

M1 RES - Architecture des réseaux 10/10

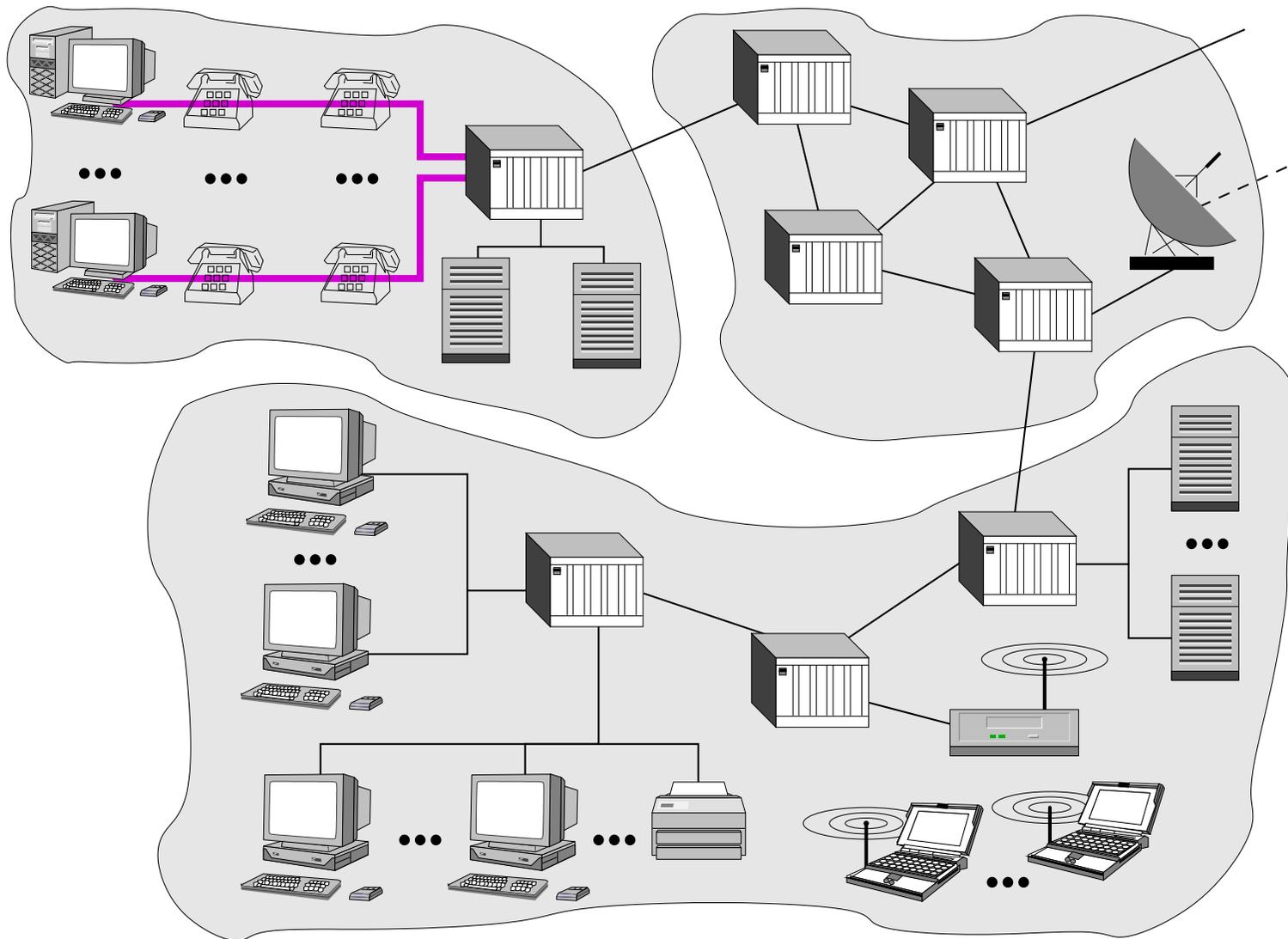
De la boucle locale...

Olivier Fourmaux

olivier.fourmaux@lip6.fr

Version 4.c, septembre 2004

Boucle locale : Où ?



Plan

Réseau Téléphonique Commuté

xDSL

Câble TV

Courants Porteurs en Ligne

Boucle Locale Radio

Satellites

Le système téléphonique

Réseau Téléphonique Commuté (RTC)

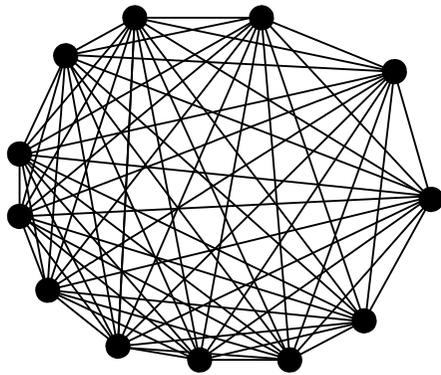
Public Switched Telephone Network (PSTN)

Plain Old Telephone System (POTS)

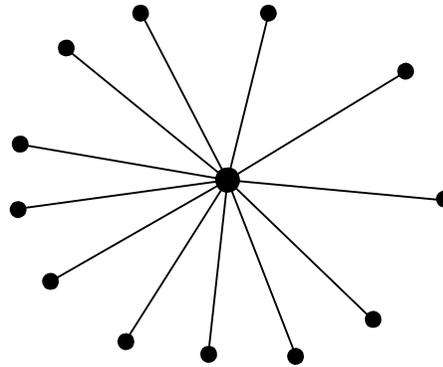
- Buts :
 - ✓ transmission de la parole humaine
 - ☞ $\sim 300Hz - 3400Hz$
 - ✓ étendue mondiale
 - ✓ service analogique
- Extentions (disponibilité limités) :
 - ✓ service numérique
 - ✓ transmission de données entre les réseaux informatiques
 - ☞ LS, X25, FR, ATM...
 - ☞ débits jusqu'au Gigabit/s

Architecture du réseau téléphonique

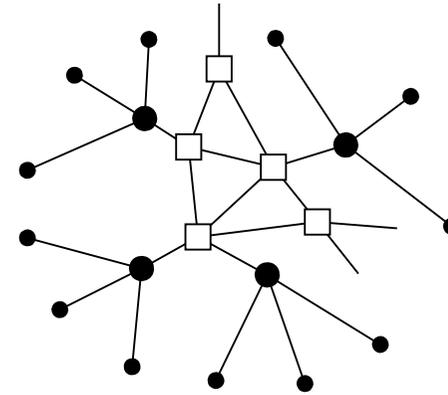
pictures from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*



(a)



(b)



(c)

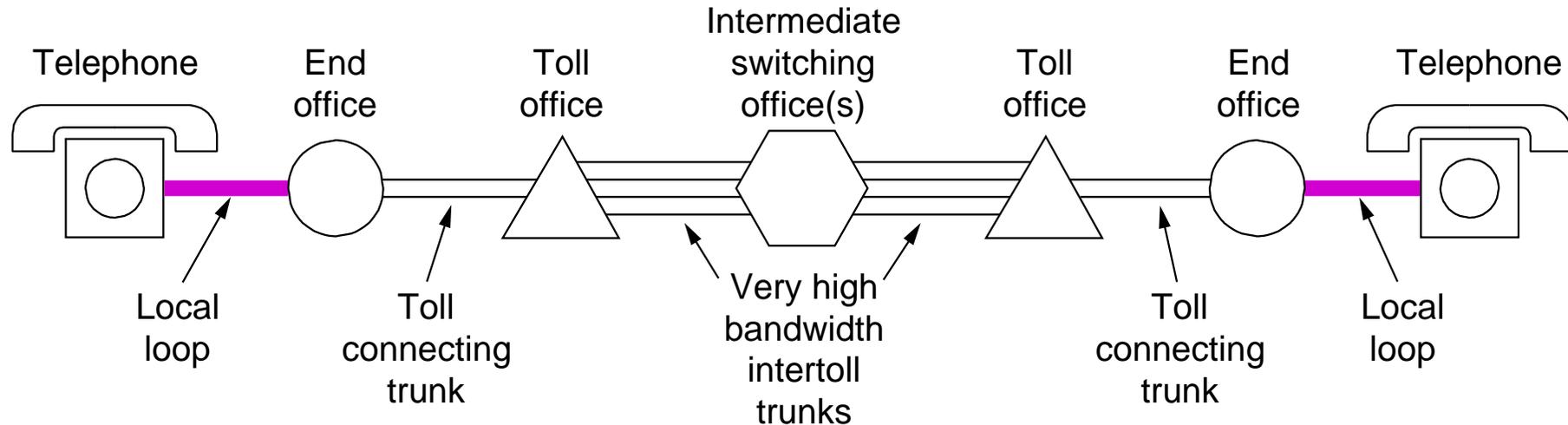
Réseau à interconnexion totale (a), à commutateur central (b) et hiérarchique à deux niveaux (c)

Structuration du réseau téléphonique

- hiérarchie multi-niveaux (jusqu'à 5)
 - ✓ composants de base :
 - ➔ liaisons abonnés-centraux
 - ➔ centraux
 - ➔ liaisons inter-centraux

Cheminement d'une connexion téléphonique

pictures from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*



- éléments impliqués :

- ✓ **Commutateur Local** (CL, *end office*)

- ☞ accès téléphones par la **Boucle Locale** (BL, *local loop* ou desserte locale)

- ✓ **Commutateur à Autonomie d'Acheminement** (CAA, *toll office*)

