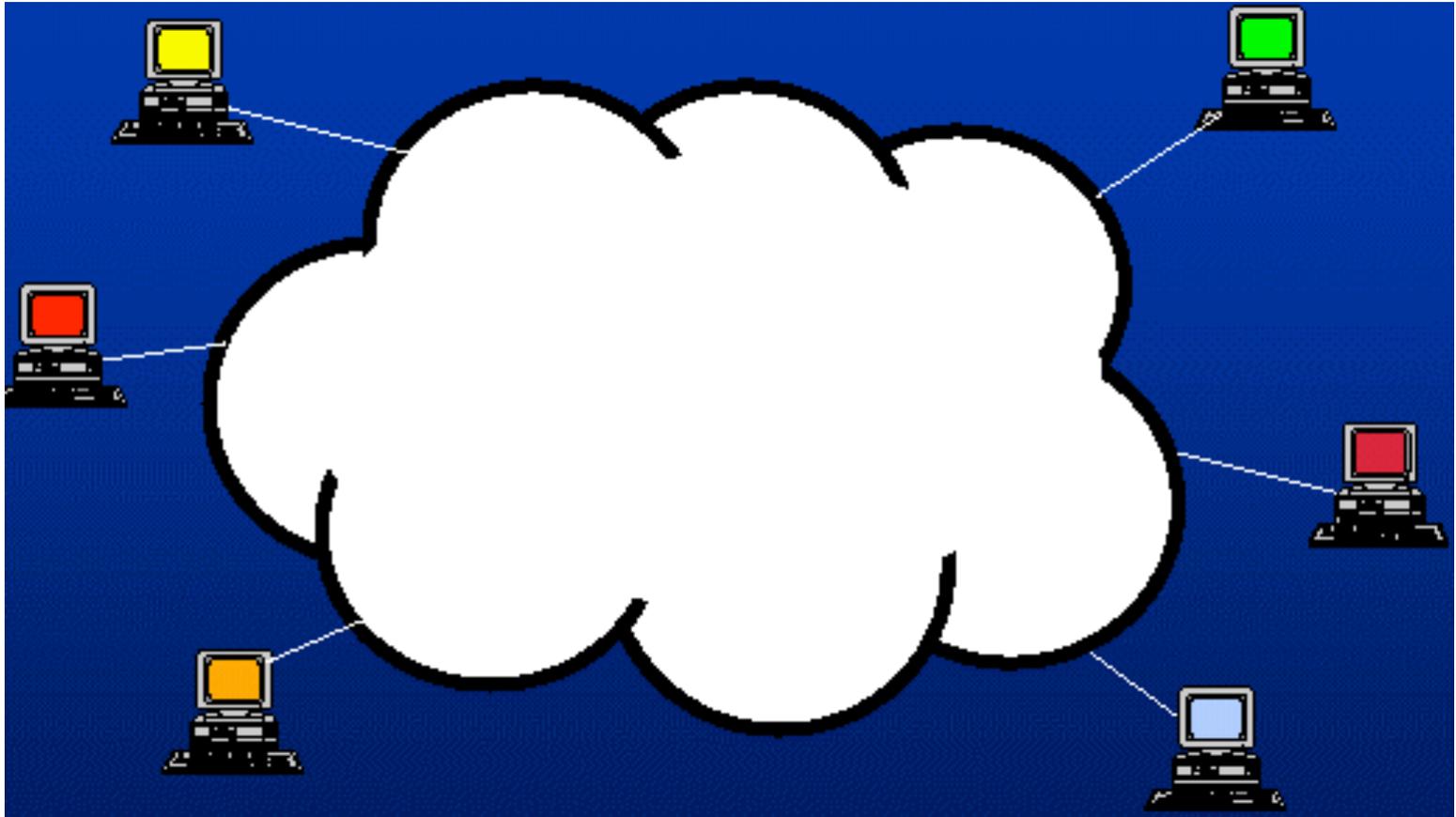
Dest.	Ligne	Sauts
1A	–	–
1B	1B	1
1C	1C	1
2	1B	2
3	1C	2
4	1C	3
5	1C	4

Internet, TCP/IP

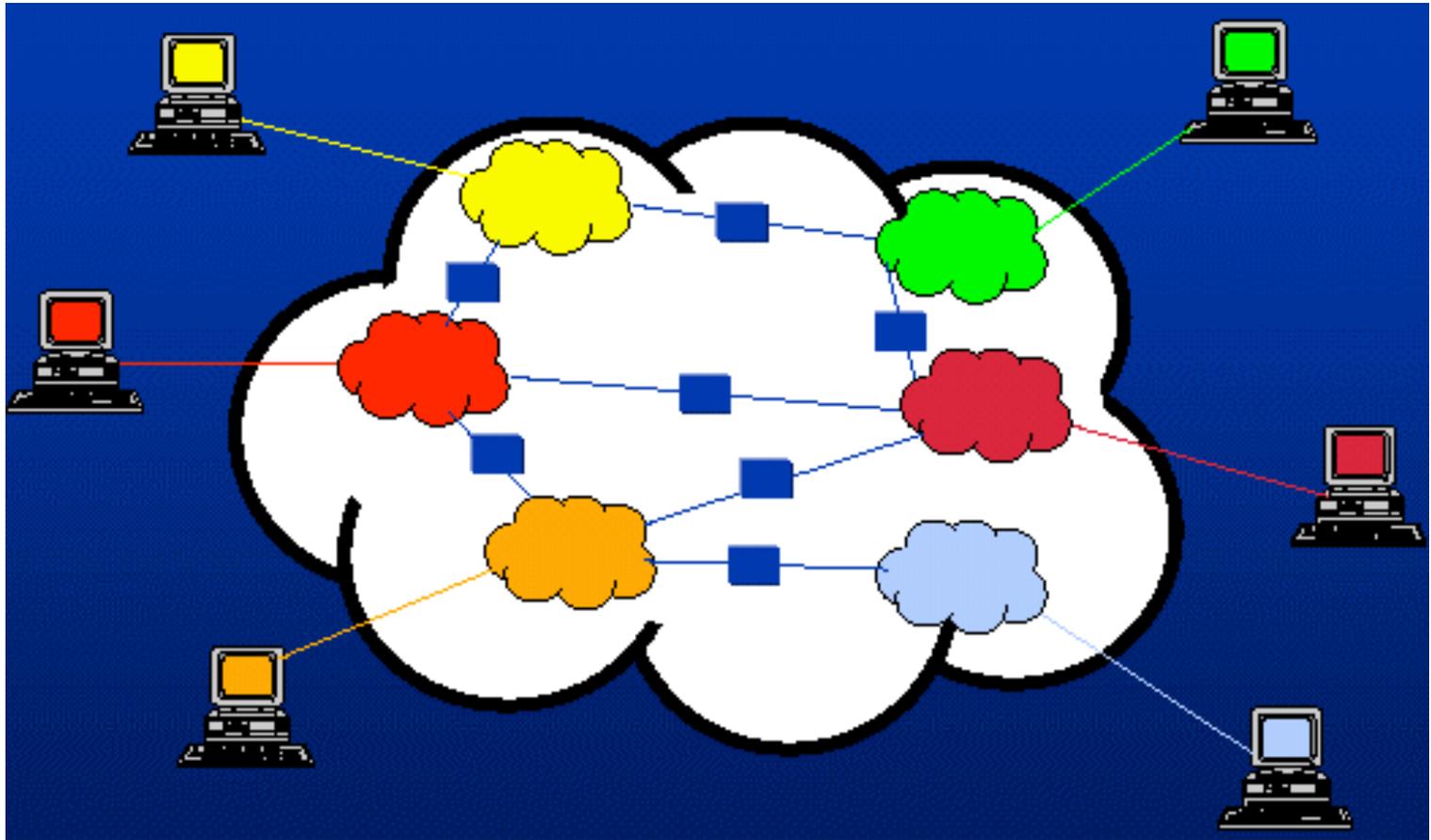
Internet: à quoi cela ressemble?

- 10-100 machines connectées à des hubs et des routeurs,
- quelques dizaines de routeurs connectés sur le réseau d'un bâtiment,
- quelques dizaines de réseaux bâtiment connectés sur un campus/ville,
- quelques dizaines de réseaux campus/ville connectés sur un réseau régional,
- quelques centaines de réseaux régionaux connectés sur un réseau national,
- quelques dizaines de réseaux nationaux connectés par des liens internationaux.

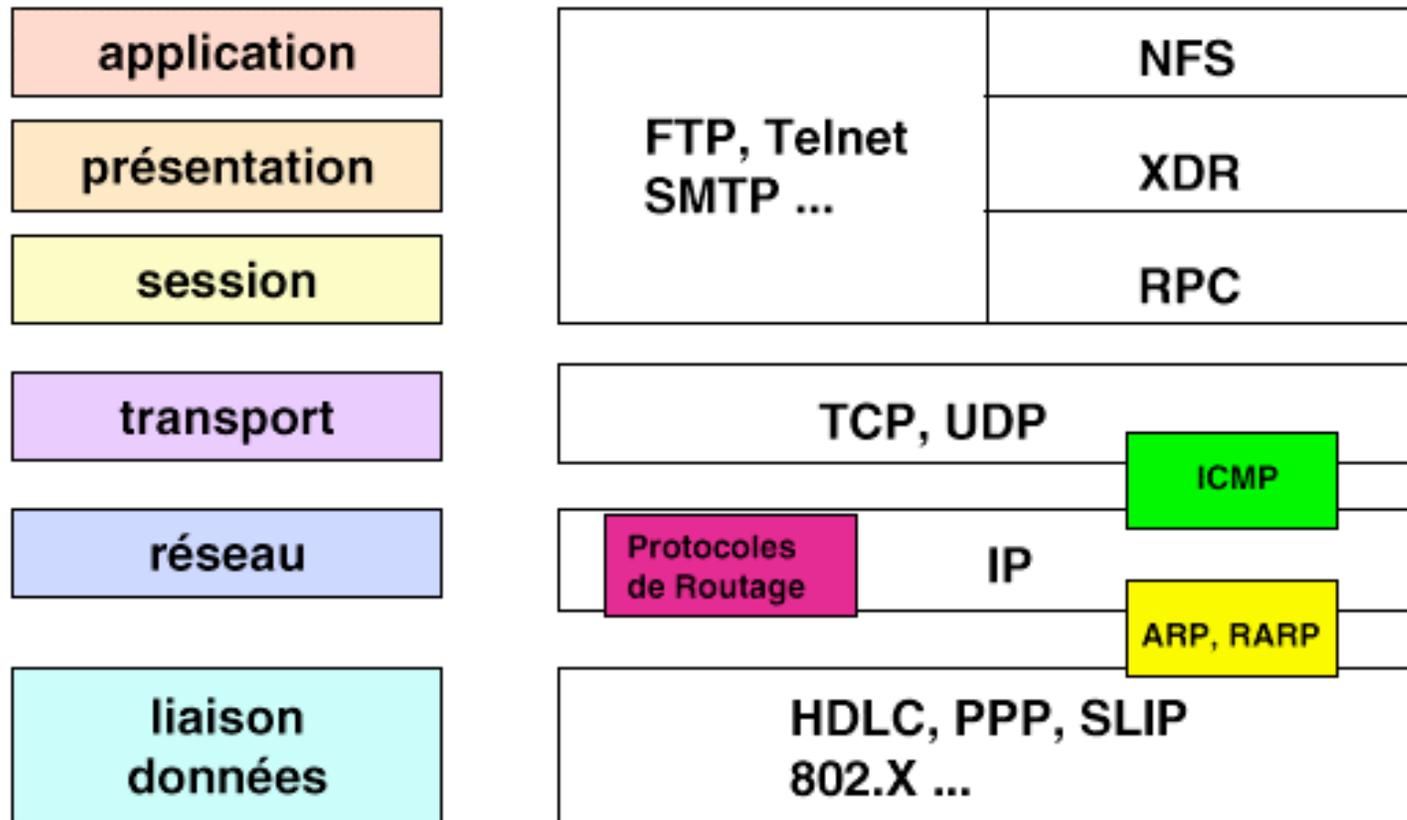
L'Internet du point de vue de l'utilisateur



L'Internet, en vrai...



Les protocoles de l'Internet



- **Couche transport dans l'Internet ([light](#), [détaillé](#))**
- [TCP/IP sur les réseaux locaux](#)
- [Couche application](#)

Internet: historique

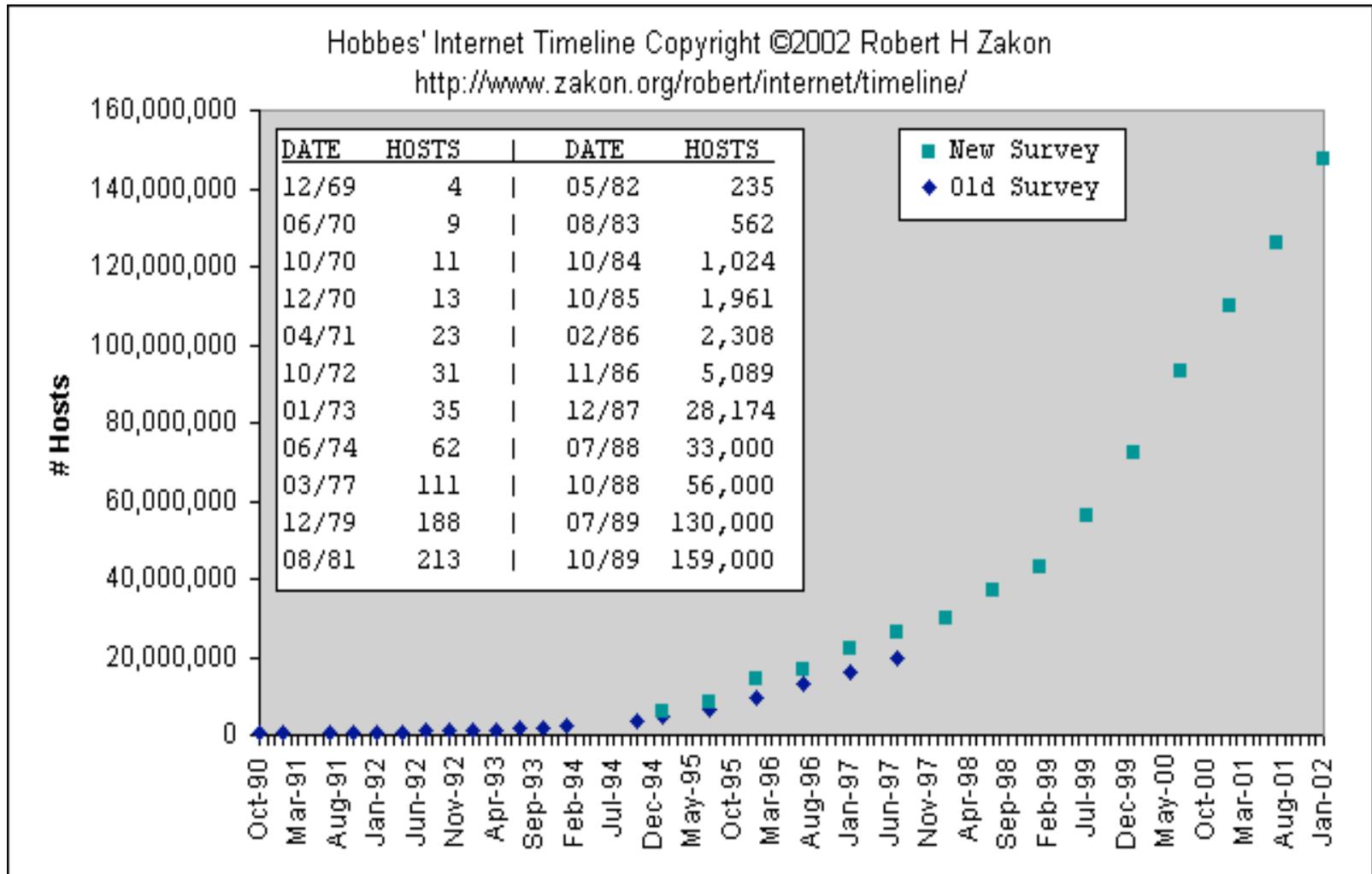
(voir www.isoc.org/internet/history et www.zakon.org/robert/internet/timeline)

- **1960: le DoD/ARPA lance le projet d'un réseau flexible et fiable.**
- **1968: BBN est sélectionné pour construire un prototype. BBN utilisera des DDP-316 possédant 12K de mémoire comme noeuds de transit.**
- **1969: réunions pour décider du développement des logiciels sur les noeuds terminaux. UCLA, UCSB, SRI et Univ. Utah sont choisis, ARPANET était né.**
- **1970: NSF propose un accès à ARPANET pour les universités, finance la création de réseaux régionaux. L'ensemble des réseaux de NSF se nomme NSFNET.**
- **1974: Développement de TCP/IP pour l'interconnection de réseaux hétérogènes.**
- **1983: ARPANET possède 200 noeuds de transit.**

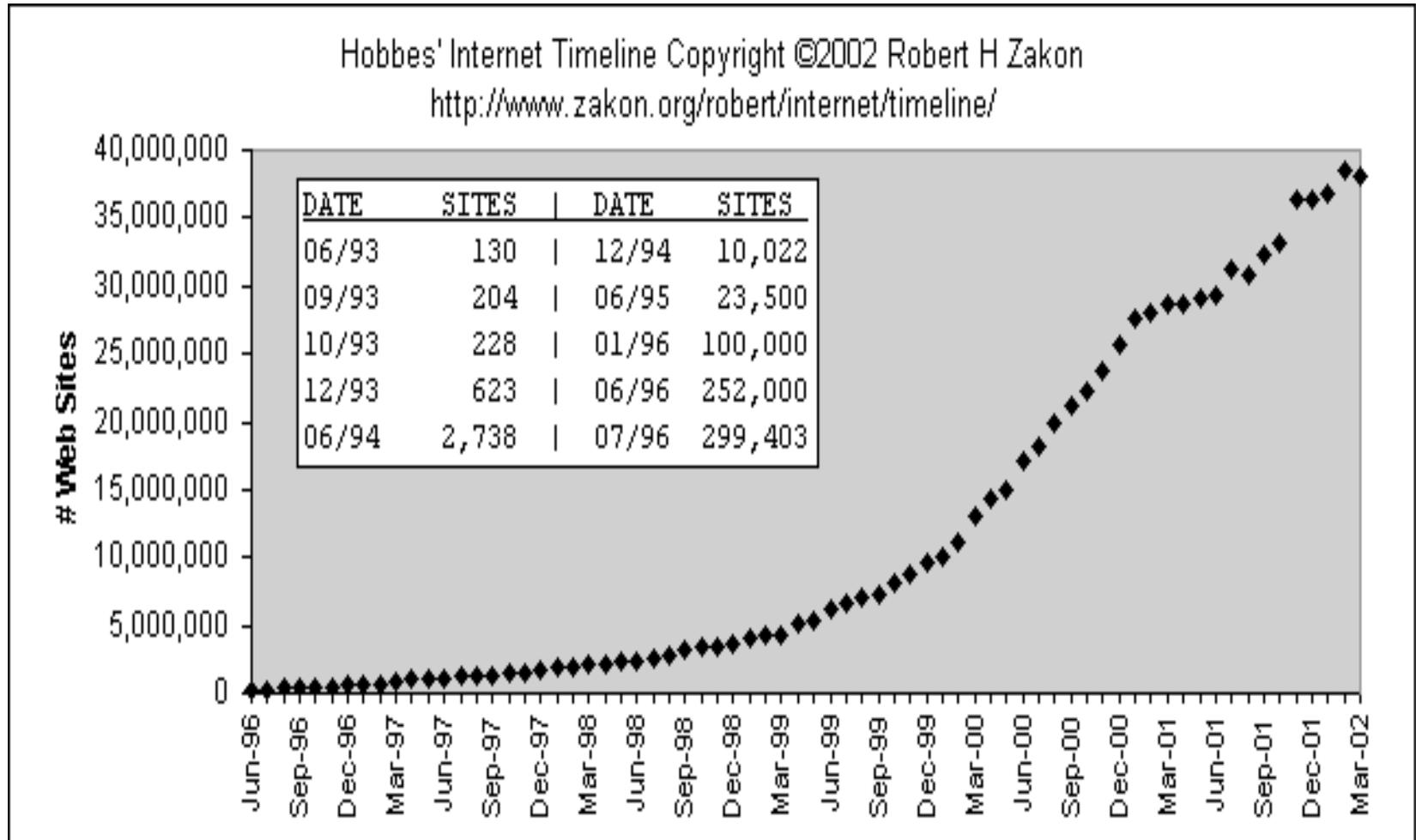
Internet: historique (2) et quelques chiffres

- **1984: NSF connecte NSFNET à ARPANET.**
- **1990: MERIT, MCI et IBM forment le groupe Advanced Network and Service pour commercialiser NSFNET et créer ANSNET. ARPANET est démantelé.**
- **1995: ANSNET est vendu à America Online.**
- **Entre-temps, un grand nombre de réseaux ont été construits, reliés entre-eux, tant au US que dans le monde. C'est l'Internet.**

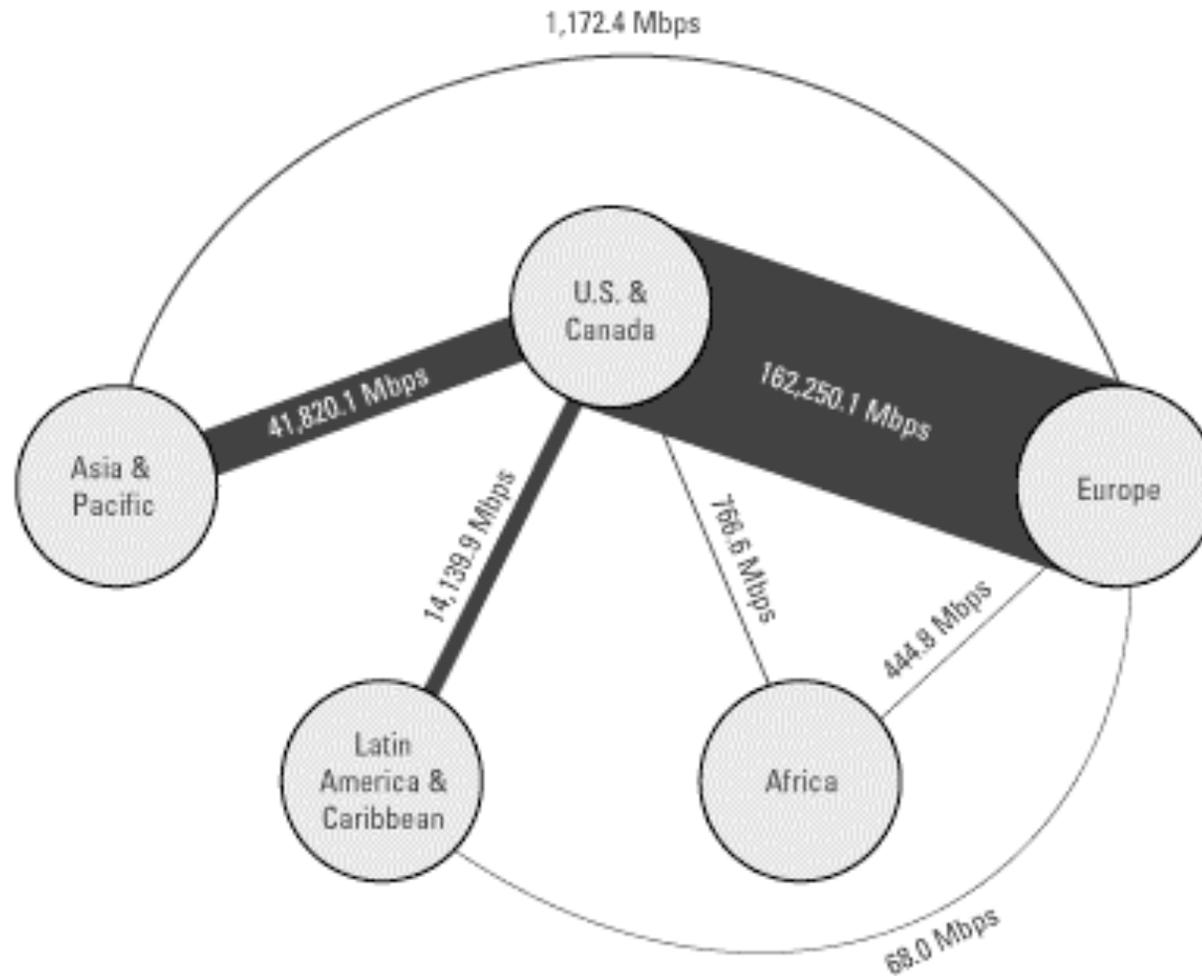
Nombre de postes Internet



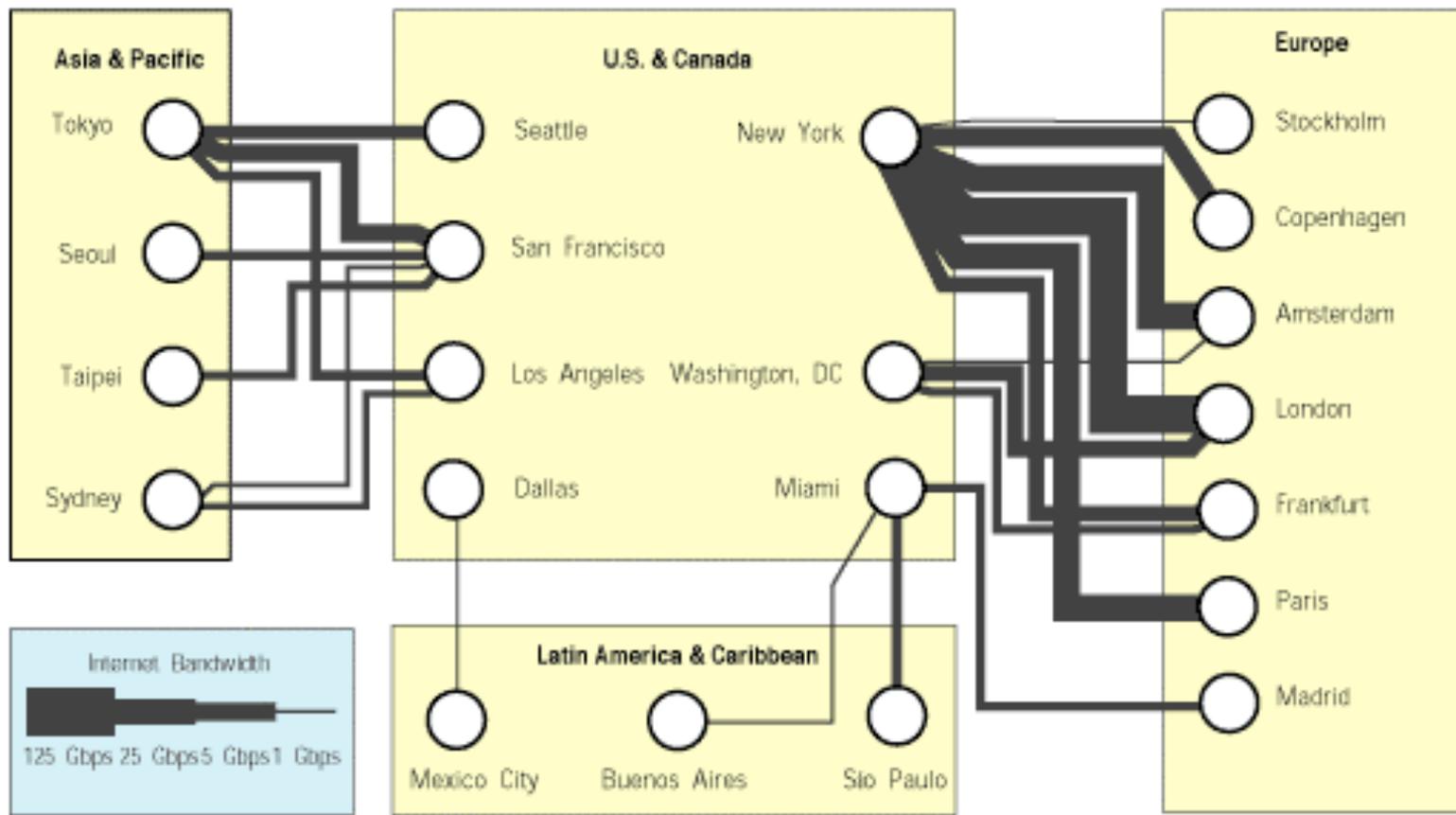
Nombre de sites www



Bande passante agrégée



Principales connexions



Ce qui tient l'Internet en un ensemble cohérent

■ L'adressage

- comment identifier une machine dans le monde.

■ Le routage

- comment construire les tables de routage, comment y aller.

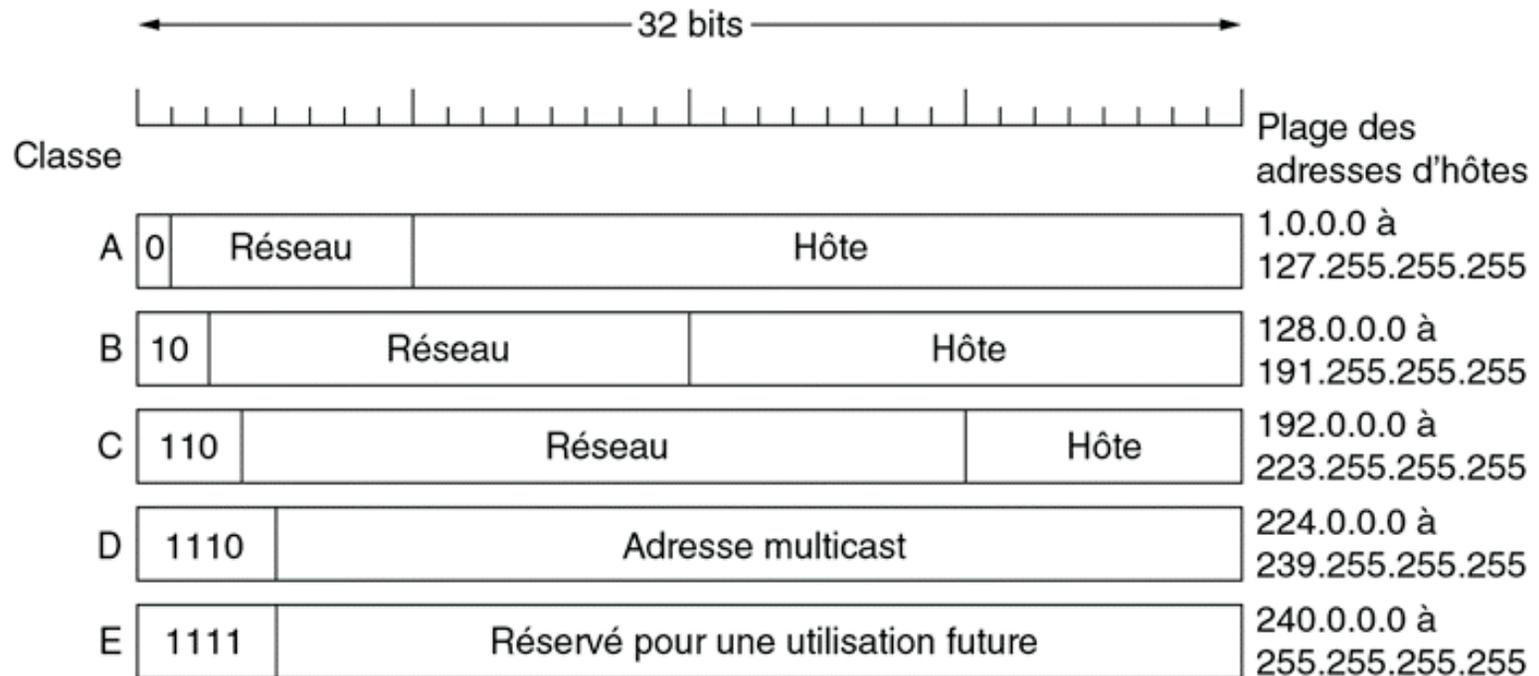
■ Le protocole Internet Protocol (IP)

- comment formater les données, communiquer et se comprendre.

IP, fiche d'identité

- RFC 791
- Protocole de niveau 3 dans la hiérarchie OSI
- Mode non connecté (datagramme)

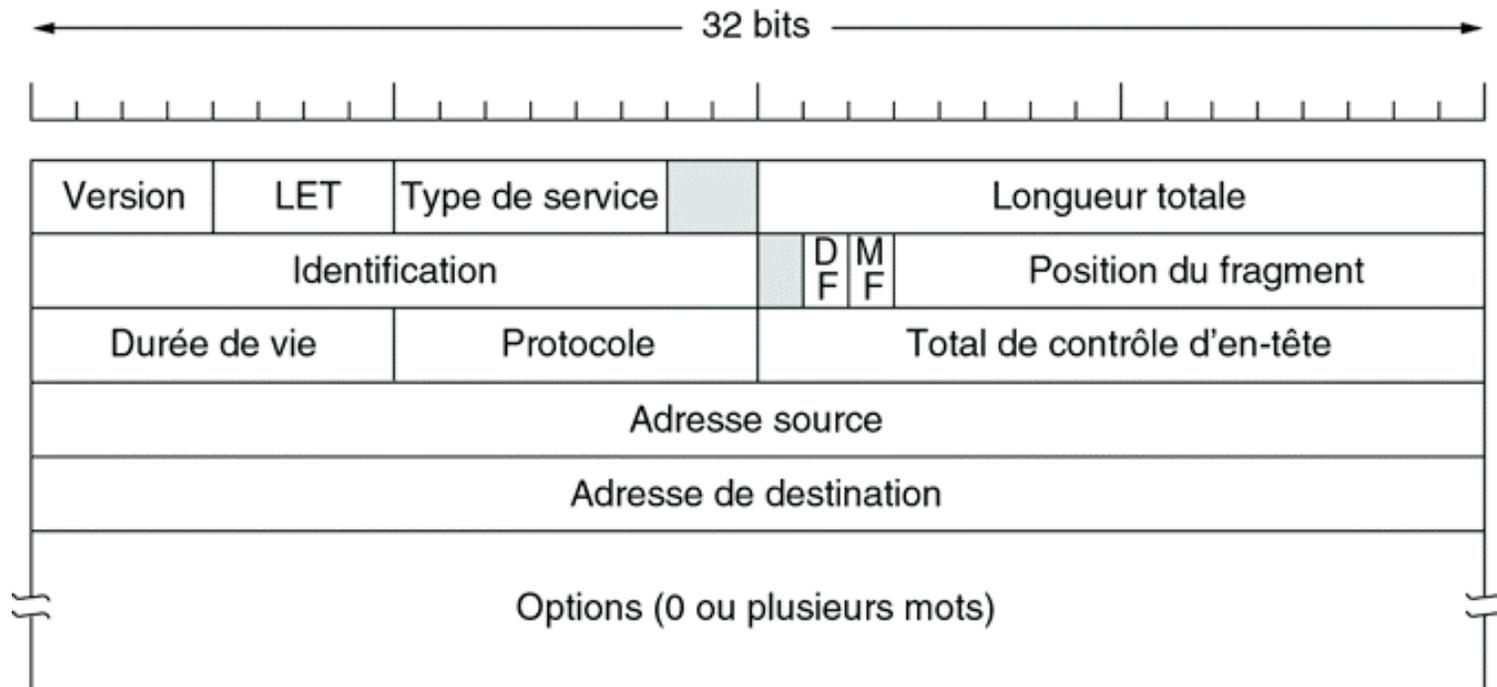
L'adressage IP



© Pearson Education France

- il n'y a pratiquement plus de classe A et B,
- certaines adresses sont réservées (11110*, 127.x.y.z),
- les adresses réseaux sont distribuées par le NIC (Network Information Center).

L'entête d'un paquet IP



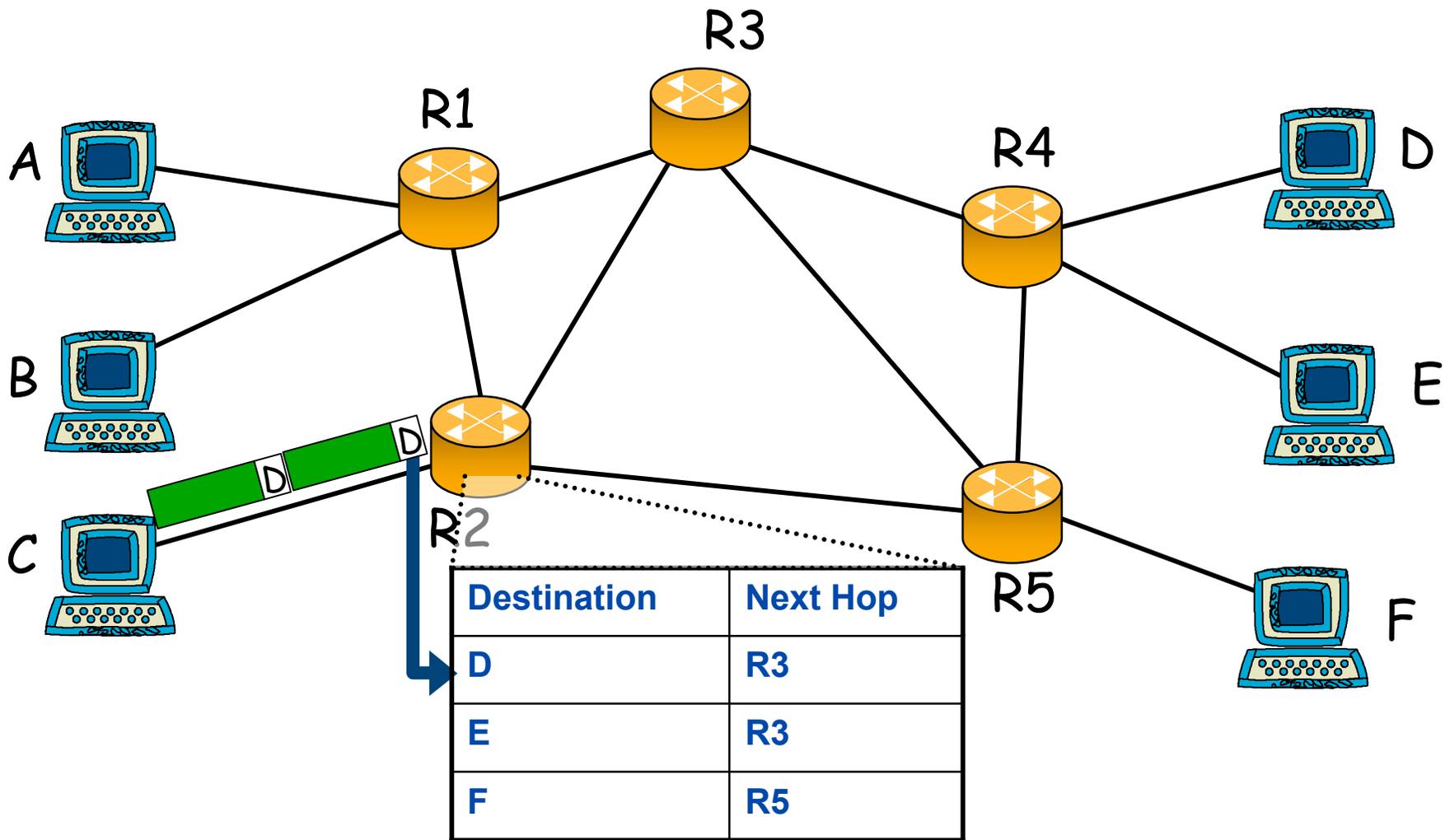
© Pearson Education France

- **entête fixe de 20 octets, plus un champ option variable,**
- **les champs adresses sur 32 bits,**
- **taille maximale du paquet: 65535 octets.**

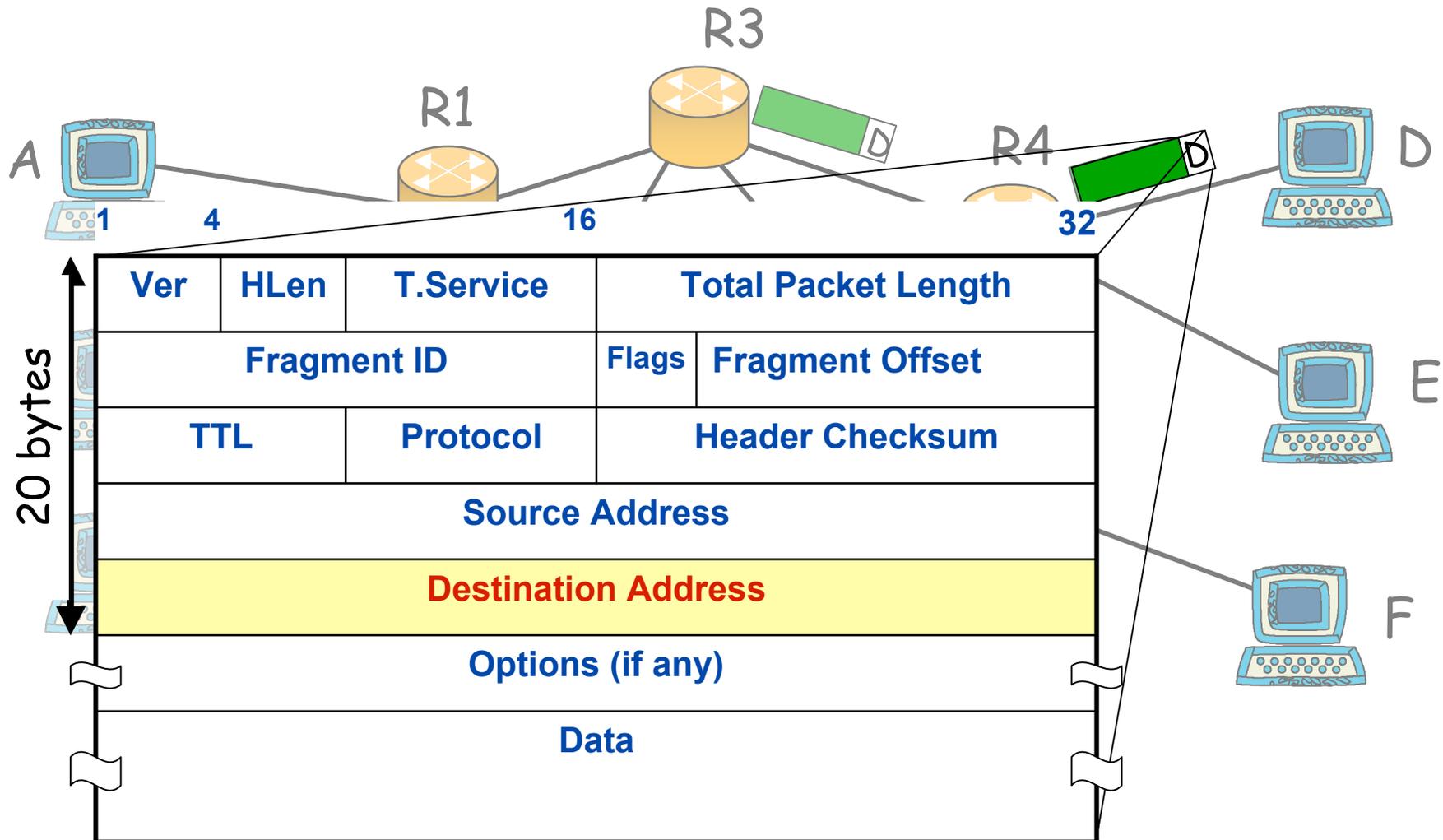
Adressage privé

- **L'IANA (Internet Assigned Number Authority) définit des adresses privés qui ne seront jamais données:**
 - classe A: de 10.0.0.0 à 10.255.255.255
 - classe B: de 172.16.0.0 à 172.31.255.255
 - classe C: de 192.168.0.0 à 192.168.255.255
- **On utilise alors le NAT (Network Address Translation) ou des proxies pour convertir les adresses si une connexion extérieure est nécessaire.**

Qu'est ce que le routage?



Le routage IP



Hiérarchie dans l'Internet

- **Trois niveaux de hiérarchie dans les adresses**
 - adresse réseaux,
 - adresse sous-réseaux,
 - adresse de la machine.
- **Le réseaux de backbone ne publient les routes qu'aux réseaux, et pas aux sous-réseaux.**
 - e.g. 135.104.*, 192.20.225.*
- **Malgré cela, il y a environ 118,000 adresses de réseaux dans les routeurs de backbones (2003)**
- **Les gateways communiquent avec le backbone pour trouver le meilleur noeud suivant pour chaque réseau dans l'Internet.**

CIDR/VLSM

■ Classless Inter Domain Routing (rfc 1466)

- adressage sans notion de classe
- attribution d'adresses de classes C consécutives
- il suffit de connaître l'adresse de début et l'adresse de fin

société	nb d'adresses	nb de classe C	adresse de début	adresse de fin	adresse de début	netmask	netmask en binaire
A	< 2048	8	192.24.0	192.24.7	192.24.0	255.255.248.0	255.255.1111 1000 .0
B	< 4096	16	192.24.16	192.24.31	192.24.16	255.255.240.0	255.255.1111 0000 .0
C	< 1024	4	192.24.8	192.24.11	192.24.8	255.255.252.0	255.255.1111 1100 .0
D	< 1024	4	192.24.12	192.24.15	192.24.12	255.255.252.0	255.255.1111 1100 .0
E	< 512	2	192.24.32	192.24.33	192.24.32	255.255.254.0	255.255.1111 1110 .0
F	< 512	2	192.24.34	192.24.35	192.24.34	255.255.254.0	255.255.1111 1110 .0

source L. Toutain

CIDR/VLSM - exemple

- **193.127.32.0** \Leftrightarrow **193.127.32.0 255.255.255.0**
 \Leftrightarrow **193.127.32.0 / 24**
- **193.127.33.0** \Leftrightarrow **193.127.33.0 255.255.255.0**
 \Leftrightarrow *193.127.33.0 / 24*
- **les 2 réseaux explicites 193.127.32.0 et 193.127.33.0**
sont agrégés en **193.127.32.0 255.255.254.0**
- **l' agrégat est noté : 193.127.32.0 / 23**
il désigne le couple **préfixe / nb bits masque**

dans la table de routage, il représente les 2 réseaux
193.127.32.0 et **193.127.33.0**

CIDR/VLSM - Correspondance

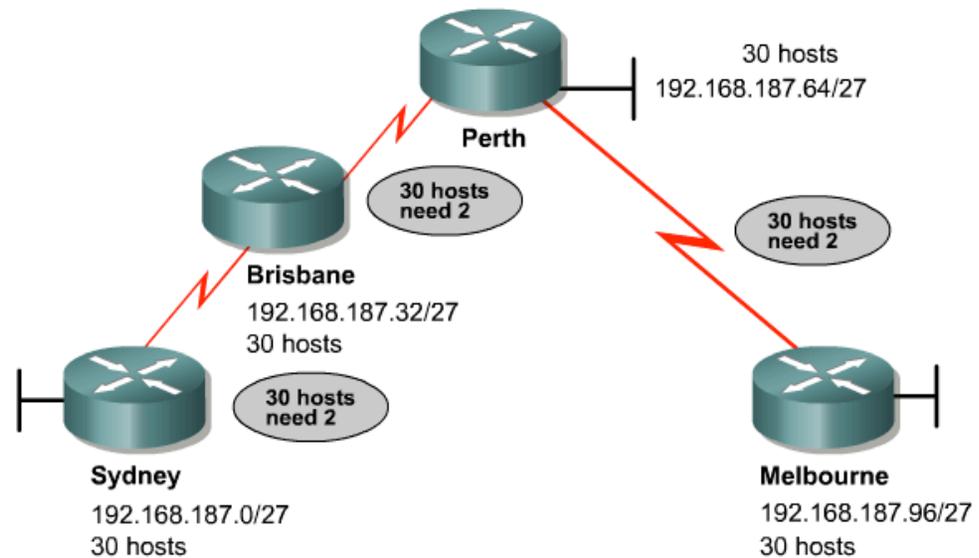
■ Correspondance netmask et nbr de réseaux de l'aggrégat

• 255	=>	/ 24	R = 1
• 254	=>	/ 23	R = 2
• 252	=>	/ 22	R = 4
• 248	=>	/ 21	R = 8
• 240	=>	/ 20	R = 16
• ...			

$$R = (255 - \text{netmask}) + 1$$

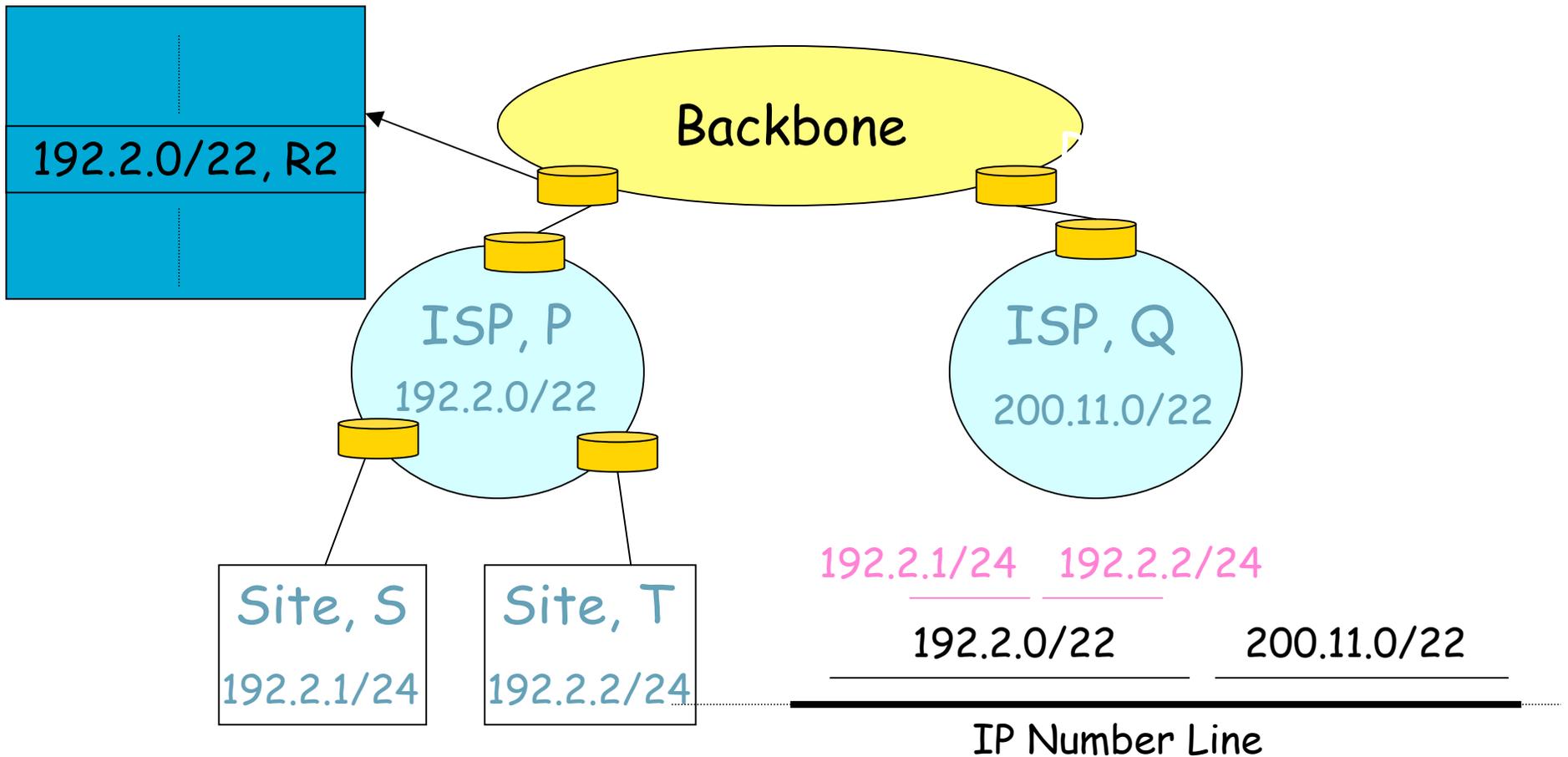
Exemple d'utilisation du VLSM

Subnet Number	Subnet Address	
Subnet 0	192.168.187.0	/27
Subnet 1	192.168.187.32	/27
Subnet 2	192.168.187.64	/27
Subnet 3	192.168.187.96	/27
Subnet 4	192.168.187.128	/27
Subnet 5	192.168.187.160	/27
Subnet 6	192.168.187.192	/27
Subnet 7	192.168.187.224	/27



Ex: Agrégation avec CIDR/VLSM

Backbone routing table

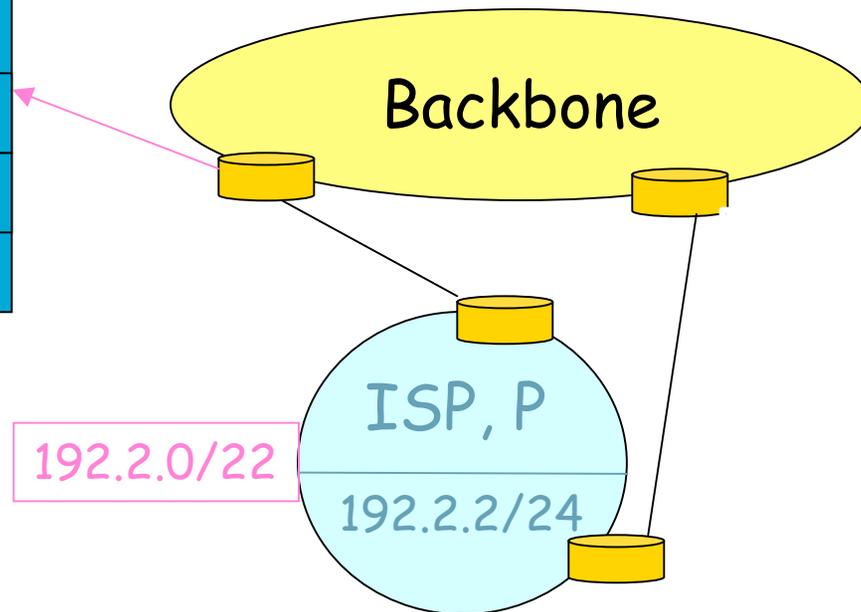


Prefixes non-agrégables

(1) Multi-homed Networks

Backbone routing table

.....
192.2.2/24, R3
192.2.0/22, R2
.....