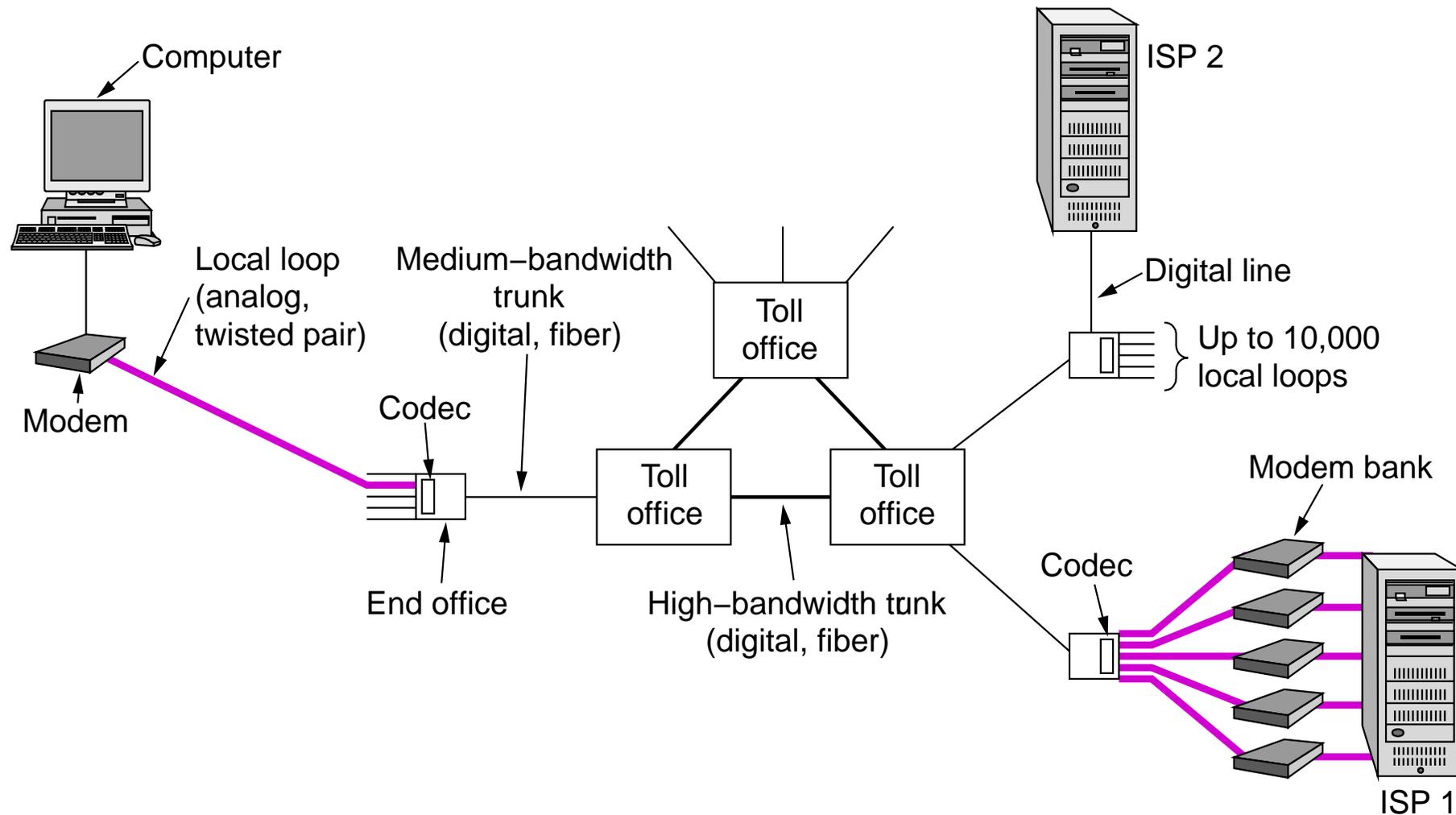
- ☞ reliés par des **lignes** ou artères interurbaines (*toll connecting trunks*)

- ☞ forme une ZAA (Zone à Autonomie d'Accès) : plusieurs par zones urbaines

- ✓ **Commutateurs de Transit** primaires/secondaires (CTP/CTS, *intermediate switching offices*)

- ☞ reliés par des **artère** haut débit (*intertoll trunks*)

Boucle locale par le réseau téléphonique



pictures from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 3rd edition*

Modems classiques

Modulateur/démodulateur

- échange **full duplex**
- émission large bande (**analogique**)
 - ✓ utilisation d'une **porteuse** (1000-2000 Hz)
 - ✓ nombre de **modulations** par seconde (2400 Bauds)
 - ☞ modulation d'amplitude (AM, *Amplitude Modulation*)
 - ☞ modulation de phase (PSK, *Phase Shift Keying*)
 - ☞ modulation de fréquence (FSK, *Frequency Shift Keying*)
 - ☞ combinaisons : modulation avec codage en treillis...
 - ✓ théorème de **Shannon** : limite théorique = $H * \log_2(1 + S/N)$ bps
 - ☞ avec : H bande passante, S/N de rapport signal/bruit
 - ☞ téléphone : $S/N \sim 30\text{dB} \Rightarrow$ limite ~ 35 Kbps
 - ✓ théorème de **Nyquist** : débit binaire max = $2H * \log_2 V$ bps
 - ☞ V.32bis : $\log_2 V = 6 \Rightarrow 14.4$ Kbps
 - ☞ V.34 : $\log_2 V = 12 \Rightarrow 28.8$ Kbps
 - ☞ V.34bis : $\log_2 V = 14 \Rightarrow 33.6$ Kbps

Modems 56K

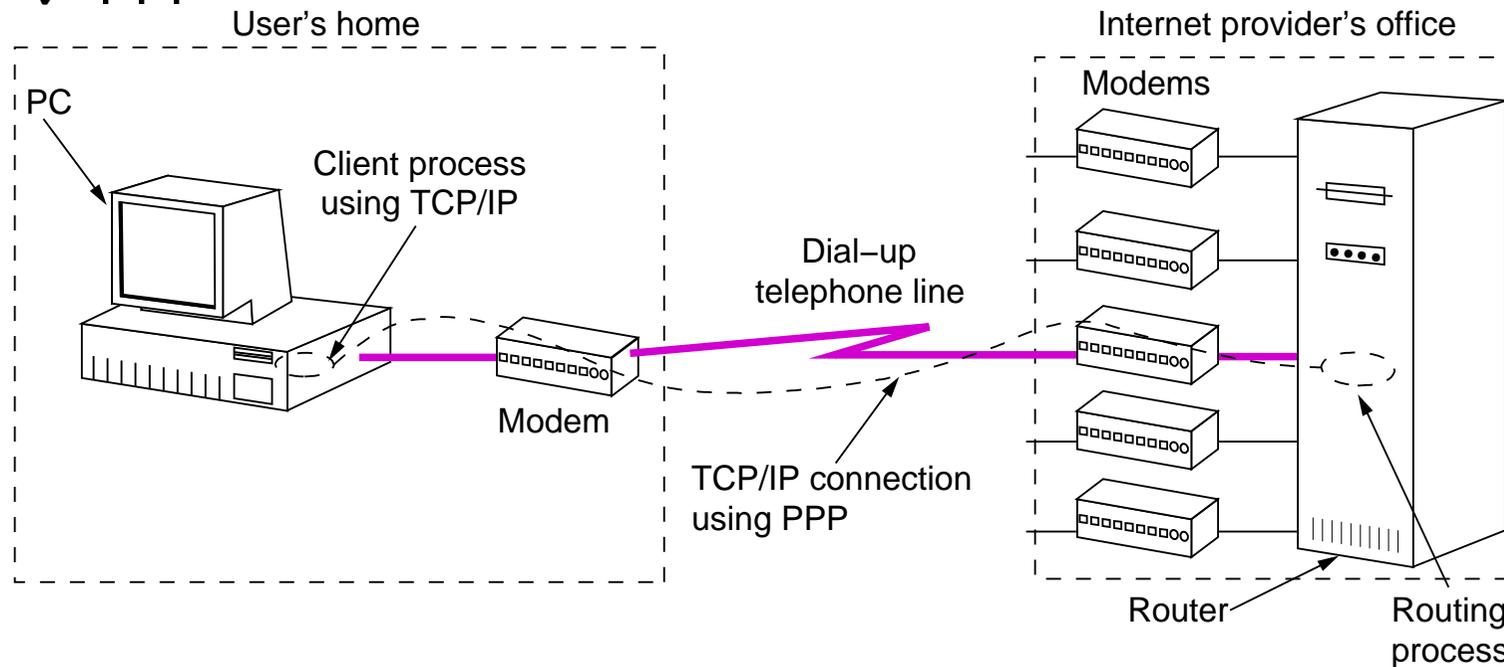
Dépasser la limite de Nyquist ?

- accès direct au numérique chez l'ISP
 - ✓ une seule double conversion (moins de bruits introduits)
 - ☞ récupération de 70 Kbps théorique
 - ✓ Nyquist avec la bande passante numérique :
 - ☞ 4Khz = 8000 modulations
 - ✓ nombre de bits par échantillons :
 - ☞ Europe : 8 bits \Rightarrow 64 Kbps
 - ☞ US : **7 bits \Rightarrow 56 Kbps**
 - ✓ normes :
 - ☞ V.90 \Rightarrow 56 Kbps descendant et 33.6Kbps montant
 - ☞ V.92 \Rightarrow 56 Kbps descendant et 48 Kbps montant

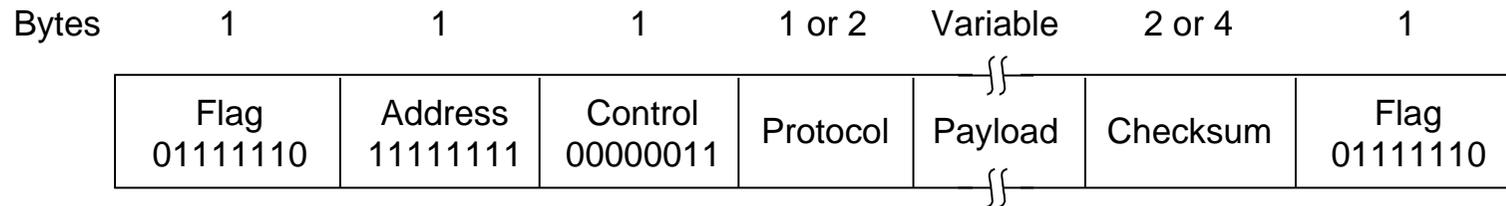
IP sur RTC

Service offert par les modems sur RTC

- **couche physique :**
 - ✓ asynchrone orienté **octet**
- **couche liaison :**
 - ✓ SLIP
 - ✓ CSLIP
 - ✓ PPP



PPP sur RTC



Encapsulation PPP sur un support orienté **octets** :

- Similaire à une trame **HDLC**

- ✓ fanion de valeur (1 octet) : 0x7E

- ✓ address (1 octet) : 0xFF

- ✓ control (1 octet) : 0x03

- ✓ protocol (1 ou 2 octet)

- ☞ optimisation : suppression des champs address et control, réduction de protocol et compression des entêtes TCP/IP

- ✓ protection par échappement (octet de valeur 0x7D) :

- ☞ fanion = 0x7E ☞ 0x7D 0x5E et 0x7D ☞ 0x7D 0x5D

- ✓ valeurs actives pour la gestion du modems (codes ASCII < 32)

- ☞ 0x11 (XON) ☞ 0x7D 0x31 et 0x13 (XOFF) ☞ 0x7D 0x33

☞ La bande passante disponible est **variable** !

Plan

Réseau Téléphonique Commuté

xDSL

Câble TV

Courants Porteurs en Ligne

Boucle Locale Radio

Satellites

Evolution de la boucle locale téléphonique

La paire torsadée est limitée artificiellement

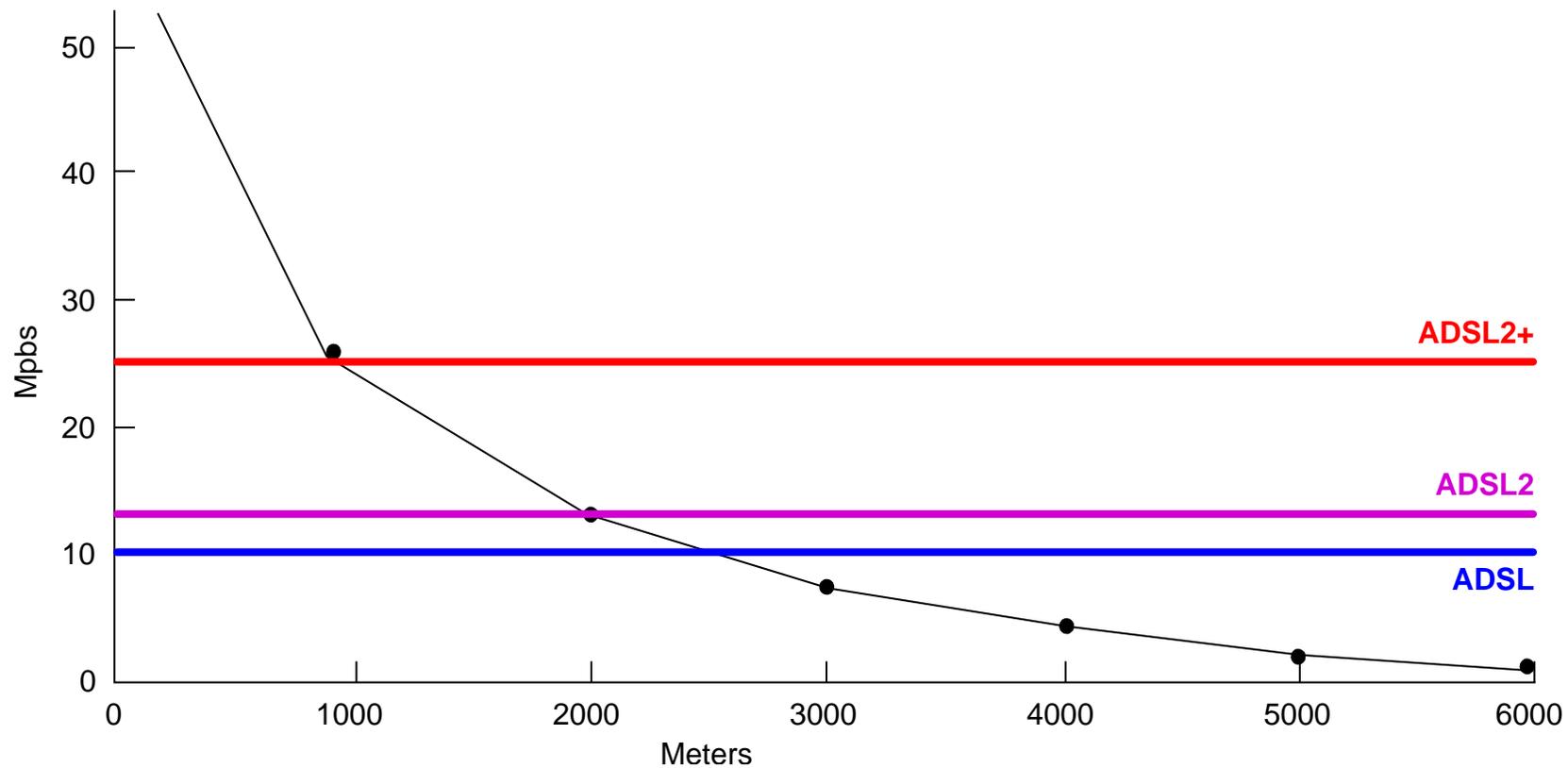
- optimisée pour la voix
 - ✓ filtrage dès le commutateur local :
 - ☞ \sim filtre passe-bande $300Hz - 3400Hz$
 - ✓ les modems sont forcément lents !
 - ☞ fin '90, les autres techno. de boucle locale sont à plusieurs Mbps

⇒ Digital Subscriber Line

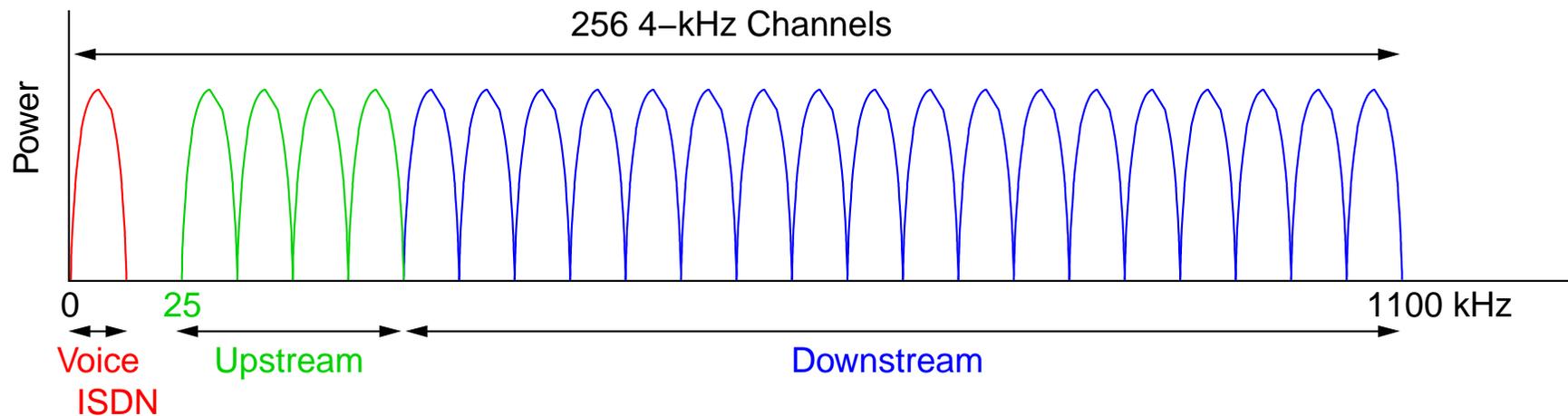
- utilisation de paire torsadée à sa limite physique
 - ✓ dépasse le Mhz
 - ✓ plusieurs Mbps (selon la longueur, l'épaisseur et la qualité)
 - ✓ contraintes de conception :
 - ☞ ne pas gêner les services existants (Voix et RNIS)
 - ☞ accès permanent
 - ☞ fonctionner sur une paire UTP3...