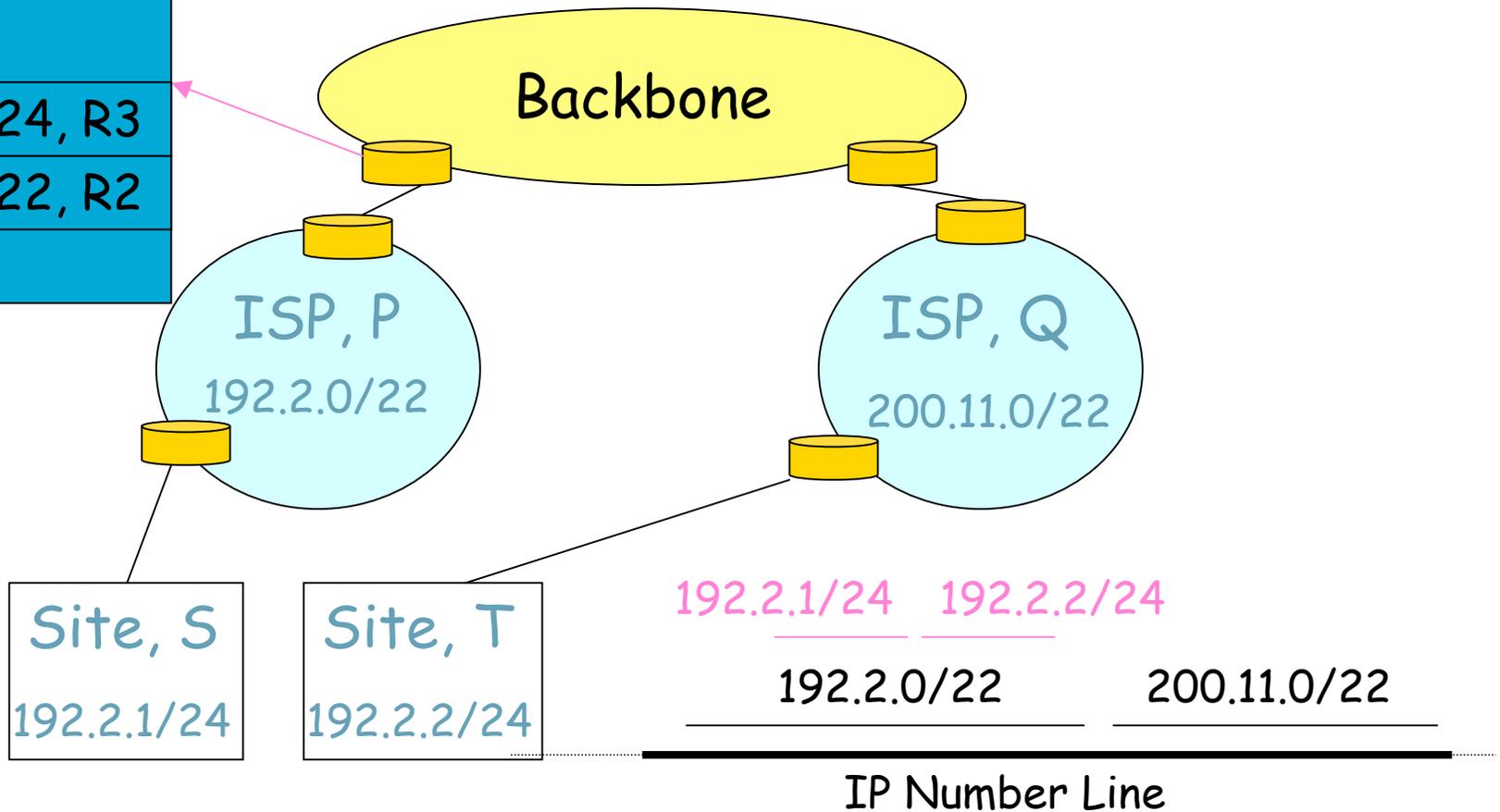


Prefixes non-agrégables

(2) Changement de provider

Backbone routing table

...
192.2.2/24, R3
192.2.0/22, R2
...



La phase de lookup

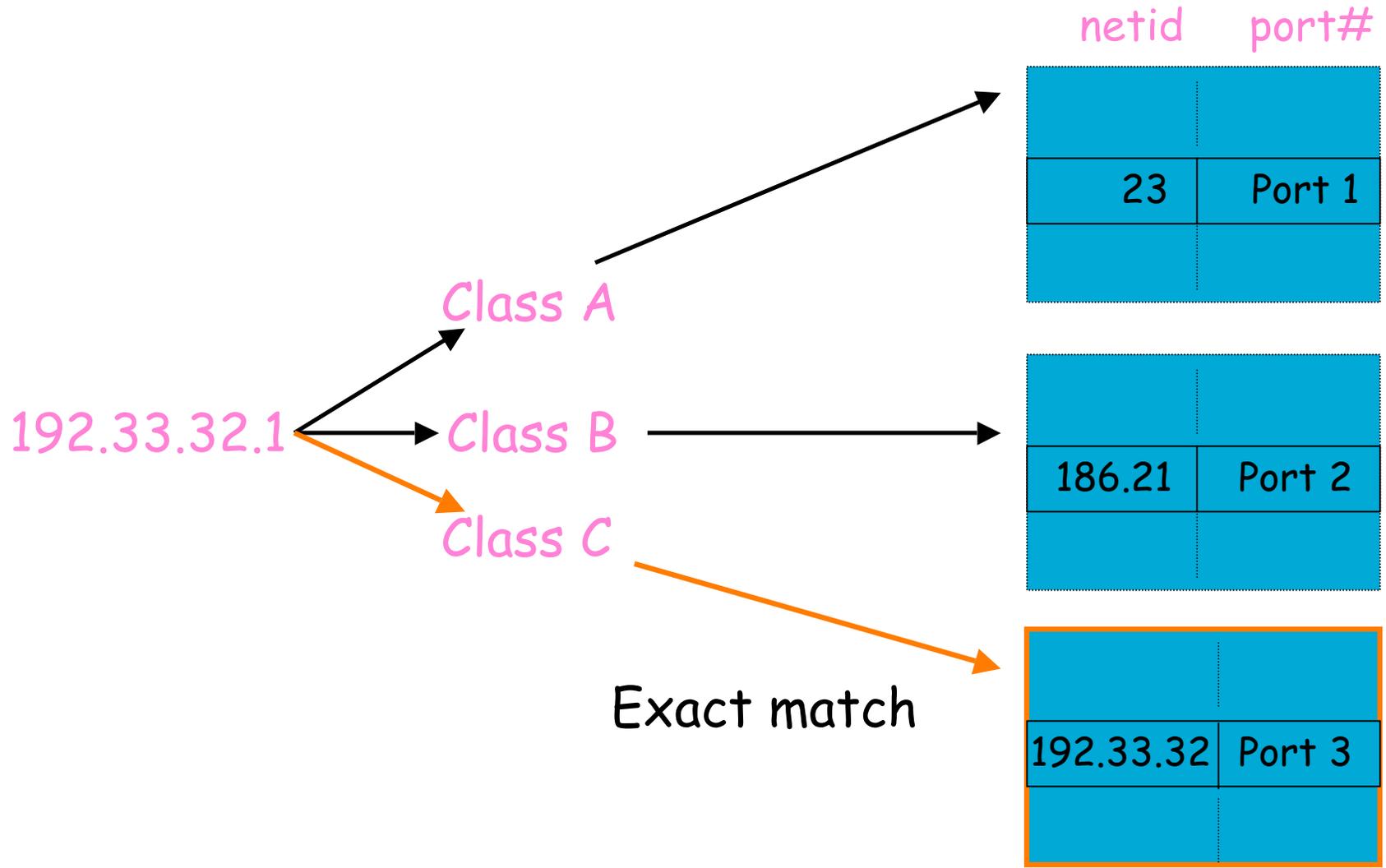
■ Lookup

- le lien de sortie dépend de l'adresse de destination et du contenu de la table de routage,
- la recherche se fait avec Best Matching Prefix (BMP) dans les tables de routage,
- la rapidité est primordiale.

■ Best Matching Prefix

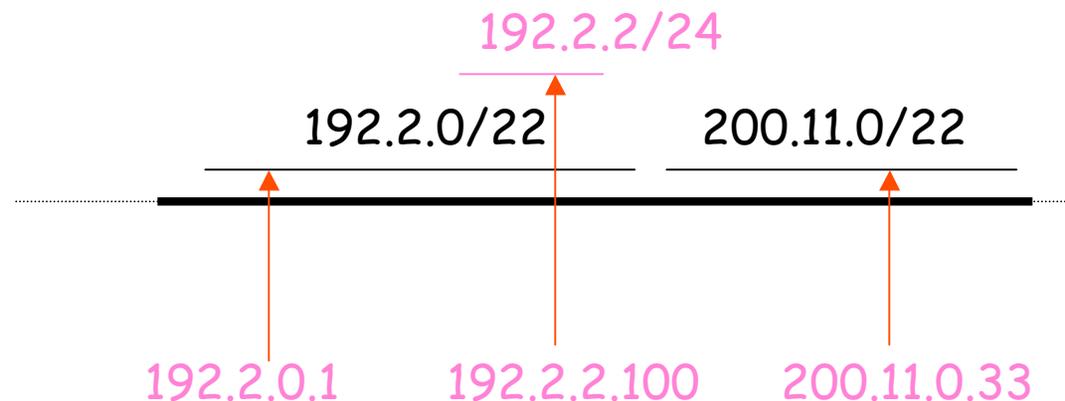
- table de routage = paires d'entrées (Prefix, Lien),
- pour une @IP donné, le lien de sortie avec le plus long prefix est choisi.

Lookups avec distinction de classes



Lookups avec CIDR/VLSM

192.2.2/24, R3
192.2.0/22, R2
200.11.0/22, R4



Find the most specific route, or the longest matching prefix among all the prefixes matching the destination address of an incoming packet

Exemple du lookup

Prefix	lien de sortie
01*	K
10011*	M
110*	C
1*	D
...	

- @: 11001010000, lien de sortie: C
- @: 10101010000, lien de sortie: D

Contraintes de performance

- Avec les débits actuellement rencontrés, un routeur doit effectuer des millions d'opérations à la seconde

Year	Line	Linerate (Gbps)	40B (Mpps)	84B (Mpps)	354B (Mpps)
1997-98	OC3	0.155	0.48	0.23	0.054
1998-99	OC12	0.622	1.94	0.92	0.22
1999-00	OC48	2.5	7.81	3.72	0.88
2000-01	OC192	10.0	31.25	14.88	3.53
2002-03	OC768	40.0	125	59.52	14.12
	1GE	1.0	3.13	1.49	0.35

Distribution de la taille des paquets et difficultés du lookup

■ Sur un lien de réseau dorsale (backbone)

- 75% des paquets sont plus petits que 552 octets,
- environ 50% des paquets sont plus petits que 44 octets (paquets d'acquittements),
- 10% des paquets sont plus grands que 1500 octets.

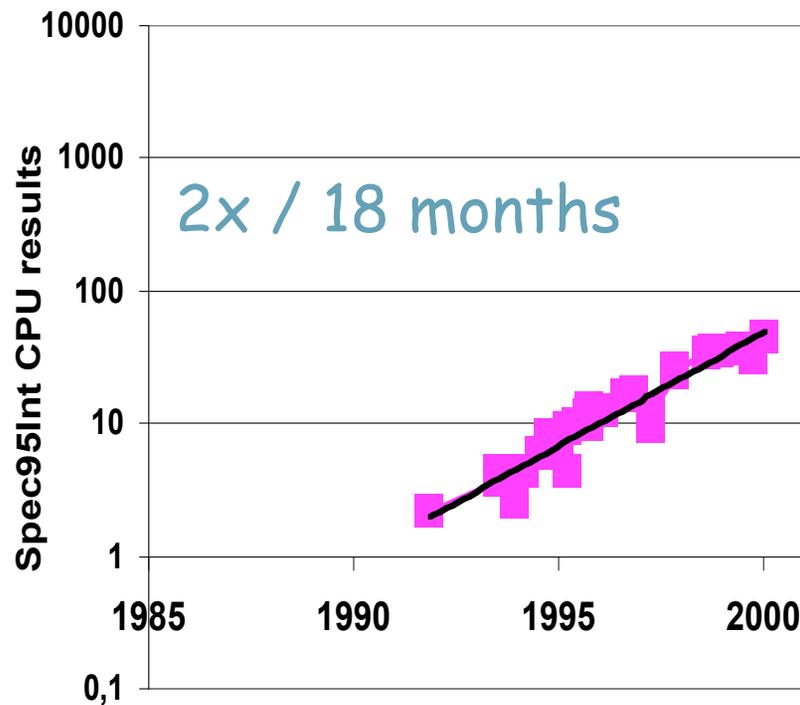
■ Difficultés du lookup

- les tables de routage peuvent avoir des milliers d'entrées,
- le prefix des adresses de destinations sont de longueurs variables, par exemple: 100101* ou 1* ou 101011000010001000101010,
- l'adresse de destination peut correspondre à plusieurs prefix, il faut prendre la plus longue.

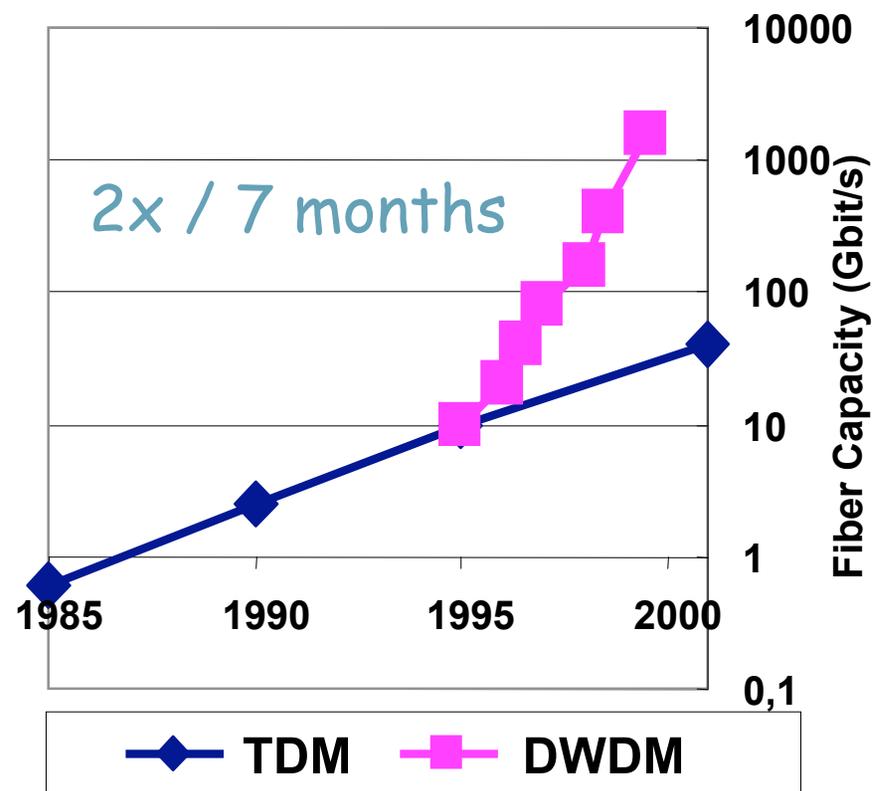
Pourquoi avons nous besoin de routeur plus rapide?

Pour éviter qu'ils ne deviennent les goulots d'étranglement

Packet processing Power



Link Speed

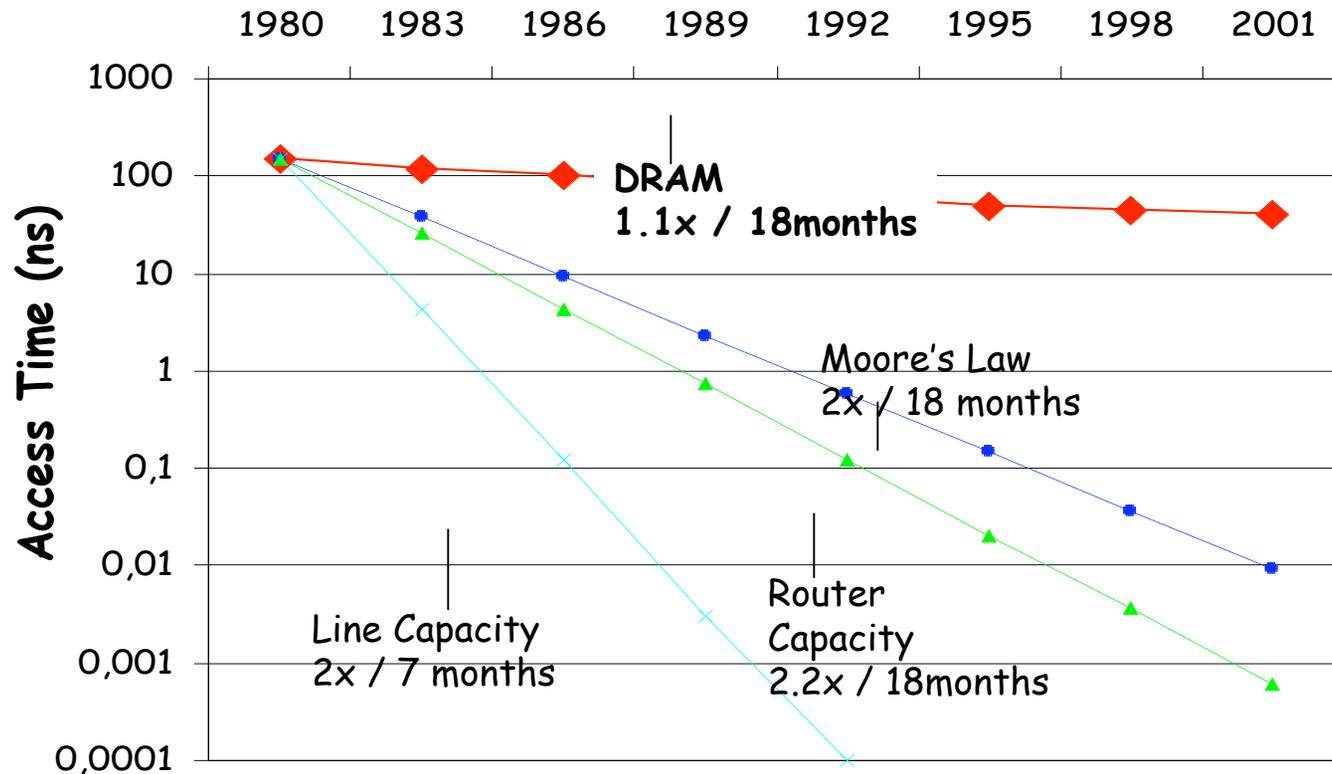


Source: SPEC95Int & David Miller, Stanford.

Memory Bandwidth

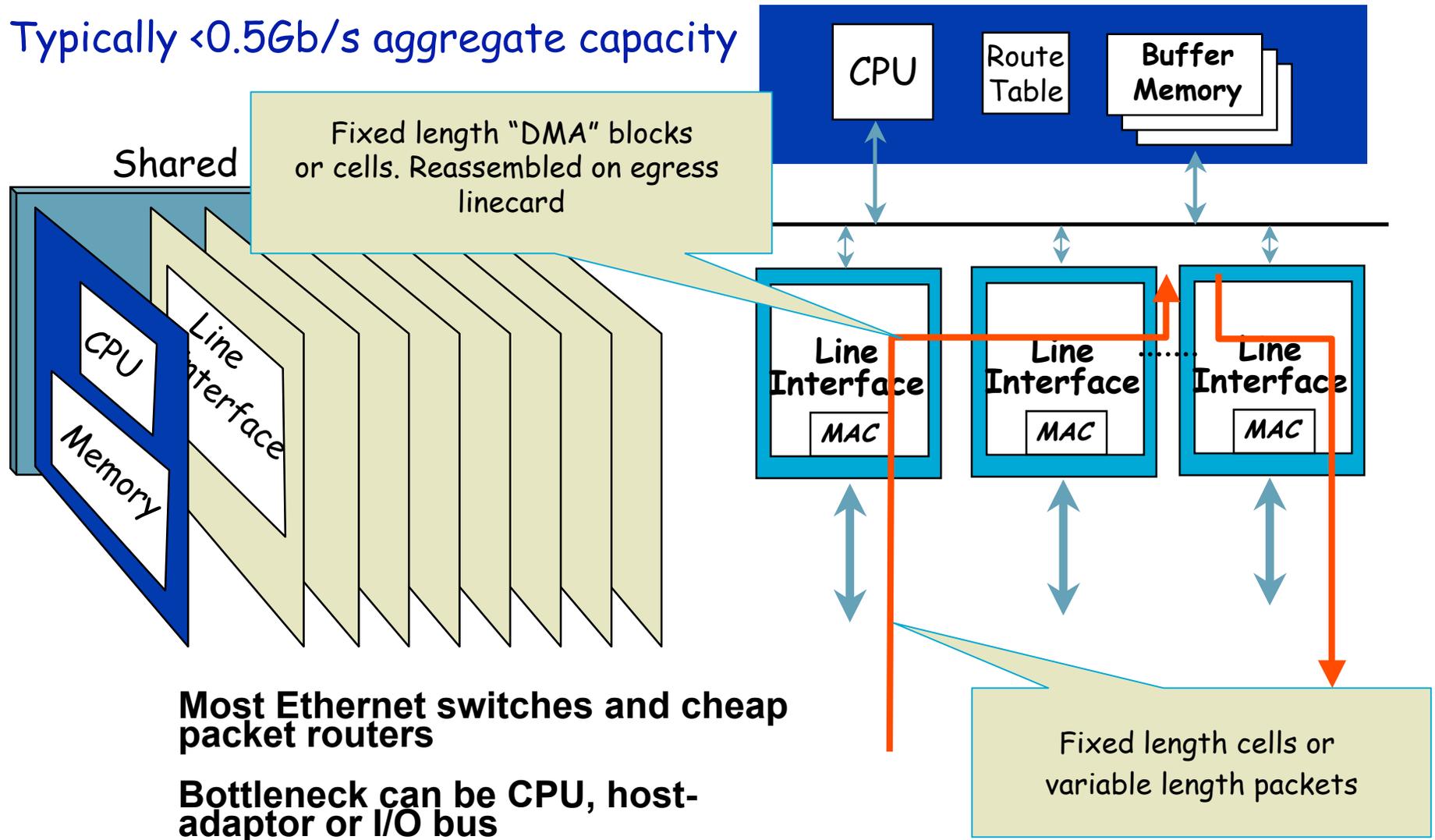
Commercial DRAM

- **Il est difficile de suivre la loi de Moore:**
 - The bottleneck is memory speed.
 - Memory speed is not keeping up with Moore's Law.



Routeurs de 1^{ère} génération

Typically <0.5Gb/s aggregate capacity

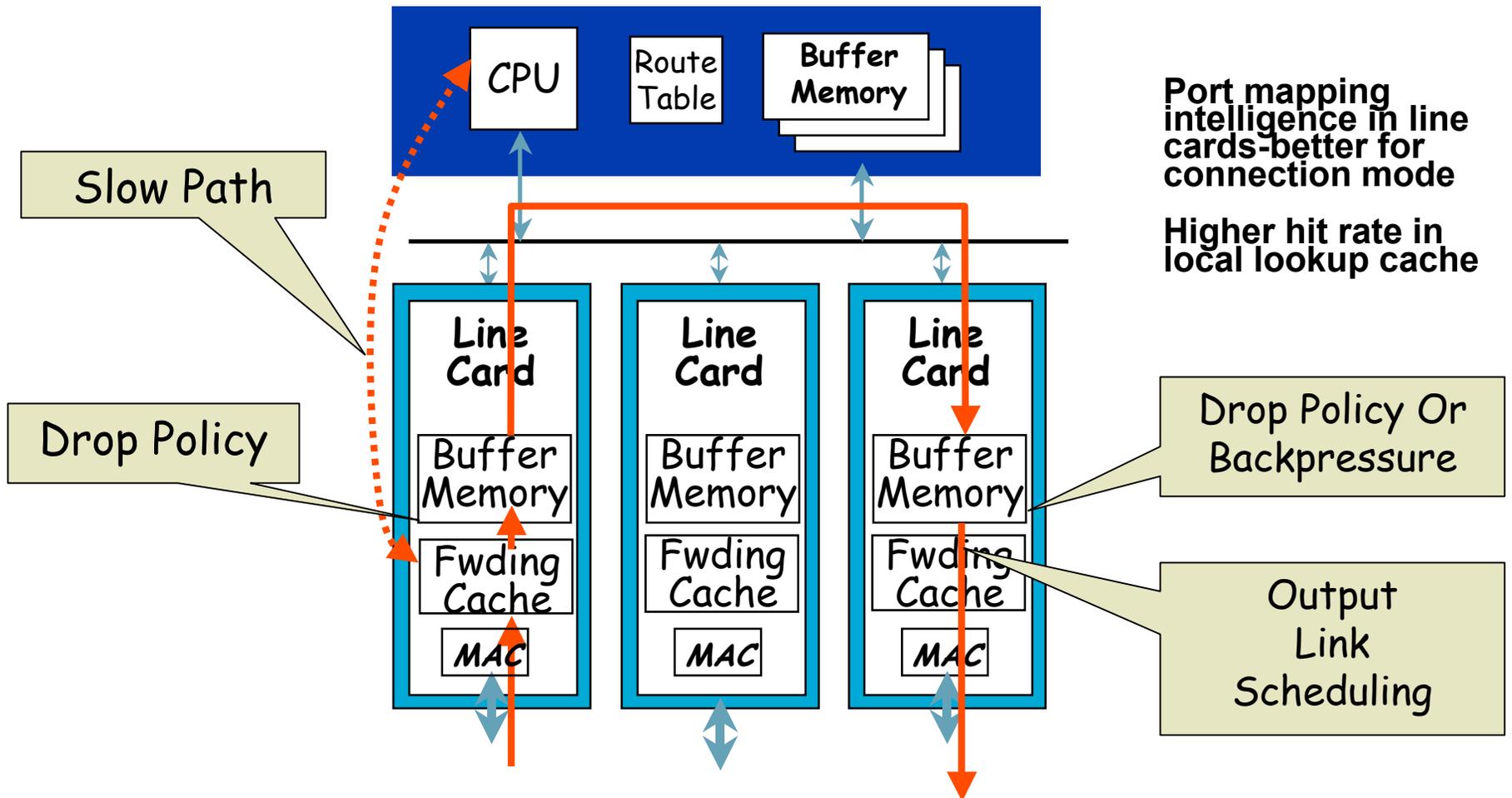


Limitations

- **First generation router built with 133 MHz Pentium**
 - Mean packet size 500 bytes
 - Interrupt takes 10 microseconds, word access take 50 ns
 - Per-packet processing time is 200 instructions = 1.504 μ s
- **Copy loop**
 - register <- memory[read_ptr]
 - memory [write_ptr] <- register
 - read_ptr <- read_ptr + 4
 - write_ptr <- write_ptr + 4
 - counter <- counter -1
 - if (counter not 0) branch to top of loop
- **4 instructions + 2 memory accesses = 130.08 ns**
- **Copying packet takes $500/4 * 130.08 = 16.26 \mu$ s; interrupt 10 μ s**
- **Total time = 27.764 μ s => speed is 144.1 Mbps**
- **Amortized interrupt cost balanced by routing protocol cost**

Routeurs de 2^{ème} génération

Typically <5Gb/s aggregate capacity



Le routage dans l'Internet

■ Interior Routing

- utilise RIP (Routing Information Protocol, DV) et OSPF (Open Shortest Path First, LS). Ce dernier est celui qui est préféré
- protocole d'échange de données de routage périodiques entre routeurs adjacents.

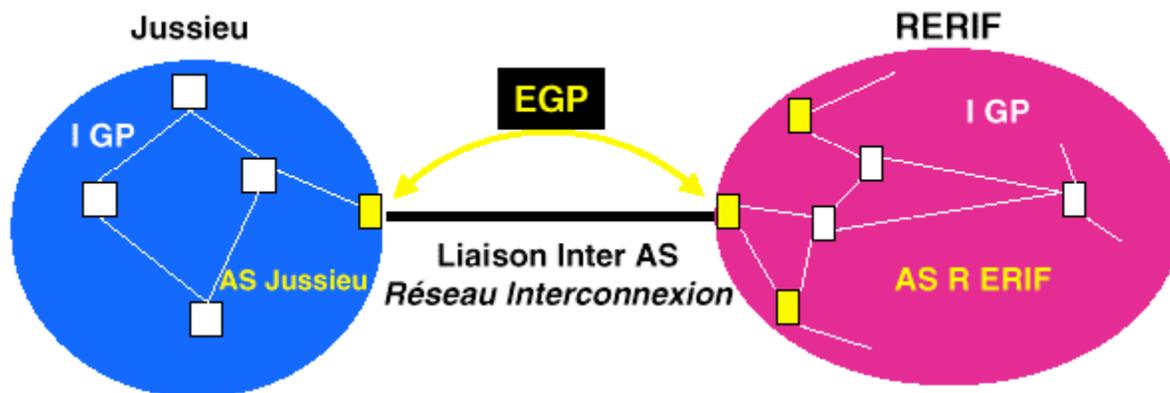
■ Exterior Routing

- utilise EGP (Exterior Gateway Protocol, DV) et BGP (Border Gateway Protocol, DV). Ce dernier est celui qui est préféré.
- connexion TCP entre les routeurs pour les échanges d'informations,
- routage politique.

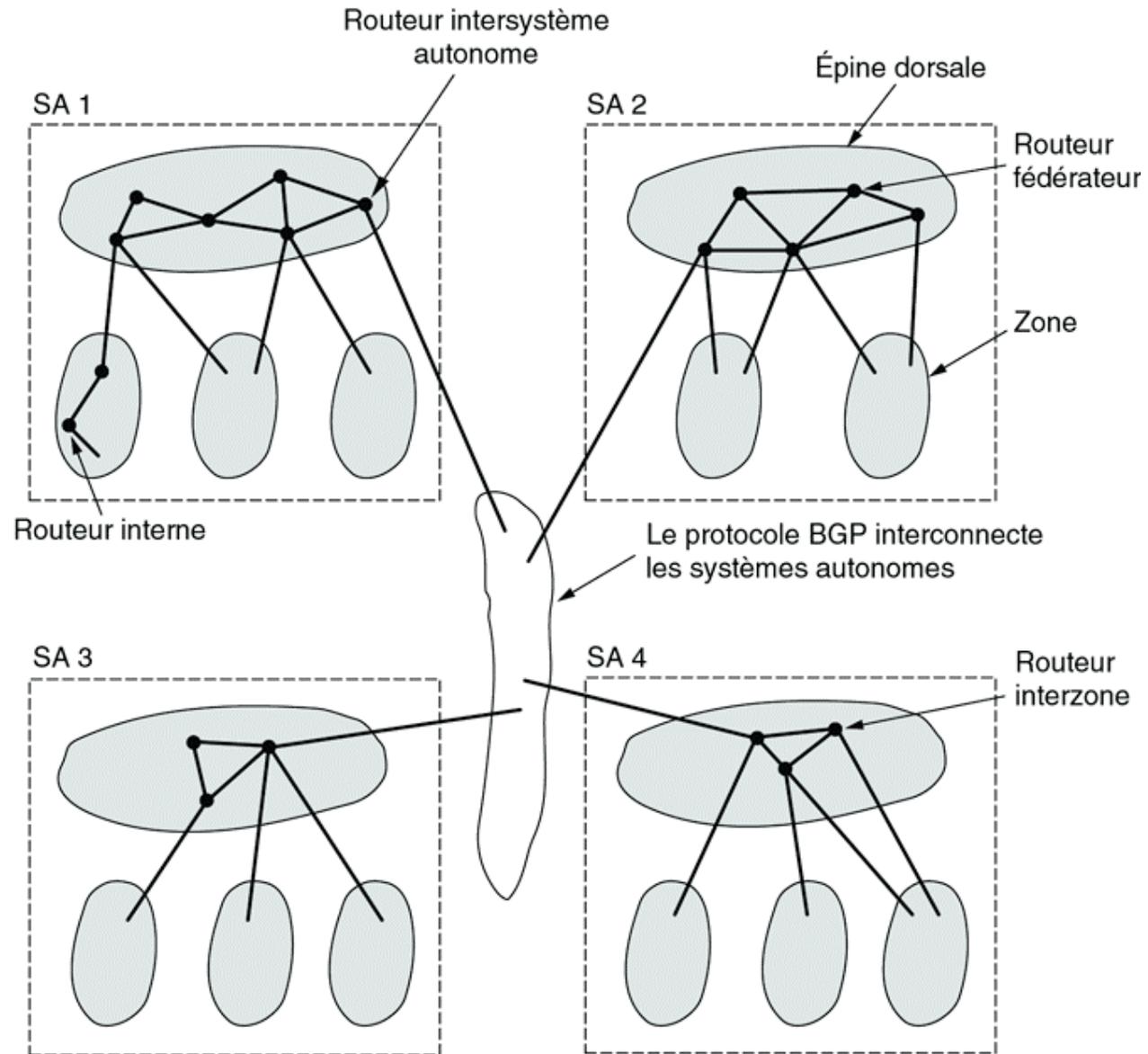
■ Notion de peering et d'accords entre AS

Organisation en systèmes autonomes

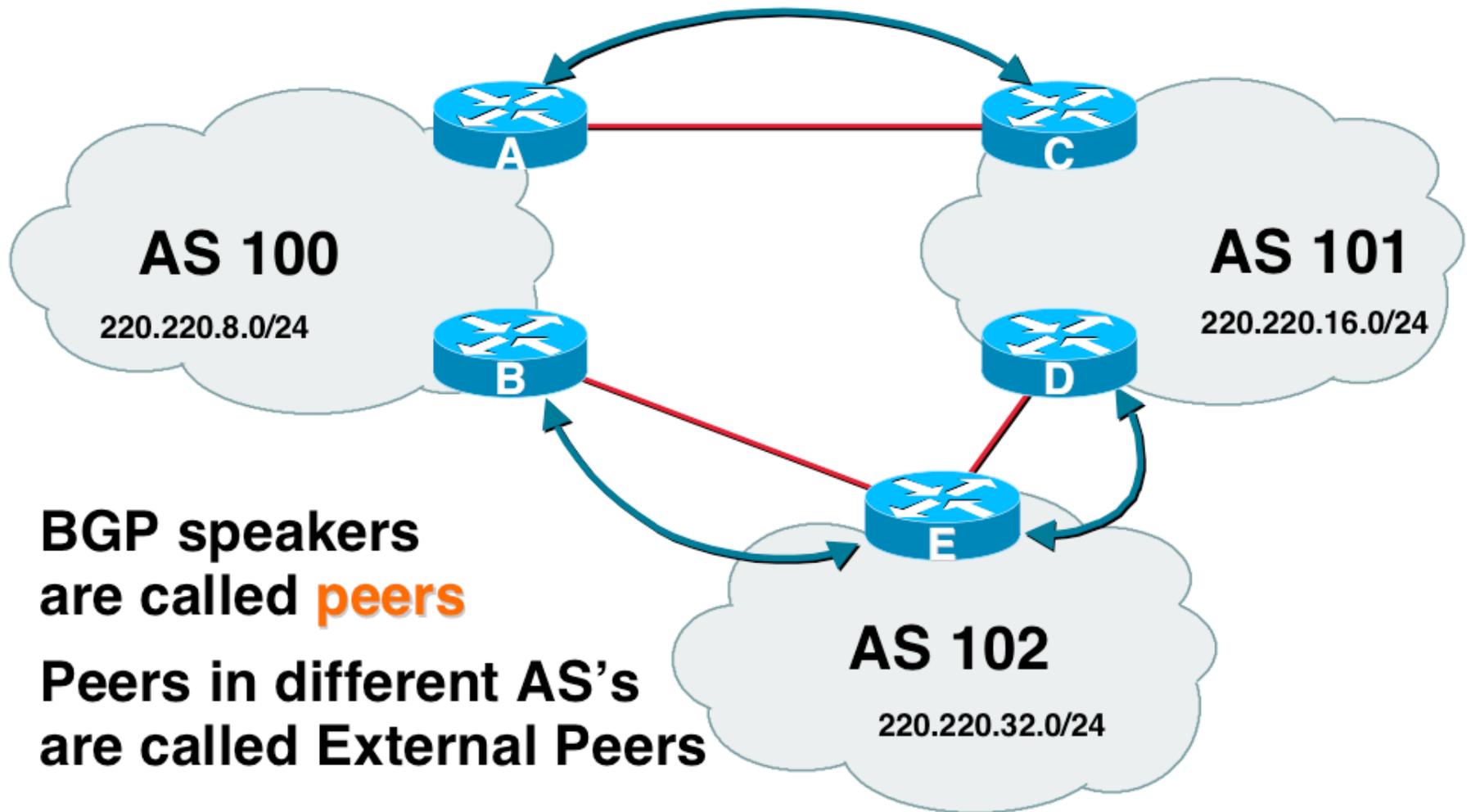
- L'Internet est organisée en un ensemble de systèmes autonomes (Autonomous System)
- Chaque AS est un ensemble de réseaux et de routeurs sous une administration communes
 - entreprise, campus, réseau régional...
 - toutes les parties d'un AS doivent être connexes
- Les numéros d'AS sont délivrés par le NIC-France
 - un numero = 16 bits (ex: Renater = AS 1717)
- Le routage entre AS est appelé routage externe



Systemes autonomes et routage externe



BGP background (1)



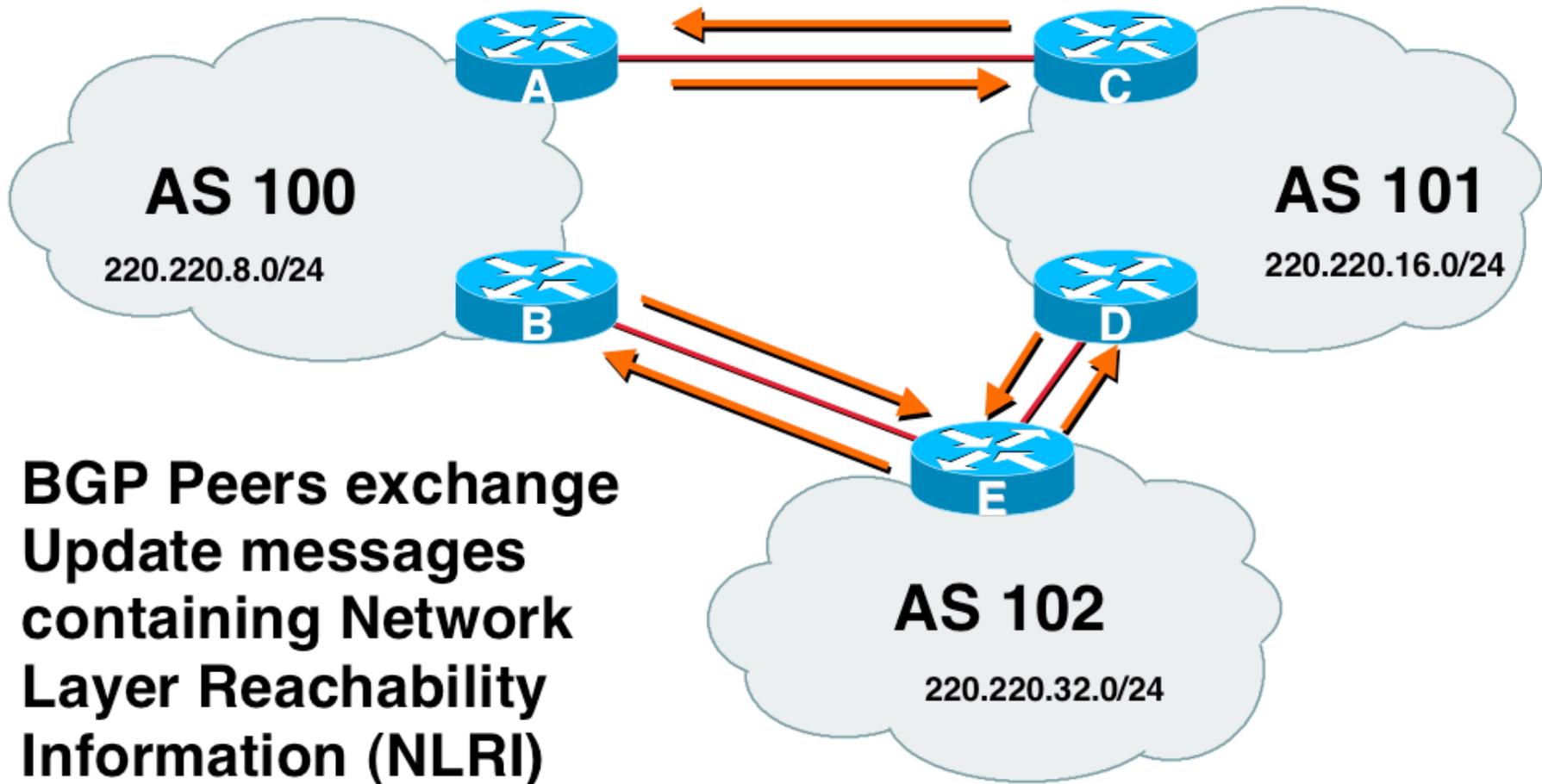
BGP speakers are called **peers**

Peers in different AS's are called **External Peers**



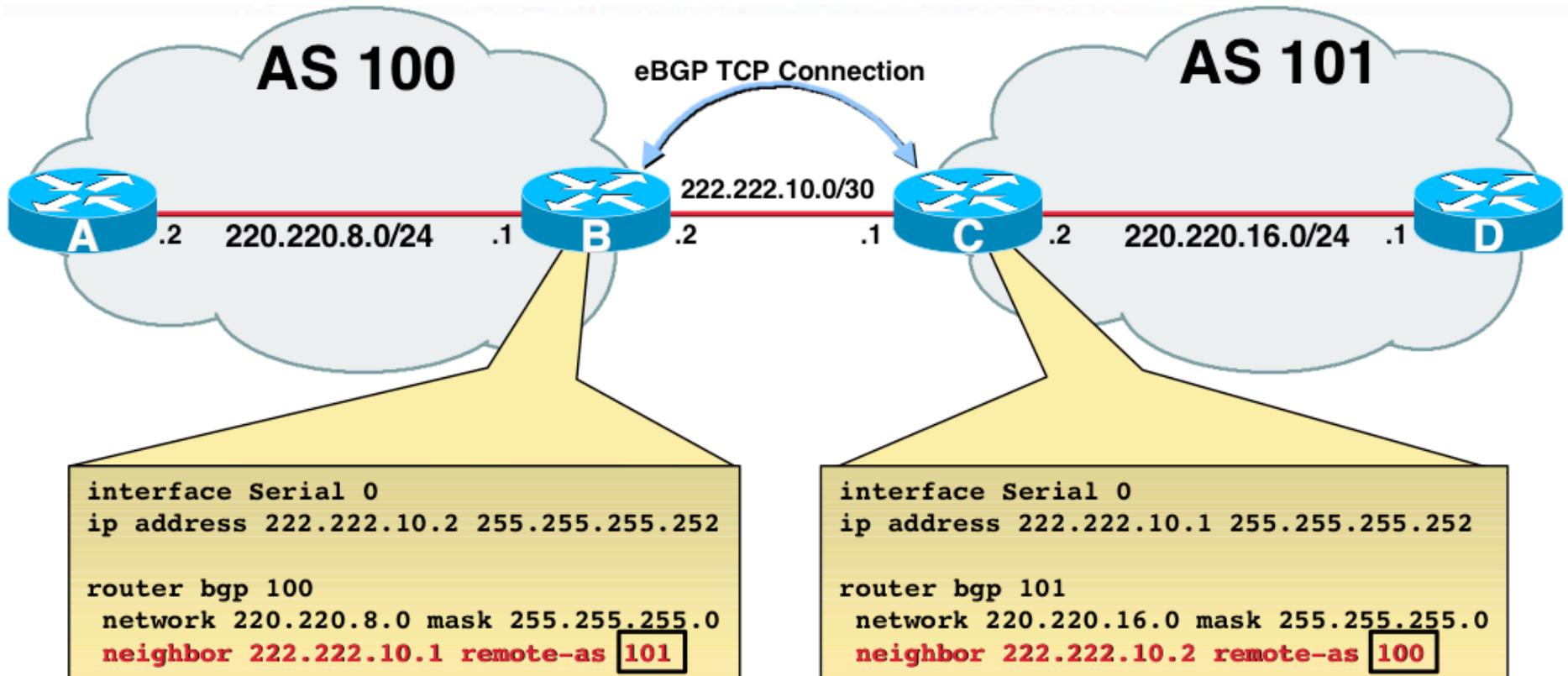
Note: eBGP Peers normally should be directly connected.