Bande passante de la paire torsadée

Débit théorique d'une paire type UTP3



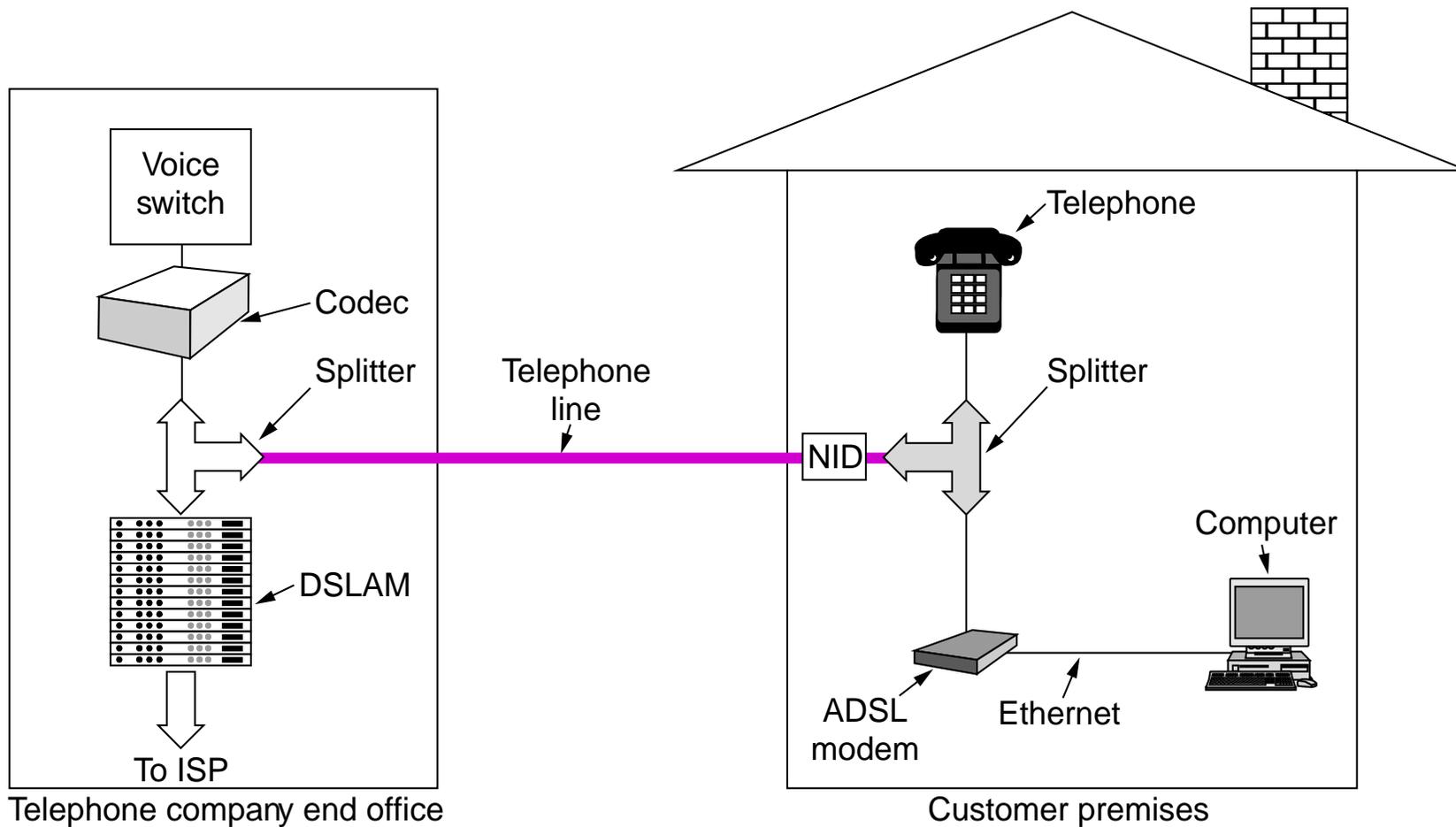
Partage du spectre fréquentiel



DMT (*Discrete MultiTone*)

- 256 canaux indépendants de $4312.5Hz$
 - ✓ 0 voix
 - ✓ 1-5 marge (limitation des interférences)
 - ✓ 6-(n) pour le flux montant (à partir de $26Khz$)
 - ☞ dont 1 pour le contrôle de flux montant
 - ✓ ($n + 1$)-255 pour le flux descendant
 - ☞ dont 1 pour le contrôle de flux descendant
- accès typiques (80% descendant et 20% montant) :
 - ✓ 512 Kbps/128 Kbps, 1024 Kbps/256 Kbps...

Configuration xDSL



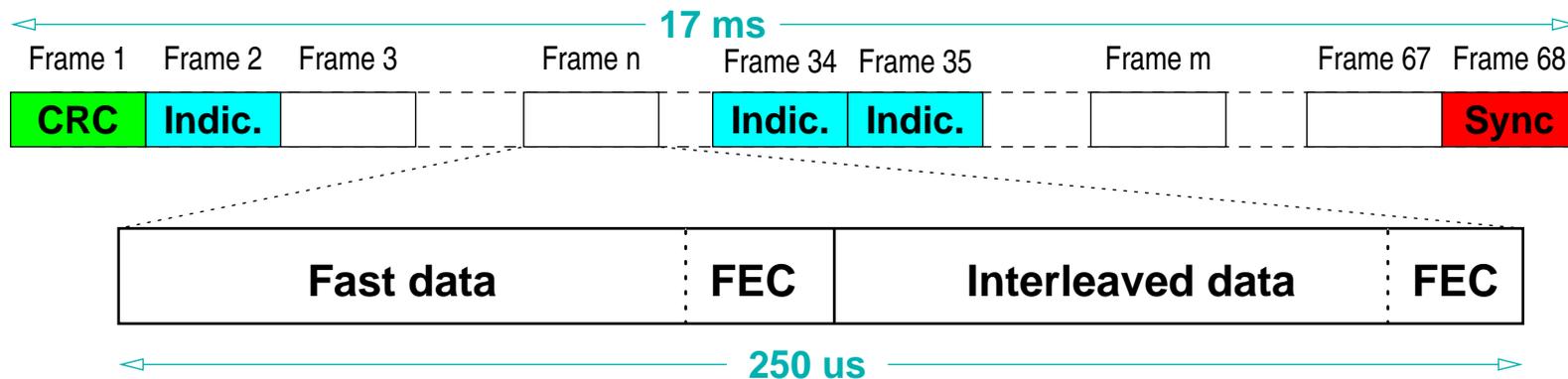
pictures from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*

Comparaison des technologies xDSL

nom	signification	mode de transmission	paires cuivre	débit descendant	débit montant	distance max
IDSL	<i>ISDN over DSL</i>	Symétrique (2B1Q)	1	128 Kbps ou 144 Kbps	128 Kbps ou 144 Kbps	3.6 Km
HDSL	<i>High-Data-Rate DSL</i>	Symétrique (2B1Q/CAP)	2/3	1.5 Mbps ou 2 Mbps	1.5 Mbps ou 2 Mbps	3.6 Km
SDSL	<i>Single-Line DSL</i>	Symétrique (2B1Q/CAP)	1	1.5 Mbps ou 2 Mbps	1.5 Mbps ou 2 Mbps	2.9 Km
RADSL	<i>Rate-Adaptive DSL</i>	Asymétrique (CAP)	1	jusqu'à à 7 Mbps	jusqu'à 1 Mbps	5.4 Km (1.5 Mbps)
ADSL	<i>Asymmetric DSL</i>	Asymétrique (DMT)	1	jusqu'à 8 Mbps	jusqu'à 640 Kbps	5.4 Km (1.5 Mbps)
G.Lite	<i>ADSL splitterless</i>	Asymétrique (DMT)	1	1.5 Mbps	512 Kbps	3.6 Km
VDSL	<i>Very-High-Rate DSL</i>	Asymétrique (CAP/DMT)	1	jusqu'à 53 Mbps	jusqu'à 2.3 Mbps	1.5Km (13 Mbps)
ADSL2	<i>Evolution ADSL</i>	Asymétrique (DMT)	1	jusqu'à 10 Mbps	jusqu'à 1 Mbps	+6 Km (qq 100Kbps)
ADSL2+	<i>Evolution ADSL2</i>	Asymétrique (DMT)	1	Jusqu'à à 25 Mbps	jusqu'à 2 Mbps	2.5 Km (10 Mbps)

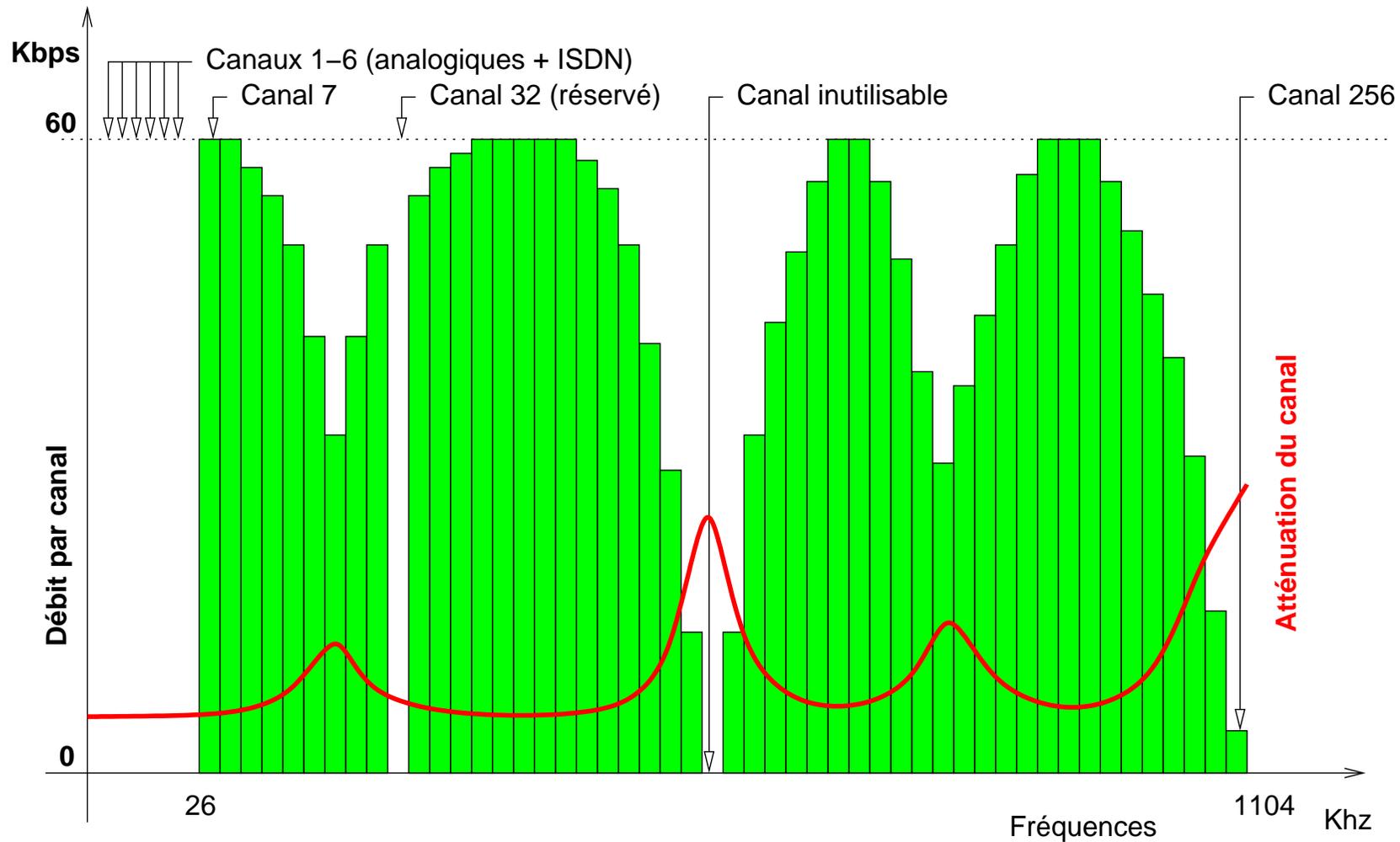
Technologie ADSL

- modulation DMT
 - ✓ chaque sous porteuse code 0 à 15 bits (valence) à 4000 Bauds
 - ☞ la valence dépend du S/B pour chaque canal
- format de trame (par canal)
 - ✓ 1 super trame (68 trames + 1 sync) toute les 17ms



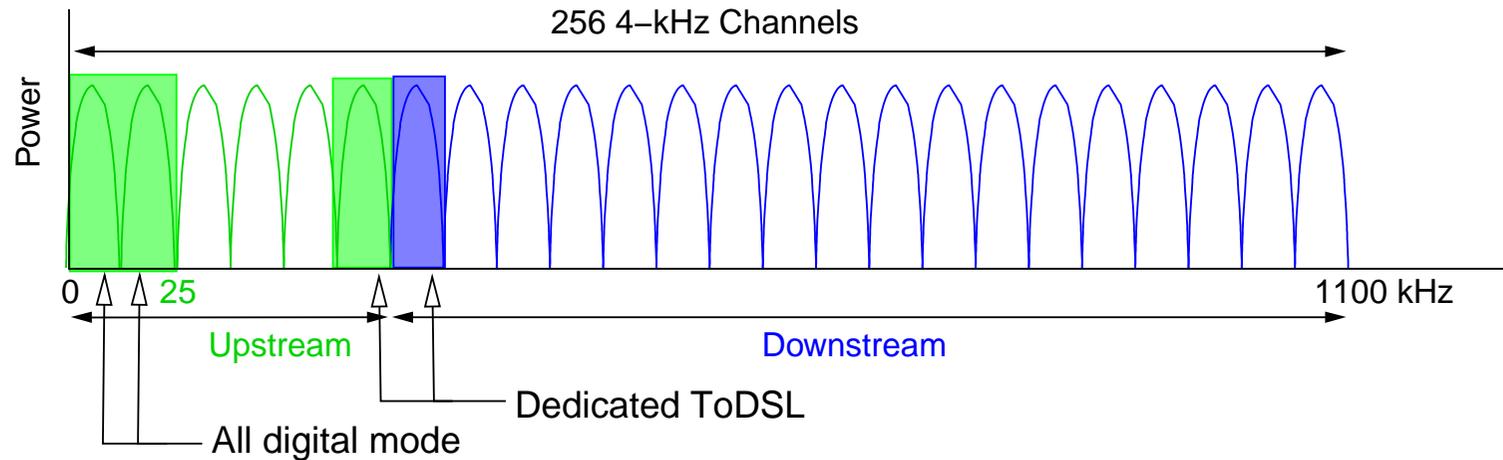
- ☞ une trame toute les $250\mu s$ avec réservation
- ☞ longueur de trame variable (valence)
- ☞ deux flux multiplexés alimentés par deux tampons d'émission

Débit du lien ADSL



Quantité d'information par canal avec la modulation DTM

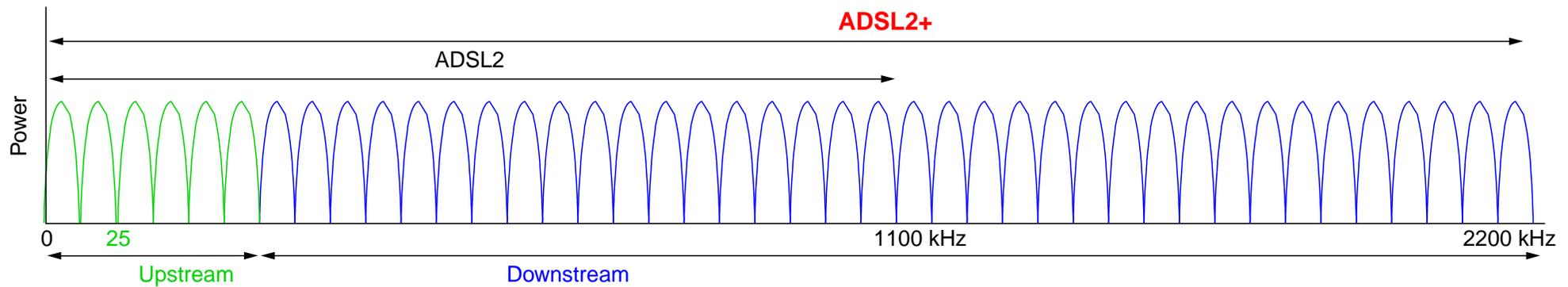
ADSL2



Evolutions ADSL (G.992.3 et G.992.4)

- augmentation de la portée et du débit en longue distance
 - ✓ amélioration du codage
 - ✓ réduction de l'*overhead*
 - ✓ récupération des canaux analogiques (⇒ *All digital mode*)
- économie d'énergie (mode veille dynamique)
- *bonding* : multiplexage inverse ATM (couplage de plusieurs lignes)
- création de canaux dédiés (⇒ ToDSL)
- support des services basés sur des trames (⇒ Ethernet)

ADSL2+



Evolutions ADSL2 (G.992.5)

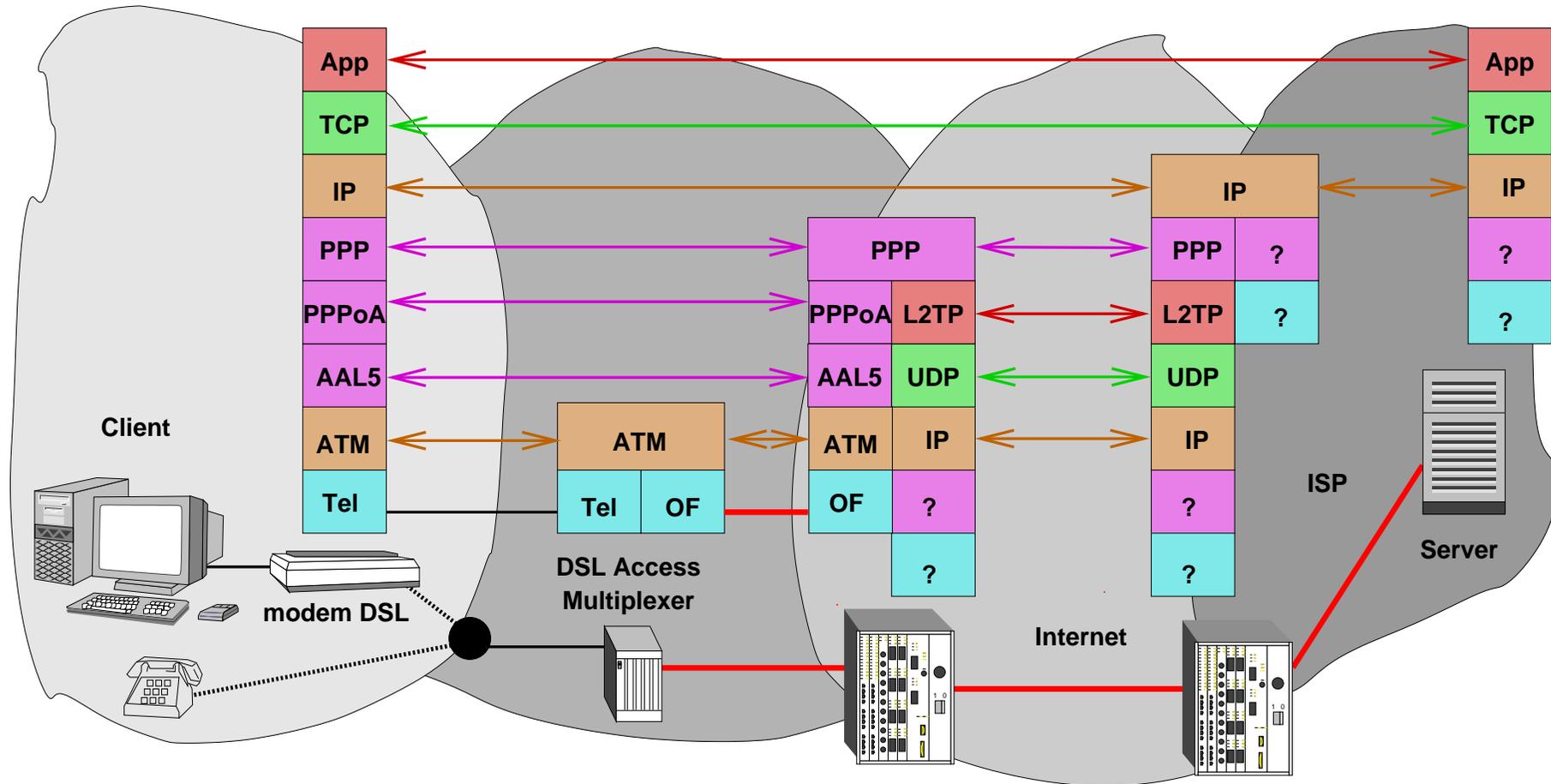
- utilisation d'une bande passante étendue (jusqu'à 2.2 MHz)
 - ✓ augmentation du débit pour les courtes distance ($l < 2500\text{m}$)
 - ✓ théoriquement $d > 20$ Mbps en *download* si $l < 1000\text{m}$
- mode double bande passante en *upload* possible