BGP background (2)



BGP Update Messages →

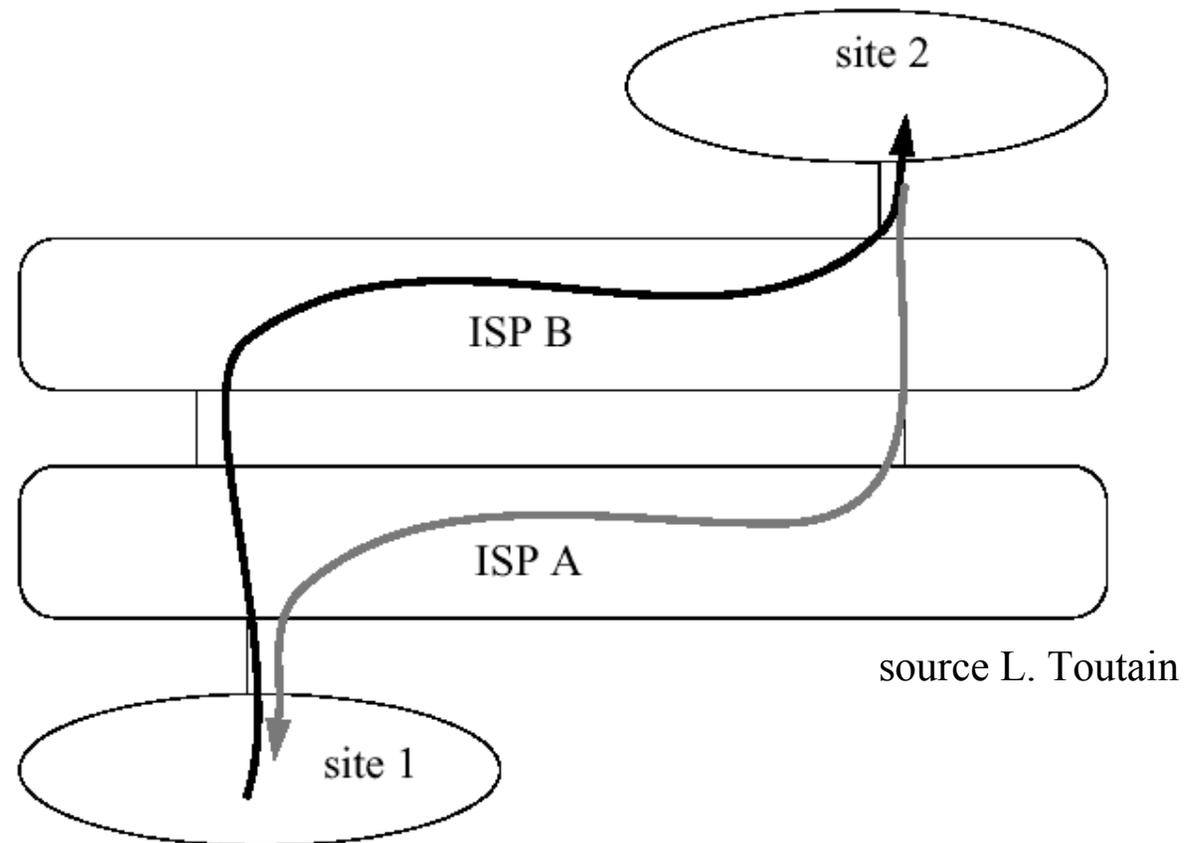
BGP background (3)



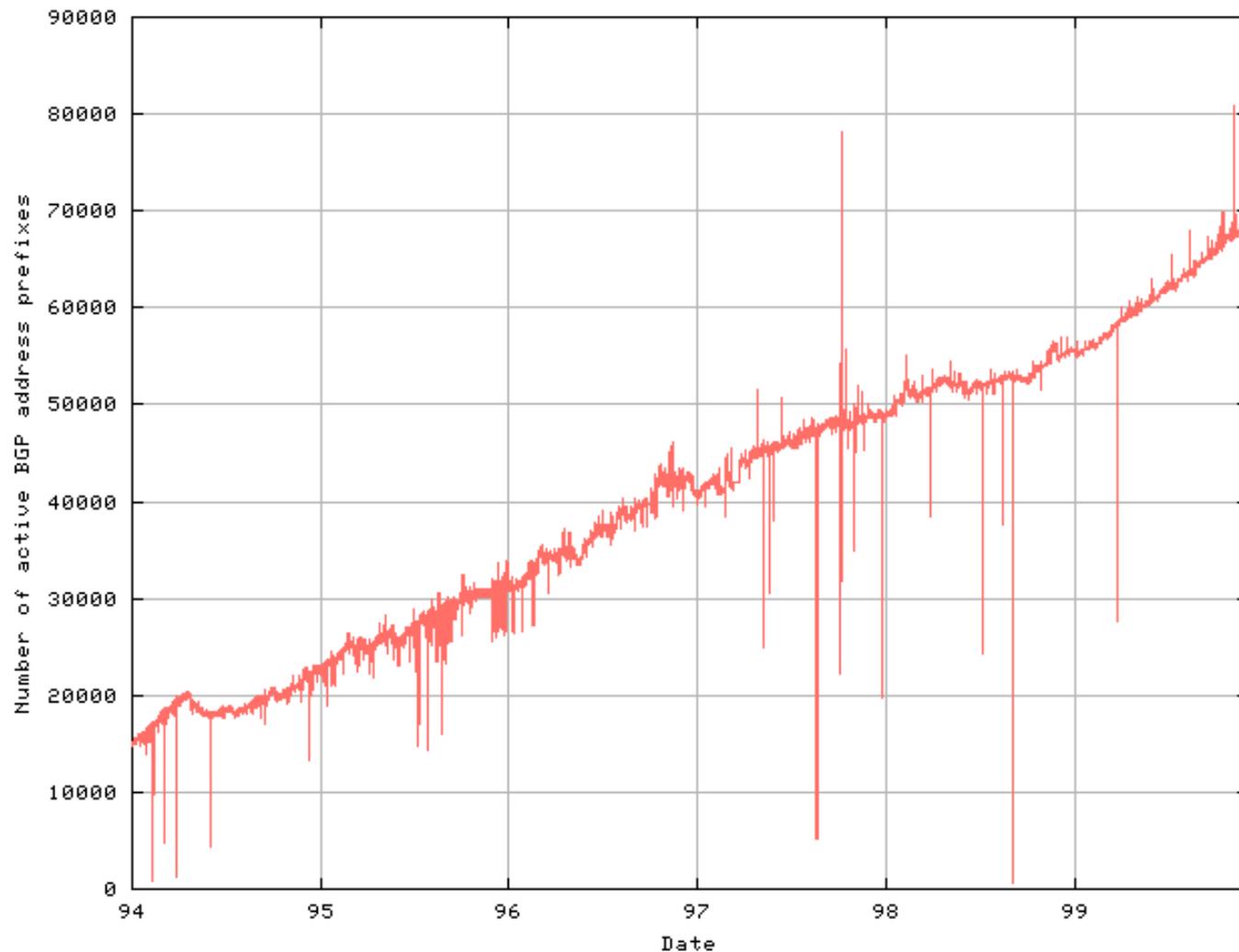
- **BGP Peering sessions are established using the BGP “neighbor” configuration command**
 - External (eBGP) is configured when AS numbers are different

Asymétrie du routage

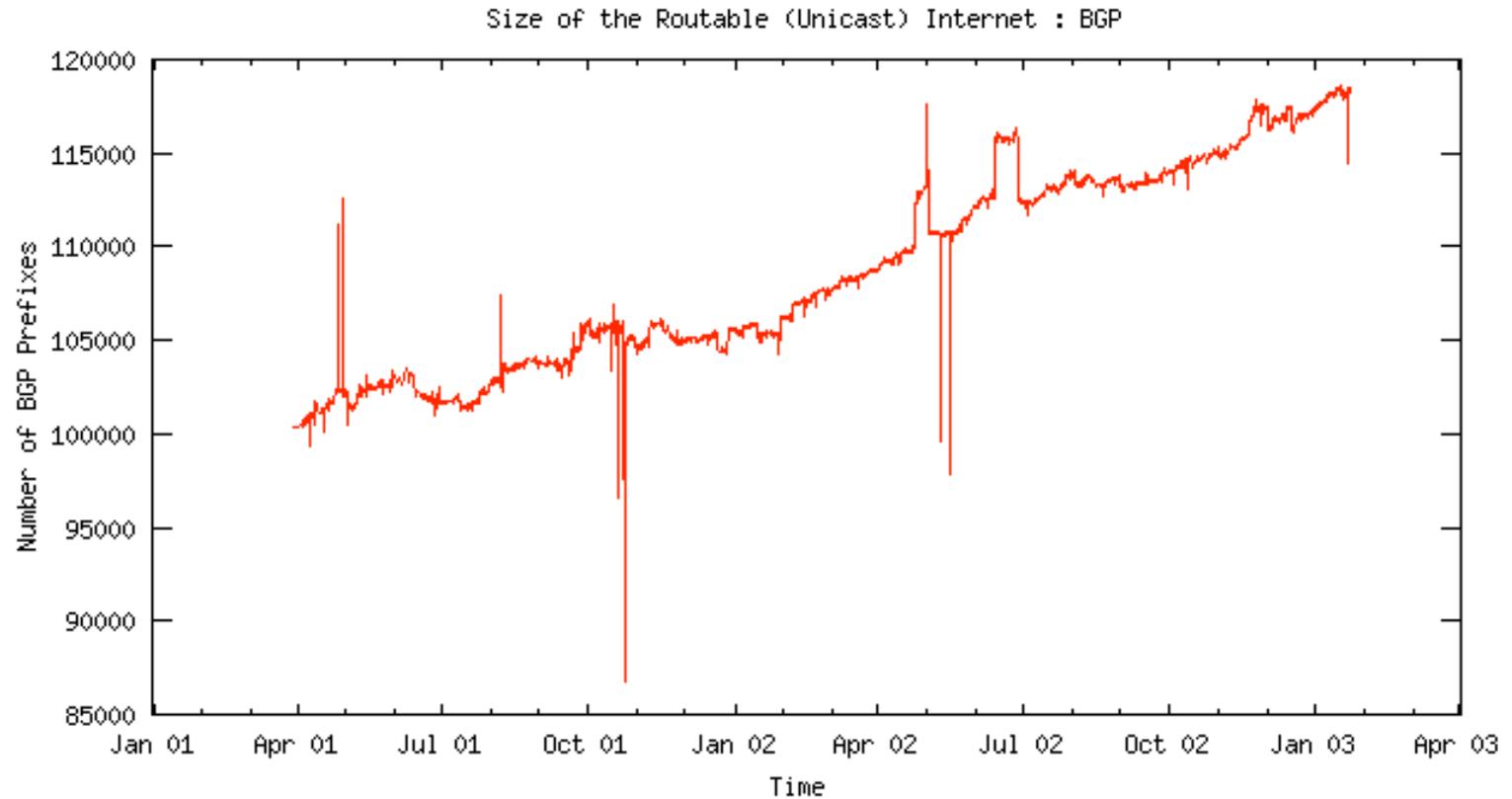
- ou comment se débarrasser des packets le plus vite possible...



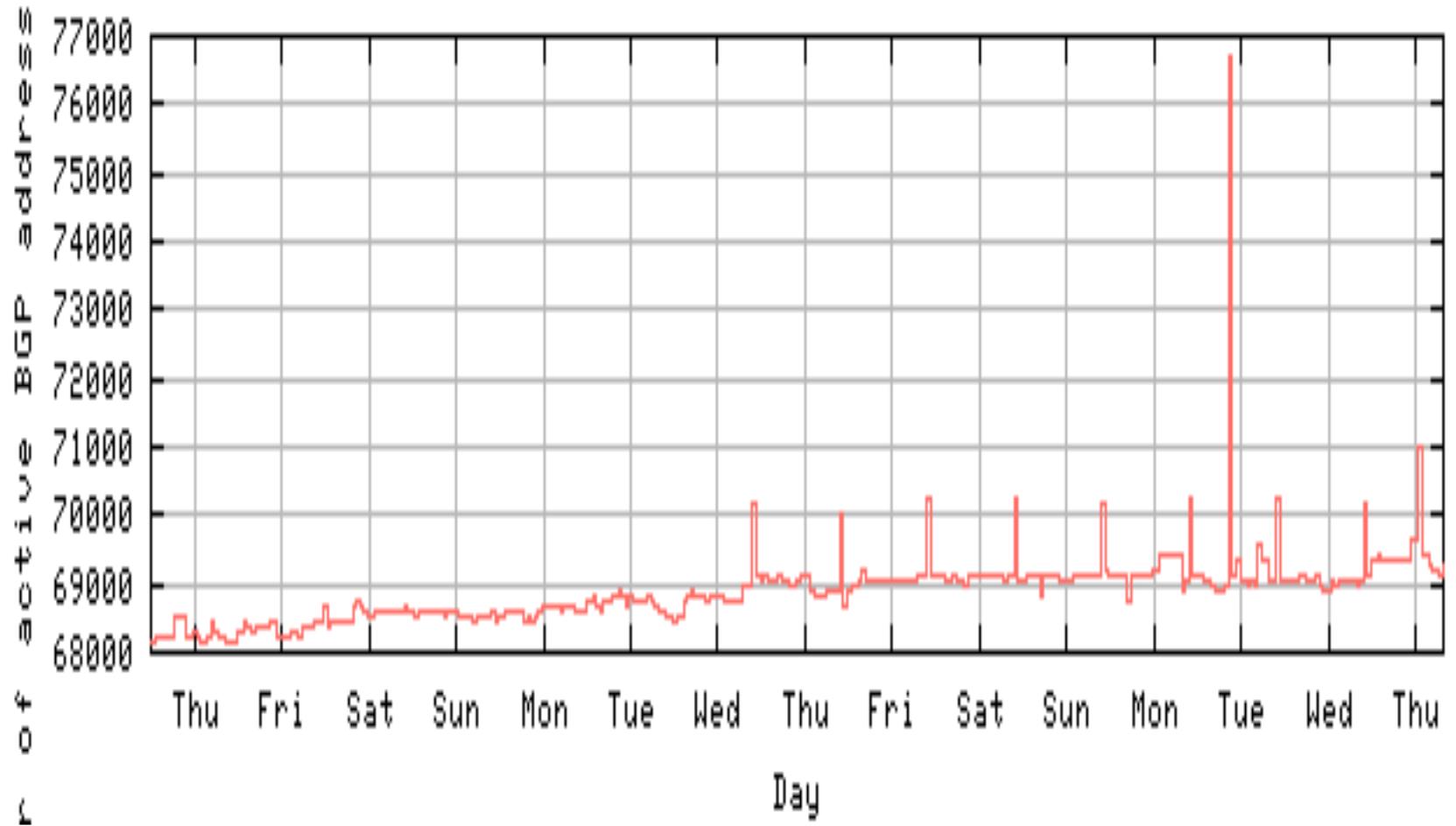
Evolution du nombre d'entrée dans un routeur inter-domaine BGP (1)



Evolution du nombre d'entrée dans un routeur inter-domaine BGP (2)

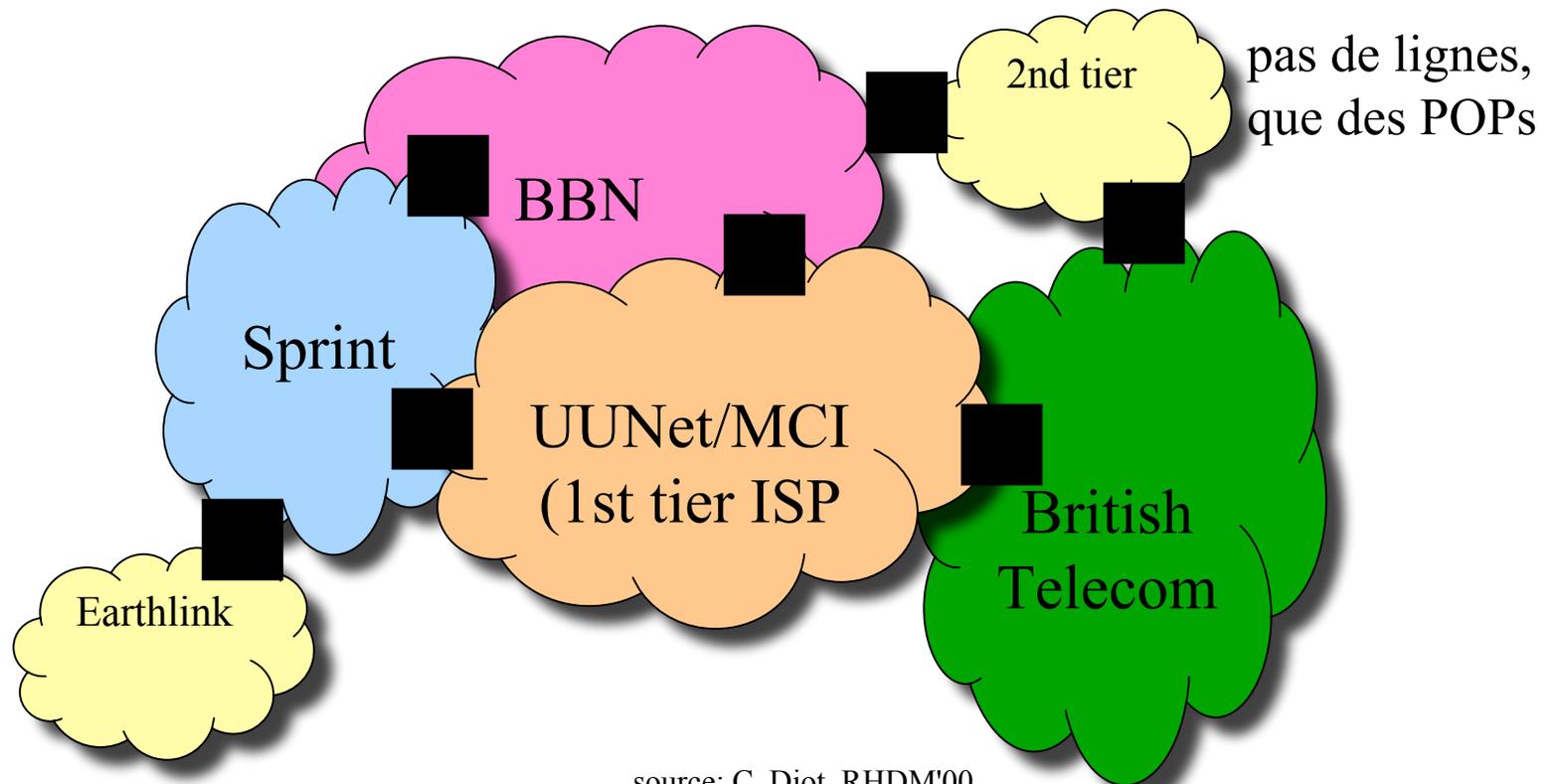


Evolution sur 14 jours



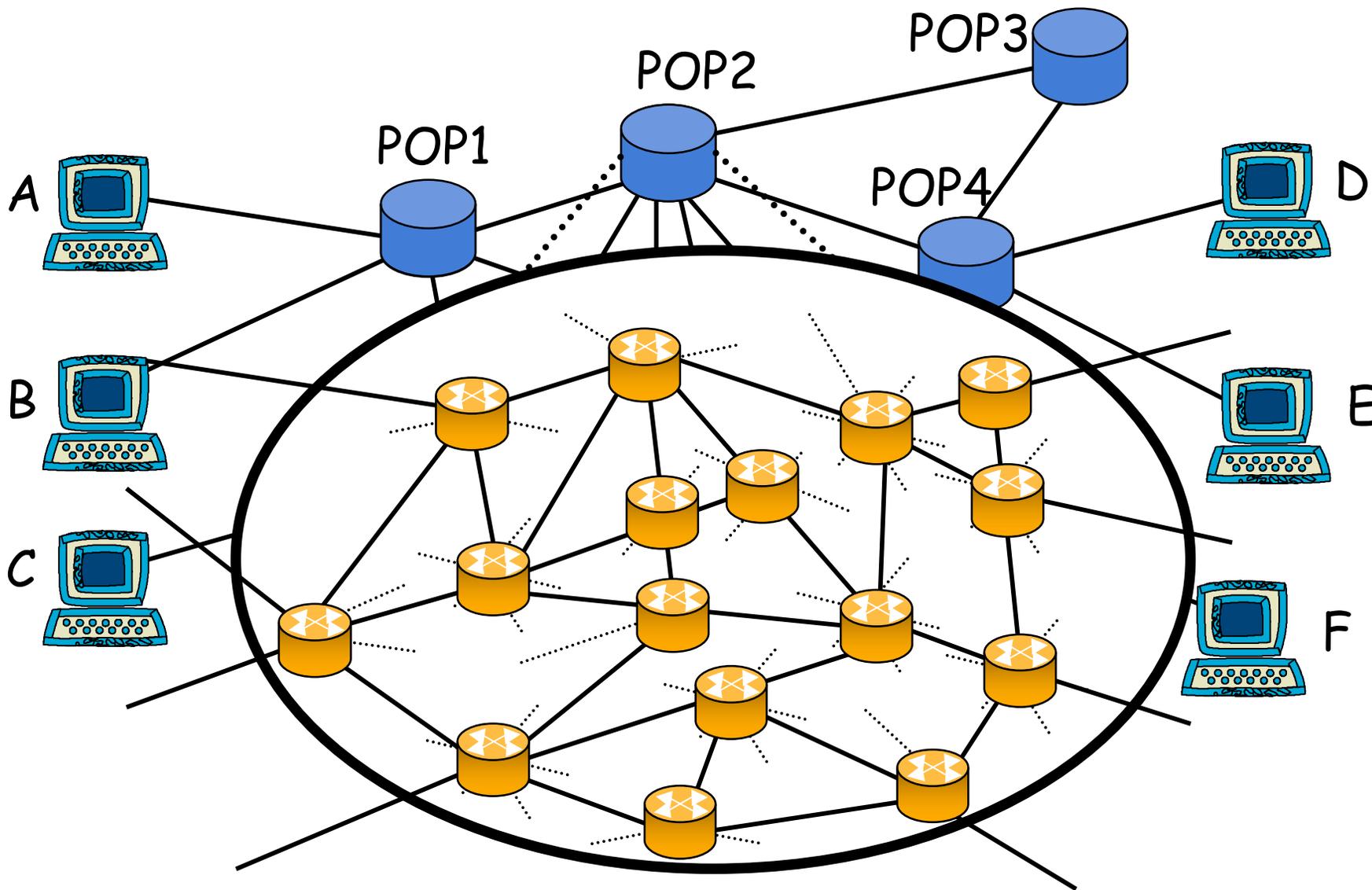
Le visage de l'Internet aujourd'hui

- Les « 1st tier ISP » possèdent des lignes.
- L'interconnexion se produit essentiellement à des points de peering privé.



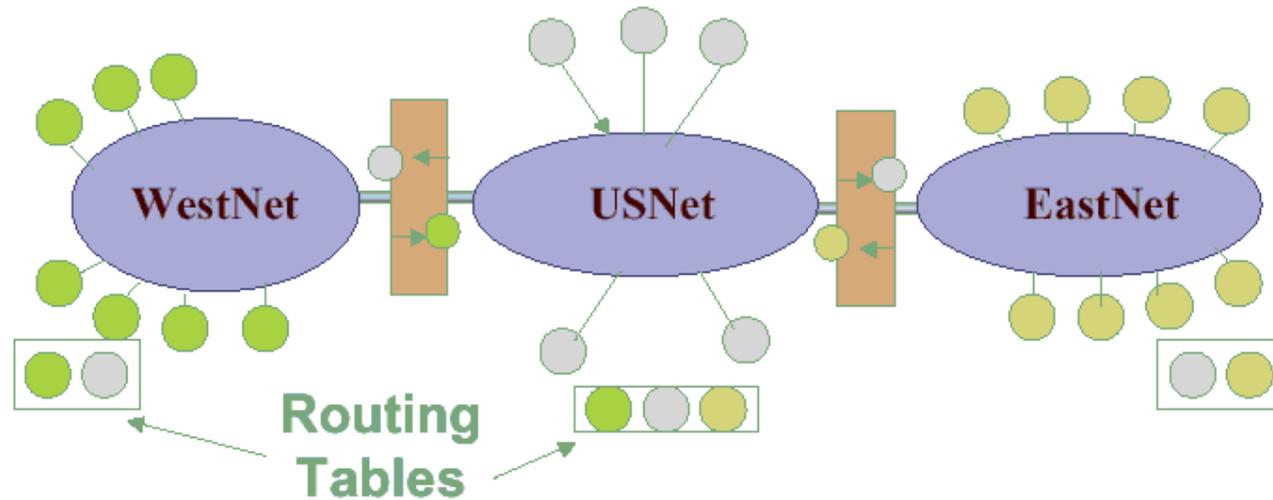
source: C. Diot, RHDM'00

Ex: Points of Presence (POPs)



Peering n'est pas transit...

- Le peering consiste à établir une relation commerciale pour offrir aux abonnés de 2 providers une connectivité réciproque.

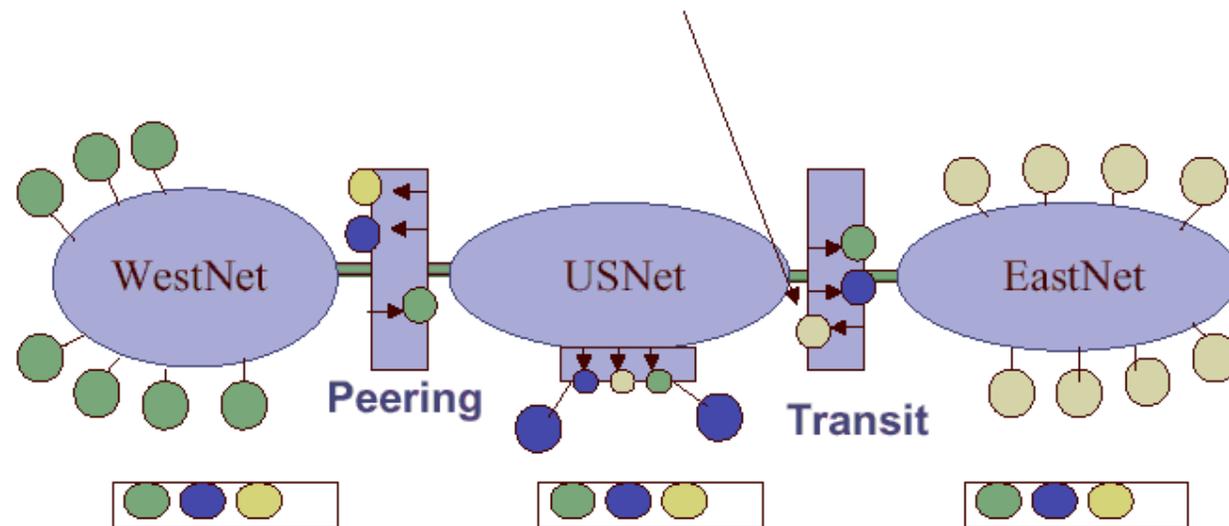


- Pas de transitivité! WestNet n'a pas accès à EastNet, et inversement!

Le transit

- Le transit est une relation commerciale dans laquelle un ISP fournit (vend) l'accès à toutes (ou partiellement, Europe) les destinations dans sa table de routage.

By EastNet purchasing transit,
EastNet is announced by USNet to
USNet Peering and Transit interconnections alike.

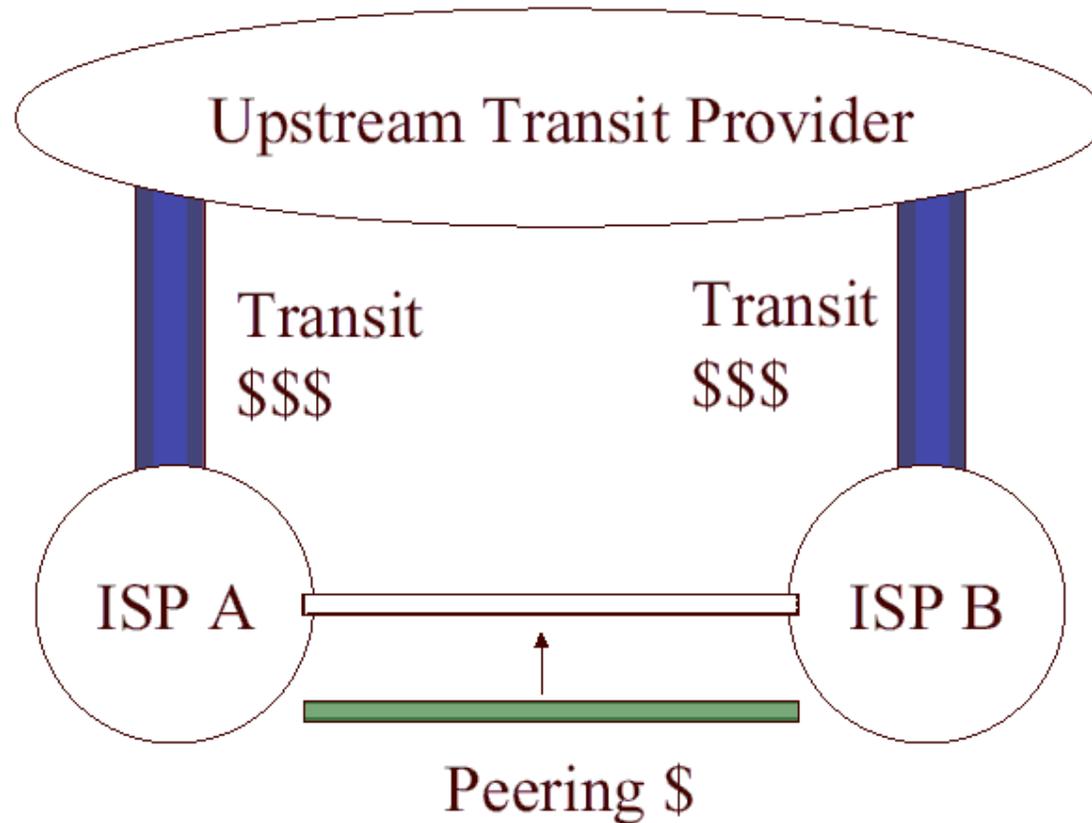


...for a (transit) fee of course.



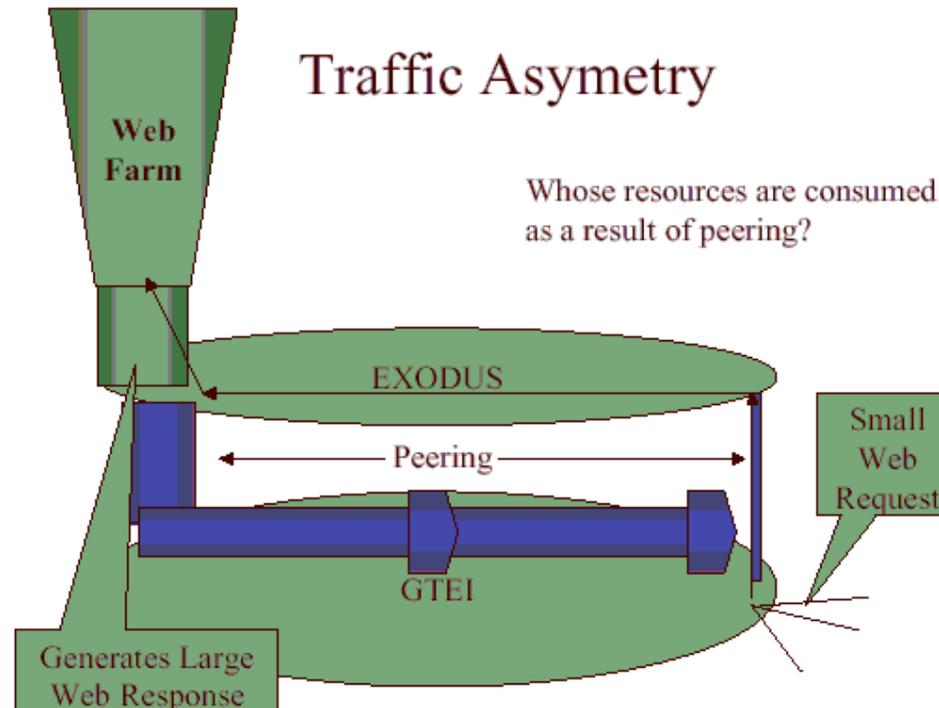
Peering ou transit?

- Le transit peut coûter assez cher (\$150000/mois pour un transit sur un OC-3)
- Le peering privé est souvent rentable



Mais attention à l'asymétrie!!

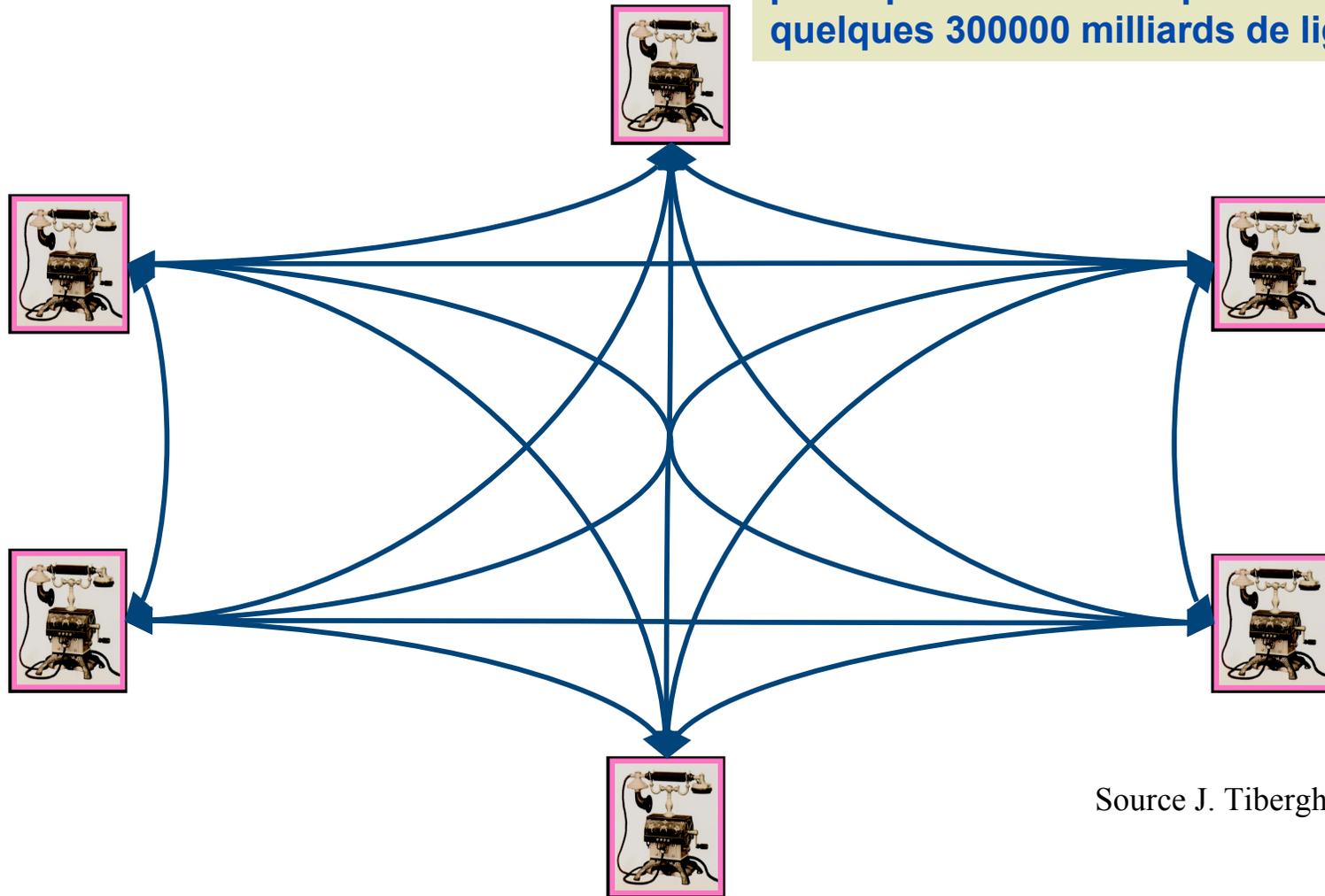
- Un ISP avec beaucoup de contenu peut consommer beaucoup de ressources chez l'ISP voisin! Un rapport (4:1) est souvent mis dans les contrats.



Les réseaux de télécommunication et de transport

Le réseau téléphonique

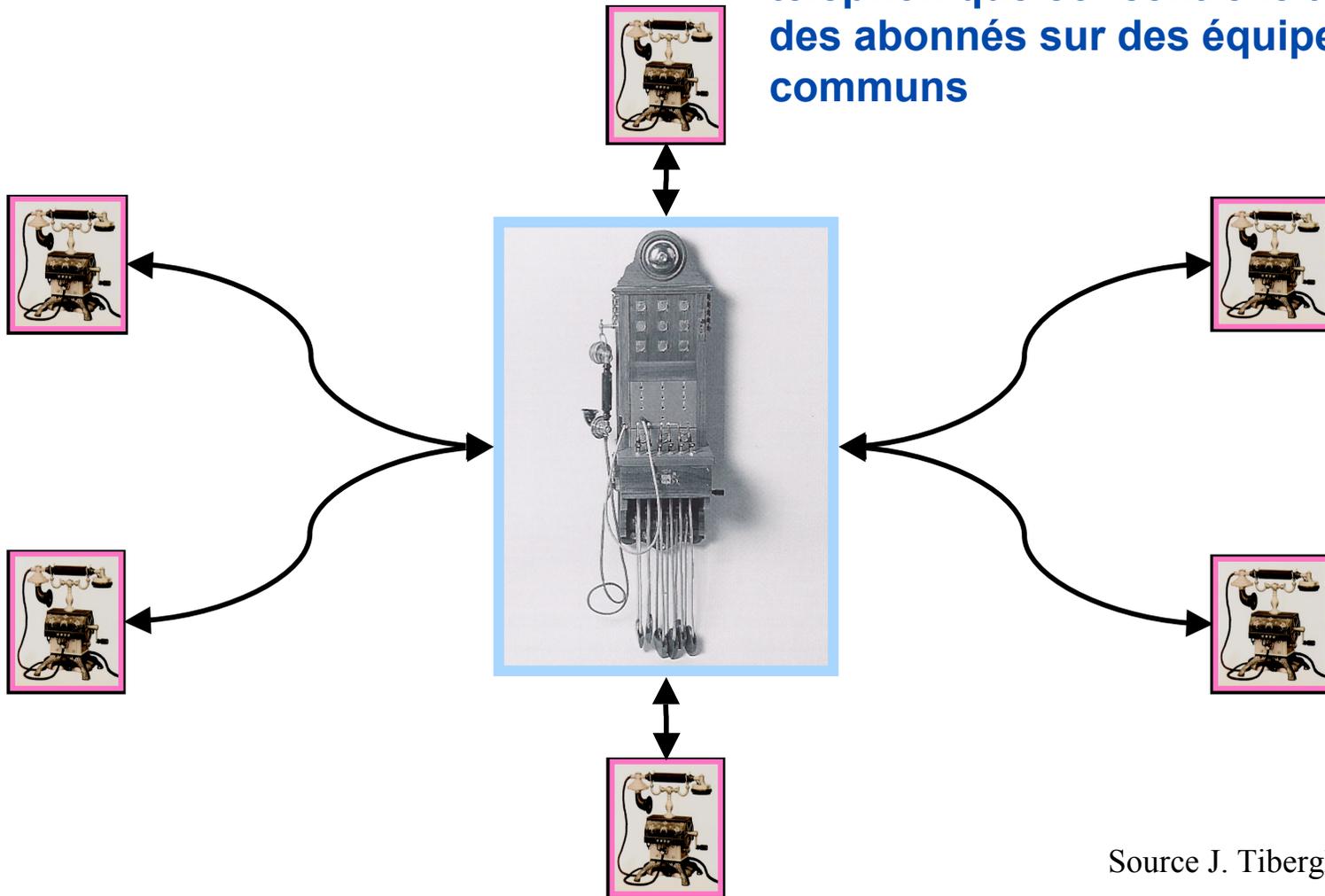
Le téléphone est installé dans 96% des ménages français. Si les postes des ces 26 millions d'abonnés étaient reliés deux à deux, le réseau téléphonique national compterait quelques 300000 milliards de lignes!



Source J. Tiberghien, VUB

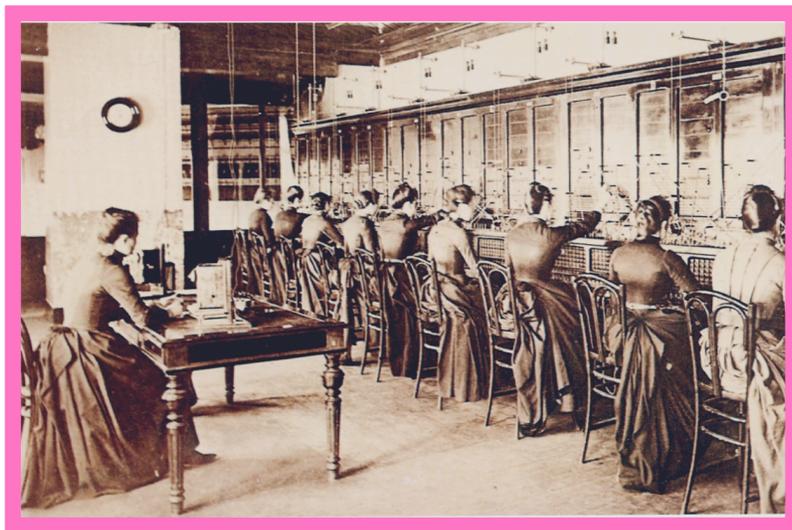
Le téléphone avec un commutateur central

Pour éviter ce schéma, le réseau téléphonique concentre le trafic des abonnés sur des équipements communs



Source J. Tiberghien, VUB

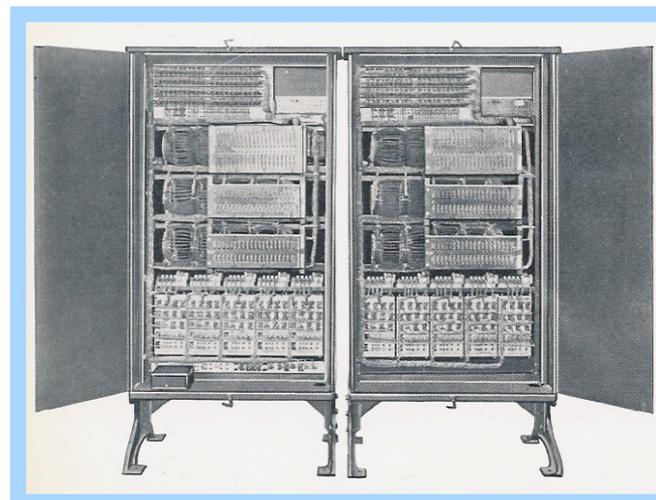
Commutateurs automatiques



*Le premier commutateur automatique:
L'histoire de Almond B. Strowger, 1891...*

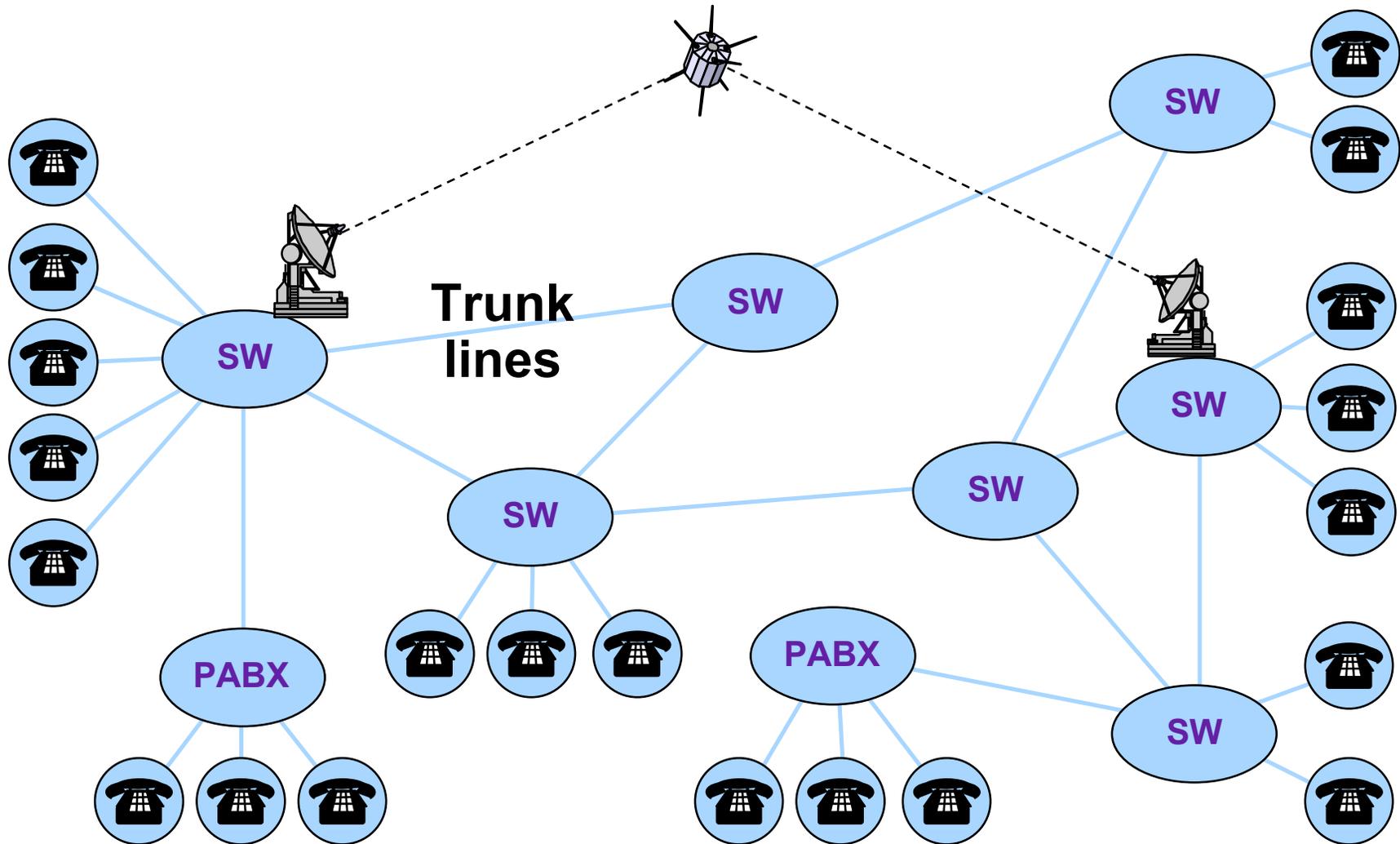
**Les conversations avec un
opérateur sont remplacées par
un protocole de signalisation**

- Voix: analogique
- Signalisation: numérique

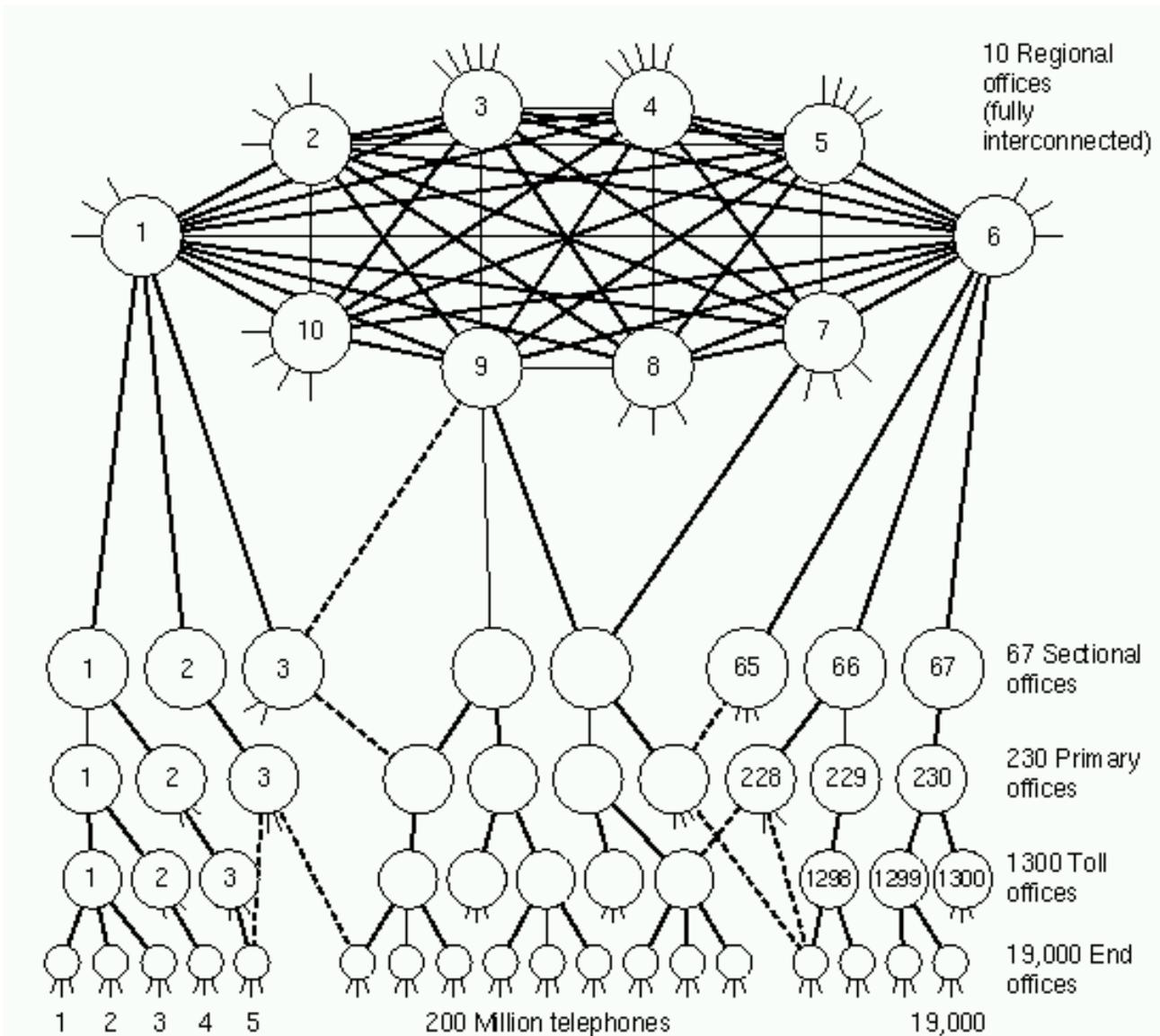


Source J. Tiberghien, VUB

Le réseau téléphonique



Routage dans les réseaux téléphoniques



Comparaison: routage téléphonique et routage dans l'Internet

■ Réseau téléphonique

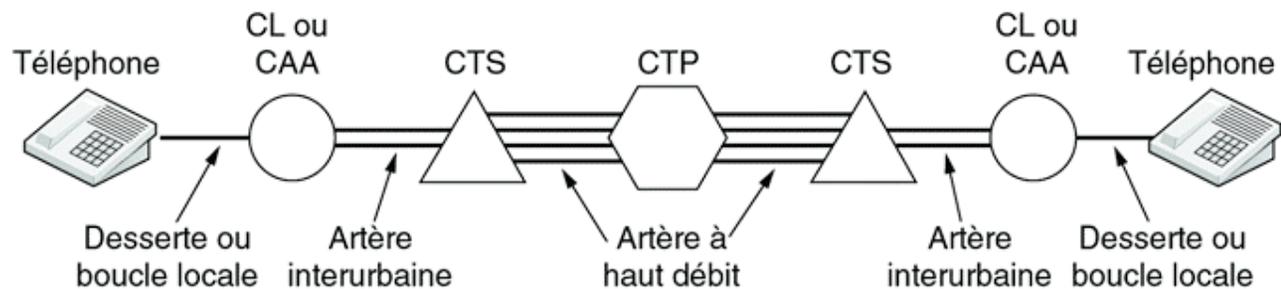
- le trafic téléphonique est assez prédictible, la charge est constante,
- le « core network » est de taille modeste et est pratiquement complètement maillé,
- généralement il existe plusieurs chemins de longueur identique,
- les commutateurs et les liens sont très fiables,
- généralement, une seule organisation contrôle une infrastructure donnée ce qui facilite la cohérence et les optimisations.

■ Internet

- trafic non prévisible, la connectivité ne demande pas un débit minimale,
- le « core network » est grand,
- les routeurs ne maintiennent généralement pas de chemins alternatifs,
- manque de fiabilité,
- contrôle distribué.

Le réseau téléphonique: évolution

- **Initialement conçu pour le transport de la voix**
 - fils de cuivre, câble coaxiaux
 - le réseau garanti la qualité de la connexion
- **De nos jours, l'infrastructure principale est en fibre optique, seule la boucle locale est en fils de cuivre**
 - plus grand débit dans les gros tronçons
 - pose récente de 40000km de fibres par France Telecom

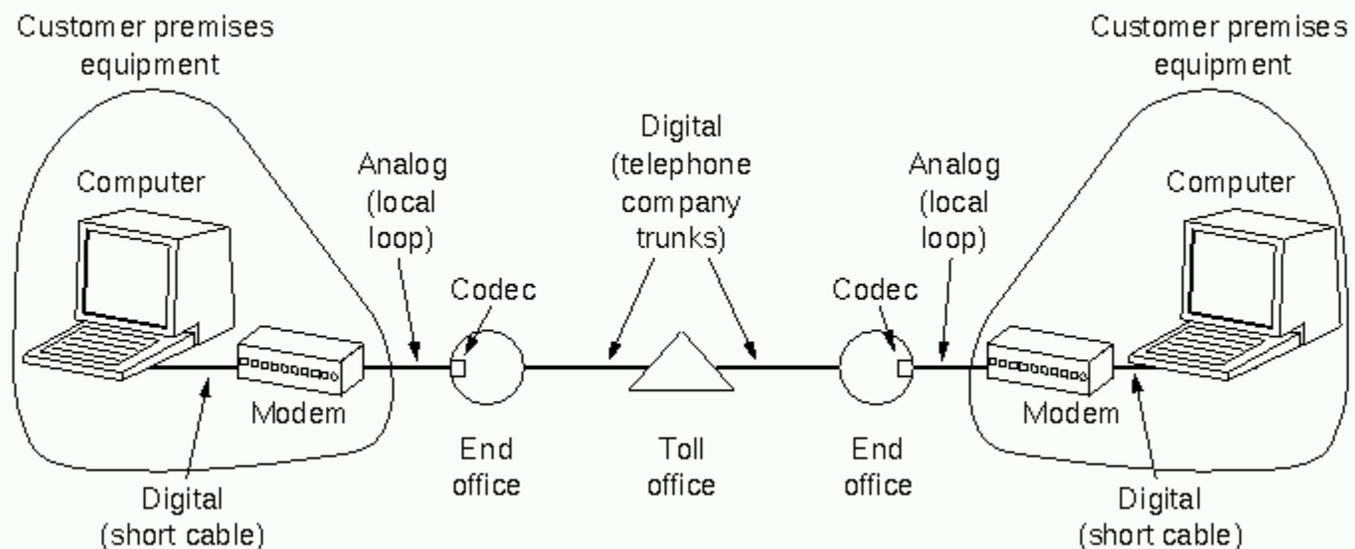


Légende

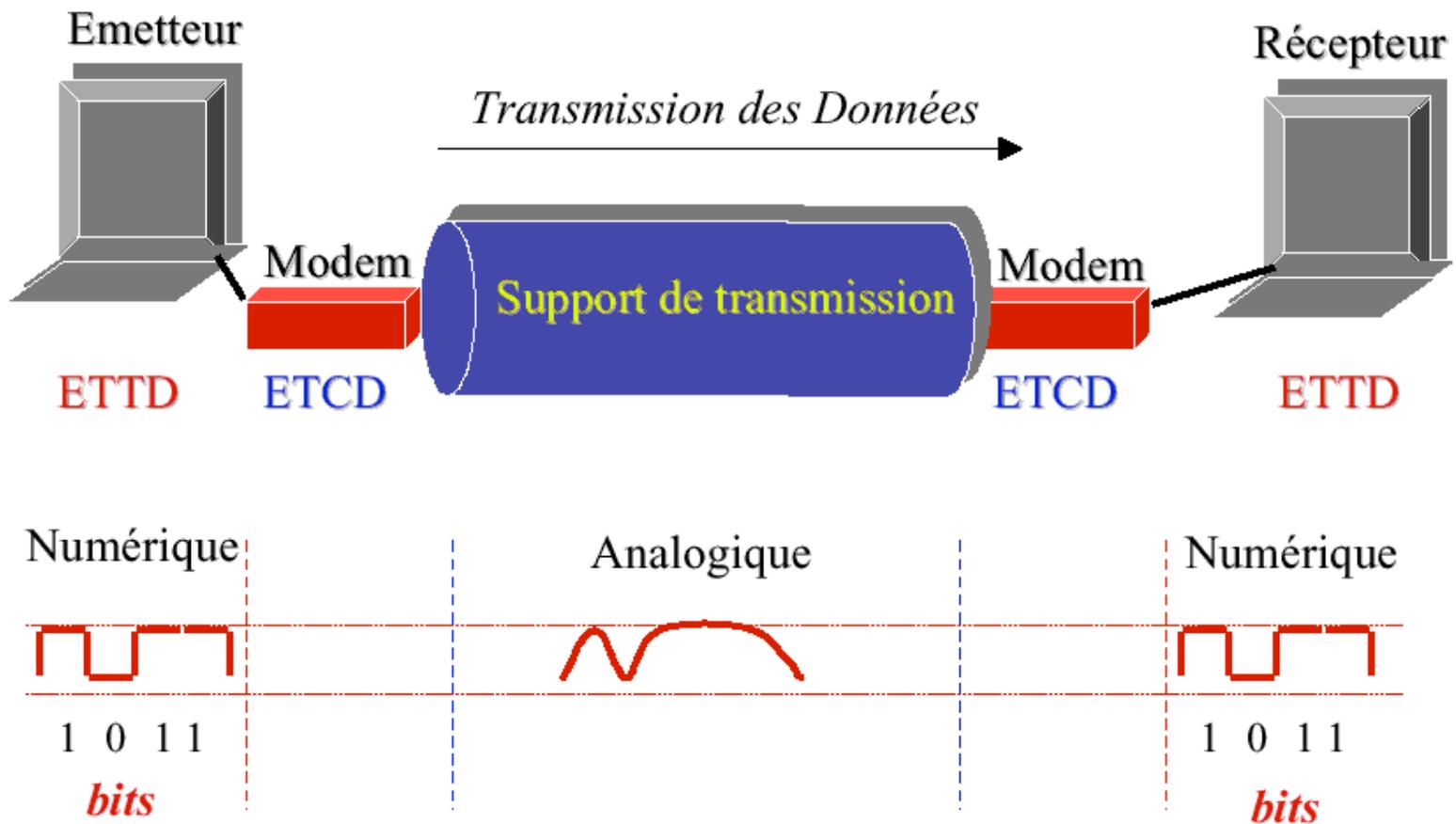
CL ou CAA	= Commutateur Local ou Commutateur à Autonomie d'Acheminement
CTS	= Centre de Transit Secondaire
CTP	= Centre de Transit Primaire

L'abonné et la boucle locale

- La boucle locale reste par souci d'économie en simple paire torsadée avec transmission analogique dans la gamme de fréquence 350Hz-3750Hz
- L'abonné doit utiliser un modem (modulateur-démodulateur) pour transformer les signaux numériques issus de son ordinateur en signaux analogiques acceptables par le réseau téléphonique

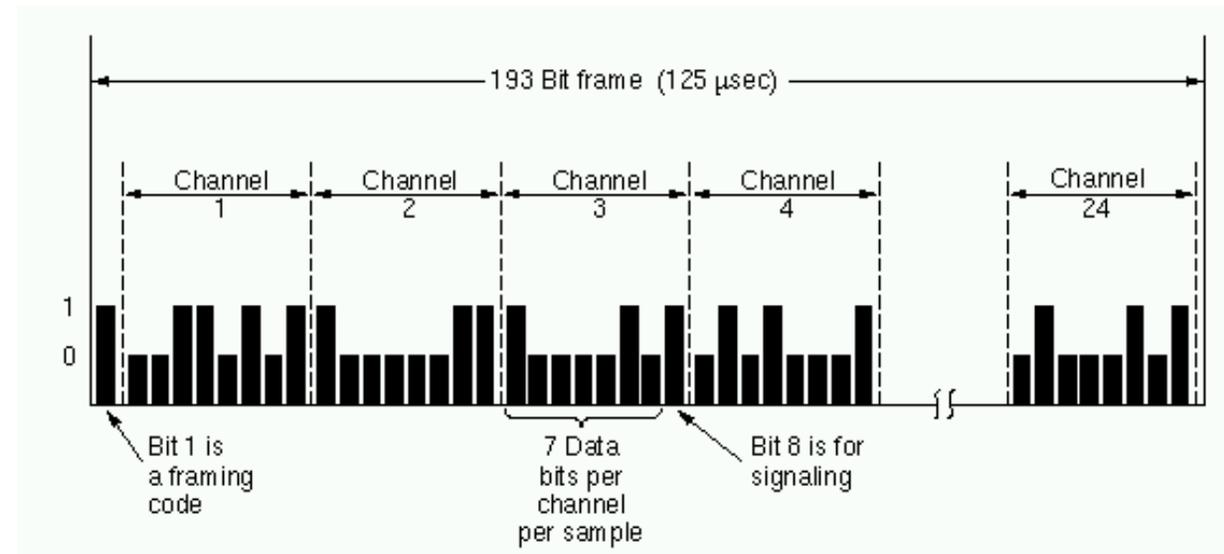


Nature de l'information véhiculée



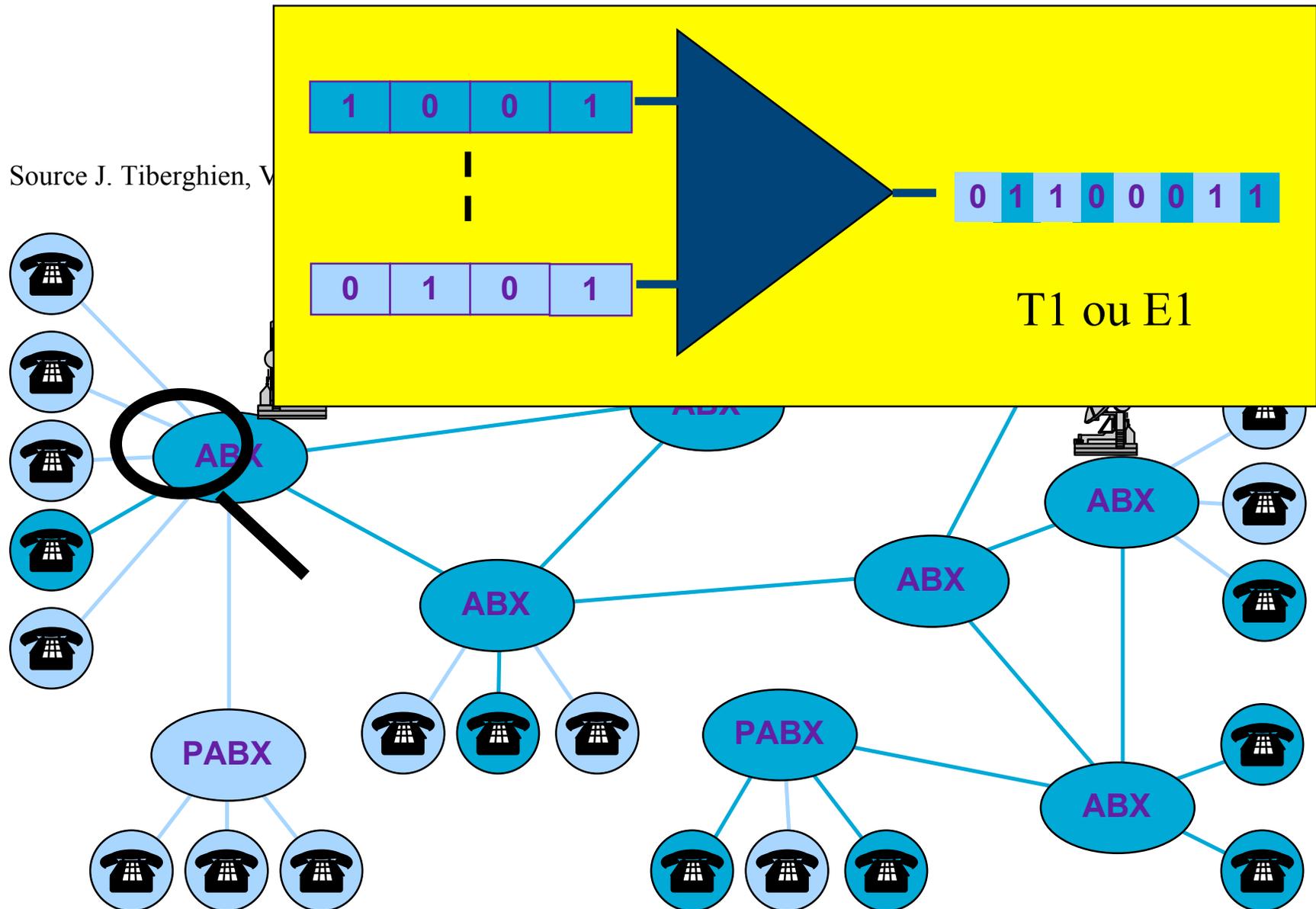
Numérisation de la voix

- **Numérisation de la voix pour la faire passer dans un canal de 4KHz du réseau téléphonique**
 - échantillonnage à 8KHz pour produire 8000 échantillons de 7 ou 8 bits. Un échantillon toute les 125 us (Pulse Code Modulation).
 - Débit = 64 Kbits/s
- **Une ligne T1 groupe 24 canaux de communication**
 - Trame de 193 bits ($24 \times 8 + 1$) périodiquement émise
 - Débit brut de 1.544 Mbits/s.

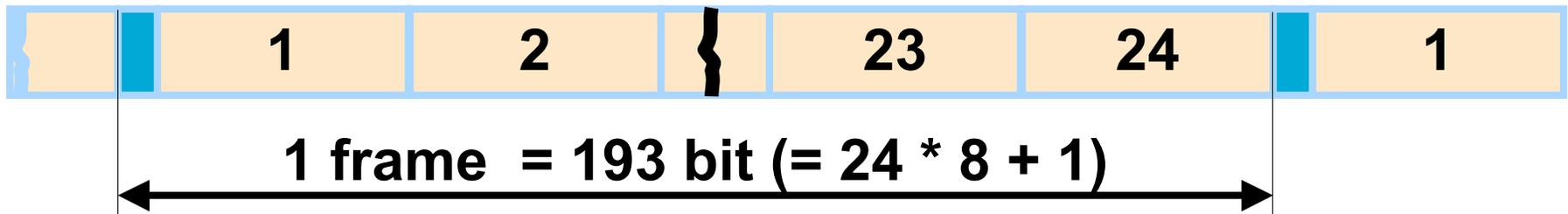


Zoom sur les accès

Source J. Tiberghien, V

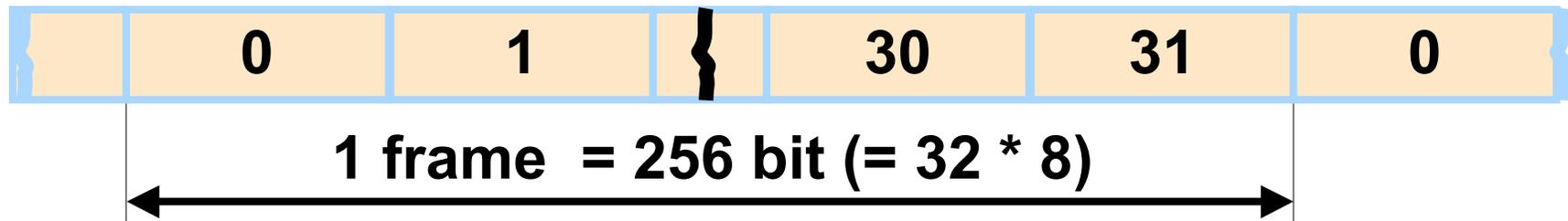


Bell D2 system (DS1/T1) (CCITT G733)



Frame duration :	125 μ S	= 1 / 8000
Number of channels :	24	
Frame length :	193 bit	= 8 * 24 + 1
Bit frequency :	1544 kHz	= 193 / 125.10 ⁻⁶
Signaling :	least significant bit stolen once every 6 frames	
Signaling rate :	1.3 kb/s	= 8000 / 6
Frame synchronization by bit 0		

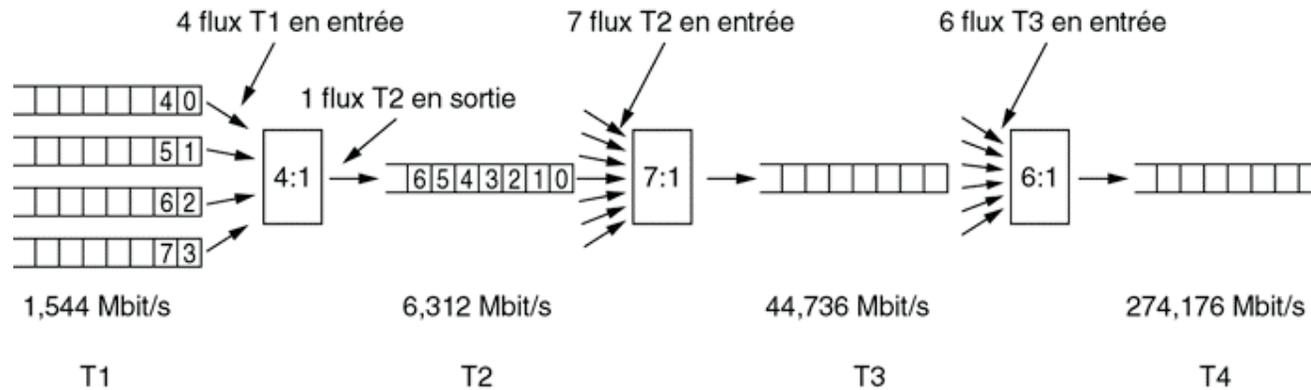
CEPT 30 (E1) (CCITT G732)



Frame duration : 125 μ S = 1 / 8000
Number of channels : 30
Frame length : 256 bit = 8 * 32
Bit frequency : 2048 kHz = 256 / 125.10⁻⁶
Signaling : Slot 16 reserved
Channel Signaling : 2 kb/s = 64 / 32 kb/s
Common Signaling : 64 kb/s
Frame sync. and link management by slot 0

T1/E1 represents the main underlying technologies for dedicated leased lines: Transfix in France for example Bandwidth from 2400bps to 45Mbps (T3 in US)

Hiérarchie de multiplexage



© Pearson Education France

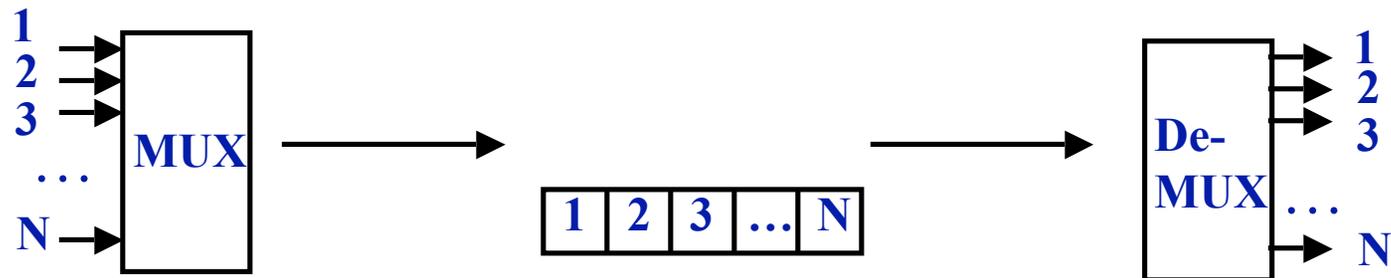
Ligne	Débit	Canaux	Ligne	Débit	Canaux/Utilisés
T1	1.544	24	E1	2.048	32/30
T2	6.312	96	E2	8.448	128/120
T3	44.736	672	E3	34.368	512/480
T4	274.176	4032	E4	139.264	2048/1920
			E5	565.148	8192/7680

Background: Circuit switch

- **A switch that can handle N calls has N logical inputs and N logical outputs**
 - N up to 200,000
- **Moves 8-bit samples from an input to an output port**
 - Recall that samples have no headers
 - Destination of sample depends on time at which it arrives at the switch
- **In practice, input trunks are multiplexed**
 - Multiplexed trunks carry frames = set of samples
- **Goal: extract samples from frame, and depending on position in frame, switch to output**
 - each incoming sample has to get to the right output line and the right slot in the output frame

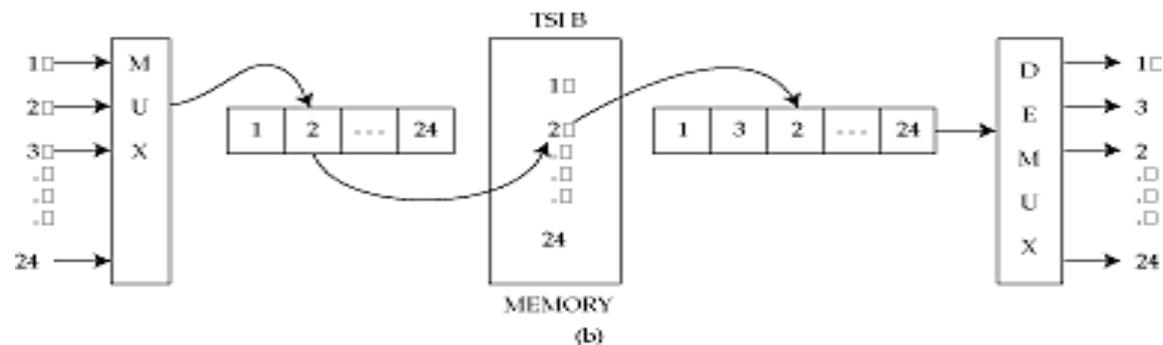
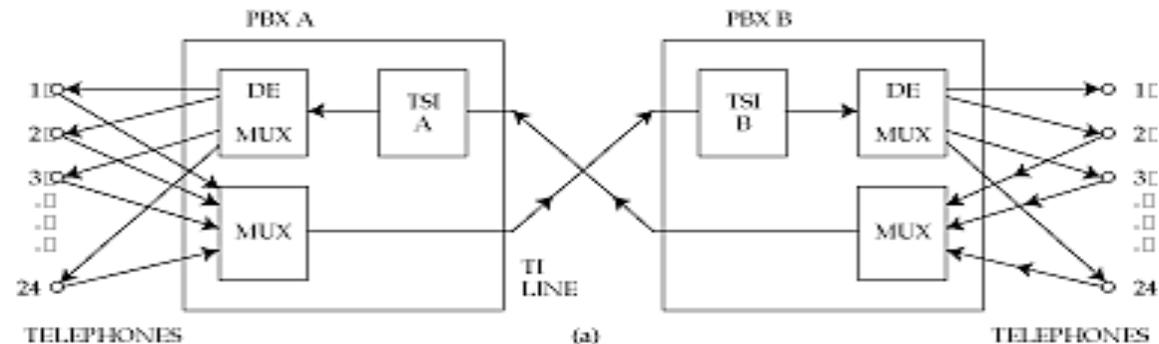
Multiplexors and demultiplexors

- Most trunks time division multiplex voice samples
- At a central office, trunk is demultiplexed and distributed to active circuits
- Synchronous multiplexor
 - N input lines
 - Output runs N times as fast as input



Time division switching

- Key idea: when de-multiplexing, position in frame determines output trunk
- Time division switching interchanges sample position within a frame: time slot interchange (TSI)



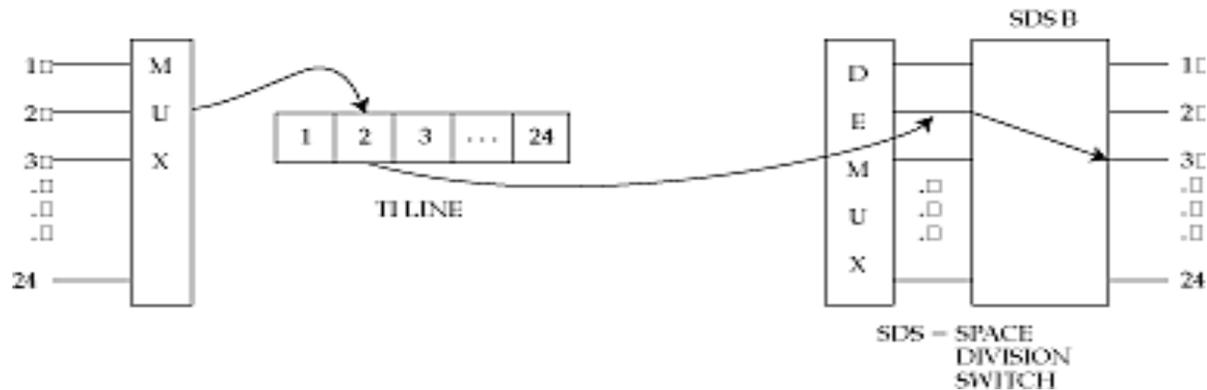
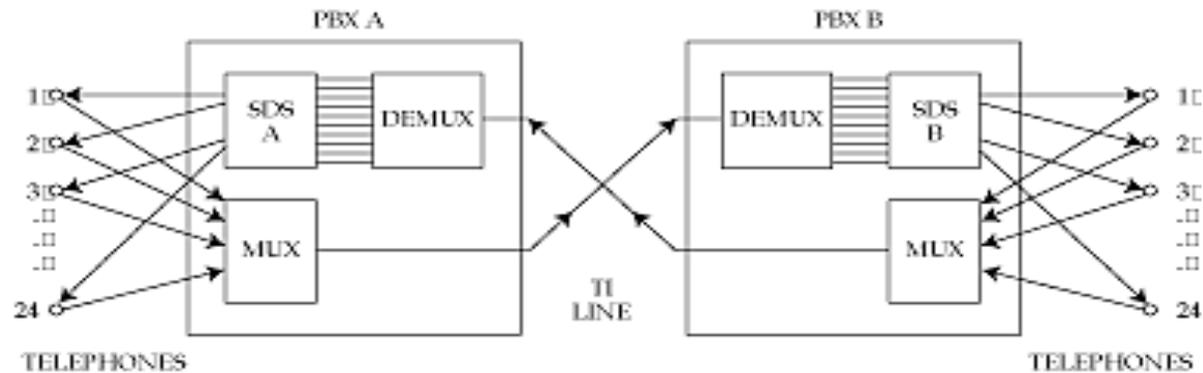
Time Division Switching: Limitations

■ To build a 120,000 circuit switch

- read and write samples 120,000 every 125us, a R&W operation in 0.5 ns!
- Today DRAM has access time from 80 to 40 ns
- If we use 40 ns DRAM, it's 80 times more than what we need
- Maximum #circuit= $120,000/80=1500!$
- Too small!!

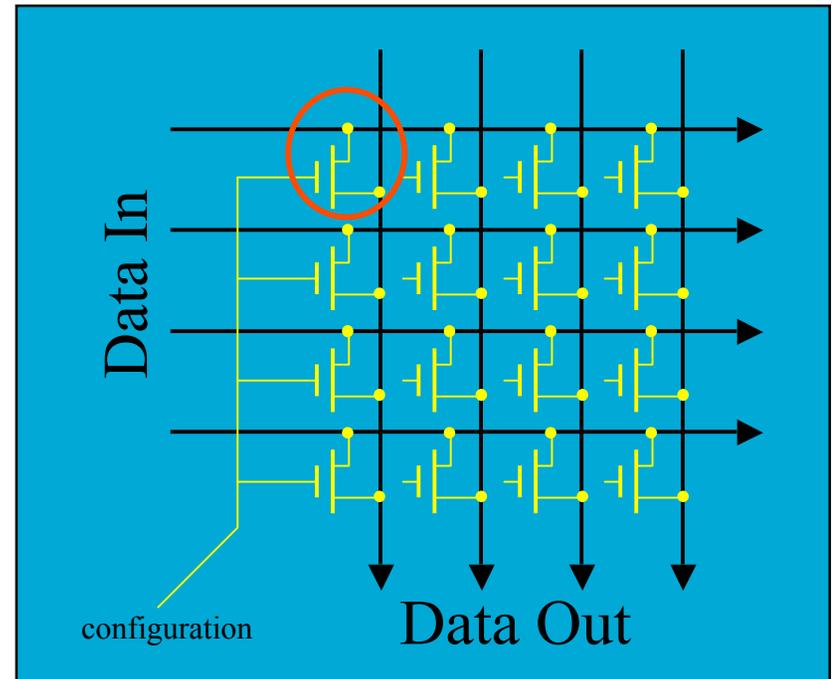
Space division switching

- Each sample takes a different path through the switch, depending on its destination



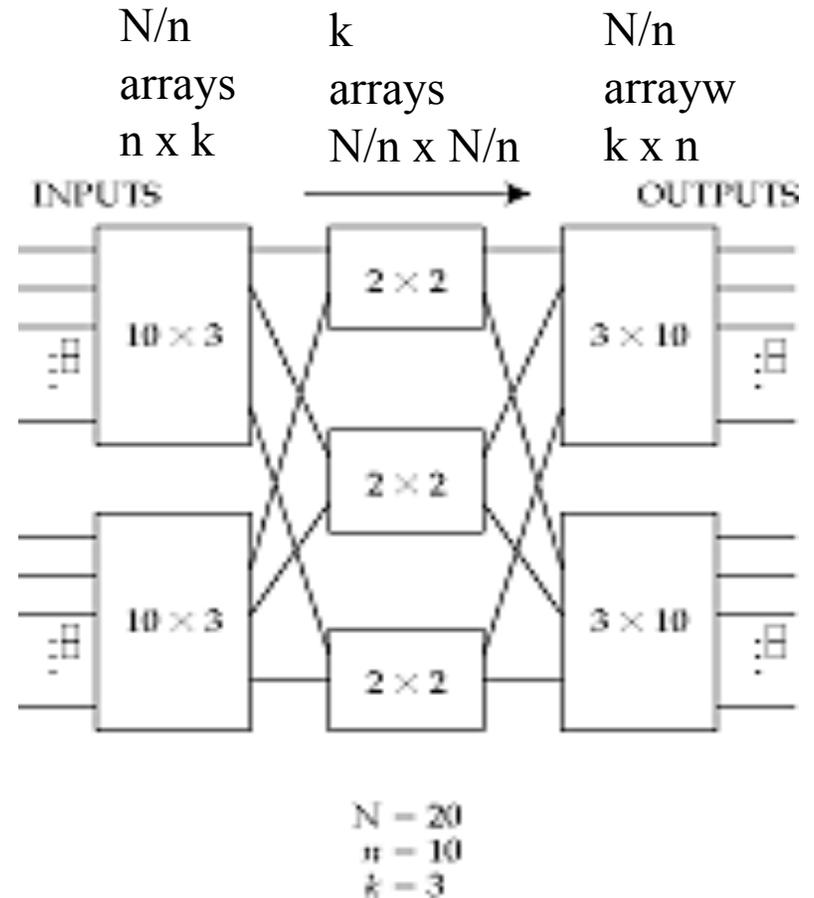
Crossbar

- **Simplest possible space-division switch**
- **Crosspoints can be turned on or off, long enough to transfer a packet from an input to an output**
- **Expensive**
- **Internally nonblocking**
 - but need N^2 crosspoints
 - time to set each crosspoint grows quadratically



Multistage crossbar

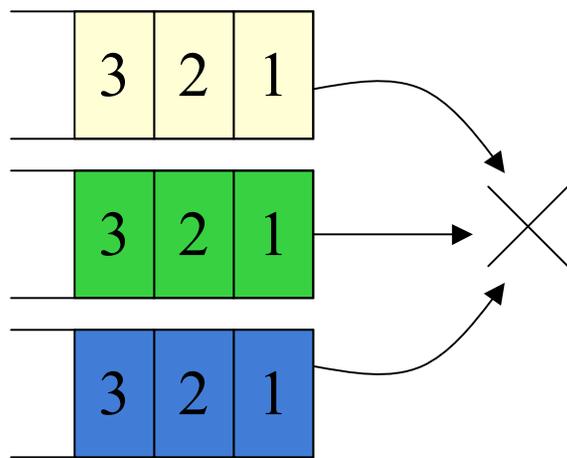
- In a crossbar during each switching time only one cross-point per row or column is active
- Can save crosspoints if a cross-point can attach to more than one input line
- This is done in a multistage crossbar



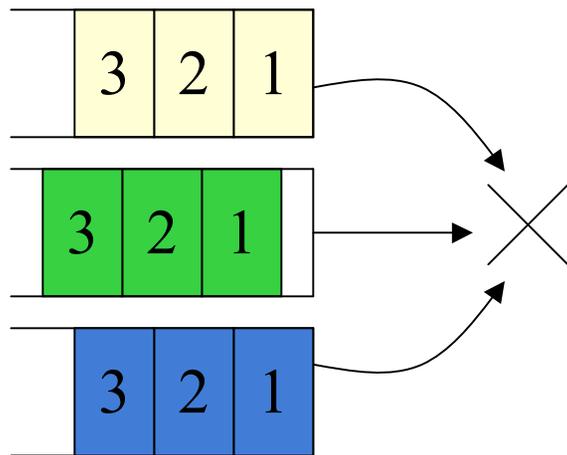
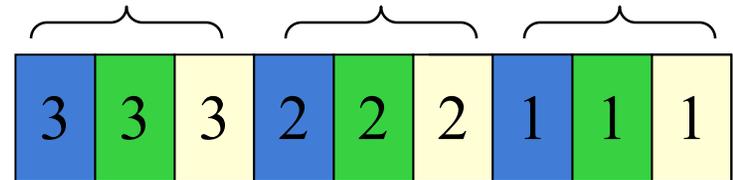
Plesiochronous Digital Hierarchy

- Le remplacement des structures de télécommunication s'est faite au fur et à mesure avec un mélange de lignes numérique (type E1/T1) et de lignes encore analogiques. De ce fait, les horloges des différentes lignes n'étaient pas exactement synchronisées. Le multiplexage de ces lignes occasionnait une différence entre les horloges.
- Pour pallier à ces problèmes, on utilise un débit en sortie supérieur à la somme des débits d'entrées pour pouvoir compenser les différences d'horloge en rajoutant de bits de bourrage. Ce principe s'appelle PDH pour Plesiochronous Digital Hierarchy (presque synchrone).
- L'inconvénient était de ne pas pouvoir déterminer de manière sûre le début d'un canal multiplexé sans le dé-multiplexer au préalable. La conséquence est la suivante: pour satisfaire un utilisateur désirant louer une ligne à 2 Mbits/s, l'opérateur doit complètement dé-multiplexer le flux haut-débit pour récupérer le flux à 2 Mbits/s et ensuite re-multiplexer les flux (drop-and-insert ou add-drop multiplexer).

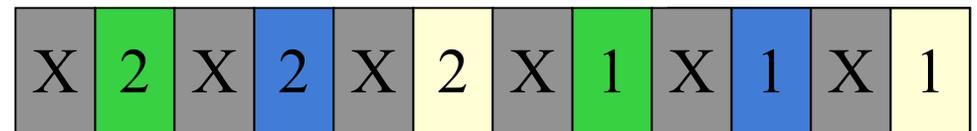
PDH, manque de synchronisme



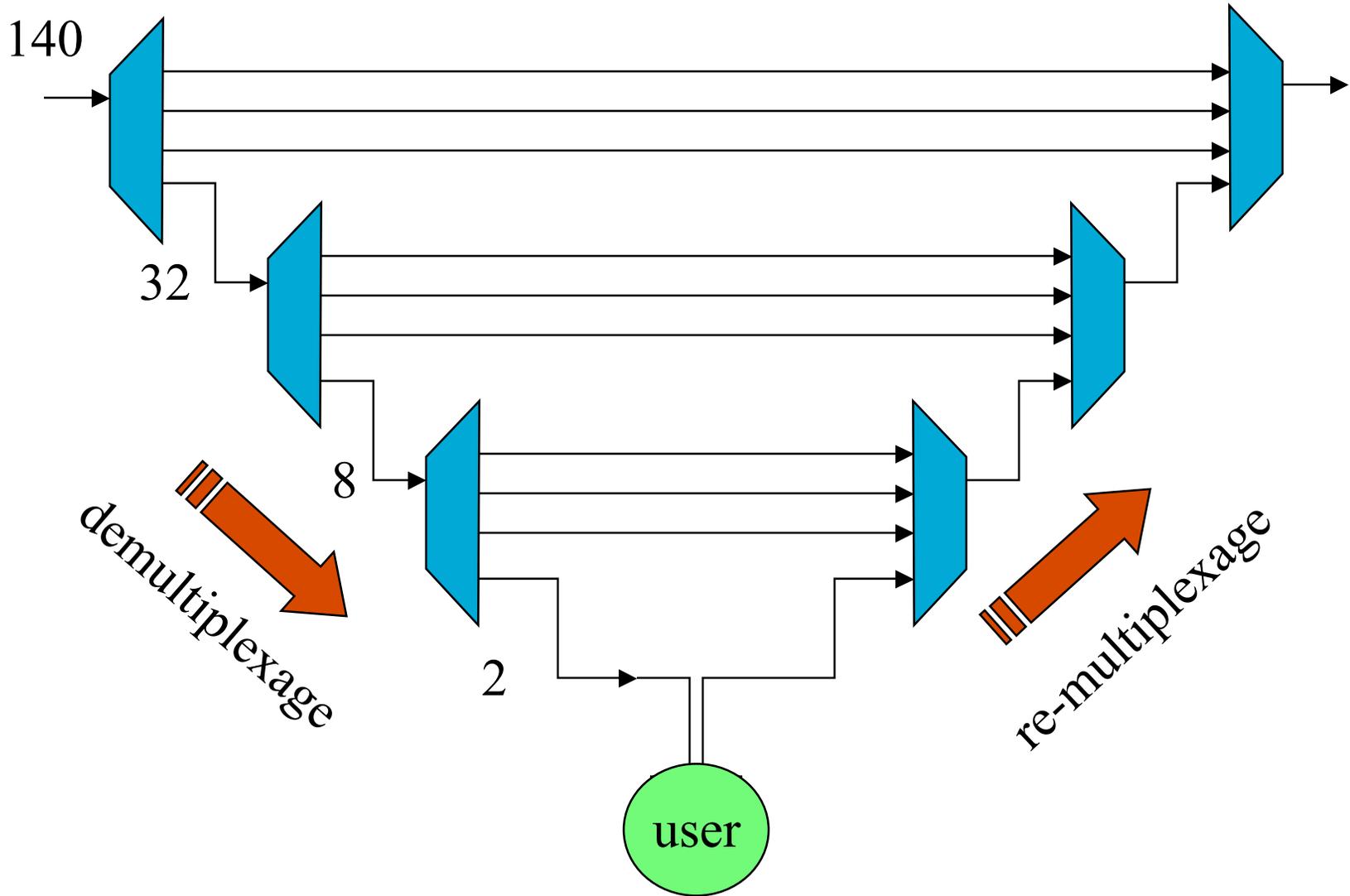
Synchrone



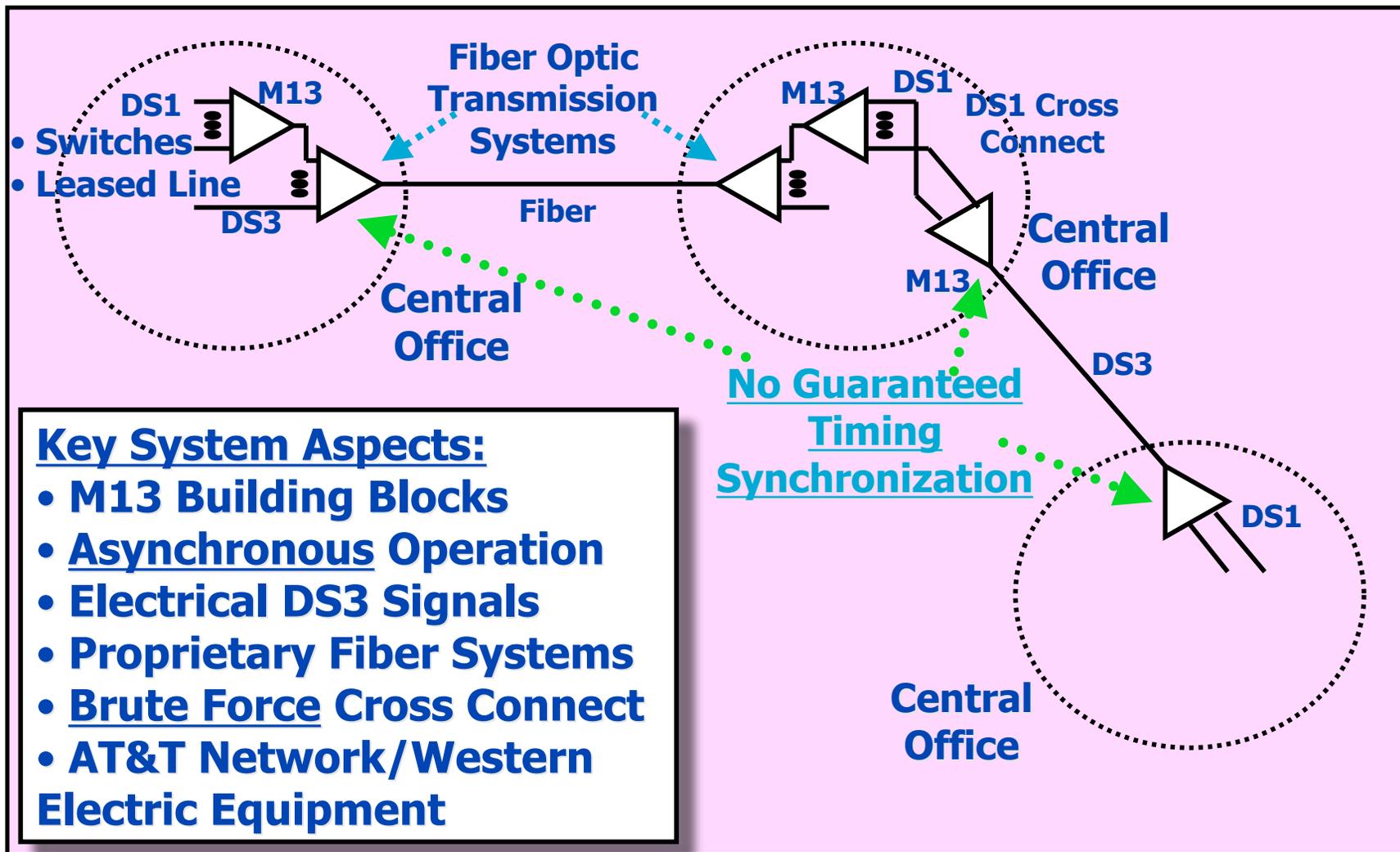
octets de bourrages



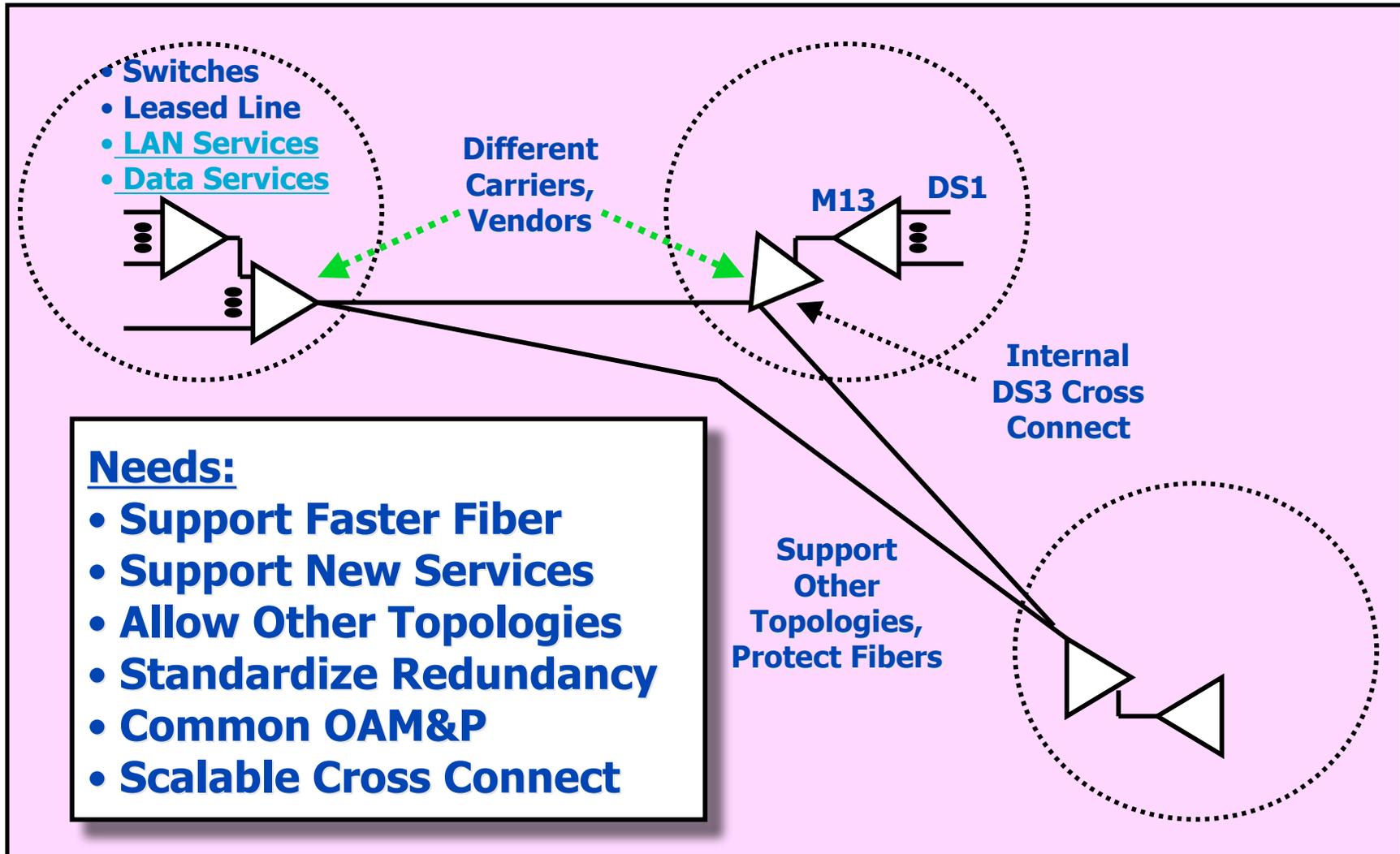
PDH: Add Drop Multiplexer



Digital Telephony in 1984



Post-AT&T Divestiture Dilemmas

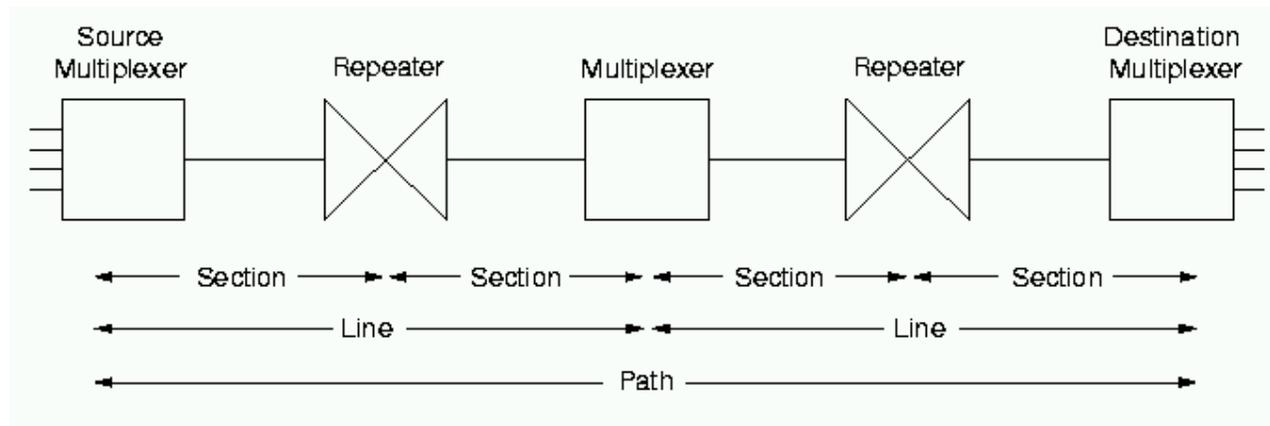


SONET/SDH

- Les inconvénients du PDH ont conduit à la définition d'une hiérarchie standard plus souple. De plus, il est devenu très vite nécessaire de pouvoir interconnecter un grand nombre de systèmes provenant de différents opérateurs (américains, européens et japonais).
- SONET (Synchronous Optical Network) a été développé par Bellcore à partir de 1985. Le CCITT s'est joint à l'effort et a également proposé des recommandations similaires appelées SDH (Synchronous Digital Hierarchy).
- Transporte tous types de trafic (IP, ATM...), fiable, tolérant aux pannes (double anneau avec résilience).