IP sur ADSL

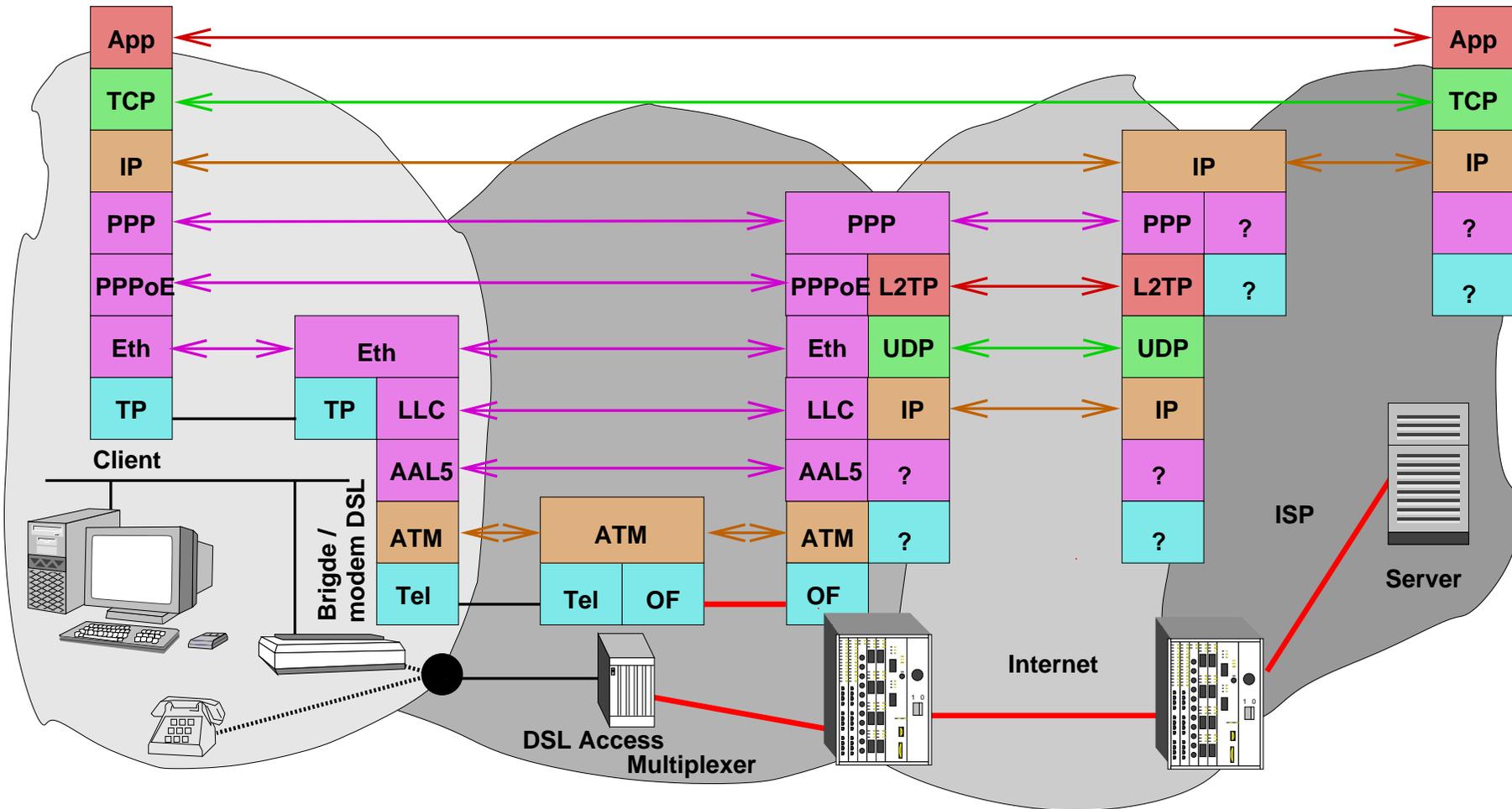
Encapsulation IP sur ADSL ?

- ADSL est une technologie de la **couche physique**
 - ▣► une couche liaison est nécessaire
 - ✓ ATM ?
 - ☞ compatible avec les opérateurs télécom (actuels FAA)
 - ☞ **IP/AAL5/ATM/ADSL**
 - ✓ Ethernet ?
 - ☞ compatible avec les opérateurs internet (futurs FAA)
 - ☞ **IP/Ethernet/ADSL**
 - ✓ PPP ?
 - ☞ AAA avec Radius
 - ☞ **PPPoA/AAL5/ATM/ADSL**
 - ☞ **PPPoE/Ethernet/AAL5/ATM/ADSL**
 - ☞ **PPPoE/Ethernet/ADSL**
 - ☞ **PPP/ADSL**, avec MPLS pour le TE

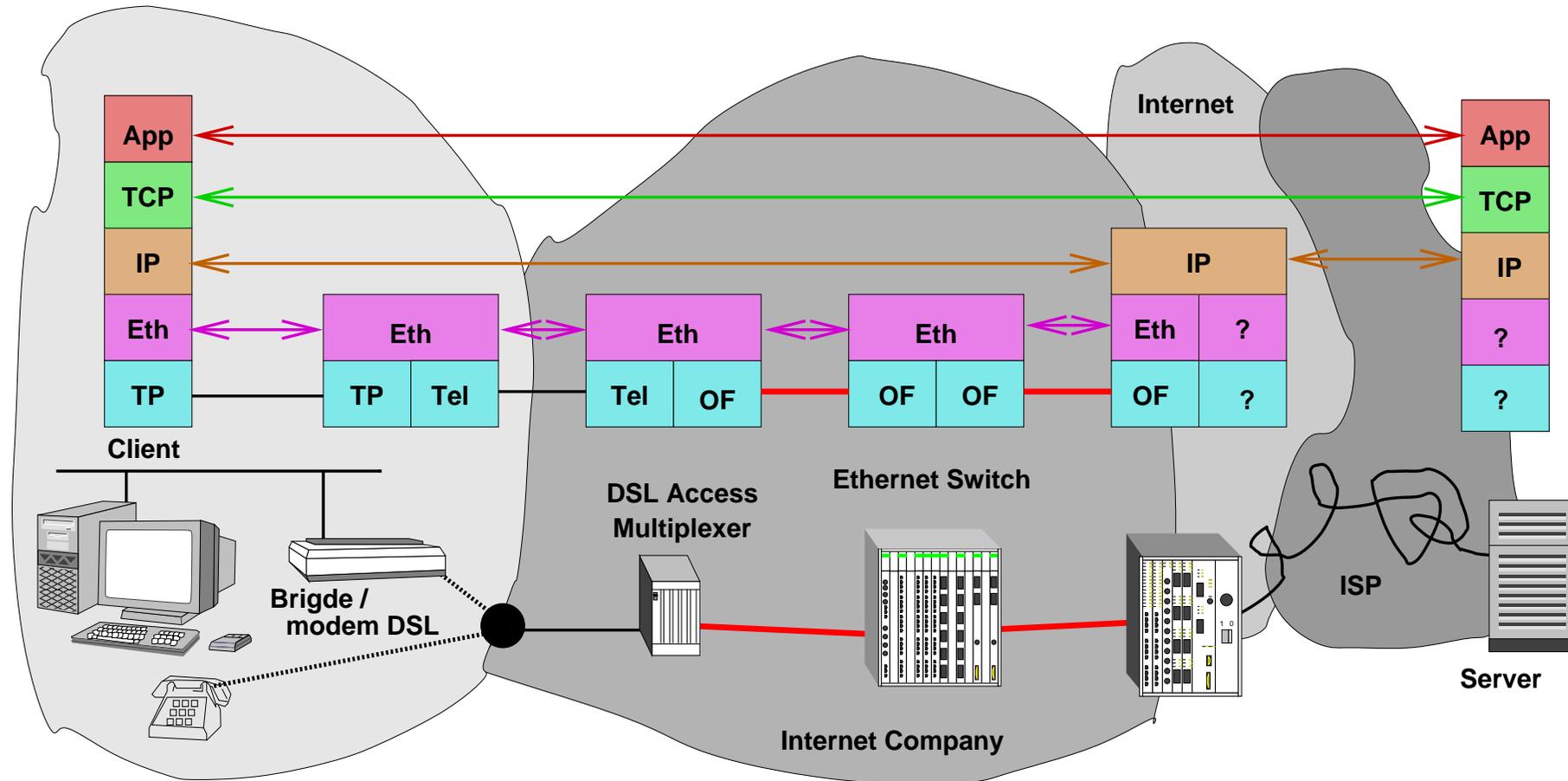
PPPoA sur ADSL



PPPoE sur ADSL



Ethernet sur ADSL



Plan

Réseau Téléphonique Commuté

xDSL

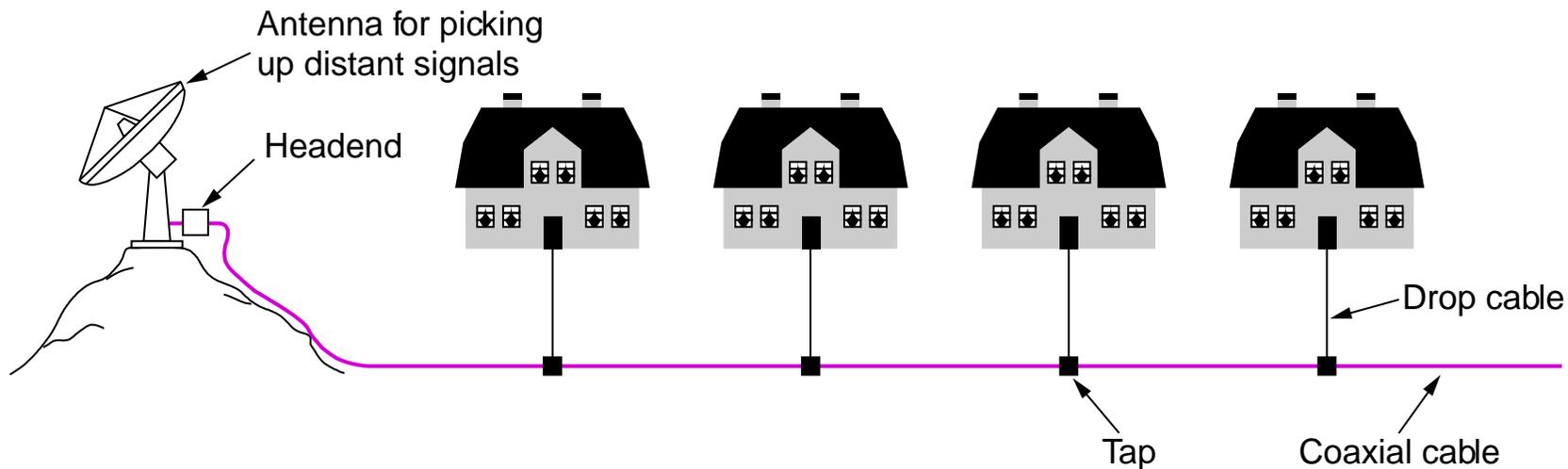
Câble TV

Courants Porteurs en Ligne

Boucle Locale Radio

Satellites

Réseau câblé avec antenne collective



pictures from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*

CATV (*Community Antenna TeleVision*)