SONET/SDH

- **SONET est un système synchrone gouverné de manière très précise par une horloge commune (ex:GPS). Le système est composé de commutateurs, multiplexeurs et répéteurs.**



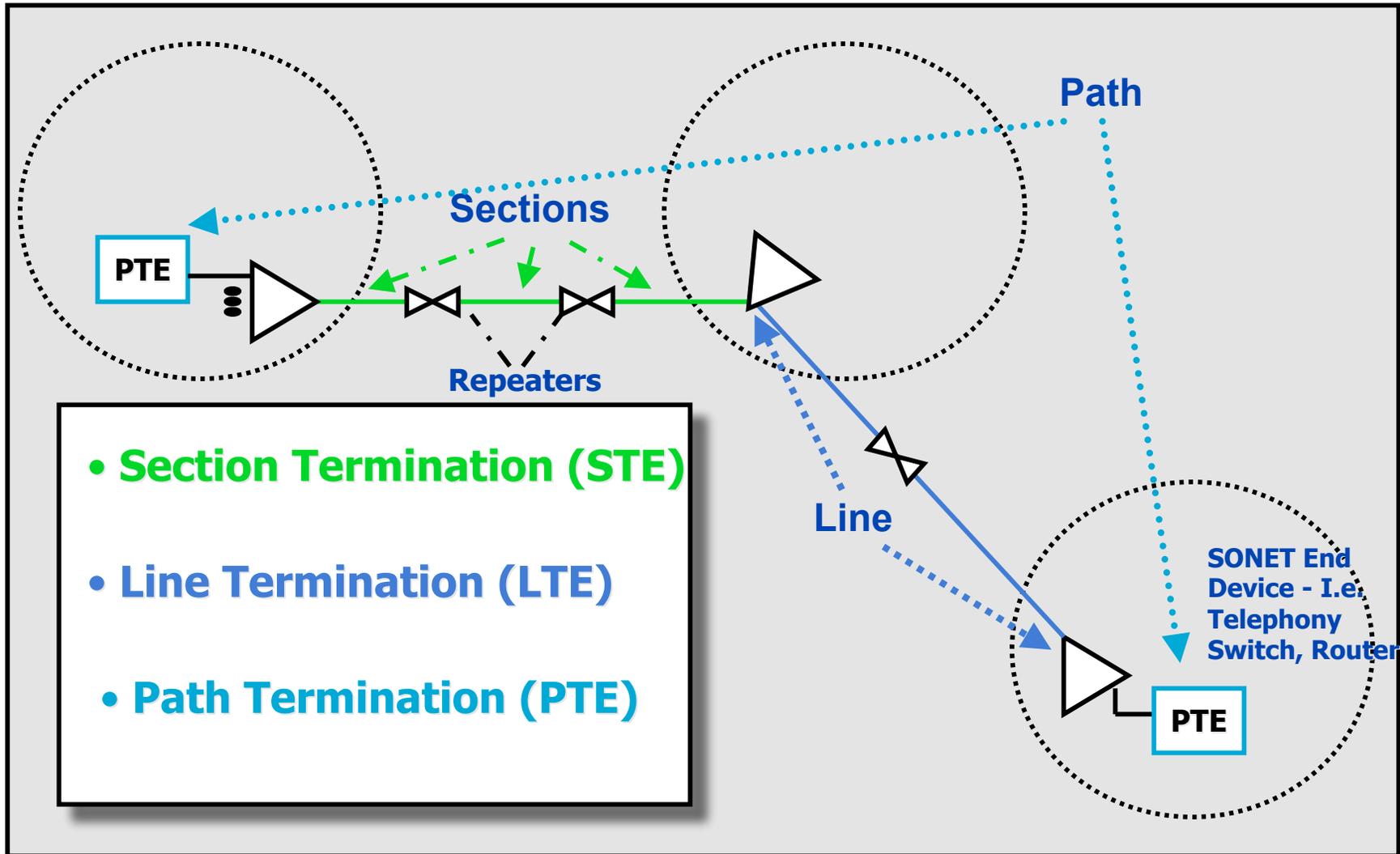
STS:
Synchronous Transport System

STM:
Synchronous Transport Module

OC:
Optical Carrier

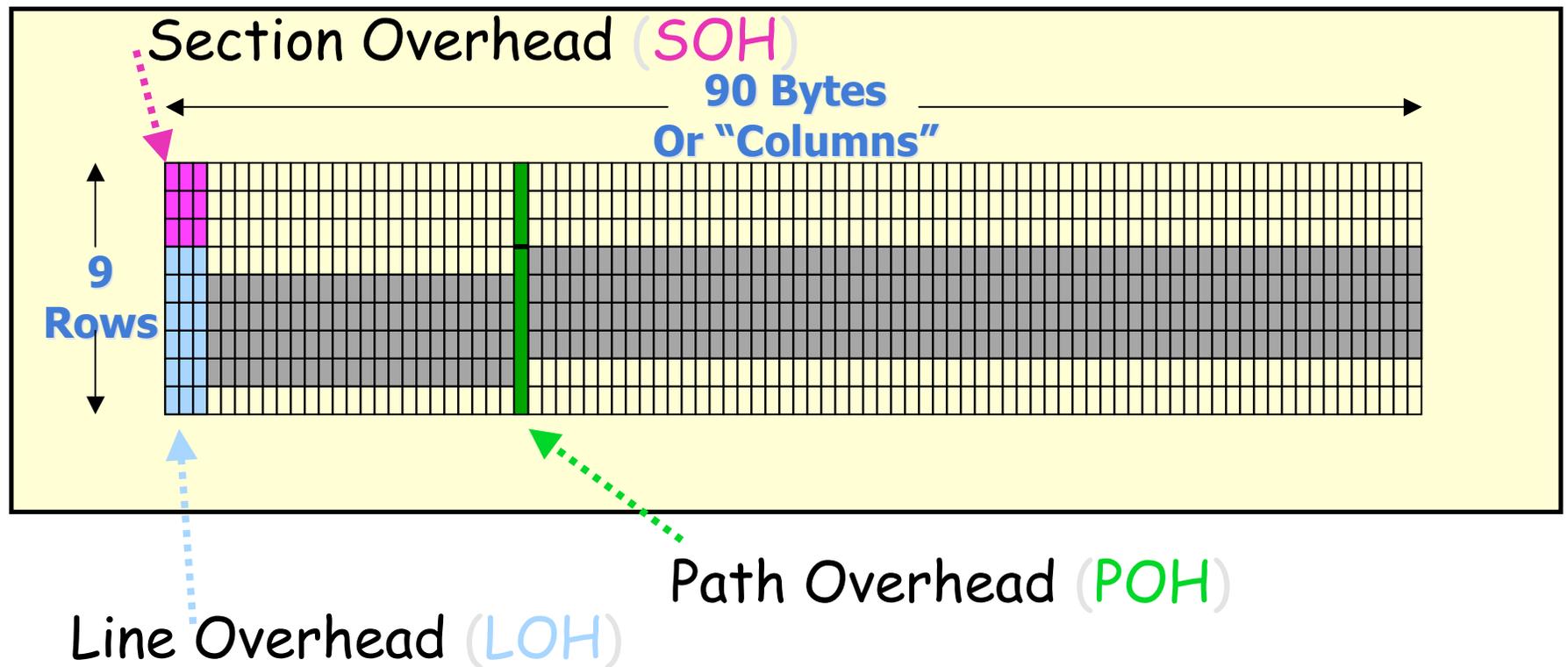
SONET	SDH	Débit (Mbits/s)
STS-1/OC-1		51.84
STS-3/OC-3	STM-1	155.52
STS-9/OC-9		466.56
STS-12/OC-12	STM-4	622.08
STS-18/OC-18		933.12
STS-24/OC-24		1244.16
STS-36/OC-36		1866.24
STS-48/OC-48	STM-16	2488.32

Infrastructure SONET/SDH



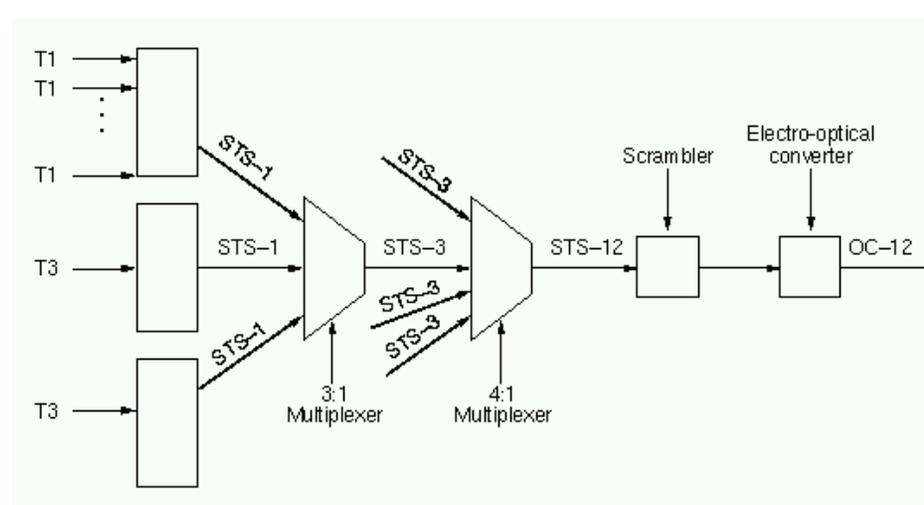
La trame SONET (1)

- La trame de base est longue de 810 octets
 - émise toute les 125 us, débit brut de 51.84 Mbits/s (STS-1)
 - mieux représenté par un bloc de 90 colonnes et 9 lignes
 - SDH définit STM-1 qui correspond à un STS-3

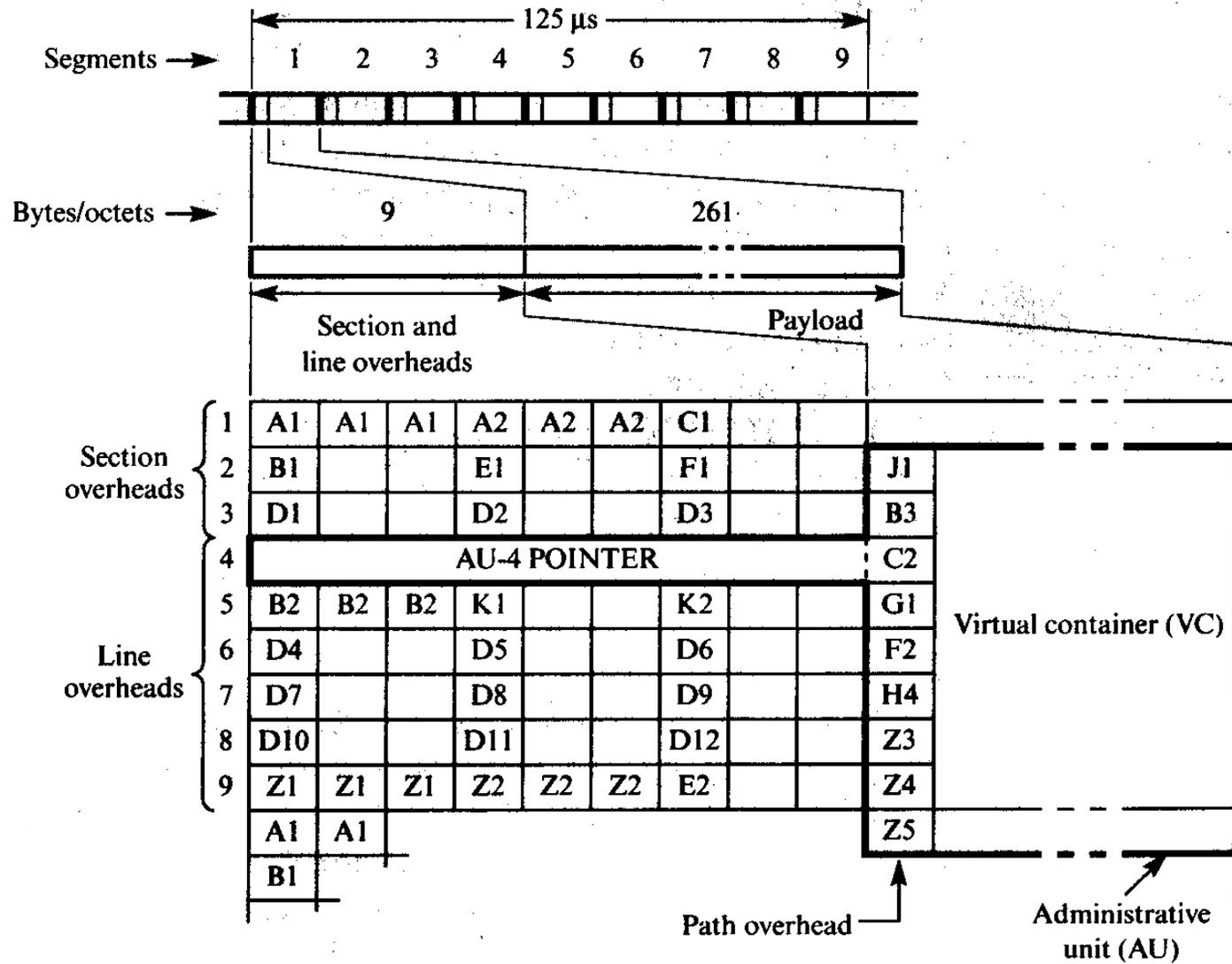


La trame SONET (2)

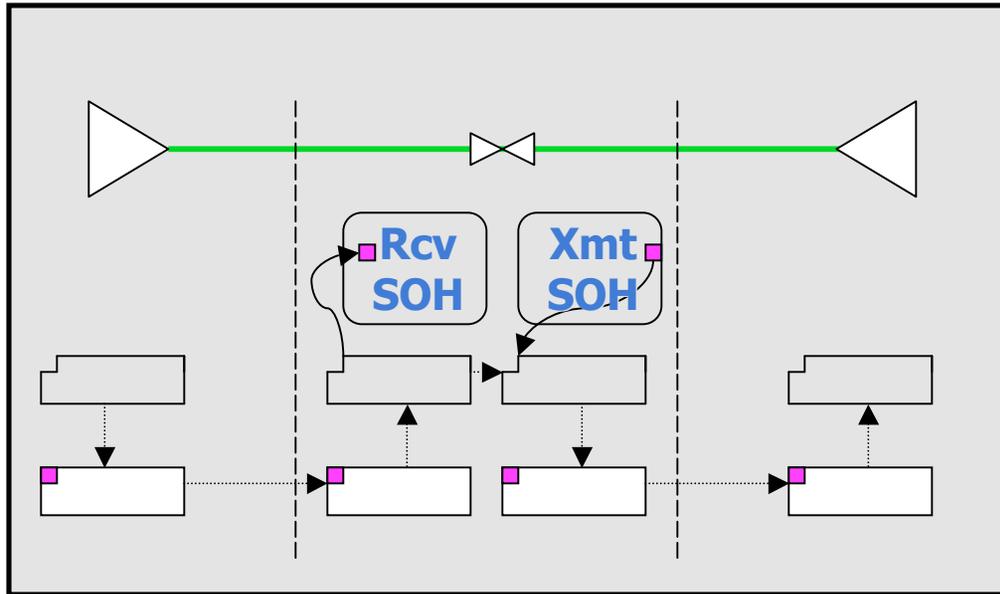
- La possibilité de commencer le SPE (Synchronous Payload Envelope) n'importe où permet de remplir à la volée les trames SONET qui passent.
- La partie réservée à la signalisation permet bien évidemment de transporter des données de synchronisation, de maintenance et d'administration mais 3 octets sont également réservés pour véhiculer un canal PCM de voix pour la maintenance.



La trame SONET - détails des pointeurs



Headers: Section Overhead (SOH)



A1 =0xF6	A2 =0x28	J0/Z0 STS-ID
B1 BIP-8	E1 Orderwire	F1 User
D1 Data Com	D2 Data Com	D3 Data Com

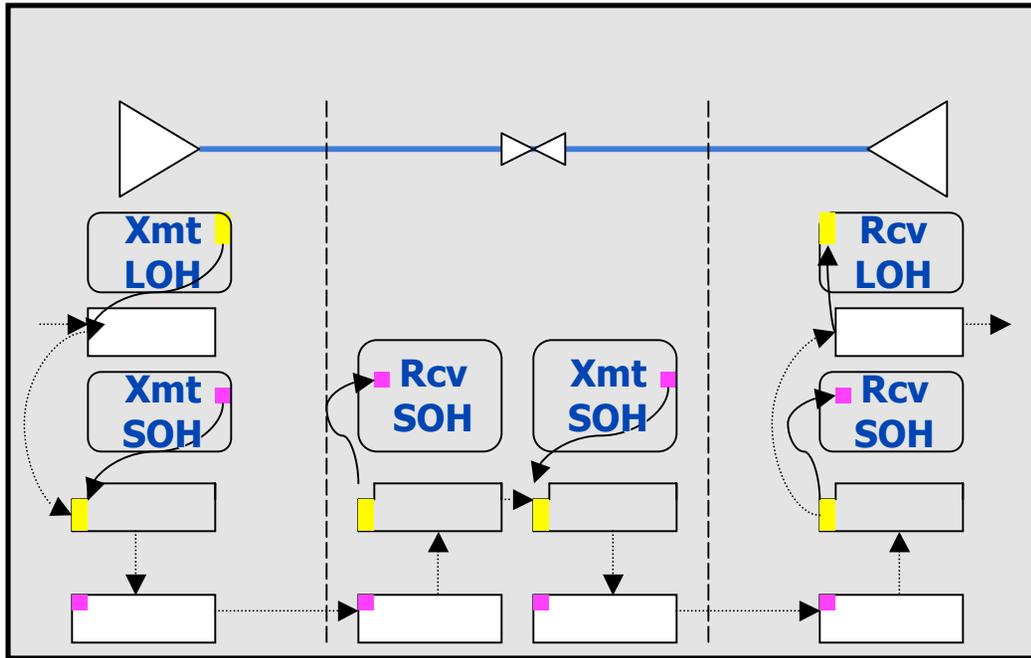
Section Overhead

- 9 Bytes Total
- Originated And Terminated By All Section Devices (Regenerators, Multiplexers, CPE)
- Other Fields Pass Unaffected

Selected Fields:

- **A1,A2** - Framing Bytes
- **BIP-8** - Bit Interleaved Parity
- **F1 User** - Proprietary Management

Headers: Line Overhead (LOH)



H1 Pointer	H2 Pointer	H3 Pointer Act
B2 BIP-8	K1 APS	K2 APS
D4 Data Com	D5 Data Com	D6 Data Com
D7 Data Com	D8 Data Com	D9 Data Com
D10 Data Com	D11 Data Com	D12 Data Com
S1 Sync	M0 REI	E1 Orderwire

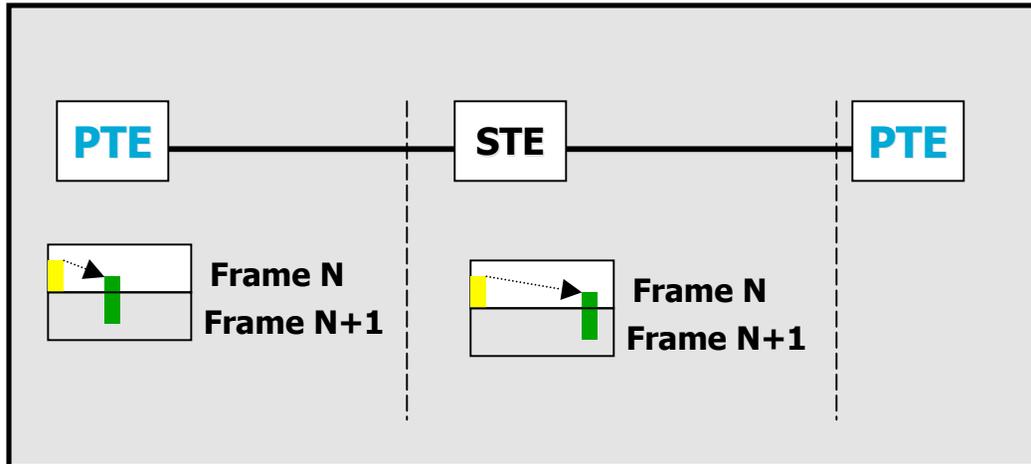
Line Overhead

- **18 Bytes Total**
- **Originated And Terminated By All Line Devices (Multiplexers, CPE)**
- **LOH+SOH=TOH (Transport OH)**

Selected Fields:

- **H1-3** - Payload *Pointers*
- **K1, K2** - *Automatic Protection Switching*
- **D4-D12** - 576 kbps
OSI/CMIP

Headers: Path Overhead (POH)



Path Overhead

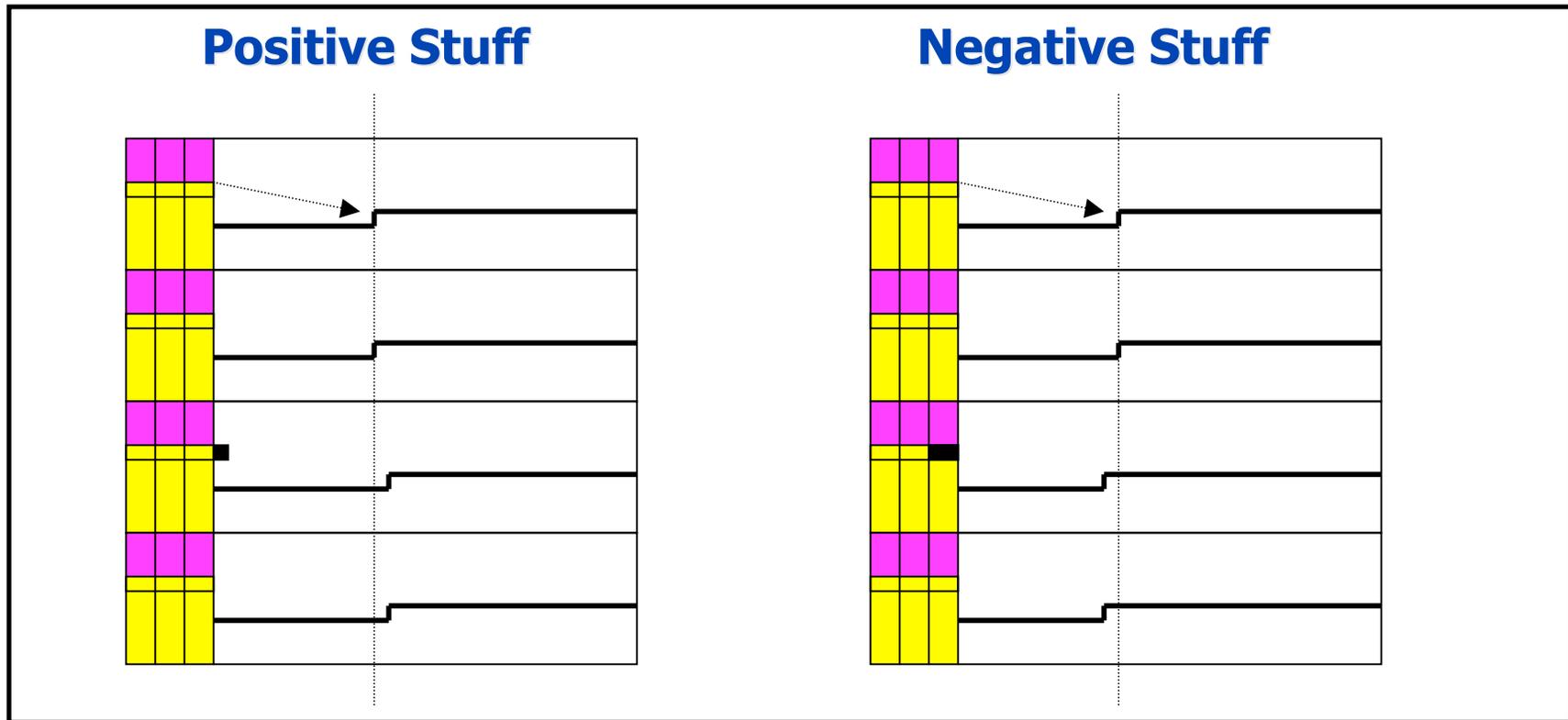
- H1, H2 fields of LOH points to Beginning of POH
- POH Beginning Floats Within Frame
- 9 Bytes (1 Column) Spans Frames
- Originated And Terminated By All Path Devices (I.e. CPE, Switches)
- STE Can Relocate Payload

J1	Trace
B3	BIP-8
C2	Sig Label
G1	Path Stat
F2	User
H4	Indicator
Z3	Growth
Z4	Growth
Z5	Tandem

Selected fields:

- BIP-8 - *Parity*
- C2 - Payload *Type* Indicator
- G1 - End End *Path Status*

Accommodating Jitter



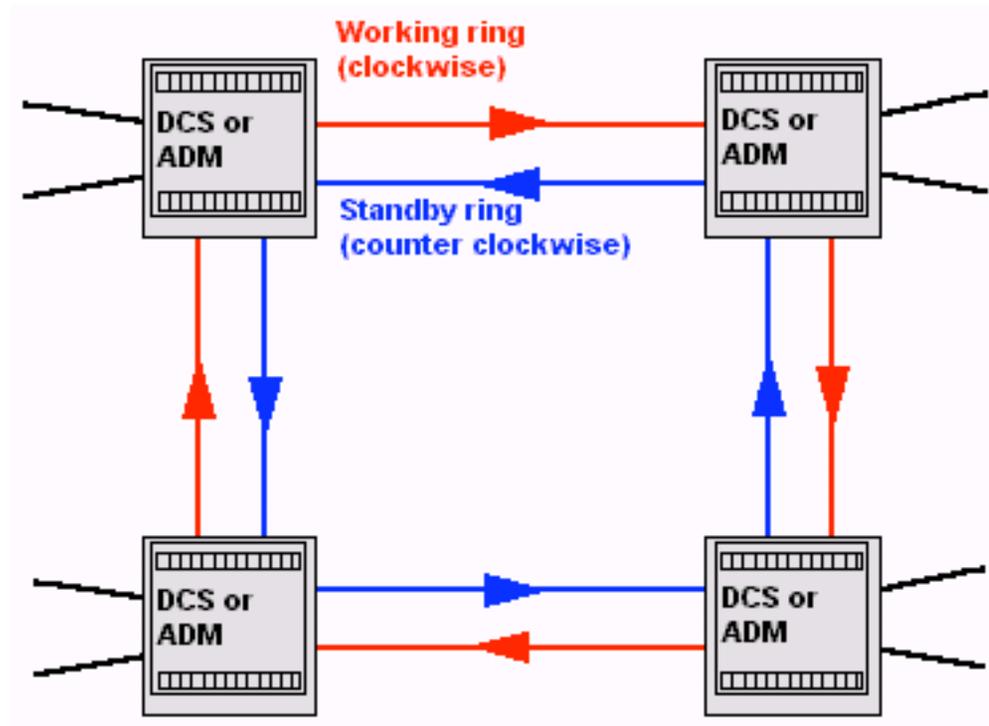
- **To Shorten/Lengthen Frame:**
 - **Byte After H3 Ignored; Or H3 Holds Extra Byte**
- **H1, H2 Values Indicate Changes - Maximum Every 4 Frames**
- **Requires Close (Not Exact) Clock Synch Among Elements**

SONET/SDH et la résilience

- L'avantage de SONET/SDH réside dans la protection contre les pannes, implémentée avec des anneaux multiples
- Ex: Cas simple

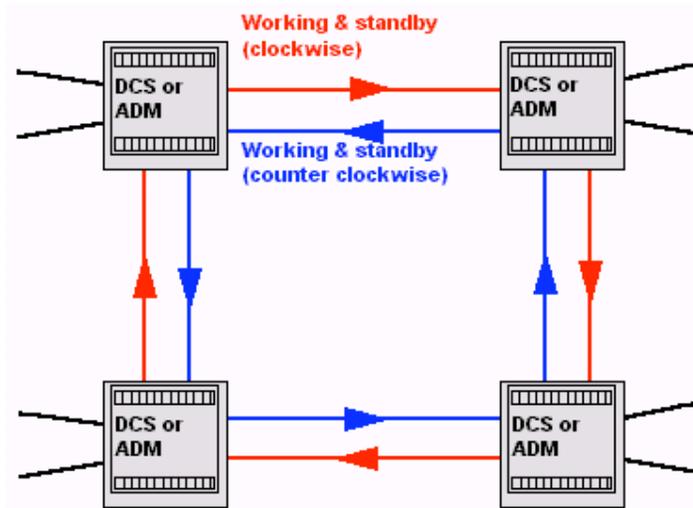
From Computer Desktop Encyclopedia
© 1999 The Computer Language Co. Inc.

DCS
(Digital Cross-Connects)



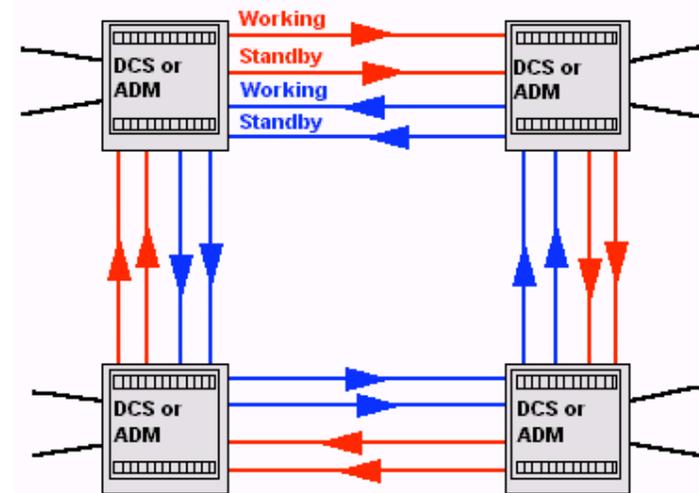
SONET/SDH et la résilience

From Computer Desktop Encyclopedia
© 1999 The Computer Language Co. Inc.



Cas bi-directionnel

From Computer Desktop Encyclopedia
© 1999 The Computer Language Co. Inc.



Cas le plus souvent utilisé
chez les opérateurs

Packet Over SONET (POS)

Standard PPP Encapsulation

- Magic Number Recommended
- No Address and Control Compression
- No Protocol Field Compression

Special Data Scrambler

- 1+ x43 Polynomial
- Protects Against Transmitted Frames Containing Synch Bytes Or Insufficient Ones Density



Standard CRC Computation

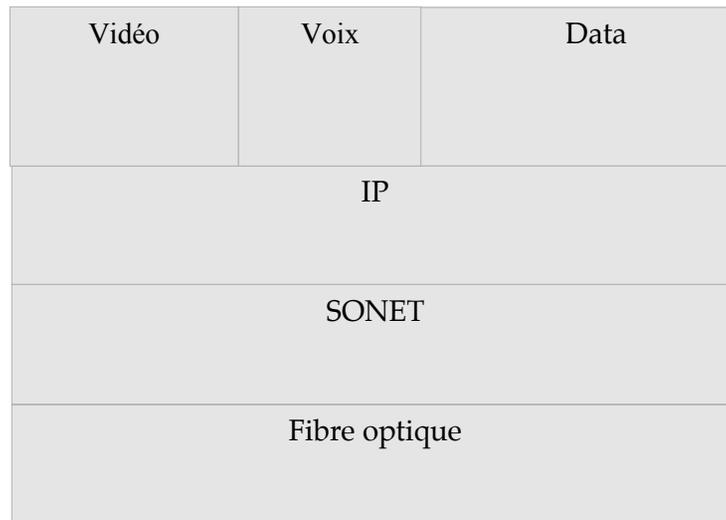
- OC3 May Use CRC-16
- Other Speeds Use CRC-32

SONET Framing

- OC3, OC12, OC48, OC192 Defined
- C2 Byte = 0x16 With Scrambling
- C2 Byte = 0xCF Without (OC-3)

Packet over SONET (POS)

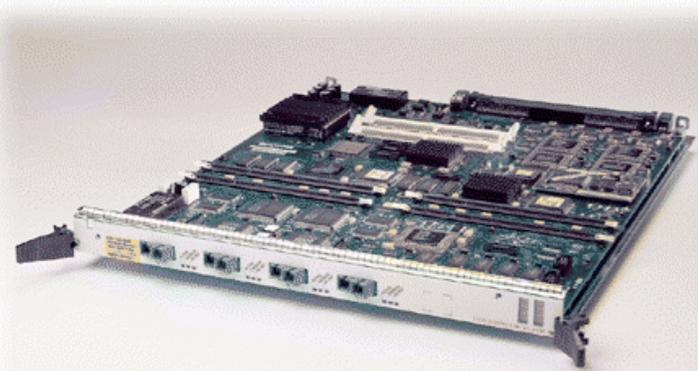
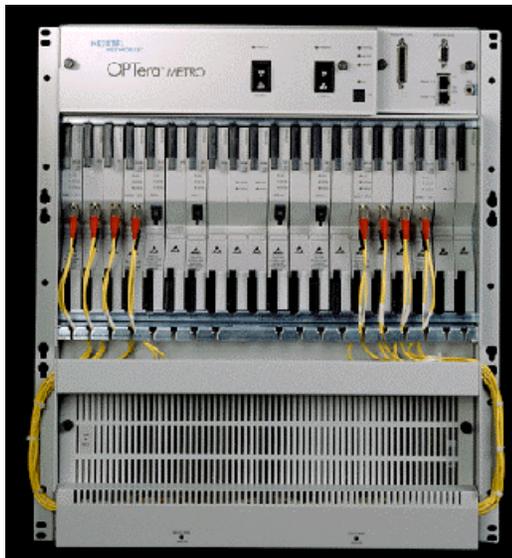
- **Transport d'IP au dessus de SONET/SDH**



- **Disponible: OC-192 (10 Gb/s)**
- **Prochaine évolution : OC-768 (40 Gb/s)**

Les équipements

- gamme Cisco 12000, routeurs d'Internet
- Cisco OC-3/STM-1 Carte d'interface Packet-over-SONET/SDH
- Nortel Networks: gamme OPTera Metro 3000



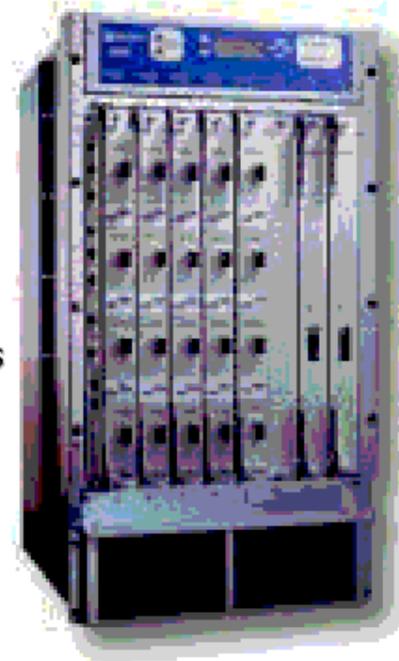
Les équipements(2)



M160 Router Overview

The highest performance Internet backbone router available today, providing uncompromising performance with services enabled.

- ◆ **Flexible interface types**
 - ❖ Speeds from T1/E1 to OC-192c/STM-64
 - ❖ First shipping OC-192c/STM-64 interface on the market
- ◆ **Internet Processor II ASIC**
 - ❖ Performance *with* services
 - ❖ Aggregate throughput capacity exceeds 160 Gbps
- ◆ **Fully redundant system**
- ◆ **JUNOS Internet software**
- ◆ **8 slot chassis**
 - ❖ >24 Gbps full duplex throughput per slot
 - ❖ Space for 32 PICs per chassis
- ◆ **Two units per 7' rack**
 - ❖ 19"/48cm (w) x 35"/89cm (h) x 29"/74cm (d)

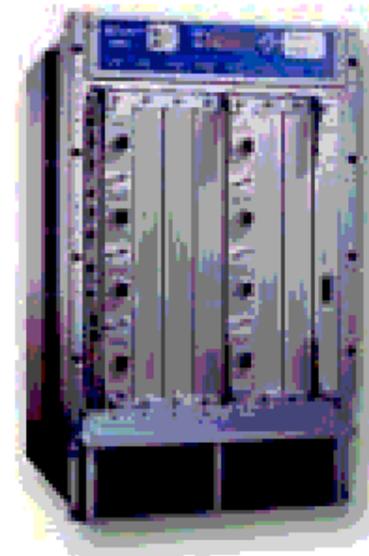


Les équipements(3)



M160 Interfaces/Densities

PIC Type	Ports/Chassis
◆ OC192c IP over SONET/SDH	8
◆ OC48 IP over SONET/SDH	32
◆ OC12 IP over SONET/SDH	32/128
◆ OC3 IP over SONET/SDH	128
◆ OC12 IP over ATM	32
◆ OC3 IP over ATM	64
◆ DS3 with internal DSU	128
◆ E3 (G.703)	128
◆ E1 (G.703)	128
◆ Channelized OC12	32
◆ Gigabit Ethernet (SX and LX)	32/64
◆ Fast Ethernet	128



M160[™]
Internet backbone router

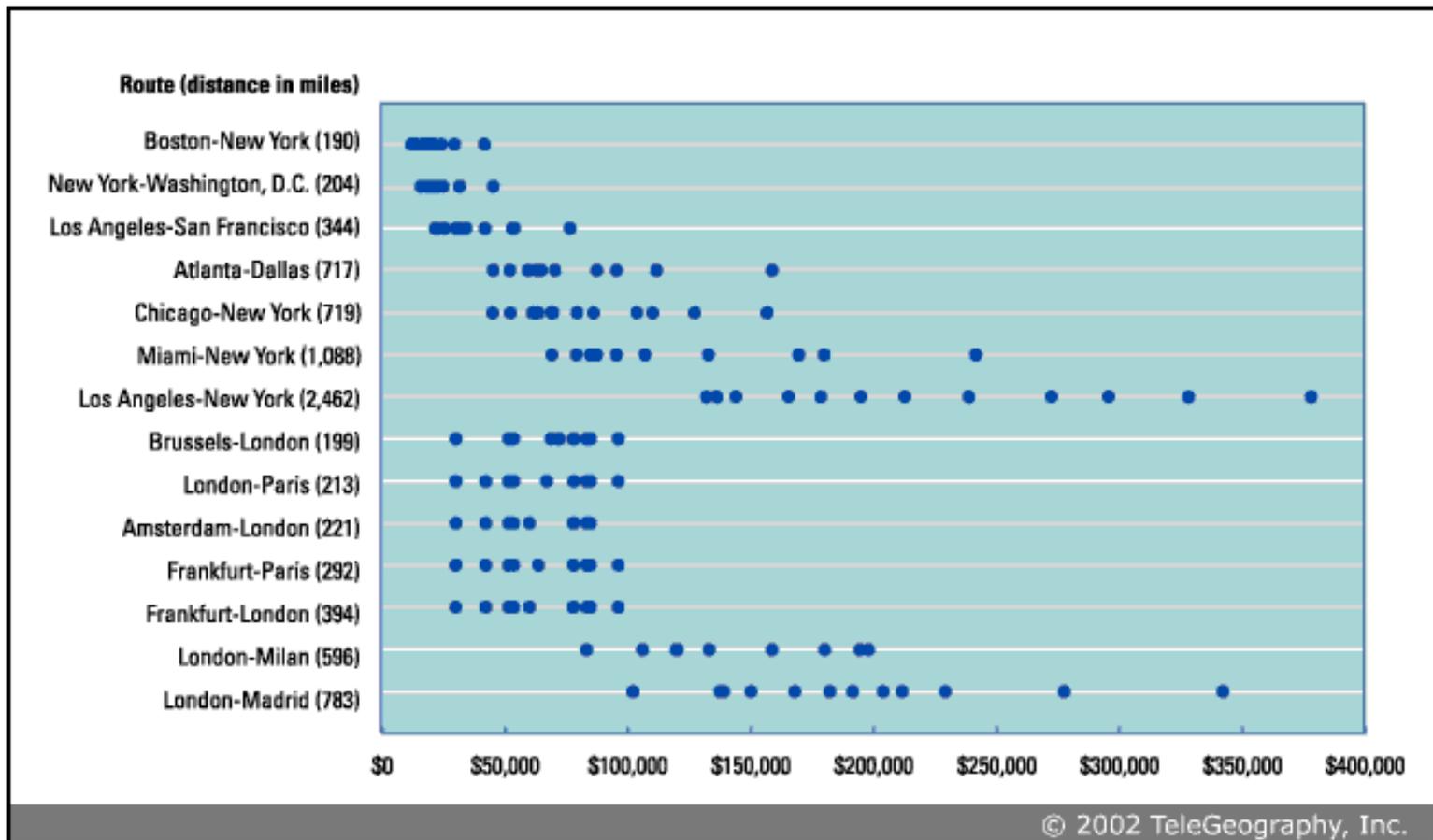
Industry-leading port density and flexibility.

Quelques prix (1)

OC1, STS-1	51.84 Mbps	Sometimes called SONET. Optical fiber carrier with a capacity of 51.84 Mbps. Uses ATM Switches (as do ALL OC-x) Setup costs and monthly fees can vary.
CDDI,FDDI,100Base-T	100 Mbps	Fiber or Copper cabling frequently used as High-Speed backbone technology.
OC3, STS-3	155.52 Mbps	Optical fiber carrier with a capacity of 155.52 Mbps. Upwards of \$30,000/month + approx. \$10,000/month local loop + several thousand dollars set up.
OC12, STS-12	622.08 Mbps	Optical fiber with a capacity of 622.08 Mbps. Internet backbone. Starts at approx. couple hundred thousand/month plus several thousand dollars in set up costs.
OC24	1.244 Gbps	Optical fiber with a capacity of 1.244 Gbps. Starts at approx. several hundred thousand/month plus several thousands in set up costs.
OC48, STS-48	2.488 Gbps	Optical fiber with a capacity of 2.488 Gbps. Internet backbone. Starts at approx. several hundred thousand/month plus several thousand dollars in set up costs.
OC192	9.6 Gbps	Optical fiber with a capacity of 9.6 Gbps. Usually used for High-Speed Internet backbones. Very costly.
OC255	13.21 Gbps	Optical fiber with a capacity of 13.21 Gbps. Usually used for High-Speed Internet backbones. Very costly.

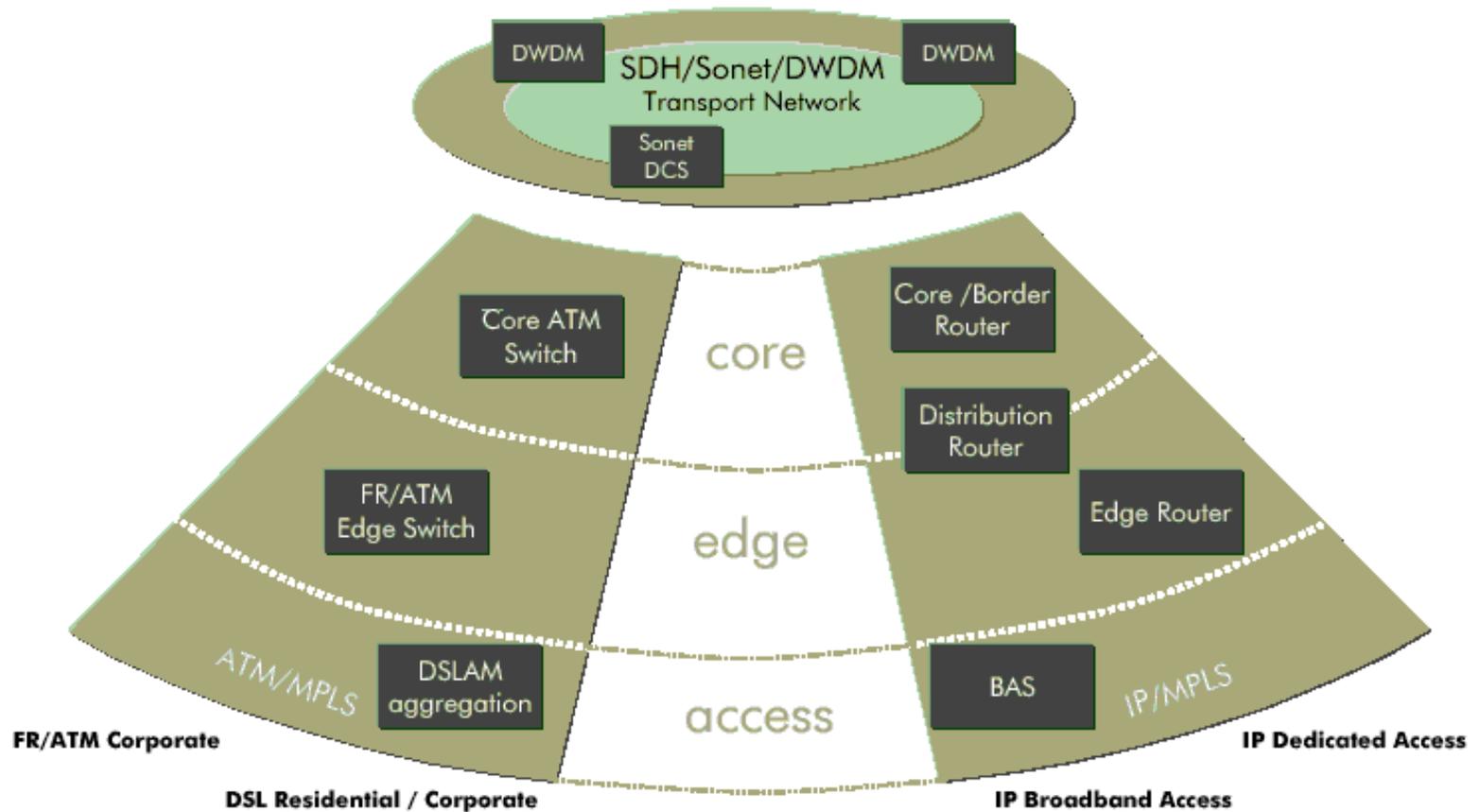
Quelques prix (2)

STM-1/OC3 Annual Lease Prices on Major U.S. and European Routes, 1st Quarter 2002



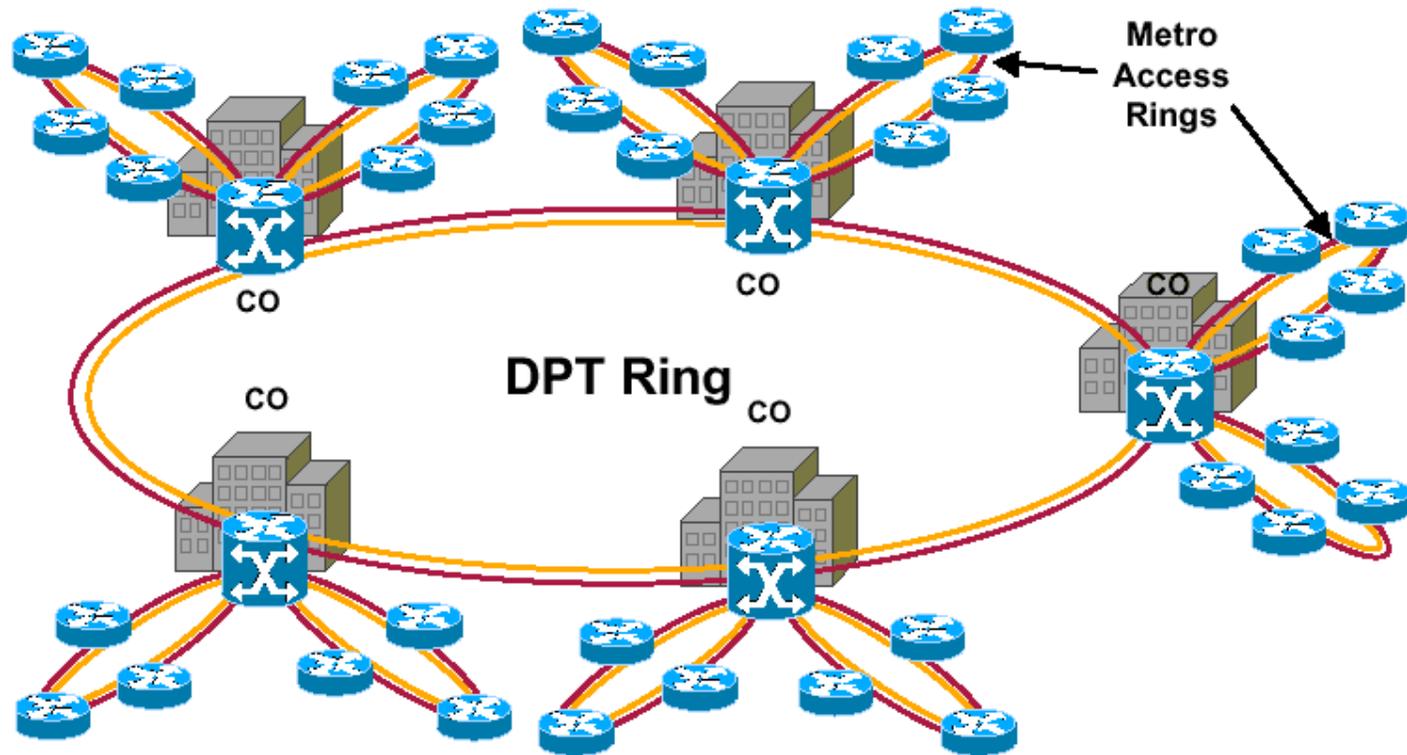
Notes: Points represent prices quoted in the first quarter of 2002.

SDH dans les réseaux métró des opérateurs

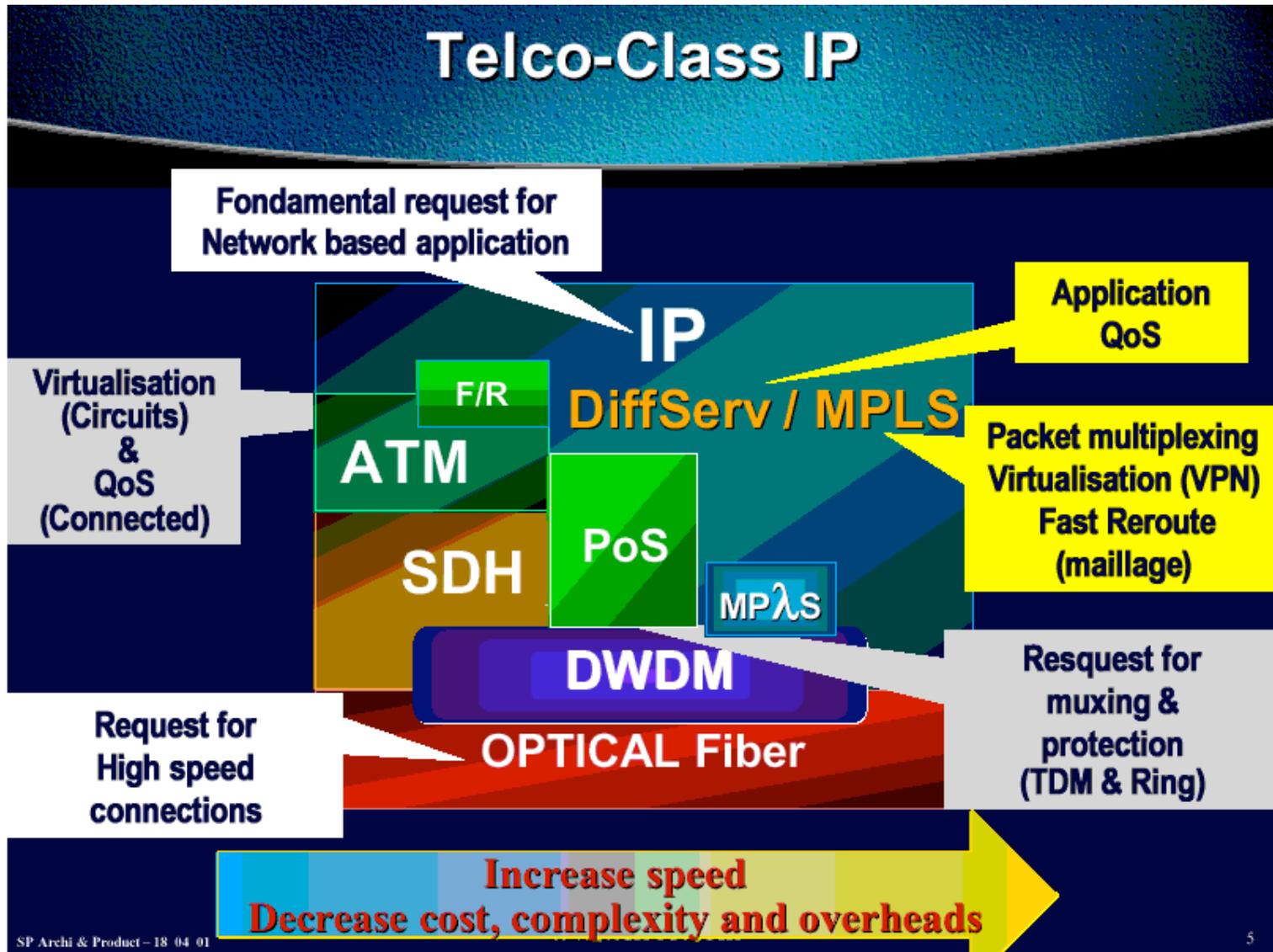


source Alcatel

Architecture de distribution



Vers une généralisation de la fibre



Comparaison datagrammes et VCs

Connexion	Pas nécessaire	Nécessaire
Adressage	Chaque paquet contient les adr. complètes de la source et de la destination	Chaque paquet ne contient qu'un identificateur pour la connexion
Info dans les noeuds	Pas besoin de stocker des informations	Information pour la route prise pour la connexion
Routage	Chaque paquet est route indépendamment	La route est choisie a l'ouverture de la connexion
Panne de lien	Peu d'effets	Toutes les connexions passant par le lien sont perdues
Controle de congestion	Difficile	Plus facile si suffisamment de buffers sont réservés pour chaque VC

Les réseaux d'accès: RTC, LS, RNIS, xDSL, FTTx, PON, E-MAN

La déréglementation et les nouveaux opérateurs

- **La loi de réglementation du 27 juillet 1996**
- **Les acteurs**
 - les autorités de régulation
 - les opérateurs
 - les supports de développement
- **Les services proposés**
 - La téléphonie fixe
 - La téléphonie mobile
 - La boucle locale radio
 - Le satellite
 - Le câble
 - L'accès Internet

Le marché des télécommunications

■ Réseaux Commutés

- Les réseaux commutés non spécialisés
 - telex
 - téléphonie
- Les réseaux commutés spécialisés
 - TRANSPAC
 - TRANSCOM

■ La téléphonie mobile

- SFR
- Itineris
- Bouygues Telecom...

■ Liaisons Spécialisées (LS)

- TRANSFIX, TRANSMIC

Le réseau téléphonique commuté RTC

■ Zones Locales (ZLs)

- pas de chevauchement.
- un commutateur principal: commutateur local (CL).

■ Zones à Autonomie d'Acheminement (ZAA)

- regroupe un ensemble de ZLs.
- un commutateur capable de choisir les sorties parmi plusieurs directions différentes (CAA).

■ Centre de Transit

- relie les ZAAs entre eux.

Carnet de route d'une communication

- Lorsqu'une personne de Bray-Dunes (Nord-Pas de Calais) appelle un correspondant à Cerbère (Pyrénées Orientales), la communication va emprunter une cascade de commutateurs. Le premier est le commutateur local (CL) auquel est raccordé le client. Ce noeud initial, qui a une capacité de 500 à 2000 lignes, a pour fonction essentielle de concentrer le trafic sur les circuits locaux qui le relient au centre à autonomie d'acheminement (CAA) de Dunkerque. Le CAA analyse le numéro demandé (les 4 premiers chiffres) et en déduit qu'il s'agit d'une communication interurbaine. Il aiguille alors vers un noeud de niveau supérieur: le centre de transit (CT) de Lille. Le CAA concentre les lignes des CLs et des lignes d'abonnés qui lui sont raccordés (10000 à 60000 lignes), soit vers les CAA voisins dans le cas de communication de voisinage, soit vers les CT de Lille pour les communication interrégionales. Ce dernier analyse à son tour le numéro, détermine quel commutateur dessert la ligne d'abonné demandé et établit des liaisons jusqu'au centre de Cerbères: le CT de Montpellier, le CAA de Perpignan et, enfin, le CL de Cerbères. Le CT de Lille a également une fonction de concentration du trafic. En effet, il est relié, d'un côté, à tous les CAA de la région, et de l'autre, à la plupart des centres de transit du réseau. Dans la majorité des cas, un CT est dans la zone qu'il dessert, la porte d'entrée ou de sortie des toutes les communications interurbaines.

Les liaisons spécialisées

■ Les liaisons spécialisées

- sont des lignes empruntées à l'infrastructure générale mises bout à bout pour constituer un lien permanent entre les extrémités.
- Ce sont des liaisons permanentes et exclusives entre les utilisateurs abonnés.

■ Les utilisateurs sont reliés à des points d'accès

- qui sont reliés par des artères prélevées sur l'infrastructure générale.
- La tarification dépend uniquement de la distance et du débit.

■ TRANSMIC repose sur un réseau de multiplexeurs reliés entre eux par des liens à 2.048 Mbits/s.

- Les débits offerts vont du moyen débit (2400 bits/s à 48 Kbits/s) au plus haut débit (128 à 2048Kbits/s). Le rattachement au point d'accès se fait en bande de base pour les débits moyens et par LS numériques pour les plus hauts débits.

Transfix

■ Description

- Liaison louée numérique point à point
- Usage privé
- Garantie de Sécurité

■ Cible de ces offres

- Entreprises qui échangent
 - Fréquemment des données
 - Des gros volumes de données
- Utilisateurs de nouvelles technologies
 - Transfert d'image, de son, de vidéo

■ Les atouts pour l'entreprise

- Un service clé en main
- Une couverture nationale
- Une large gamme de débits (2,4 Kbits/s - 34 Mbits/s)
- Une maîtrise des coûts
- Une garantie de continuité de service annuelle

Transfix

■ Les points clé de l'offre

- Le service
- La gamme
- La couverture géographique

■ Les options

- Le secours par Numéris
- La Garantie de Rétablissement sous 4 heures
- L'accès fiabilisé

■ Tarification

- Forfaitaire
- Indépendante du temps et du volume échangées
- Composition : frais établissement + abonnement mensuel (dépend du débit et de la distance).

■ Les contrats disponibles

- Contrat a durée indéterminée
- Contrat longue durée de 3 ans ou 5 ans
- Contrat Réseau Longue Durée (CRLD) de 3 ou 5 ans

Transfix 2.0

■ De nouveaux atouts

- Disponibilité plus rapide
- Supervision pro-active
 - L'opérateur supervise les liaisons
 - Détection des pannes + garantie de réparation sous 4 heures
- Synchronisation des liaisons
 - Synchronisation de la liaison sur l'horloge du réseau de France Télécom
 - L'entreprise peut synchroniser son réseau

■ Les points clé de l'offre

- Un service clé en main
- Une souplesse de débits ajustée aux besoins de l'entreprise: 64 Kb - 1920 Kb)
- Les garanties
 - Un engagement de qualité
 - Une supervision proactive des liaisons
 - Une garantie de temps de rétablissement
 - Une disponibilité annuelle

TRANSPAC

■ **Mis en service en 1978,**

- le réseau TRANSPAC s'articule autour d'un ensemble de commutateurs spécialisés reliés entre eux par au moins 2 liens de 72 kbits/s. Le réseau est fortement maillé et utilise X.25.
- C'est donc un réseau à commutation de paquets par établissement de circuits virtuels. Connexion possible avec des réseaux similaires étrangers.

■ **L'accès au réseau se fait soit**

- directement sur un commutateur TRANSPAC par une ligne spécialisée (débit de 110 à 48000 bits/s),
- soit par l'intermédiaire du RTC.

■ **TRANSPAC en 1995,**

- Technologie Frame Relay
- C'est donc toujours un réseau à commutation de paquets par établissement de circuits virtuels (au niveau 2)

■ **La tarification est indépendante de la distance et dépend du volumes des données échangées.**

- C'est un service intéressant pour les entreprises qui veulent échanger des volumes faibles de données (consultation, interrogation, saisie, vidéotex...)

Numéris (RNIS)

■ Numéris (successeur du TRANSCOM, 1987)

- est le nom commercial de la technologie RNIS (Réseau Numérique à Intégration de Service ou ISDN en anglais) pour proposer une interface unique à la voix, les données et l'image. La réalisation technique de ce concept repose sur une évolution du réseau téléphonique actuel vers une numérisation de la ligne jusque chez l'abonné. Cette numérisation complète de la transmission permet d'obtenir des communications d'une qualité très supérieure à celle autorisée par le Réseau Téléphonique Commuté (RTC) et par conséquent des débits également très supérieurs.
- Le RNIS est une technologie adoptée à l'échelle planétaire. Tous les pays d'Europe, les Etats-Unis d'Amérique, le Canada, le Japon, Singapour, l'Australie, la Nouvelle-Zélande et d'une manière générale tous les pays ayant une infrastructure moderne, disposent d'un réseau RNIS. Les différents réseaux sont interconnectés.
- Un des but est aussi d'étendre la signalisation jusqu'à l'utilisateur.

Avantages du RNIS

- accès numérique en direct, intégration de plusieurs services (fax, voix, données),
- temps de connexion rapide (qqs secondes),
- une interface d'accès normalisée (un seul type de prise),
- à partir d'un seul accès, on peut connecter plusieurs terminaux (jusqu'à 5 en cascade),
- il est possible de regrouper plusieurs accès de base (de 2 à 6) pour connecter plus de terminaux.
L'installation est alors gérée par un commutateur PABX (Private Automatic Branch Exchange) ou intercom.

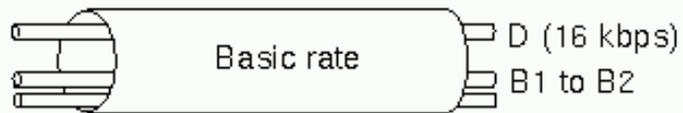
Les canaux RNIS

- De manière standard, RNIS propose 6 types de canaux:

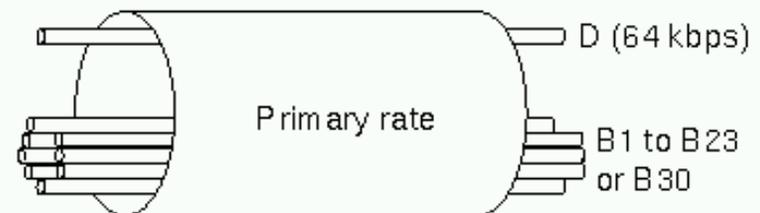
A	4-kHz téléphonie analogique
B	64 Kbits/s voix PCM
C	8 ou 16 Kbits/s numérique
D	16 ou 64 Kbits/s numérique pour la signalisation
E	64 Kbits/s numérique pour la signalisation interne
H	384 ou 1920 Kbits/s numérique

ISDN: les accès normalisés

- Un accès de base S0 qui offre 2B+1D,
- un accès primaire S2 qui offre 23B+1D au USA et 30B+1D en Europe,
- un accès hybride offrant 1A+1C
- Les accès primaires sont étudiés pour tenir dans un lien T1 pour les USA et un lien E1 en Europe. TDM est utilisé pour le multiplexage.



(a)

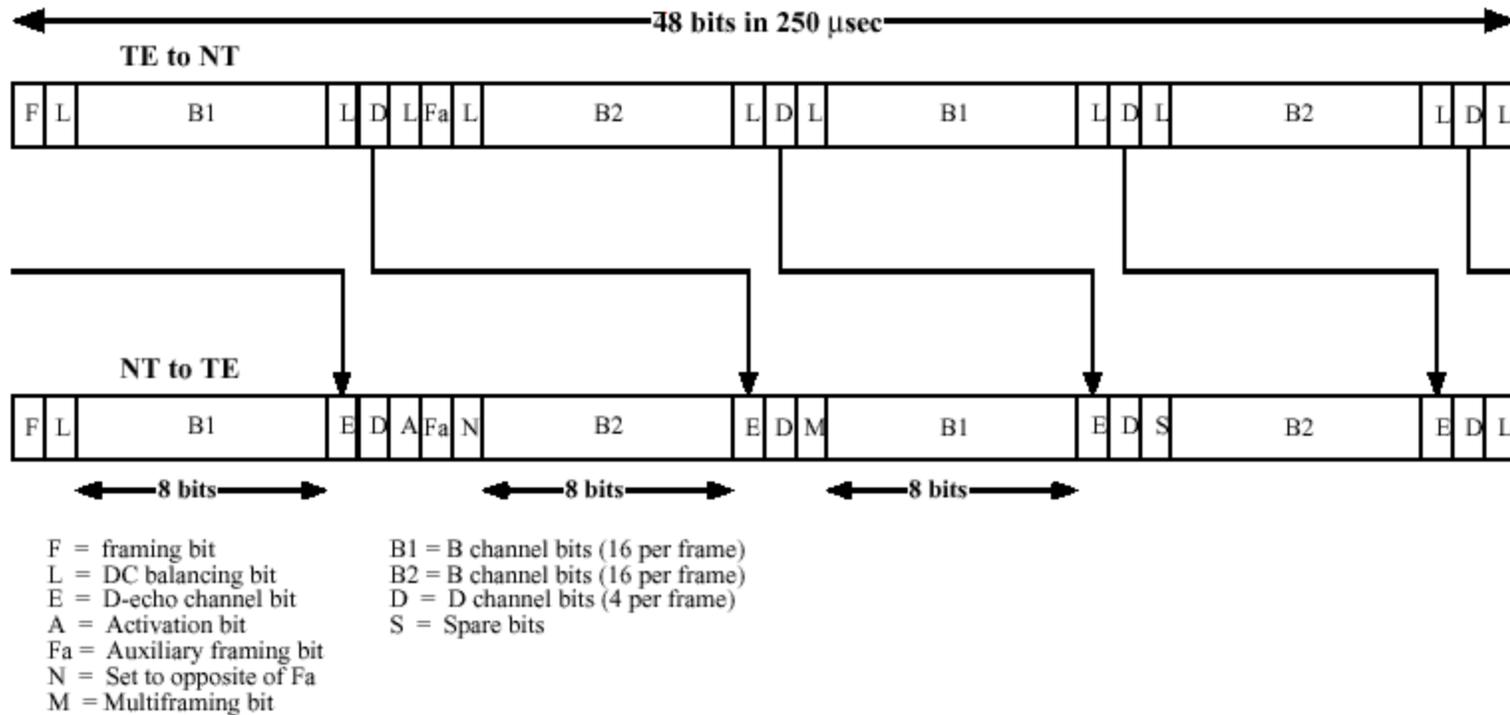


(b)

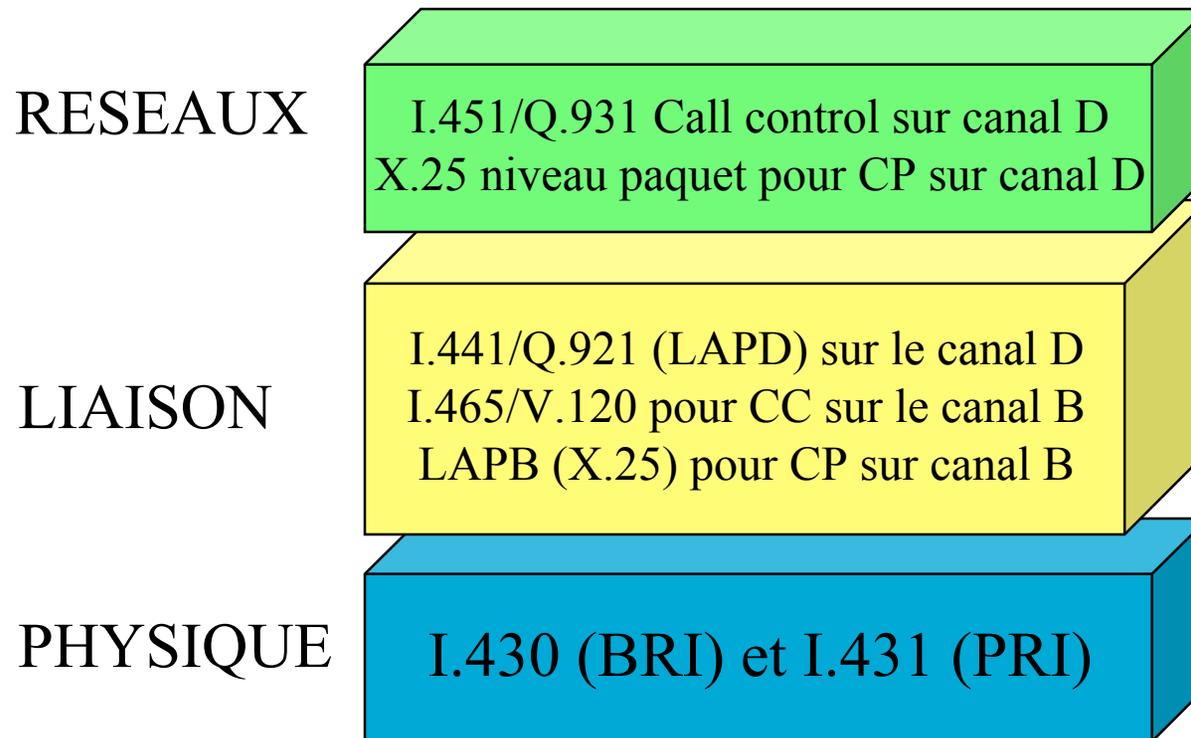
Détails des canaux

- Les canaux B offrent des débits à 64 Kbits/s soit 1 octet toutes les 125 us
- Les canaux H: offrent des débits supérieurs à 64 Kbits. H1 au débit de 384 Kbits/s soit 6 octets toutes les 125 us, H1 1920 Kbits/s soit 30 octets toutes les 125 us.
- Les canaux D: offrent un débit numérique qui varie selon le type d'accès (16 Kbits/s pour un accès de base et 64 Kbits/s pour un accès primaire) et supporte le dialogue entre l'utilisateur et le réseau, et ce pour plusieurs canaux de données simultanément.
- Le codage en bande base 2B1Q est utilisé.

Détails de la trame



Les couches protocolaires du RNIS



CC = commutation de circuits
CP = commutation de paquets

Les interfaces d'accès

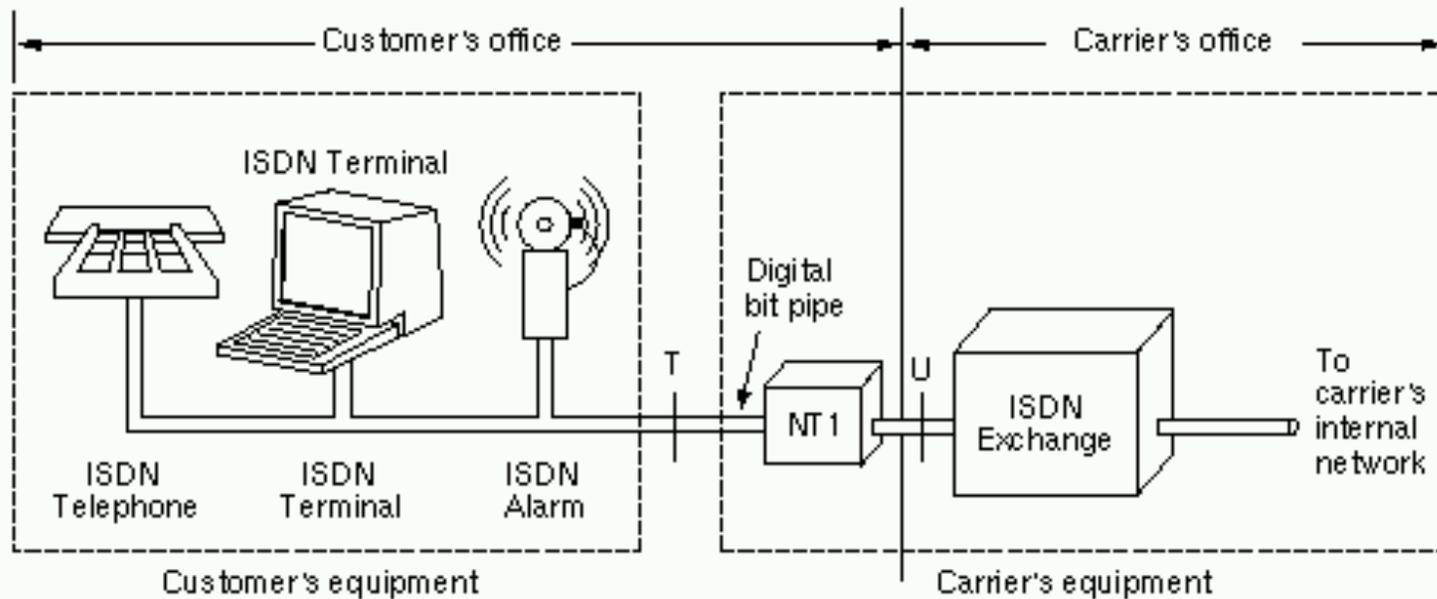
■ Interface commune

- permet de supporter différents services (télécopie, telex...) sur un seul et même câblage,
- simplifie la gestion du réseau, sa maintenance et diminue les frais d'installation.

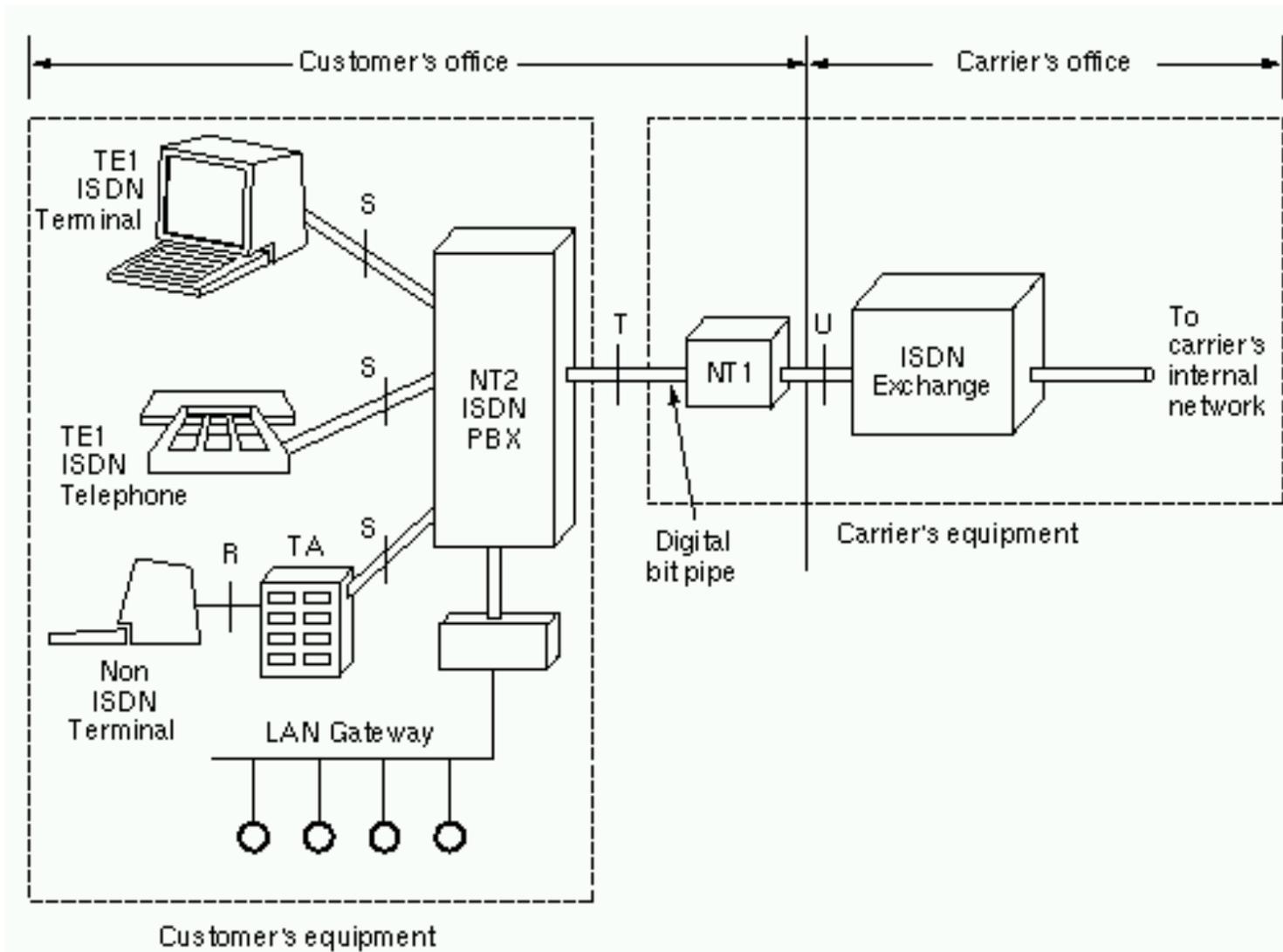
■ Les interfaces proposées

- S, T et R pour brancher les équipements,
- U pour l'arrivée du réseau,
- NT1 et NT2 pour les terminaisons de réseaux. Ils isolent l'équipement de l'utilisateur de la boucle locale.

RNIS: les différents points d'accès (1)



RNIS: les différents points d'accès (2)



Comment avoir RNIS et combien ça coûte?

- Choisir un opérateur.
- S'équiper d'un adaptateur: protocoles ML PPP (Multi-Link Point-to-Point Protocol) et BACP (Bandwidth Allocation Control Protocol)
- Au besoin, prendre un adaptateur actif qui décharge le PC si celui-ci est faible

Facture initiale

Adaptateur RNIS	700 F
Frais ouverture	600 F
<hr/>	
Total	1300 F

Facture mensuelle (particulier)

Abonnement FT	170 F
Abonnement accès	50 F
Communication	?
<hr/>	
Total	220 F
+ Communication	?

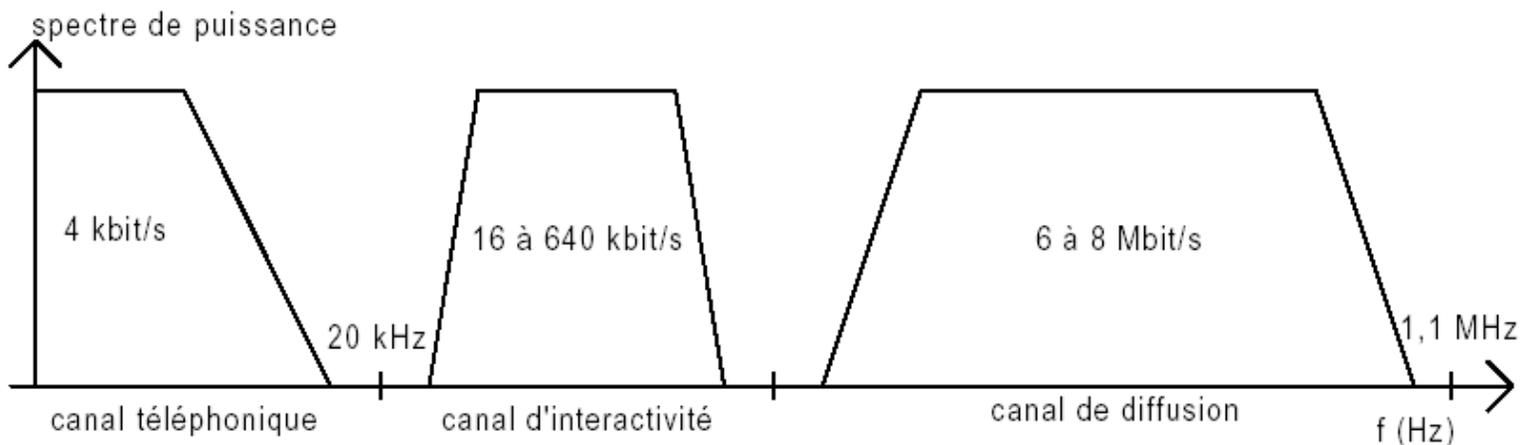
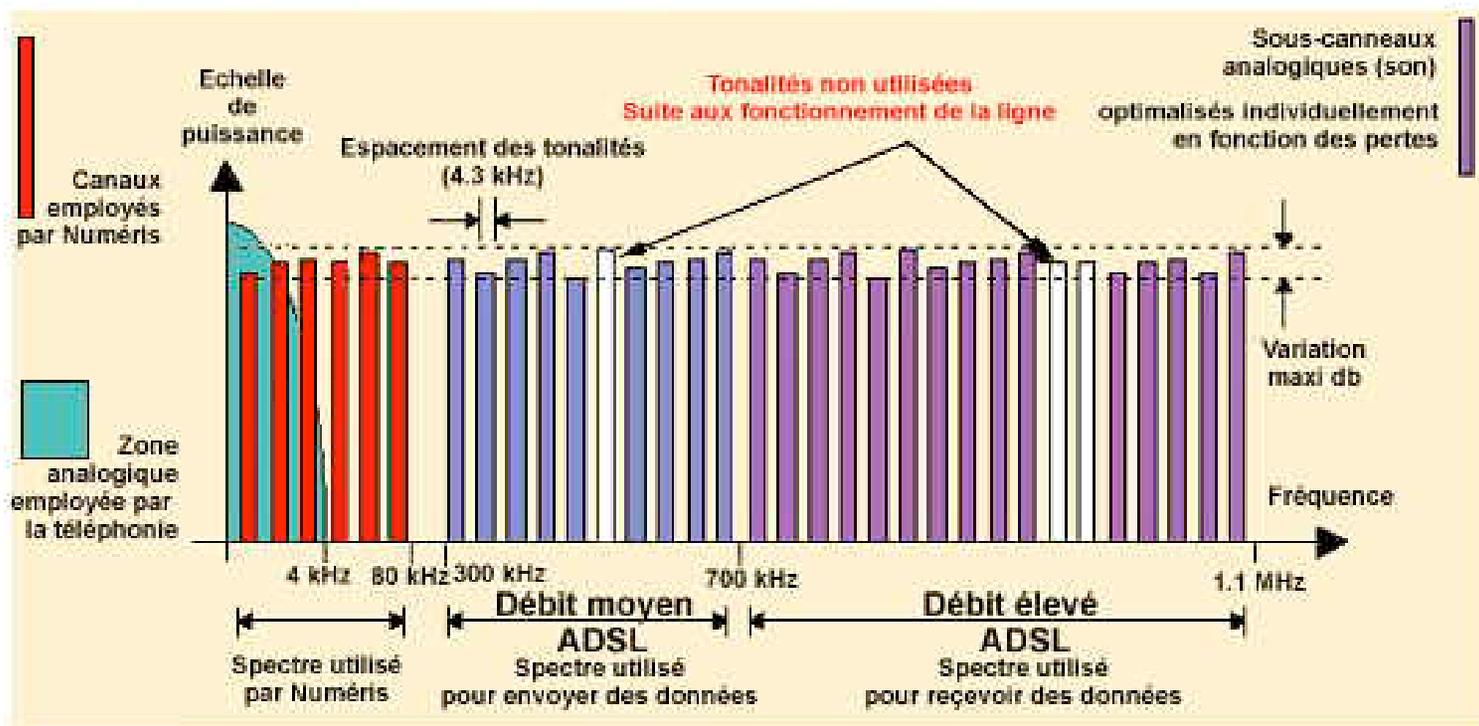
Concept DSL

- **DSL : Digital Subscriber Line**
- **Fonctionnement en mode point à point**
 - inventé par Bellcore il y a une dizaine d'années
 - intérêt porté à cette technologie: déploiement massif de FO trop onéreux et opérateurs télécom confrontés à la montée en puissance du câble.
- **Objectifs :**
 - doper les capacités des paires téléphoniques de cuivre existantes en s'appuyant sur les méthodes de traitement du signal et de codage
 - véhiculer des données multimédias à haut débit sans remettre en cause l'existant
 - repousser la barrière théorique des 300 à 3400 Hz de bande passante
- **Inconvénients :**
 - technologies tributaires de la distance; coûteux pour l'opérateur
 - dissipation d'énergie et diaphonie

Discrete MultiTone

- **Normalisé par l'ANSI T1.413**
- **256 porteuses (sous-canaux) de 4,3 kHz :**
 - 6 pour le canal téléphonique
 - 32 pour le canal montant
 - 218 pour le canal descendant
- **Nombre de bits par porteuse variable en fonction des conditions de transmission, jusqu'à 15 bits par symbole**
- **Asymmetric Digital Subscriber Line**
 - ANSI Standard T1.413
 - 6.1 Mbit/s en flux descendant
 - mode de connexion permanente
- **Bénéfices**
 - Vitesse 40 à 50 fois supérieures à un modem 28.8 kbs/s classique
 - Le service téléphonique reste disponible
 - Complémentarité avec les réseaux fibre optique

Discrete MultiTone



Technologies xDSL

- **Paire torsadée cuivre**
- **DSL = un modem ou une paire de modems**
 - voix : fréquence de 3.3 kHz
 - passage aux fréquences dans le Mhz
- **Toute une gamme de technologies**
 - DSL (Digital Subscriber Line)
 - HDSL (Hight Bit Rate Digital Subscriber Line)
 - SDSL (Symetric Subscriber Line)
 - ADSL (Asymetric Digital Subscriber Line)
 - RADSL (Rate Adaptive Digital Subscriber Line)
 - VDSL (Very Hight Bit Digital Subscriber Line)
 - IDSL (ISDN Digital Subscriber Line)
 - UDSL (Universal Digital Subscriber Line)
 - CDSL (Consumer Digital Subscriber Line)

Résumé des technologies

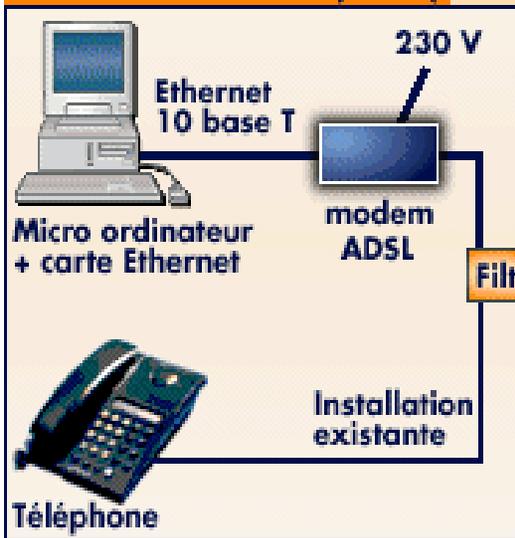
Technologie	Mode de transmission	Débit opérateur vers utilisateur (Mbits/s)	Débit utilisateur vers opérateur (Mbits/s)	Distance maximale (km)
HDSL	symétrique (2B1Q/CAP)	1,54	1,54	3,6
SDSL	symétrique (2B1Q/CAP)	768 Kbits/s	768 Kbits/s	3,6
ADSL	Asymétrique (DMT)	1.544 à 9	16 Kbits/s à 640 Kbits/s	5.4 (à 1.5 Mbits/s)
RADSL	Asymétrique (CAP)	600 Kbits/s à 7 Mbits/s	128 Kbits/s à 1 Mbits/s	5.4 (à 1.5 Mbits/s)
DSL	symétrique (DMT/CAP)	160 Kbits/s	160 Kbits/s	5,4
IDSL	symétrique (2B1Q)	128 Kbits/s	128 Kbits/s	3,6
VDSL	Asymétrique (CAP/DMT ...)	13 à 53	1.544 à 2.3	1.5 (à 13 Mbits)

Connexion ADSL

Schéma Internet Rapide à Noisy le Grand

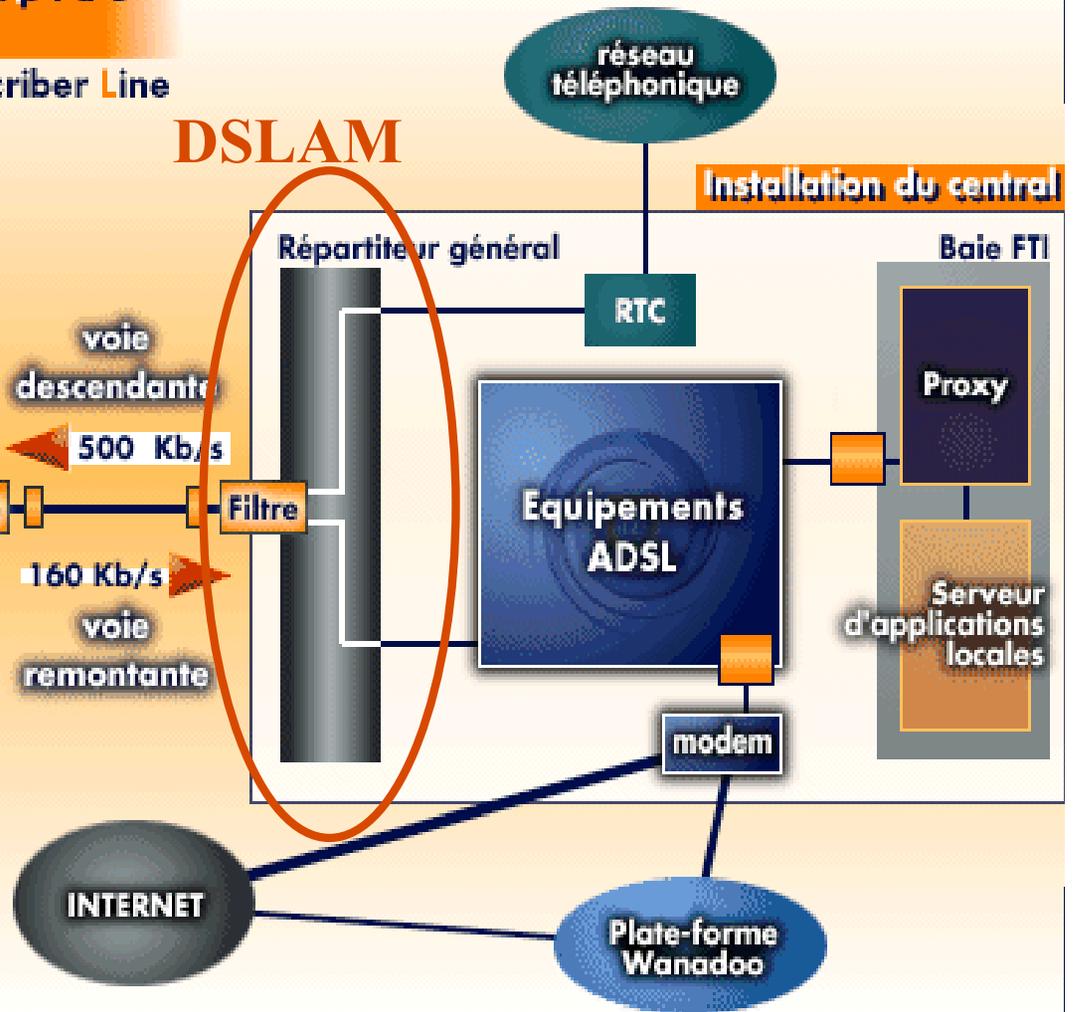
ADSL : Asymmetric Digital Subscriber Line

Installation abonné (x500)

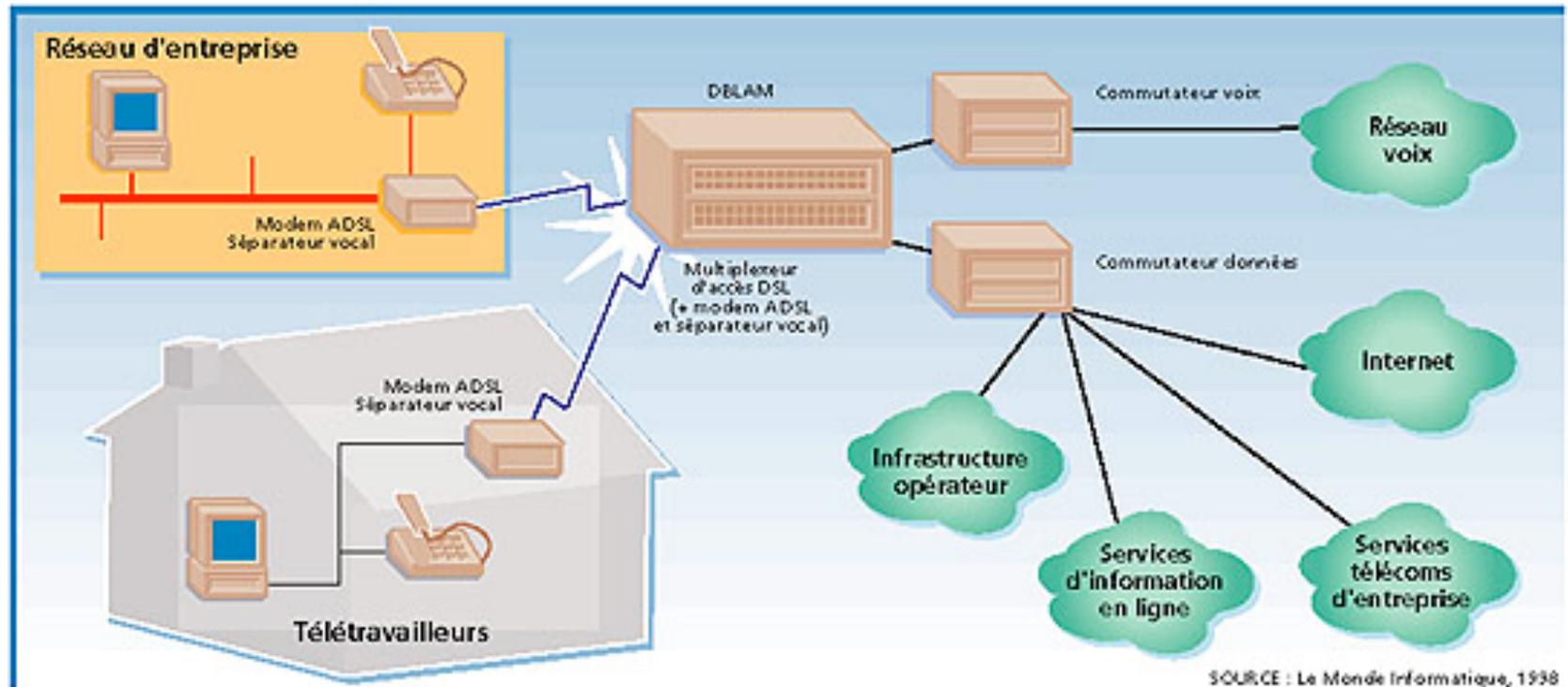


DSLAM

Installation du central



Architecture opérateurs



- **Le filtre passe-bas aiguille la voix vers un commutateur de circuits, et le filtre passe-haut est relié à un modem, qui reconstitue les données numériques et les dirige vers un réseau de transmission de données numériques. Ce dispositif s'appelle un DSLAM (DSL Access Multiplexer)**

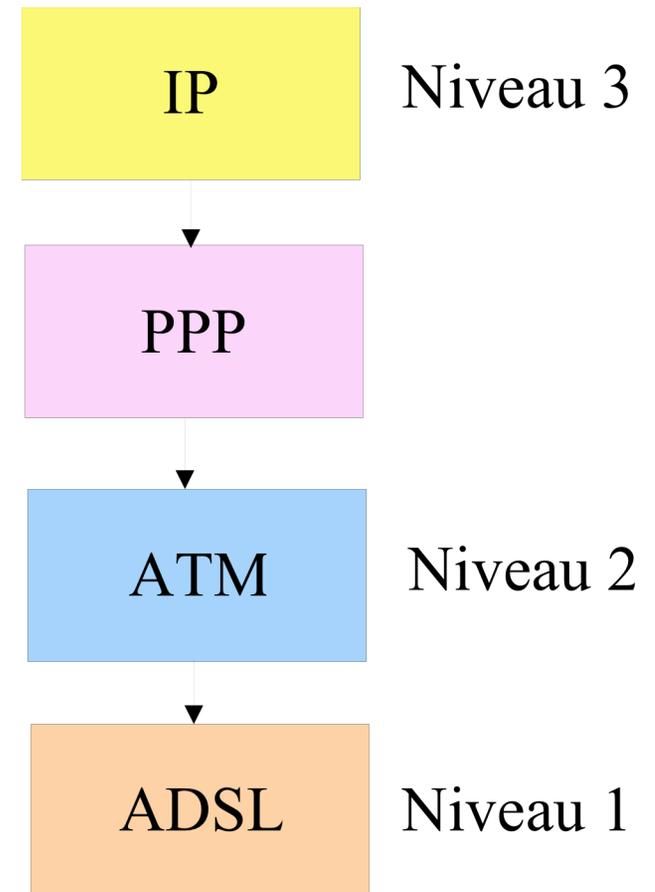
Le DSLAM

- **Un DSLAM coûte environ 1800€**
- **Avantages:**
 - une meilleure organisation des réseaux : les données n'encombrent plus les commutateurs et les circuits de transport de la voix (au contraire du RNIS et des modems analogiques),
 - une commutation par paquets pour le transport de données et une commutation par circuit pour le réseau téléphonique.
- **Les DSLAM sont reliés entre eux sur plusieurs BAS (Broadband Access Server), qui sont eux-mêmes reliés entre eux sur la dorsale ATM.**
- **L'ensemble des équipements DSLAM et BAS d'une même région s'appelle une plaque (~60 en France).**



ADSL : protocoles

- Utilisation pour authentification
- ATM assure le niveau 2 d'ADSL
- Le protocole ADSL permet aux extrémités de savoir quels canaux sont utilisés en fonction du SNR (Signal Noise Ratio) de la ligne

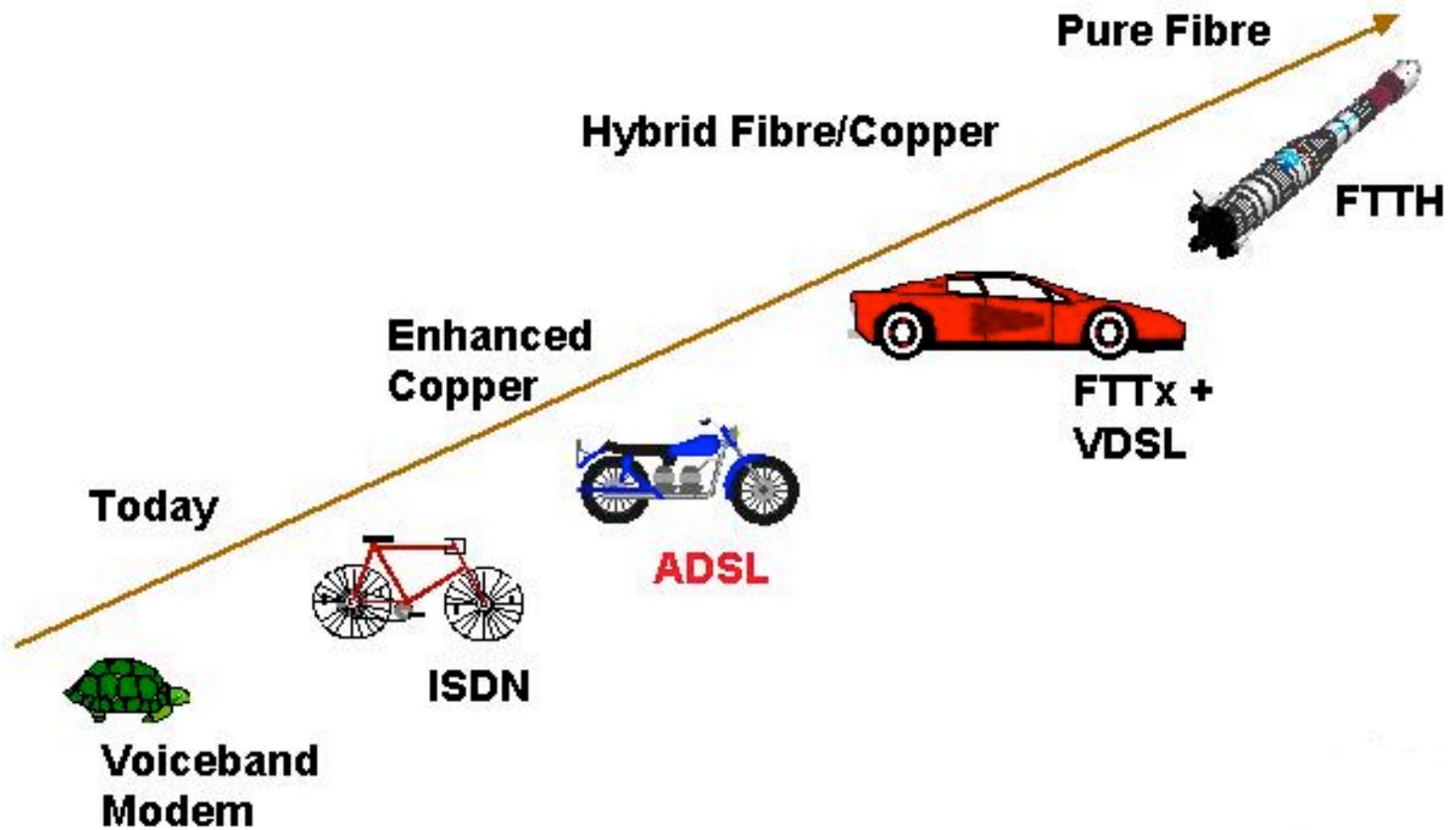


Offre de France Télécom

- **300 villes couvertes en intégralité ou partiellement d 'ici la fin 2000 et 250 autres sites pour 2001**
- **Objectif**
 - 150000 à 300000 foyers concernés en 2002 sur 24 millions de foyers français
- **Cependant, certaines zones du territoire ne seront jamais couvertes par l 'ADSL**
- **L 'ADSL sera réservé aux villes de plus de 100000 habitants**