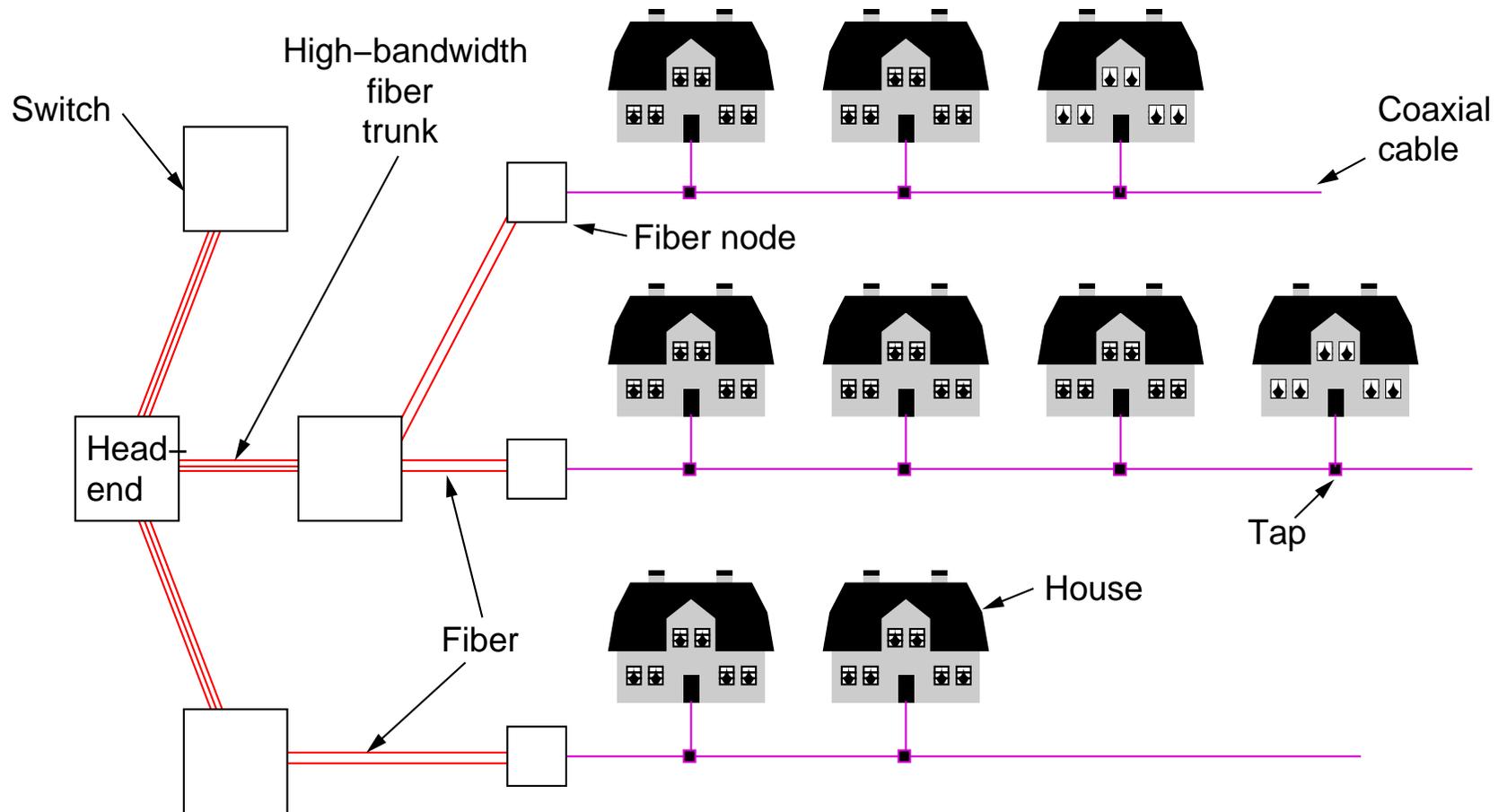
- distribution de la télévision sur câble coaxial 75Ω jusqu'à 100Km
 - ✓ relai de la télévision hertzienne/satellitaire
 - évolution ('70)
 - ✓ contenu spécifique
 - ✓ câblo-opérateurs
- ☞ interconnexion des désertes locales : **réseau longue distance**

Réseau de distribution hybride

HFC (*Hybrid Fiber Coax*)

- arbre de distribution
 - ✓ toujours une **tête de réseau** (*Head End*)
 - ☞ commutateurs optique/optique
 - ☞ centres de distribution optique/coax
- intégration de service
 - ✓ télévision
 - ✓ téléphonie
 - ✓ data
- médium **partagé**
 - ✓ jusqu'à 2000 utilisateurs par câbles
 - ☞ segmentation si les beaucoup d'utilisateurs data

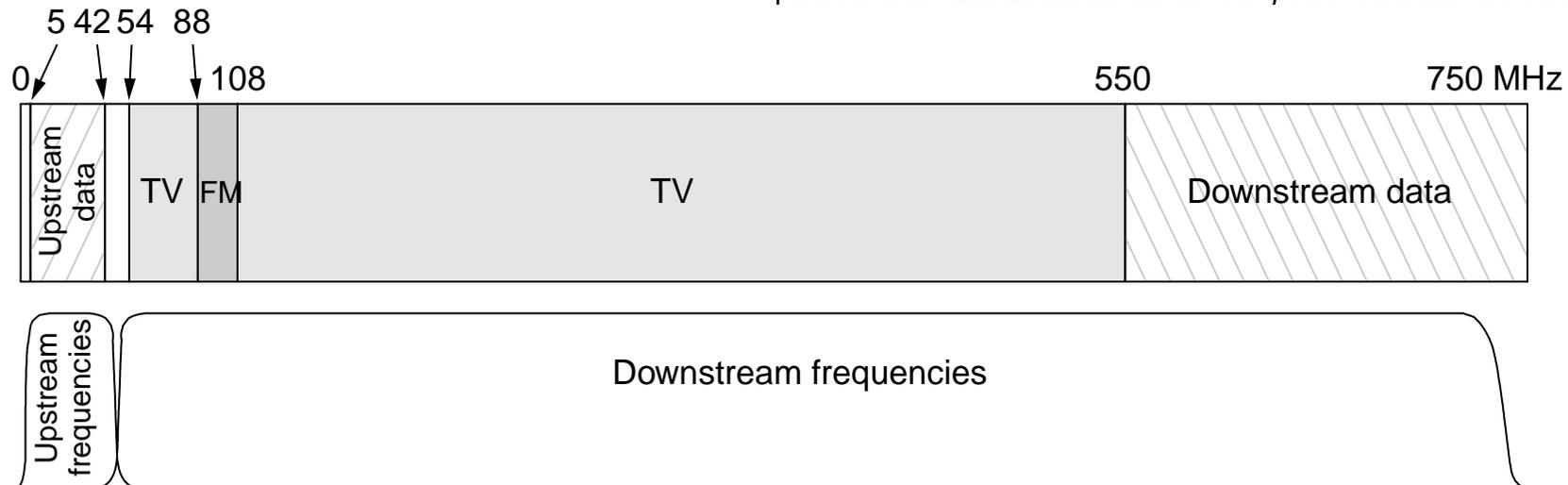
Structure du réseau câblé



pictures from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*

Allocation des fréquences du câble

pictures from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*



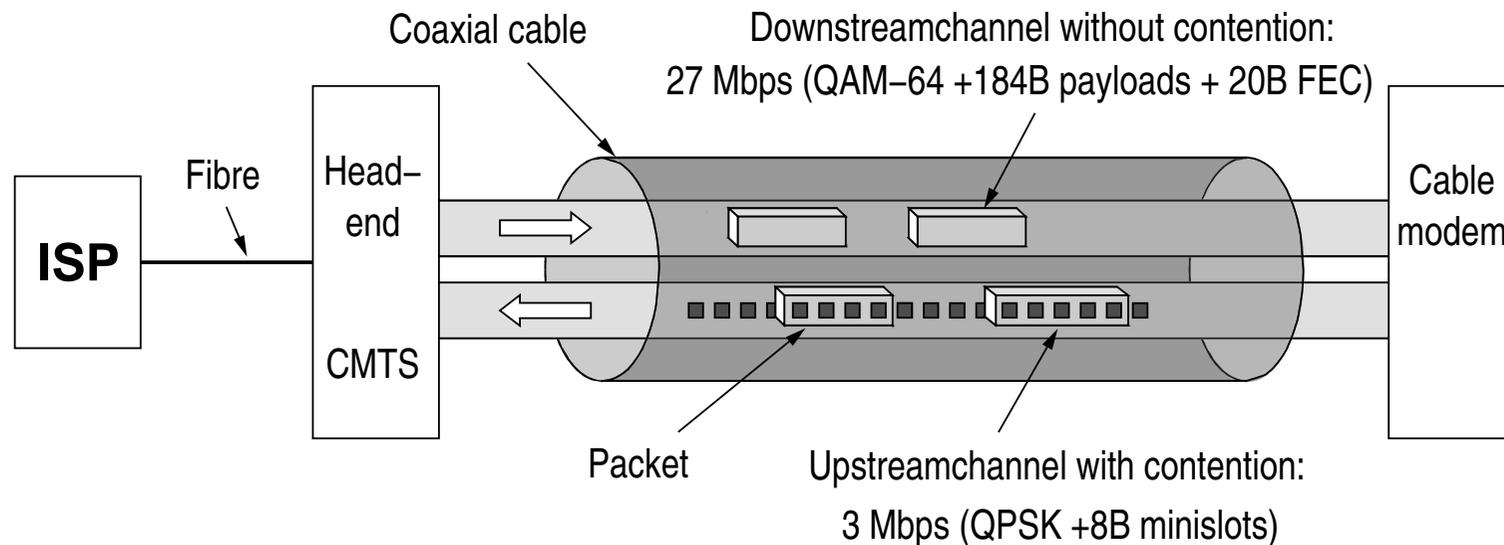
Récupération de fréquences autour de la vidéo :

- vidéo (+ radio 87–108 MHz)
 - ✓ 65–550 MHz (EU), 54–550 MHz(US)
 - ☞ largeur canal TV = 8 MHz (PAL/SECAM), 6 MHz (NTSC)
- bande passante **données montantes**
 - ✓ 5-65 MHz (EU), 5–42 MHz(US)
- bande passante **données descendantes**
 - ✓ 550–850 MHz (EU), 550–750 MHz(US)

Modem-câble (1)

Modulation analogique, pour augmenter les performances du coax.