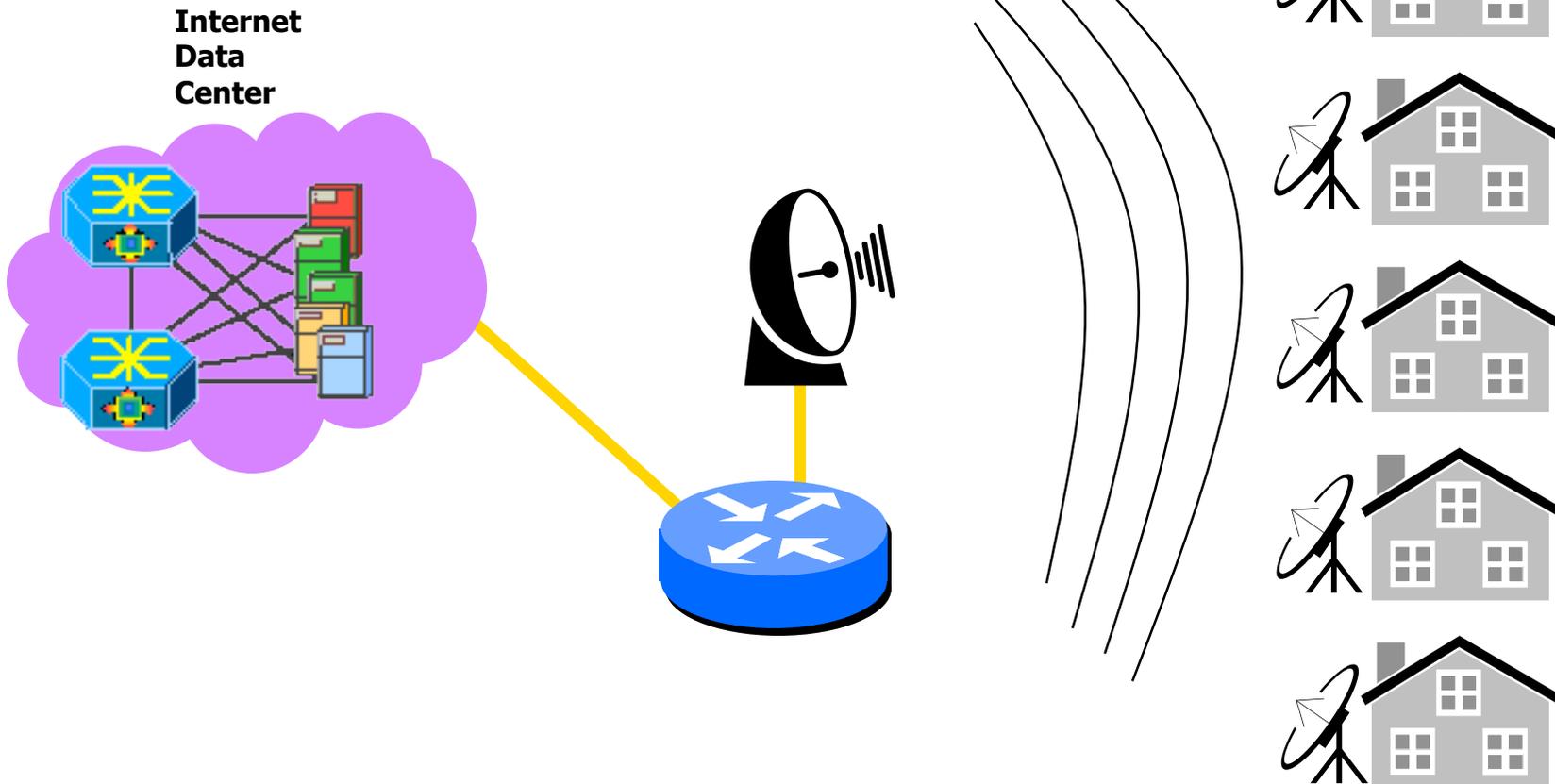
Schématiquement

Comparaison des performances



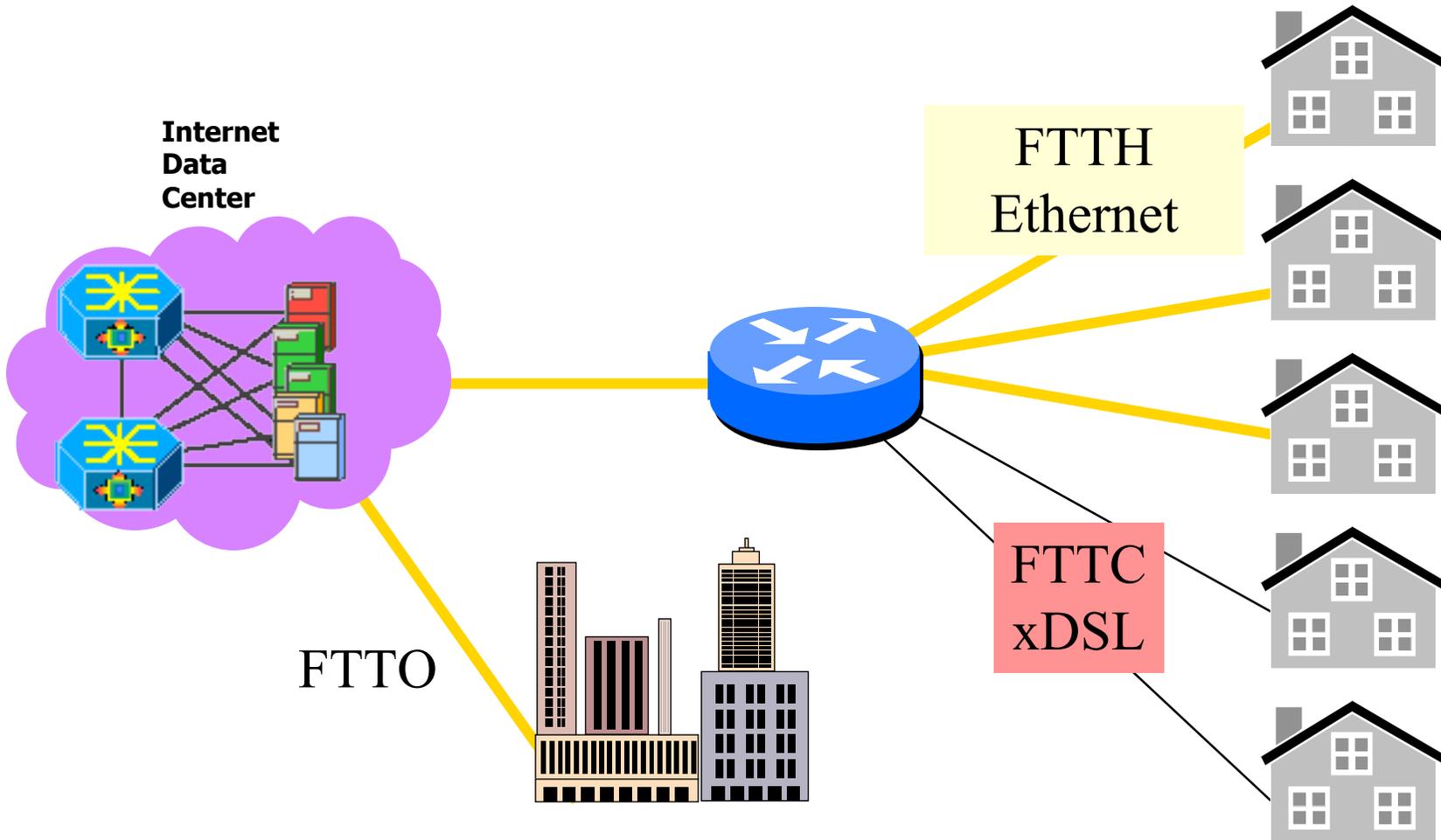
Boucle Locale Radio (BLR)

- Bande des 3.5Ghz, 26 et 27GHz
- 54 licences en France



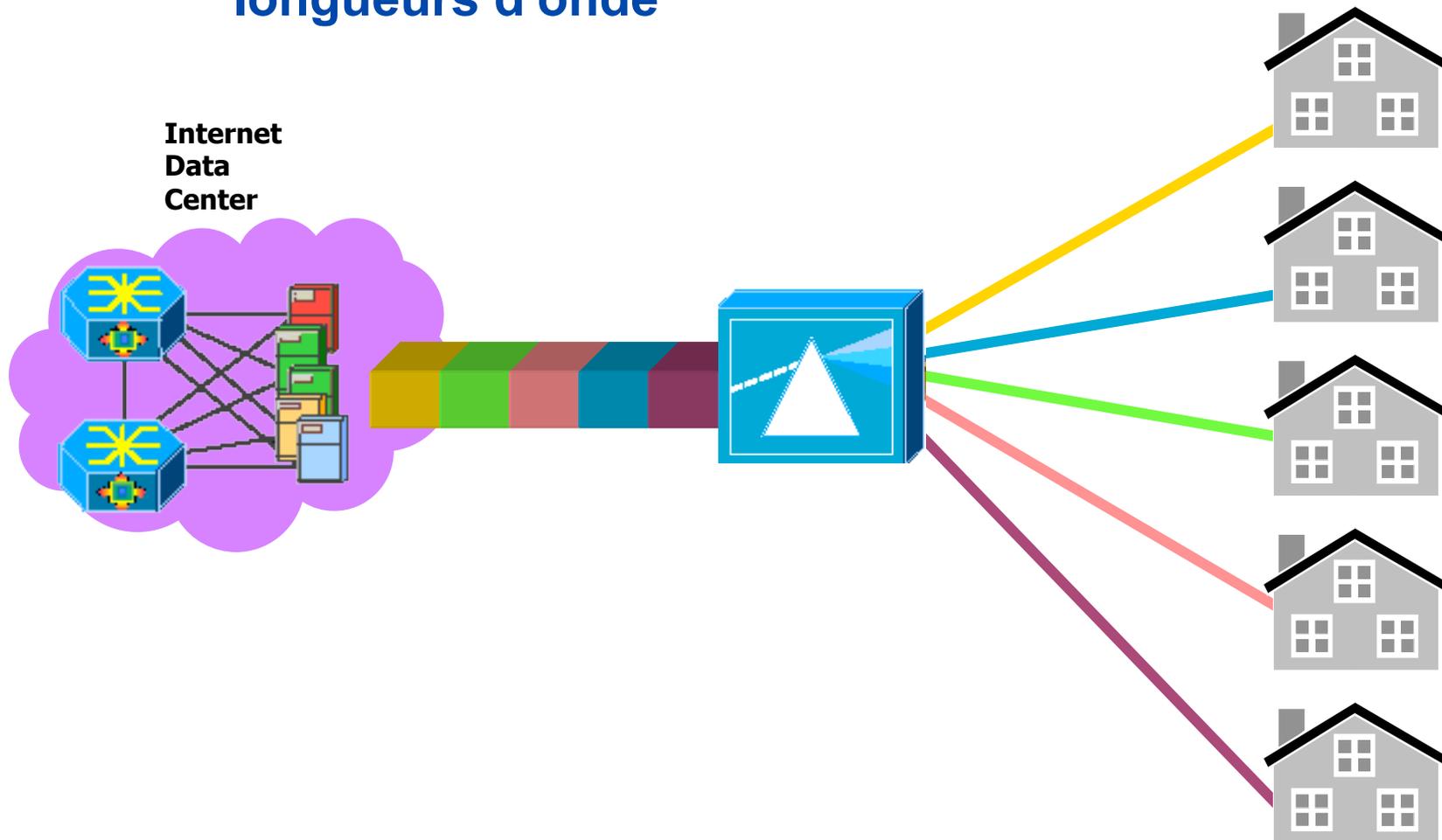
FTTx

- Fiber To The x (x:{Home, Curbe, Office...})



PON: Passive Optical Network

- Utiliser des splitters passifs pour distribuer les longueurs d'onde



EFM - Ethernet in the First Mile

Définition

- **Une Topologie**

Le premier/dernier kilomètre de connexion entre le client et le central.

Aussi appelé accès METRO, boucle locale, 'last mile', ETTX, ETTBuilding et ETTHome

- **Une initiative de l'industrie**

IEEE 802.3ah Task Force, 200 engineers, 100+ companies

- **Transport Ethernet/IP et interface Ethernet directement chez l'utilisateur**

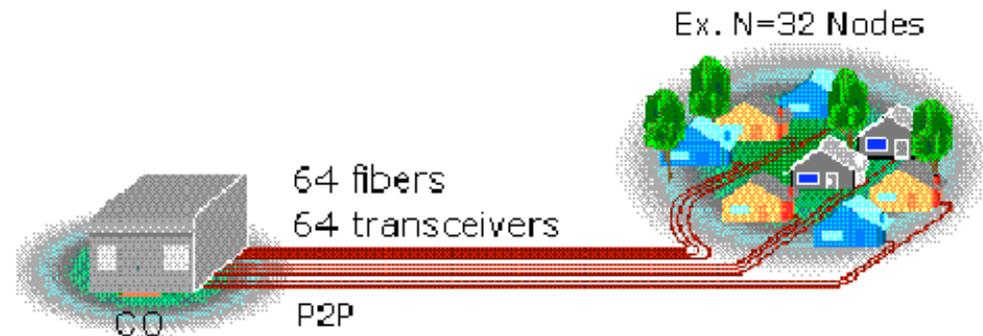
EFM

Topologies optiques possibles

Cisco.fr

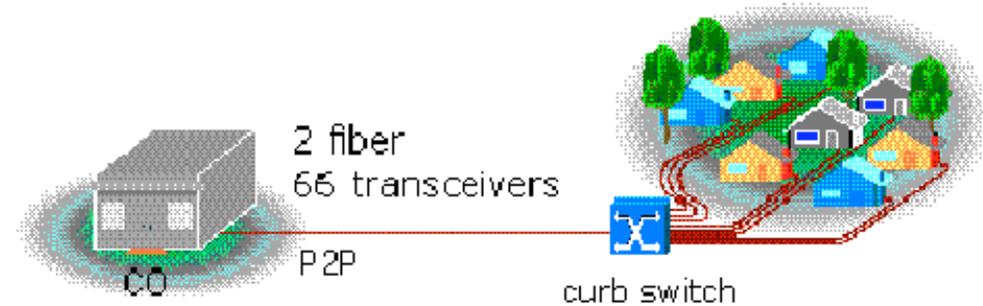
- **Point-to-Point Ethernet**

N fibres
2N Tranceivers



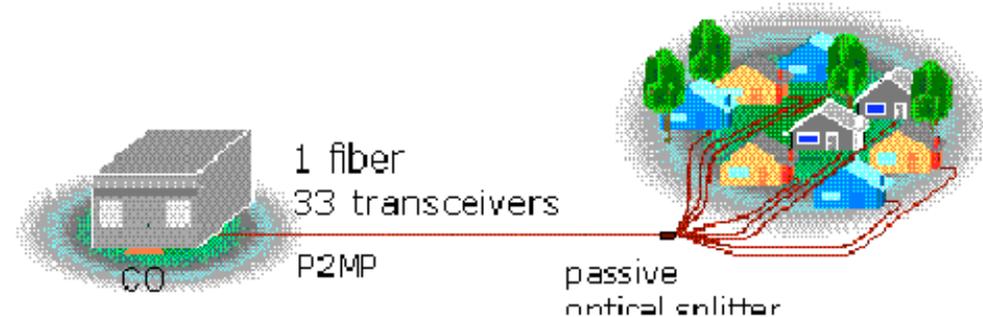
- **Switched Ethernet**

2 fibres
2N+2 Tranceivers
Espace minimum dans le CO
Mais matériel actif hors CO



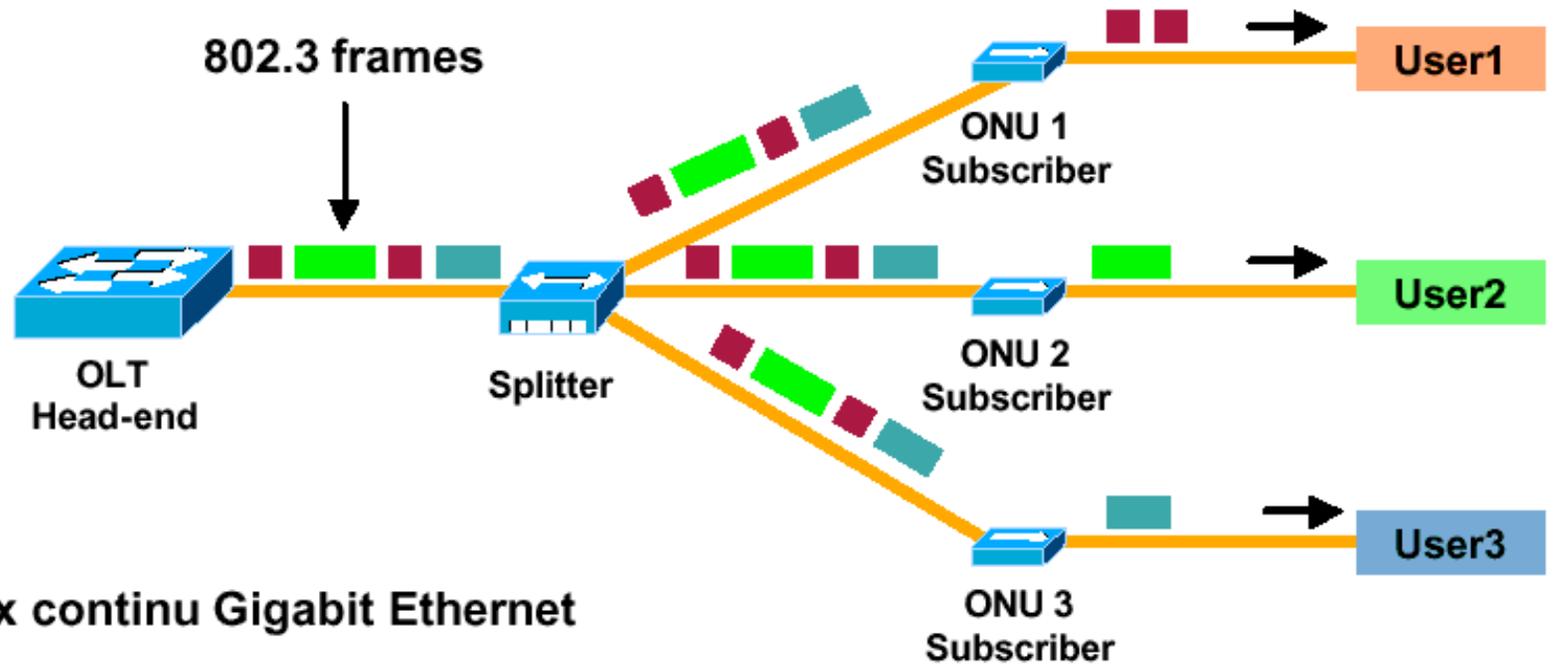
- **Ethernet PON**

1 fibre
Espace minimum dans le CO
N+1 Tranceivers



EPON

Flux descendants



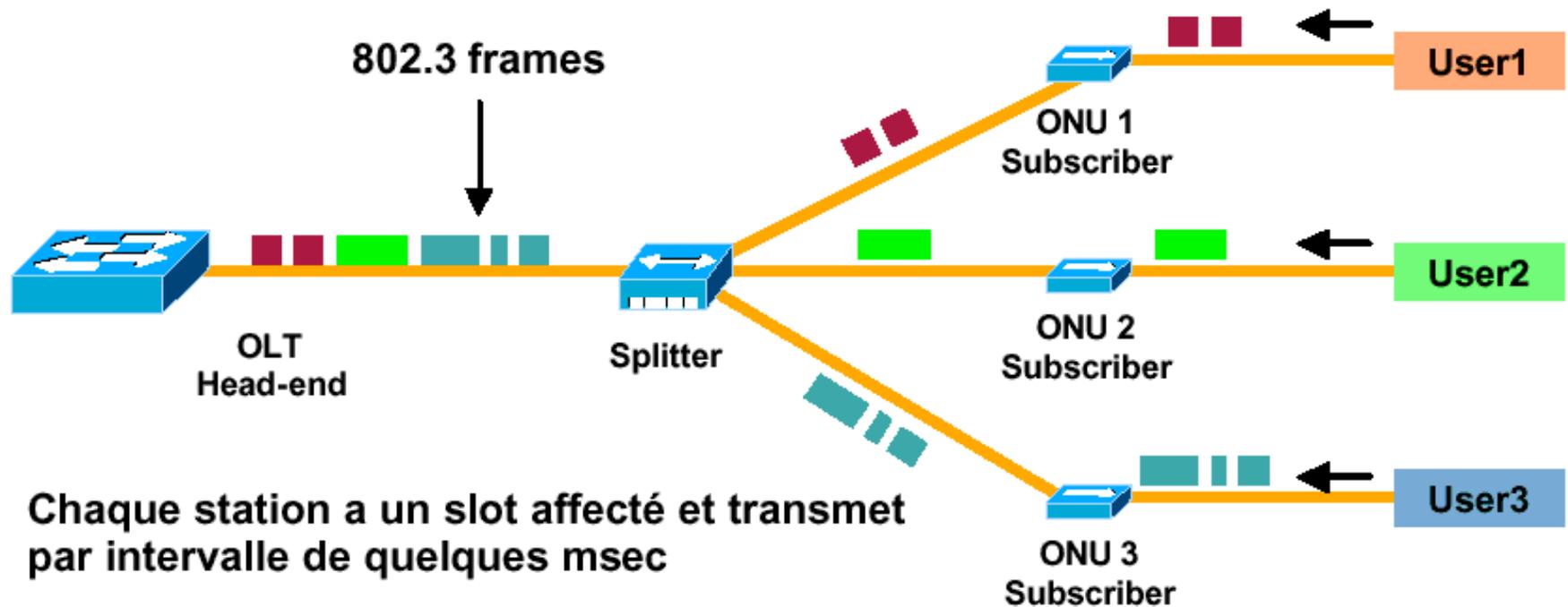
- Un flux continu Gigabit Ethernet
- La fibre est divisée sur 32 fibres optiques par un splitter passif
- Les flux montants et descendants sont multiplexés sur des longueurs d'onde différentes

OLT : Optical Line Terminal
ONU : Optical Network Unit

EPON

Flux montants

Cisco.fr

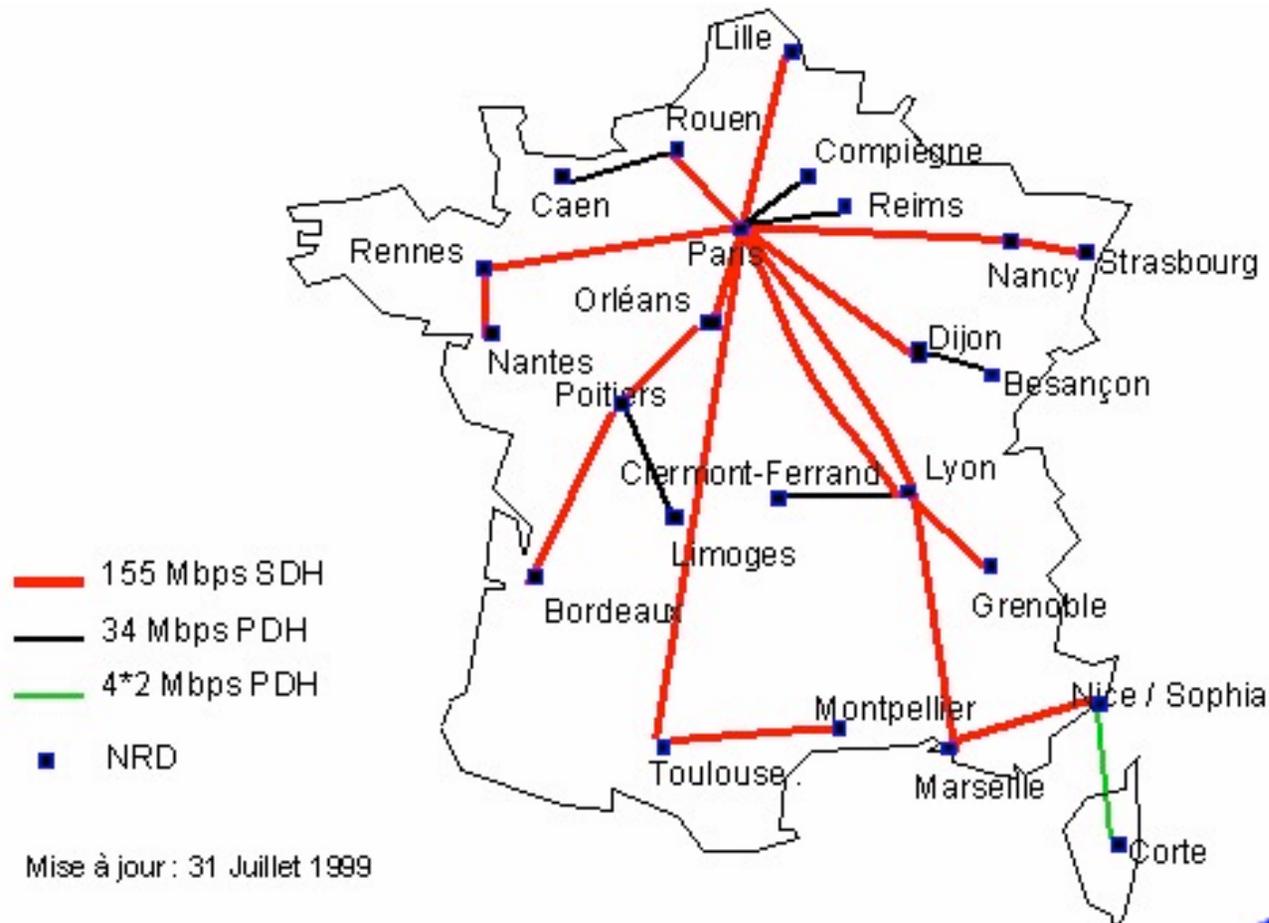


- Chaque station a un slot affecté et transmet par intervalle de quelques msec
- Pas de collision, pas de fragmentation
- Latence de quelques msec pour les flux voix
- Bande passante allouée selon le contrat de service (SLA)
- Sécurisation de l'interface utilisateur pour garantir la confidentialité

OLT : Optical Line Terminal
ONU : Optical Network Unit

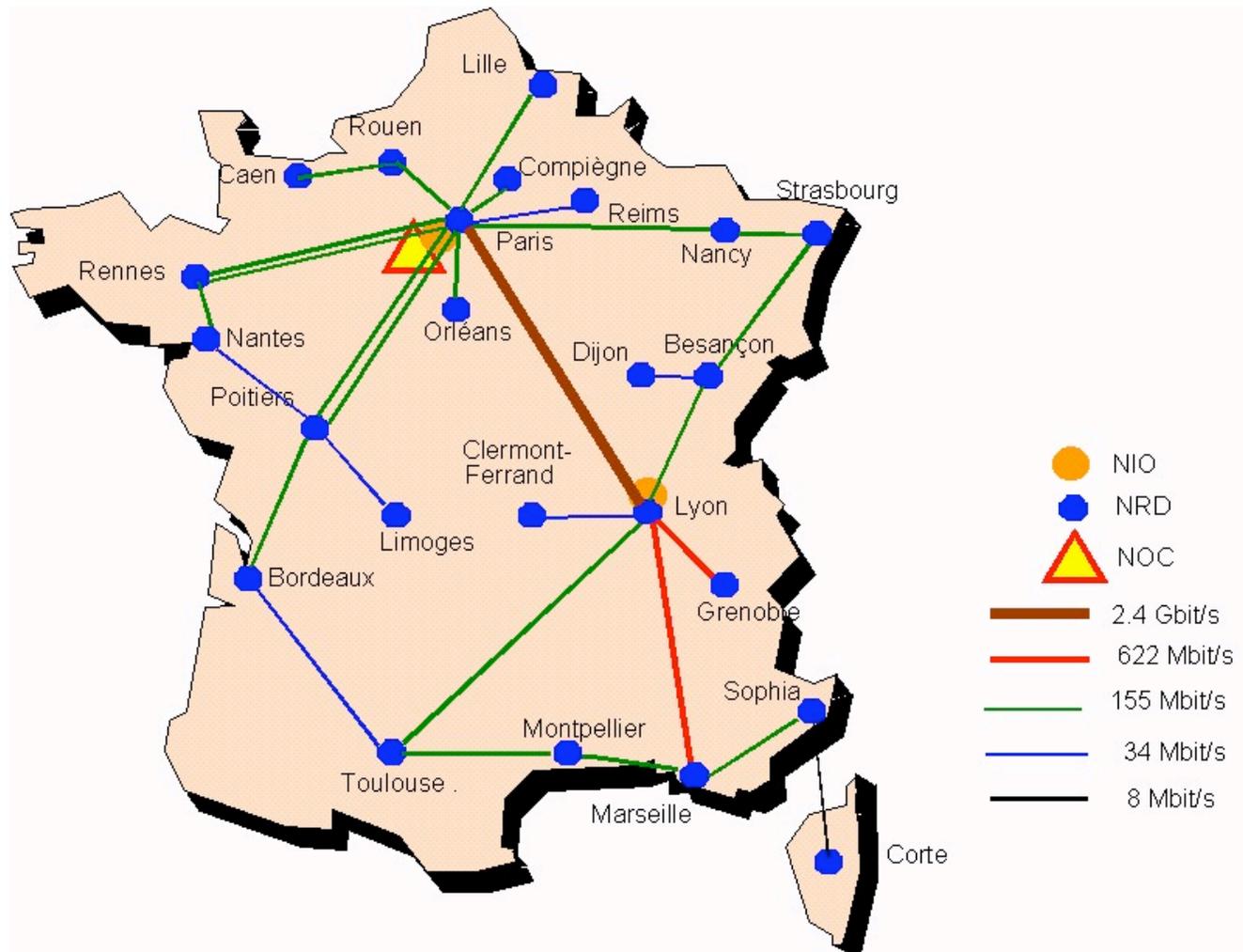
Exemple de réseaux: Renater, Internet2

RENATER 2, le réseau de recherche français



Renater

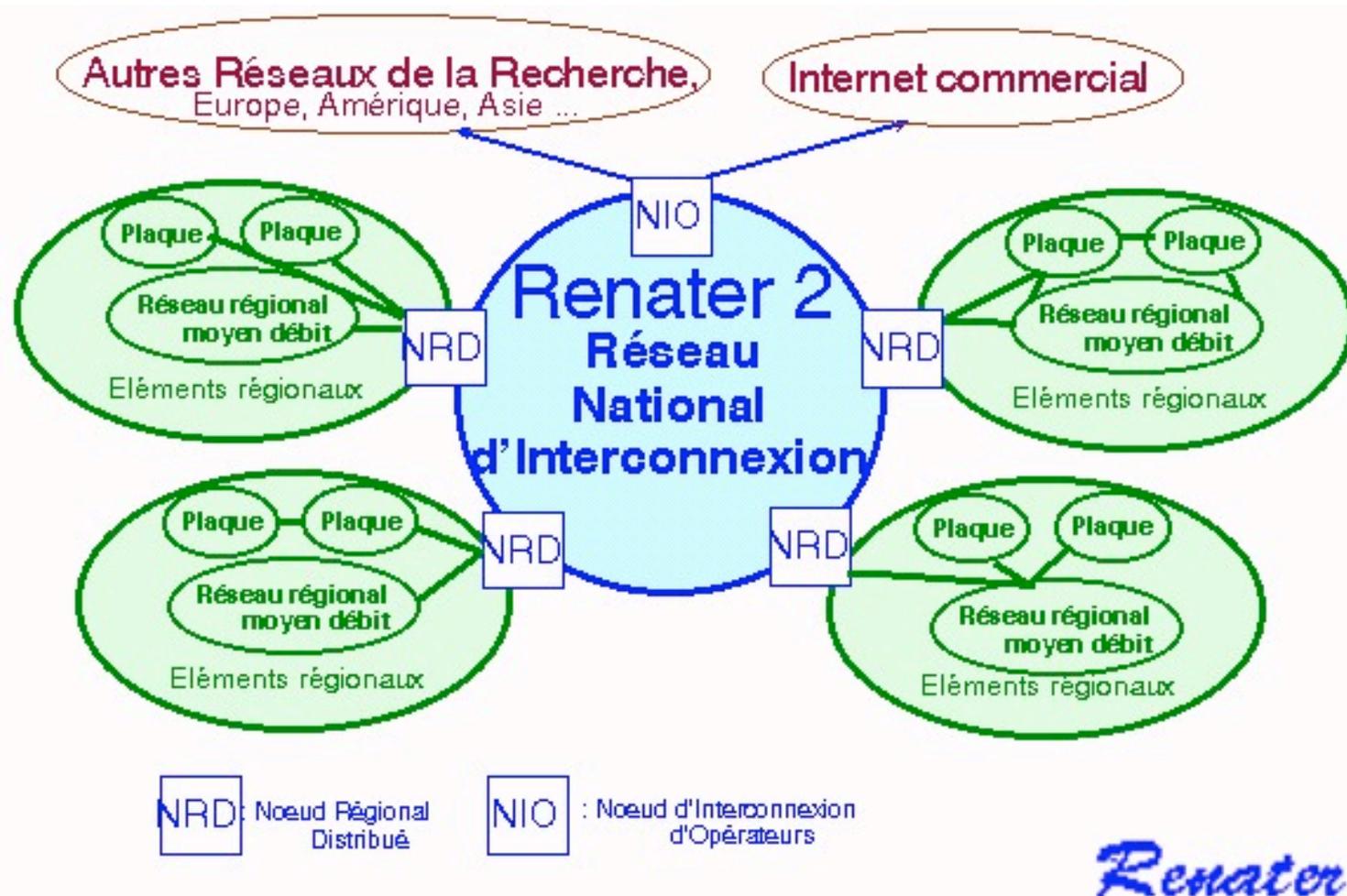
RENATER 2bis



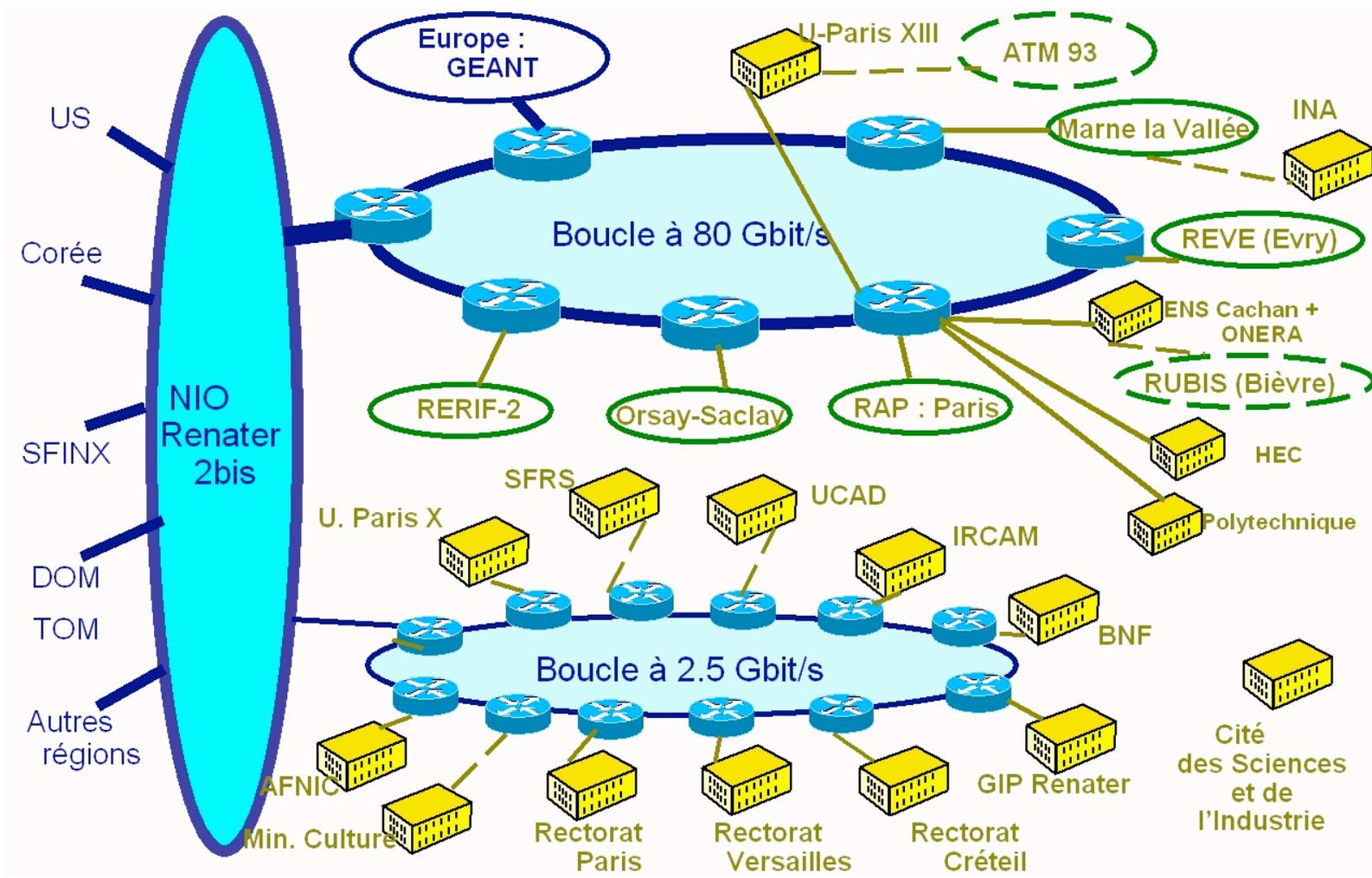
RENATER 2, les liaisons

- **Les liaisons nationales de Renater 2 sont constituées de liaisons SDH. Une "liaison PDH" ou une "liaison SDH" est une liaison d'infrastructure (niveau 1) à haut débit (34 ou 45Mbits/s pour PDH, 155Mbit/s et au dessus pour SDH) point à point.**
- **Ces liaisons relient les commutateurs ATM de Renater qui sont situés dans les NRD et dans le NIO. L'ensemble de ces éléments fournit un service de circuits virtuels (VP) ATM. Des routeurs IP, situés également dans les NRD et le NIO, et interconnectés par ces VP ATM, fournissent le service IPv4.**

RENATER 2, architecture générale



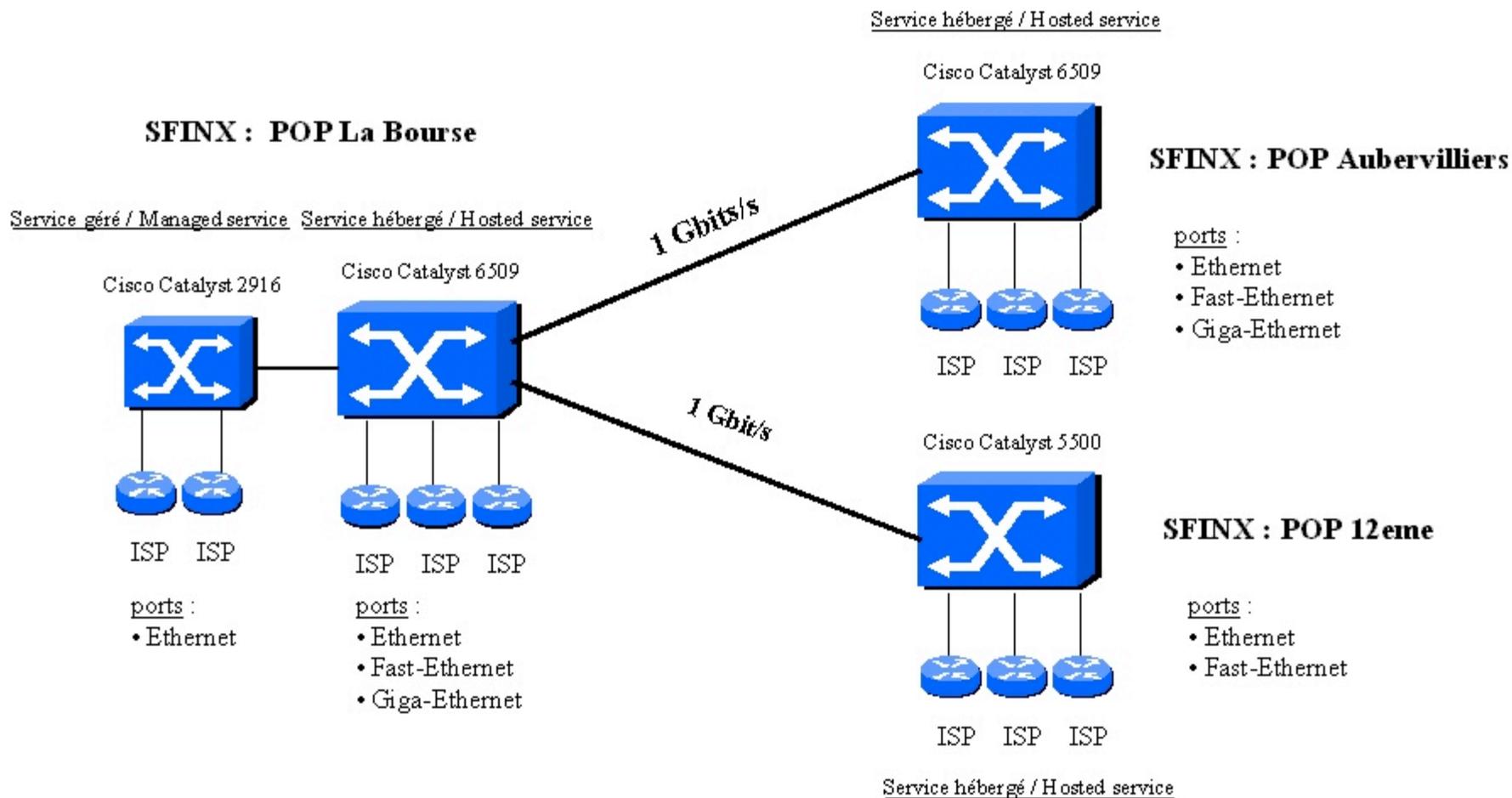
RENATER 2, le système central



Le GIX SFINX

- **Global Internet eXchange, Service for French INternet eXchange. Initialement 1 seul POP, 3 maintenant.**
- **Les POPs SFINX sont interconnectés pour permettre à des prestataires de services Internet et aux opérateurs connectés sur un POP d'échanger du trafic avec ceux connectés sur les autres POPs.**

Architecture SFINX



X.25, Frame Relay

La recommandation X.25

■ Norme

- définit comment interconnecter des équipements utilisateurs sur un réseau public en mode commutation de paquets. Proposé en 1984 par le CCITT, X.25 reprend en partie les propositions de l'ISO sur OSI (OSI 8208). La LS est le mode opératoire qui est recommandé.

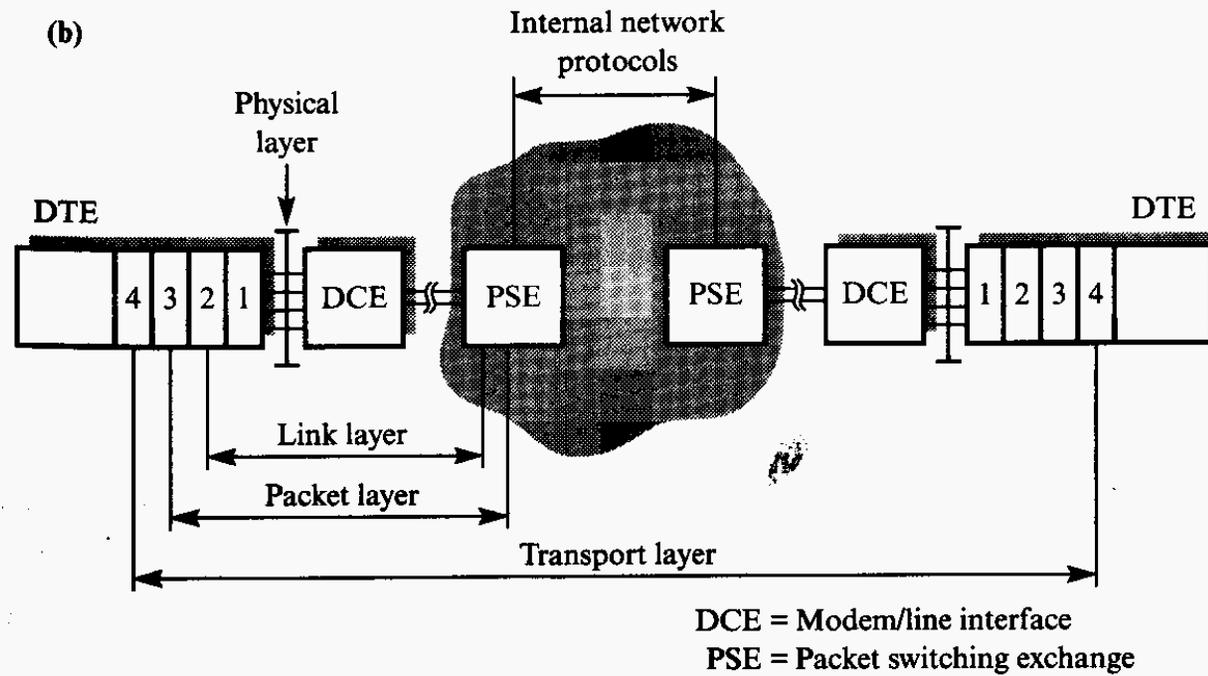
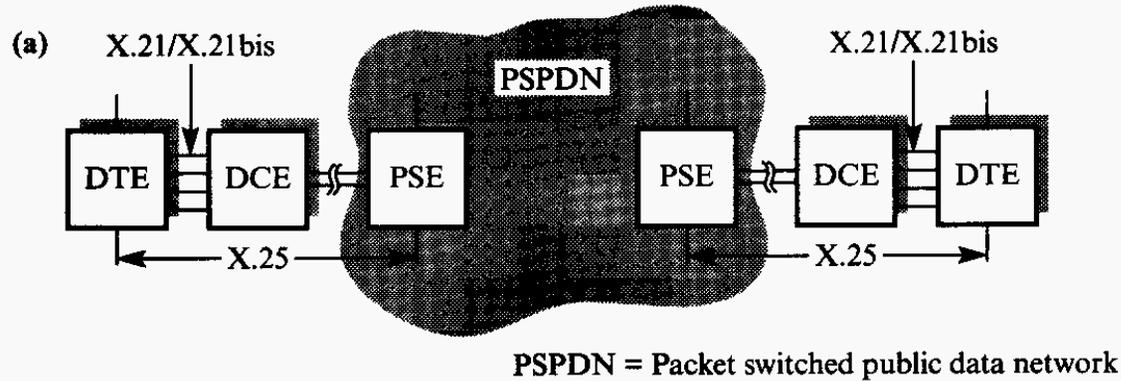
■ partie de la recommandation X25

- utilise X25.1, soit X21bis au niveau Physique (utilisation de V24)
- utilise X25.2 au niveau logique
 - LAPB : HDLC symétrique options 2 et 8
 - LAP (ancien) ressemble à HDLC dissymétrique autonome
- utilise X25.3 au niveau réseau

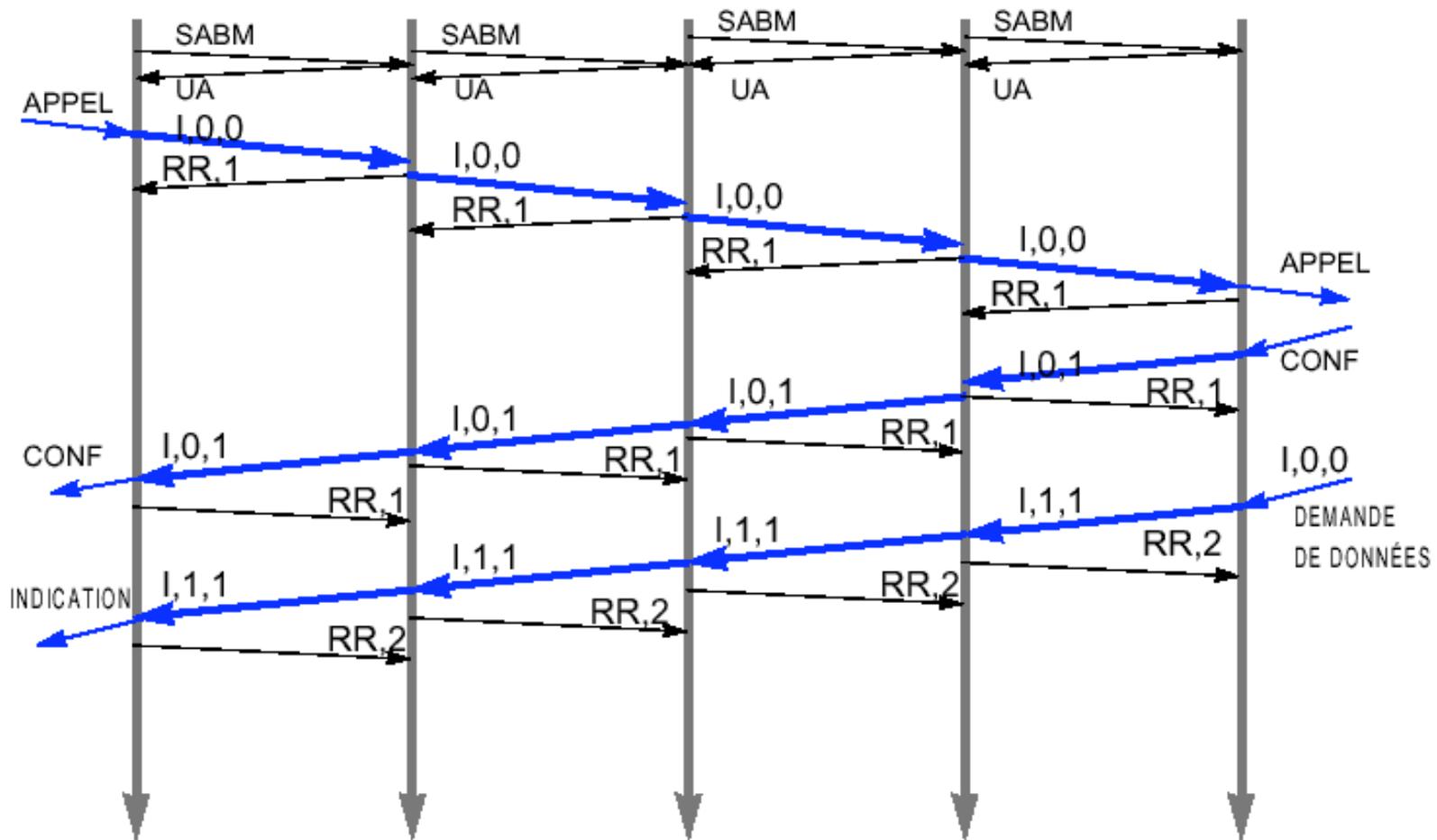
■ service fourni

- Service Réseau connecté avec circuits virtuels
 - commutés
 - permanents

X.25 dans l'infrastructure réseau



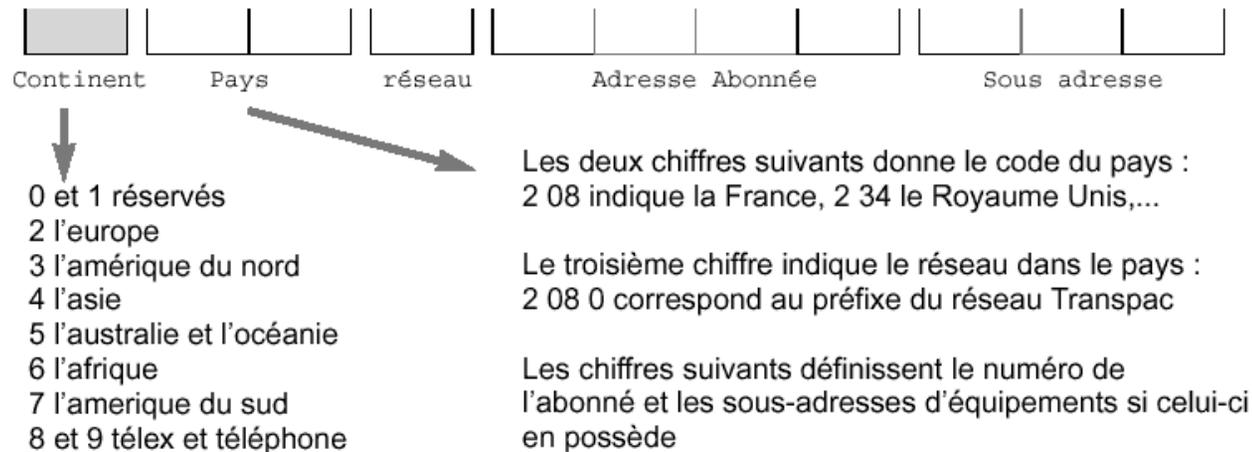
Détails CR au niveau liaison (LAPB)



Au niveau réseau

■ X.25 définit des adresses suivant la norme X.121,

- c'est à dire codées sur 14 chiffres: 3 pour le pays, 1 pour le réseau, et les 10 suivants pour le site.

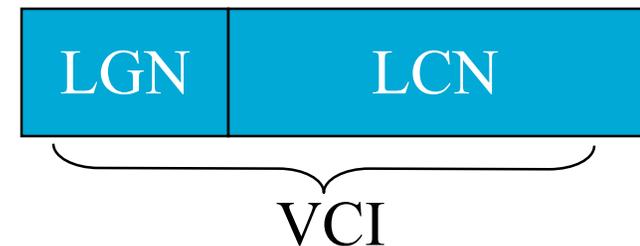
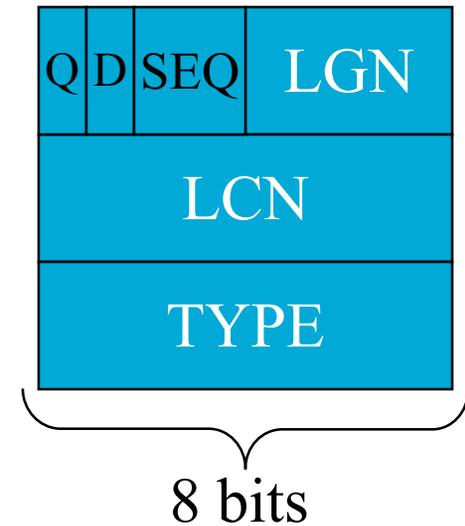


■ Tous les paquets possèdent une en-tête commune de 3 octets comprenant

- un champ GFI (Group Format Identifier),
- un champ LGN (numéro de groupe logique),
- un champ LCN (numéro de voie logique) et un champ TYPE.

Entête X.25

- **Q : Qualificateur de données**
- **D : Confirmation de remise**
 - Contrôle de bout en bout
 - Respecté, très peu utilisé
- **SEQ**
 - 01 numérotation modulo 8
 - 10 numérotation modulo 128
 - 11 Extension de format
- **Numéro de voie logique**
 - sur 12 bits : 4096 VL
 - 16 groupes de 256 VL
- **Type : Type du paquet**
 - Demande, confirmation d'appel, libération , interruptions...
 - Données normales



Quelques procédures dans X.25

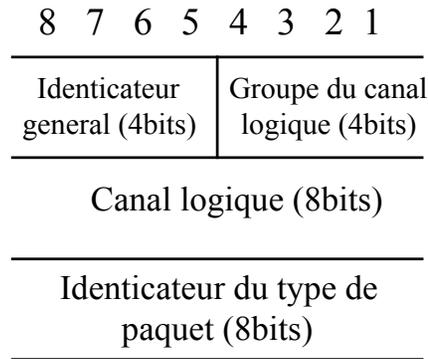


Fig.1

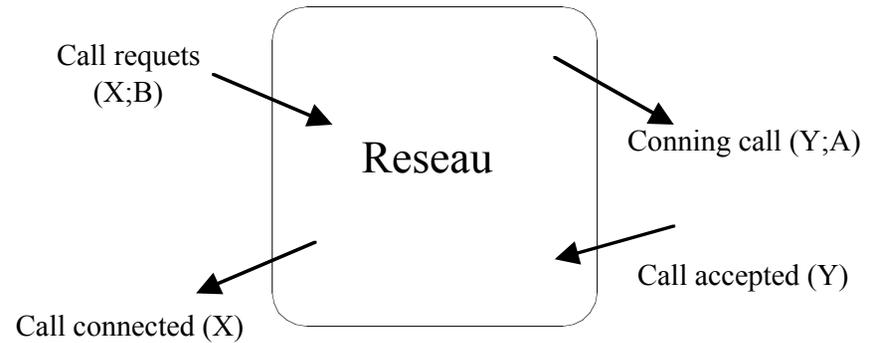


Fig.2

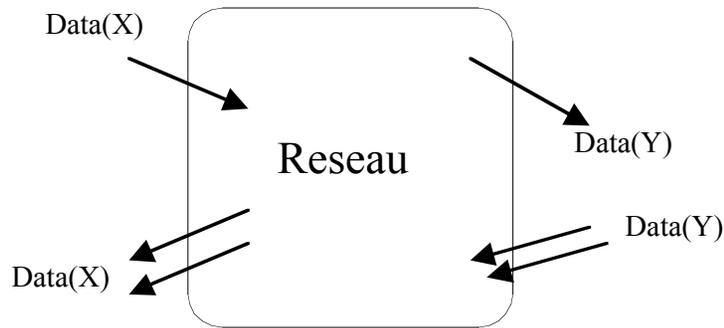


Fig.3

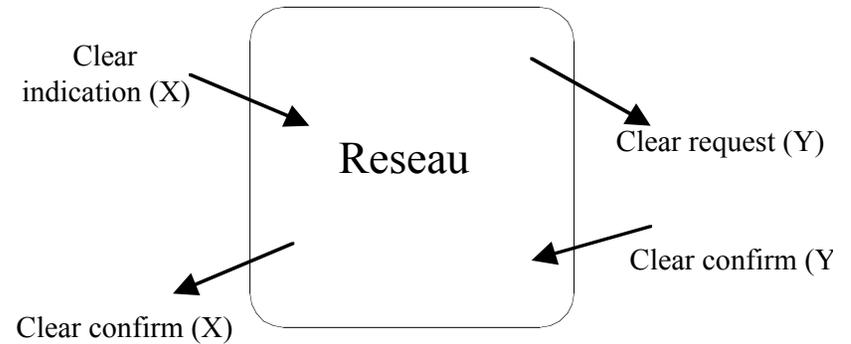


Fig.4

Les formats de paquets X.25 associés

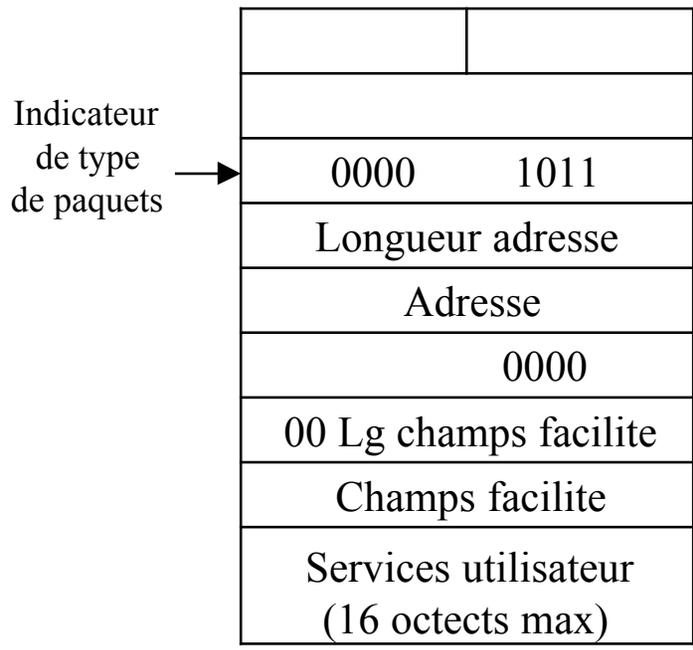


Fig.5

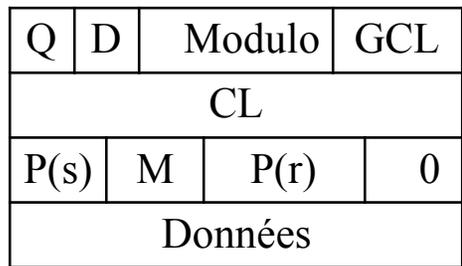


Fig.7

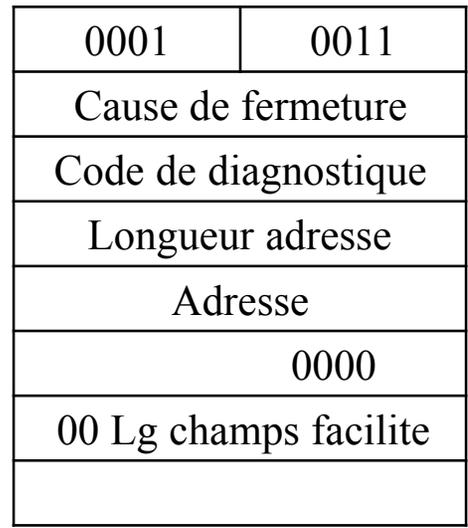


Fig.6

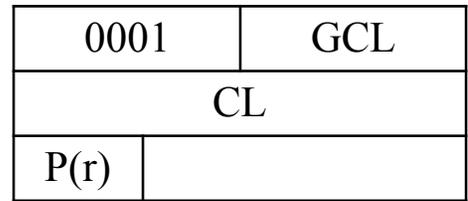


Fig.8

Etablissement de connexion dans X.25 (1)

- Le champ facilities inclut dans un paquet call request de X.25 permet de spécifier un certain nombre d'options comme l'utilisation du fast select, des tailles paquets et de fenêtre différentes, une numérotation étendue etc.
- On peut également indiquer une Qualité de Service (QoS) qui comporte 2 listes de paramètres: les paramètres désirés et les paramètres minimaux. Ces paramètres sont par exemple le temps de transfert, le taux d'erreurs, les priorités, le coût et le chemin.
- Détails des options et procédure d'établissement

Etablissement de connexion dans X.25 (2)

■ Mode normal

- Un VC est établi sur l'appel d'un N_CONNECT.request et le paquet de connexion est véhiculé sur ce VC en tant que donnée X.25.

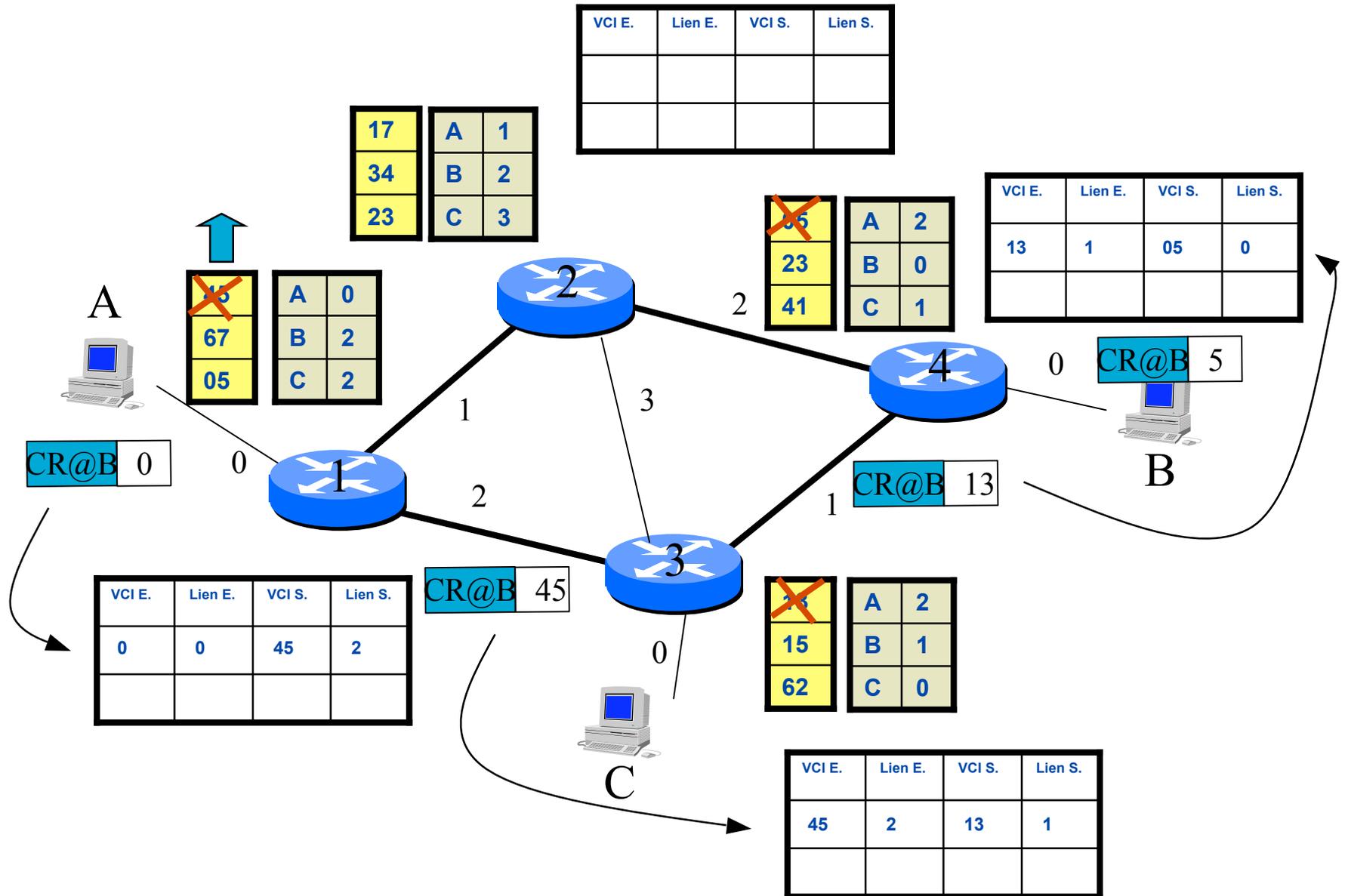
■ Mode Fast Select

- Pour aller plus vite, on fait une correspondance directe entre le N_CONNECT.request et l'établissement de connexion de X.25 en mettant les données de la couche supérieure dans le paquet X.25.

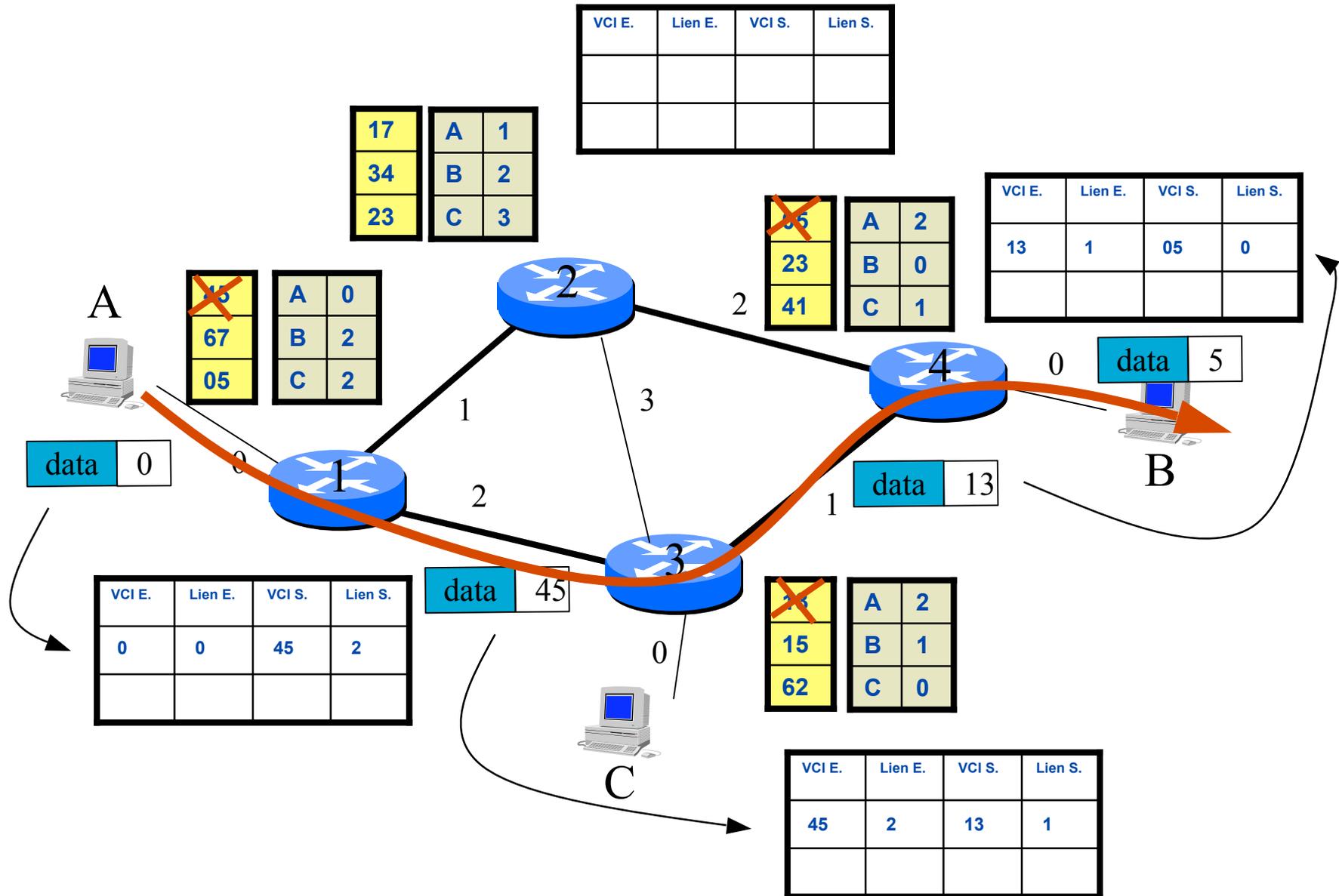
■ Faire du datagramme

- Ce mode Fast Select permet en outre de faire du mode datagramme pour un paquet de donnée unique dont la taille est inférieure à 128 octets.

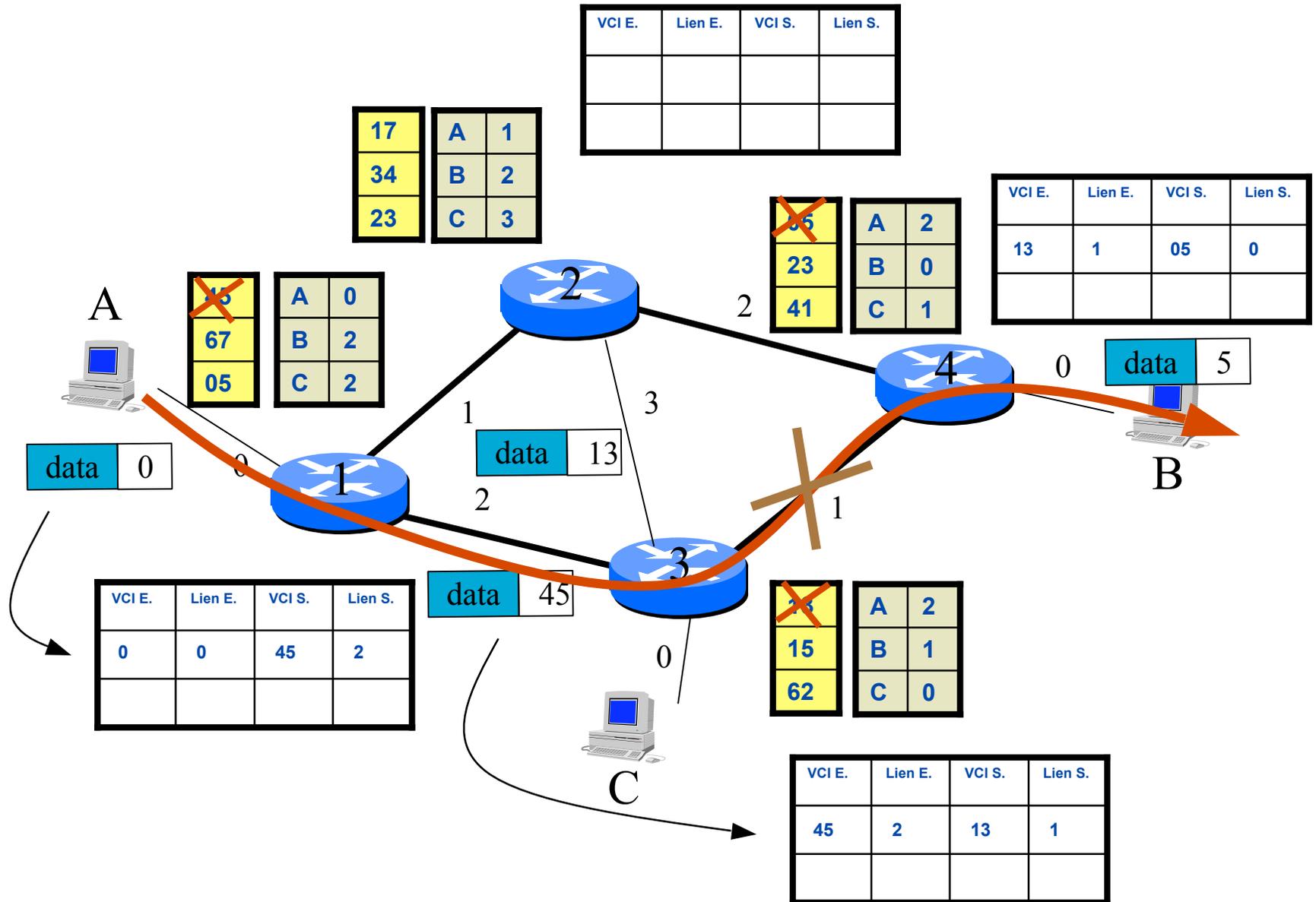
Etablissement d'un circuit virtuel (1)



Etablissement d'un circuit virtuel (2)



Panne de liens



Le contrôle de flux dans X.25

- Le contrôle de flux dans X.25 au niveau réseau utilise un mécanisme de fenêtre coulissante. Ce contrôle est réalisé de manière indépendante pour chaque VC et pour chaque direction.
- Chaque paquet de données contient dans le champ TYPE de l'en-tête un numéro de séquence pour l'envoi P(S) et un numéro de séquence pour la réception P(R). Ce dernier concerne les données arrivant dans la direction inverse (le prochain attendu). Pour une communication simple-duplex, le récepteur envoie des paquets RR (Receive Ready) en indiquant un P(R) qui indique le nombre de paquets acquittés.
- Envoi exceptionnel d'un paquet sans tenir compte du contrôle de flux. Celui-ci doit être acquitté avant de pouvoir en envoyer un autre.

L'interconnexion de réseaux X.25: X.75

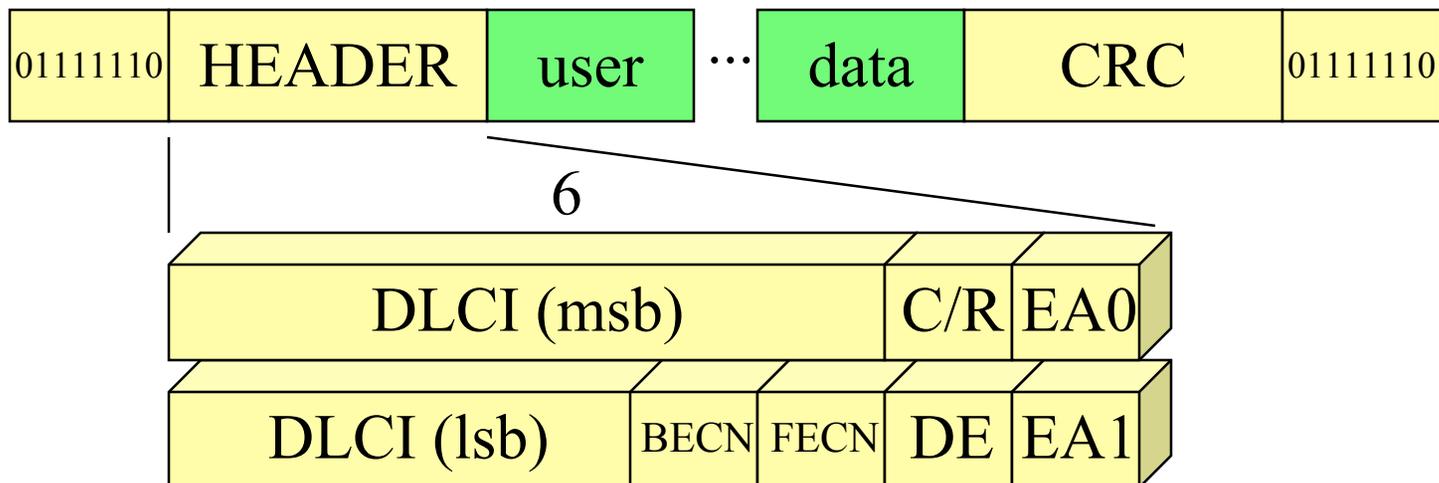
- X.25 fonctionnant en mode connecté, les paquets appartenant à une même connexion sont identifiés par un VCI (LGN+LCN) dans l'en-tête du paquet. Ces VCIs ont une signification locale et sont assignés de manière arbitraire par un noeud de commutation. Seul importe le couple VCI ETTD-ETCD et ETCD-ETTD.
- Pour l'interconnexion de réseaux X.25, on utilise le standard X.75 qui définit l'établissement et la libération des VCIs sur un réseau d'interconnexion, c'est-à-dire à travers les éléments de commutations du réseau public. X.75 est un peu plus simple que X.25 car il ne considère que 2 éléments directement connectés, i.e. les noeuds de commutation.

Frame Relay

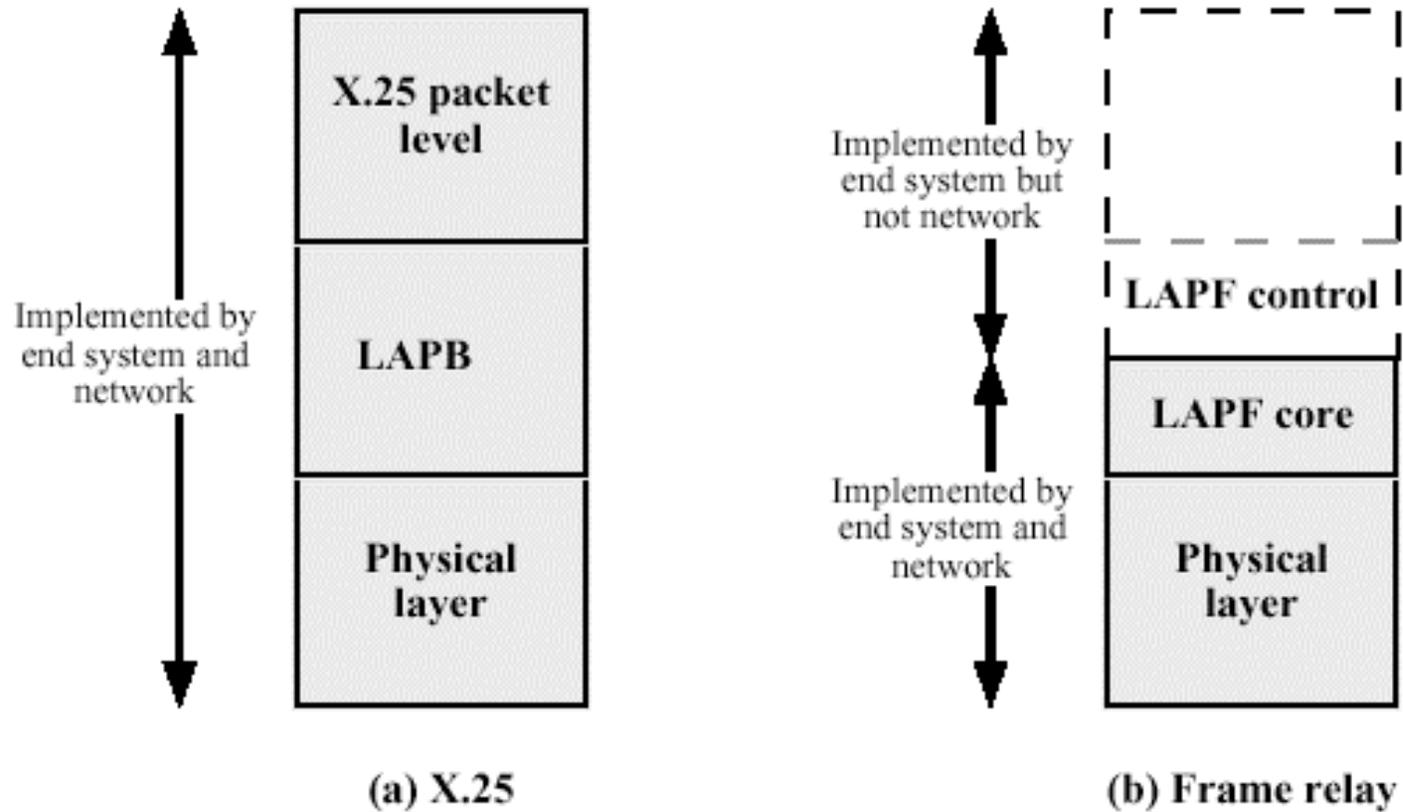
- **Frame Relay simplifie les opérations effectuées par le réseau. Il ne comporte que les couches 1&2 et reporte des fonctionnalités de la couche 2 vers les utilisateurs. Frame Relay est orienté connexion mais ne gère pas les retransmissions et le reséquençement.**
- **Au contraire de X.25, la signalisation est véhiculée hors-bande, le multiplexage est assuré par la couche liaison, Il n'y a pas de contrôle de flux par lien, les tailles de trames sont plus grandes.**
- **Frame Relay est différent des réseaux store-and-forward car du fait qu'il ne gère pas la retransmission lorsqu'une trame est erronée, il peut retransmettre plus vite une trame reçue, sans attendre de l'avoir complètement reçue. Il y a donc réduction du temps de transit.**

Frame Relay, format des trames

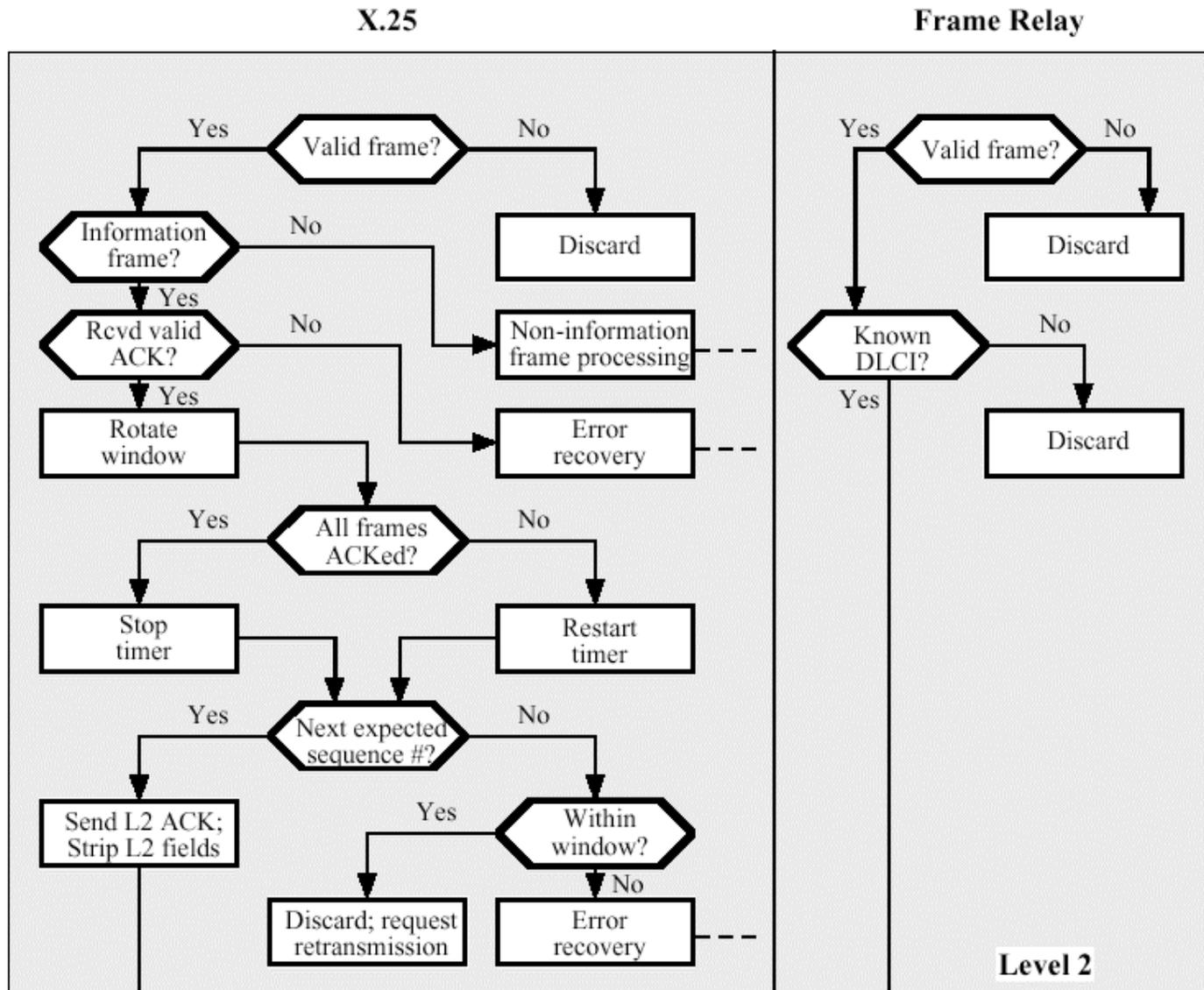
- A chaque connexion est associée un identificateur (Data Link Connection Identifier, DLCI) qui se retrouve dans toutes les trames de données.
- La trame du Frame Relay s'inspire fortement de la trame du LAP-D du RNISBE. Sa structure est la suivante:



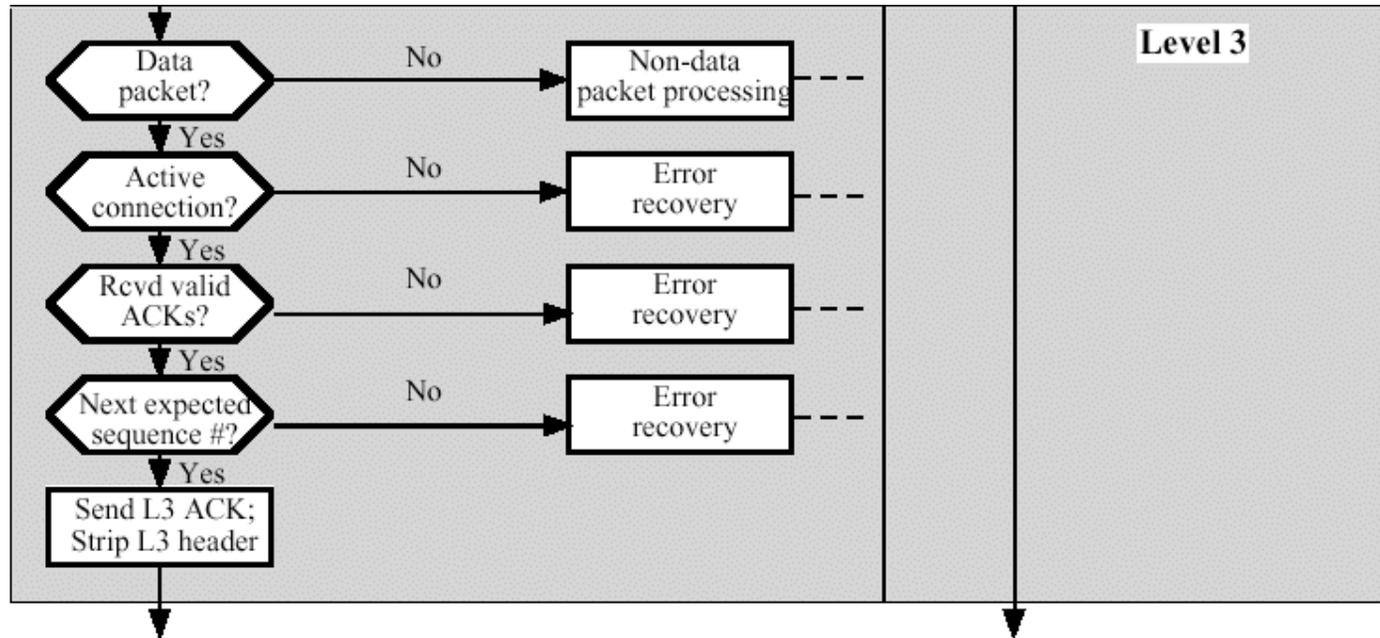
Frame Relay par rapport à X25 (1)



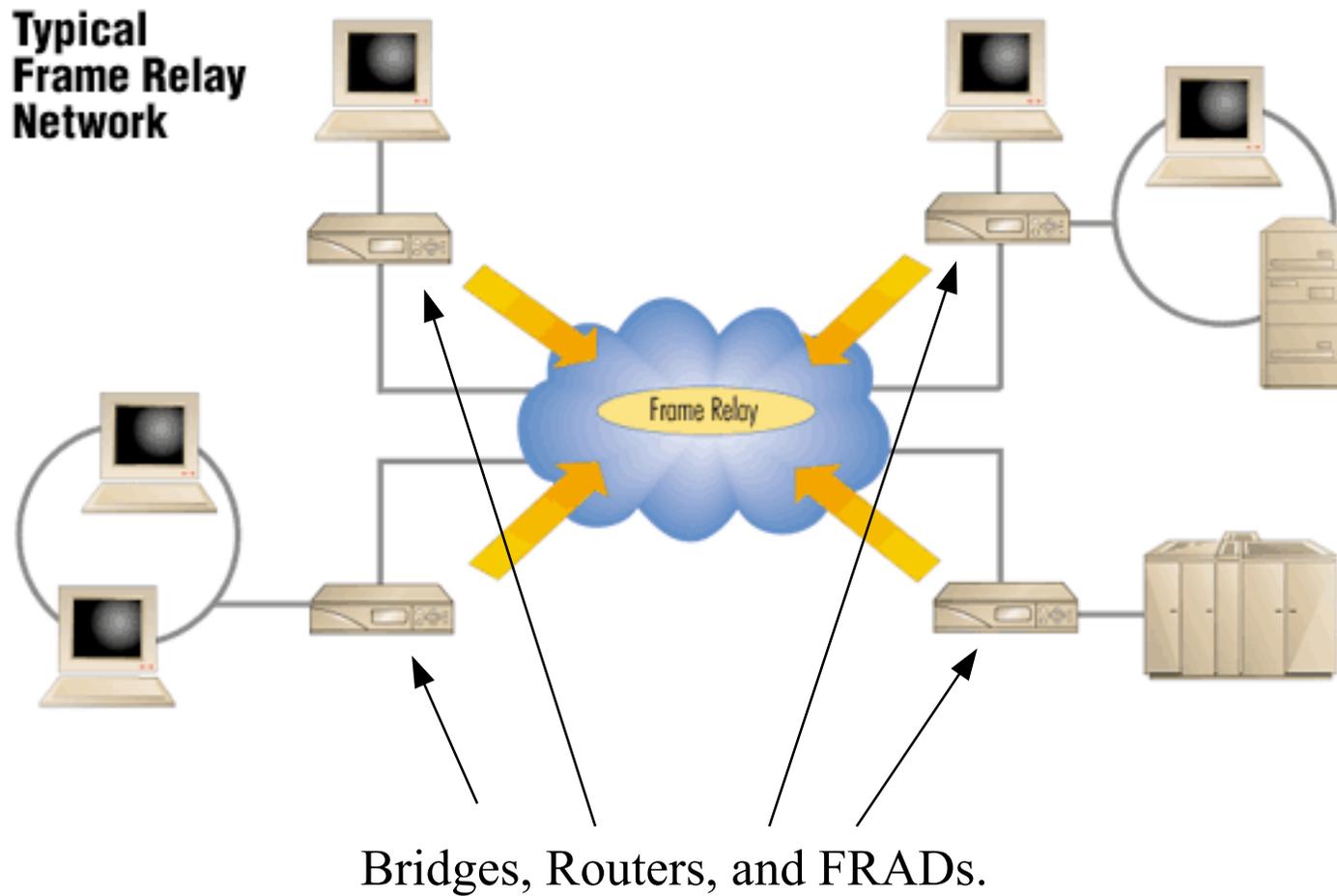
Frame Relay par rapport à X25 (2)



Frame Relay par rapport à X25 (3)



Un réseau Frame Relay



La gestion du trafic (1)

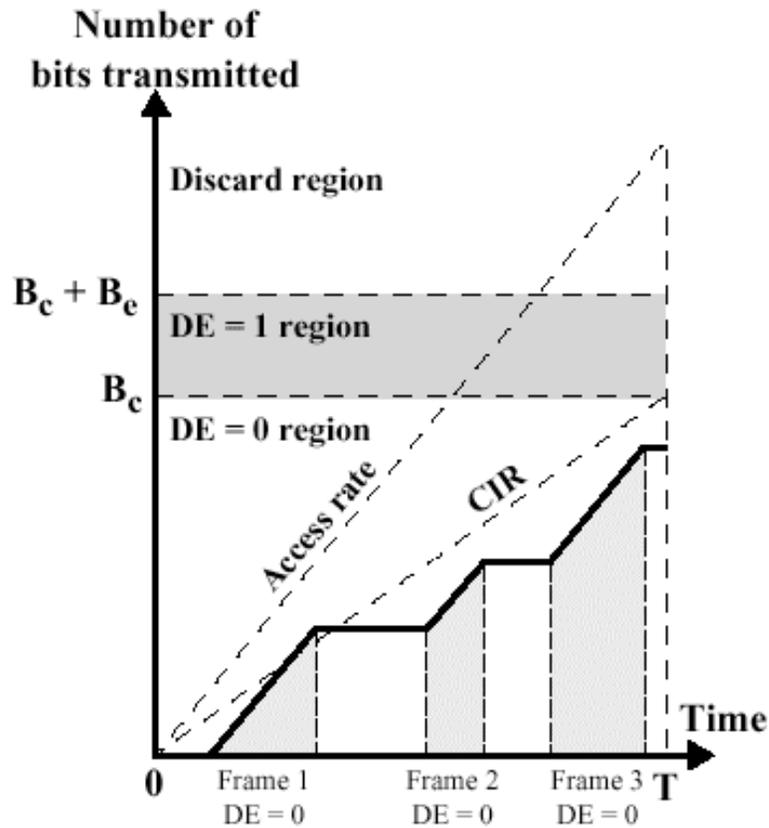
- **Frame Relay propose un certain nombre de mécanismes pour gérer les congestions**
- **Contrôle d'admission**
 - Committed Information Rate CIR: débit moyen que le réseau s'engage à transporter avec la QoS demandée
 - Committed Burst size Bc: taille maximale en bits des rafales qui seront générées par la source. Le commutateur de rattachement va mesurer sur une période T le débit observé.
 - Excess burst size Be: quantité d'information que la source sera autorisée à émettre en excès par rapport à Bc sur une période T.

La gestion du trafic (2)

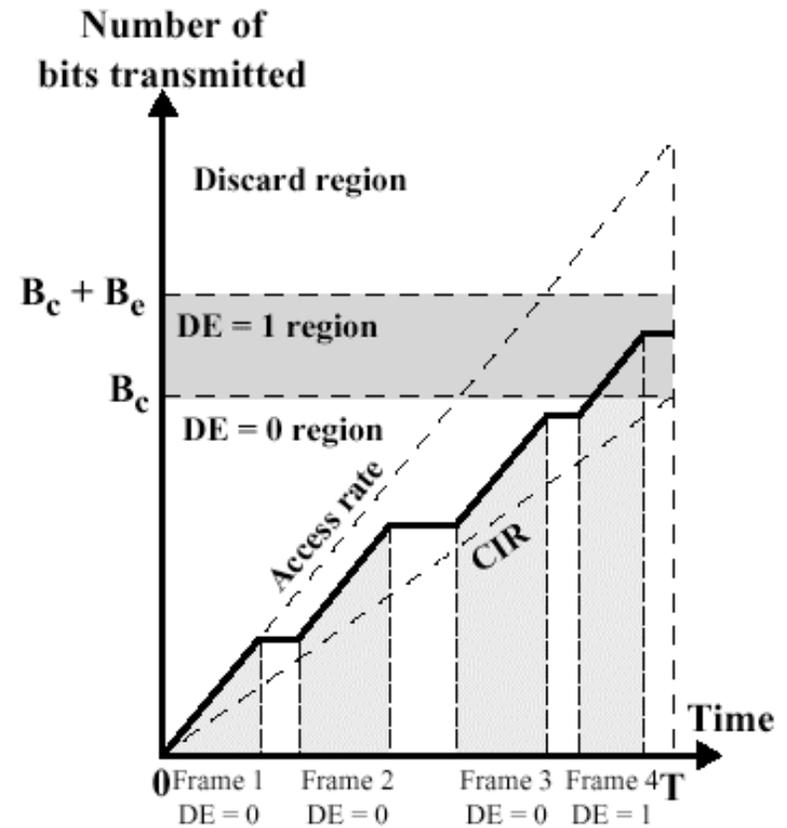
■ Contrôle du trafic

- Une fois la connexion acceptée, le commutateur de rattachement peut forcer une source qui ne respecterait pas son contrat à réduire son trafic. Toutes les trames sont initialement émises avec le bit DE à 0.
- Si la quantité d'information devient supérieure à Bc sur une période T , mais reste inférieure à $Bc+Be$, les trames sont marquées avec $DE=1$. Elles seront les premières à être détruites en cas de congestion.
- Si la quantité d'information observé pendant une période T est supérieure à $Bc+Be$, les trames sont purement détruites.
- Le CIR est une donnée importante pour la tarification. Un usager peut demander un CIR et un Bc nuls qui est équivalent à un service best effort. $T=Bc/CIR$ si $CIR>0$, $Bc>0$, $Be\geq 0$. $T=Be/C$ si $CIR=0$, $Bc=0$, $Be>0$ où C est la capacité du lien.

La gestion du trafic (3)

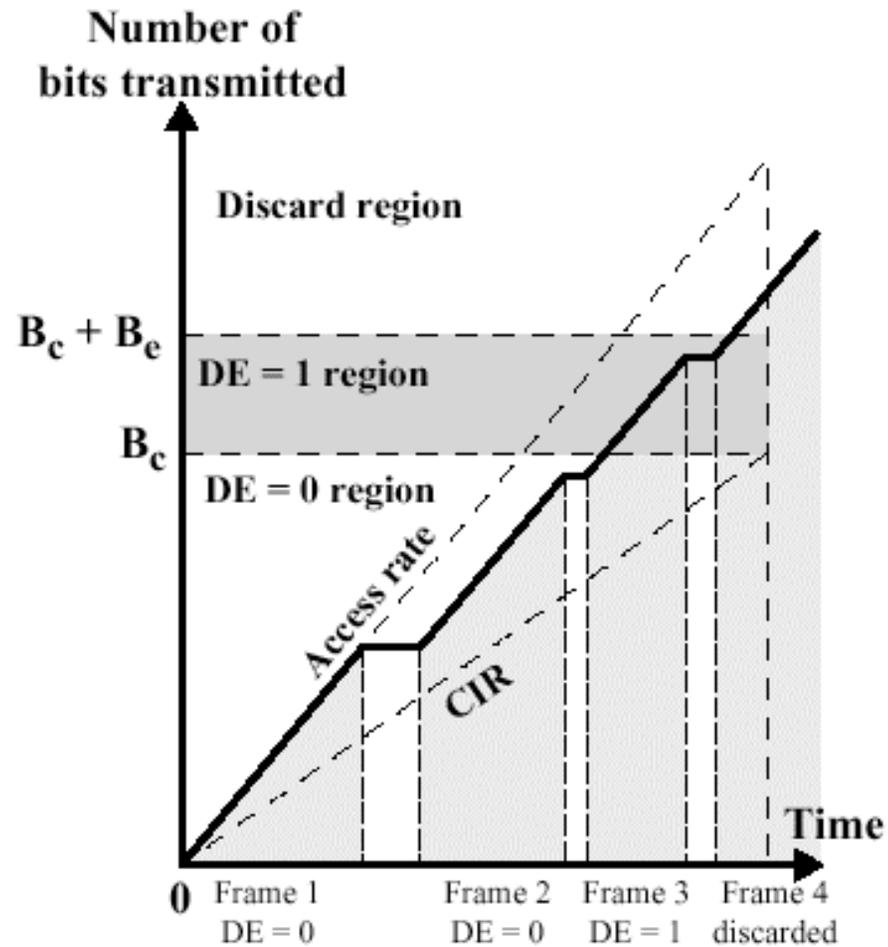


(a) All frames within CIR



(b) One frame marked DE

La gestion du trafic (4)



(c) One frame marked DE; one frame discarded

La gestion du trafic (3)

■ Contrôle de congestion

- Un commutateur Frame Relay peut connaître un risque de congestion si le taux de remplissage de ses mémoires tampon dépasse un certain seuil S ($S=80\%$ par exemple).
- En cas de dépassement de S , les bits FECN et/ou BECN peuvent être utilisés pour notifier le destinataire (FECN) et/ou la source BECN que des mesures doivent être prises. La source peut par exemple réduire sa fenêtre d'émission.

- **Le débit offert par Frame Relay est de 1.5 Mbits/s au USA et de 2Mbits/s en Europe. Les mécanismes de contrôle de congestion ne sont pas assez efficaces pour obtenir aisément les débits de 45 Mbits/s et 34 Mbits/s prévus.**

Performances de Frame Relay

- Des mesures ont montré que Frame Relay est environ 10 fois plus rapides que X.25.
- Le délai moyen de bout en bout pour une capacité de liens de 1.5 Mbits/s et des trames de 512 octets est inférieur à 70ms.
- Frame Relay ne peut cependant pas supporter efficacement le transfert de la voix du fait des tailles de paquets encore trop grand qui ne garantissent pas un temps de commutation borné.
- D'où proposition d'ATM par les telcos

Vers les réseaux multi-services

- DQDB, ATM

Synthèse

<i>Fonctionnalités</i>	<i>X.25</i>	<i>Frame Relay</i>	<i>SMDS</i>	<i>DQDB</i>	<i>ATM-AAL</i>
Connexion	Oui	Oui	Non	Oui	Oui
Débit	64kbits/s	1.5 Mbits/s	45 Mbits/s	45 Mbits/s	155 Mbits/s
Commutation	Oui	Non	Oui	Non	Oui
Charge utile fixe	Non	Non	Non	Oui	Non
Charge utile max	128/4096	1600	9188	44	variable
VCs permanents	Oui	Oui	Non	Non	Oui
Multicast	Non	Non	Oui	Non	Oui
Transport voix	Non	Non	Oui	Oui	Oui