- débit montant
 - ✓ modulation QPSK/QAM-16 sur des canaux de 2 MHz
 - ➔ 3 Mbps **partagé** par canal (\sim 90 Mbps agrégé)
- débit descendant
 - ✓ modulation QAM-64/QAM-256 sur des canaux de 6/8 MHz
 - ➔ 27-56 Mbps par canal (\sim 1-2 Gbps agrégé)



Modem-câble (2)

- contrôle par la tête de réseau (CMTS : *Cable Modem Termination System*)
 - ✓ signalisation dans des canaux dédiés
 - ☞ auto-configuration
 - ☞ allocation **dynamique** des canaux montants et descendants
 - ☞ mesure de distance (*ranging*) pour se **synchroniser**
- partage du canal montant
 - ✓ **minislots** (dépend du réseau ~ 8 octets)
 - ✓ contrôle d'accès type **ALOHA discrétisé**
 - ☞ détection de collision avec **BEB** (*Binary Exponential Backoff*)
- contrôle du canal descendant
 - ✓ émetteur **unique** (CMTS)
 - ✓ paquet de 204 octets (FEC sur 20 bits : correction de 6 bits)

⇒ Paramètres optimisés pour la transmission de flux MPEG 2

IP sur câble

Encapsulation IP sur câble ?

- le câble est associé à la **couche physique**
 - ▣► une couche liaison est nécessaire
 - ✓ protocoles propriétaire ?
 - ☞ nombreux mais abandonés pour faire baisser les prix
 - ✓ IEEE 802.2 (SNAP/LLC) ?
 - ☞ compatible avec DOCSIS (US), EuroDOCSIS
 - ☞ **IP/LLC/câble**
 - ☞ auto-configuration : DHCP (approche LAN)
 - ✓ ATM ?
 - ☞ compatible avec DVB/DAVIC, EuroDOCSIS
 - ☞ **IP/ATM/câble**
 - ☞ auto-configuration : PPP (approche télécom)

Attention, support partagé ▣► cryptographie

Comparaison câble/ADSL

Lequel choisir ?

- similitudes :
 - ✓ réseau fédérateur en fibre optique
 - avantages du câble :
 - ✓ bande passante 850 MHz
 - ☞ partagé avec la télévision et les autres utilisateurs
 - ✓ longue distance
 - ✓ encapsulation plus simple, mais cryptage
 - avantages de l'ADSL :
 - ✓ bande passante 1.1 MHz
 - ☞ support dédié (avec la voix)
 - ✓ alimentation téléphonique autonome
 - ✓ débit déterministe
- ▣▣▣ Services comparables (et souvent disponible au même endroit)

Plan

Réseau Téléphonique Commuté

xDSL

Câble TV

Courants Porteurs en Ligne

Boucle Locale Radio

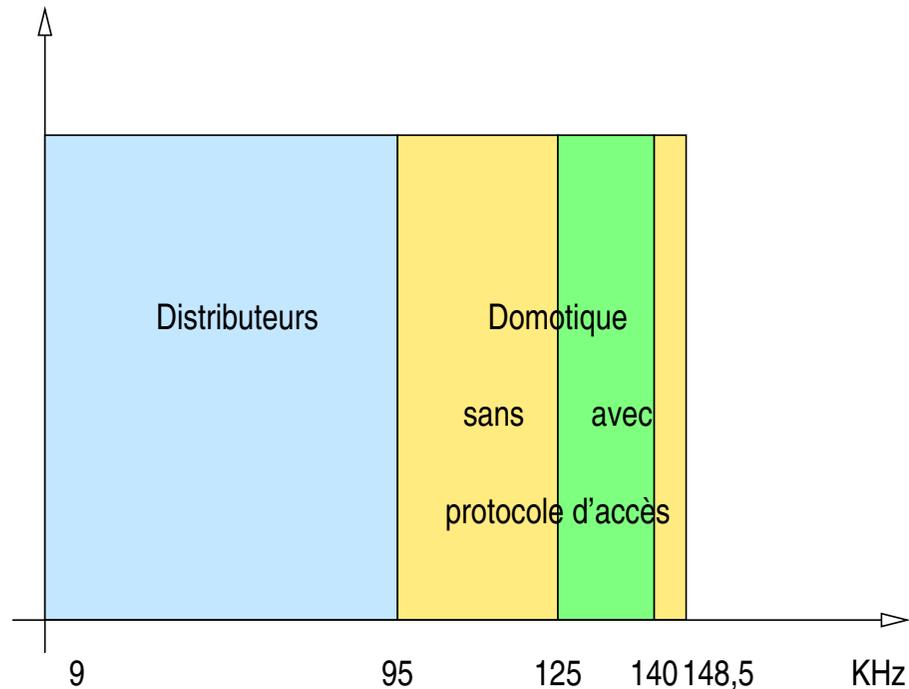
Satellites

Autre accès filaire

Il y a d'autres réseaux qui connectent les habitations

- eau ?
- gaz ?
- **électricité : Courant Porteurs en Ligne (CPL)**
 - ✓ signal hautes fréquences ajouté à l'onde 50 Hz qui véhicule l'énergie
 - ☞ modem avec filtre passe-haut
 - ✓ propagation
 - ☞ structure arborescente
 - ☞ atténuation avec la distance, la fréquence, la densité de branchement et la topologie du réseau
 - ☞ perturbation selon les types de charges, les filtres...

Allocation des fréquences CPL EN50065-1

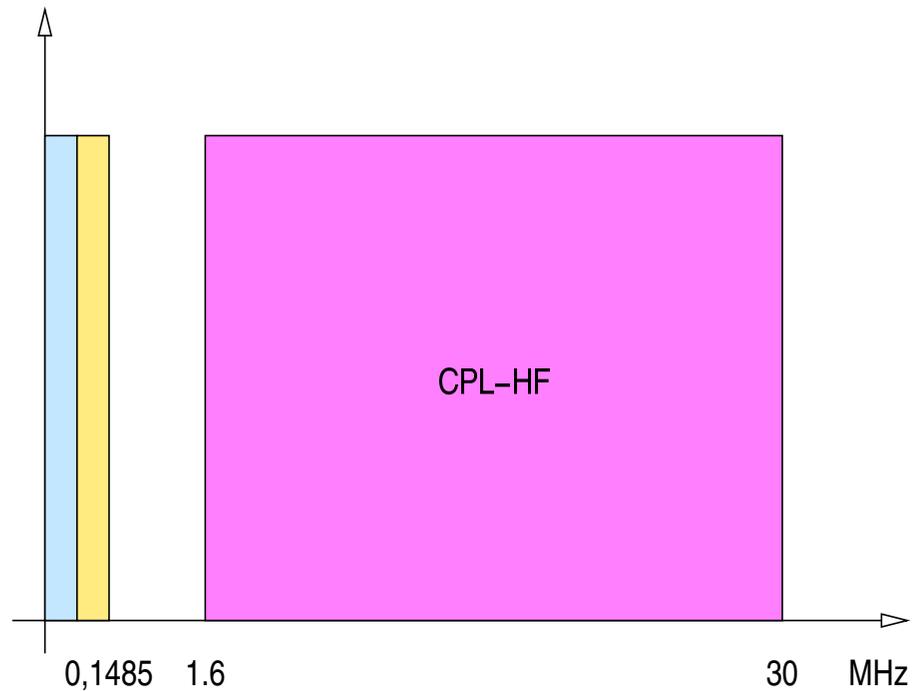


Utilisation des courants porteurs sur les réseaux de distribution

- 4 bandes définies :
 - ✓ 9–95 KHz : distributeur
 - ✓ 95–125 et 140–148.5 KHz : domotique sans protocole d'accès
 - ✓ 125–140 KHz : domotique avec protocole d'accès (data)

⇒ trop limitatif

Allocation des fréquences CPL ETSI EP-PLT



- 1 bande haute fréquence définie :
 - ✓ 1.6–30 MHz
 - ☞ limites des perturbations rayonnées propres à chaque pays
 - ✓ deux sous-bandes :
 - ☞ distribution (*access system*)
 - ☞ interne (*in-house system*)

Actualité des courants porteurs

Normalisations en cours

- association de standardisation :
 - ✓ **Power Line Forum**
 - ✓ **Home Plug Alliance**
- commercialisation d'équipements pour le *in-house*
 - ✓ CSMA/CA avec modulation OFDM
 - ✓ jusqu'à 14 Mbps
 - ☞ permet l'installation immédiate d'un LAN dans un bâtiment
- expérimentation d'équipements pour l'*access*
- débits similaire à l'ADSL ou au câble
- ...

Plan

Réseau Téléphonique Commuté

xDSL

Câble TV

Courants Porteurs en Ligne

Boucle Locale Radio

Satellites

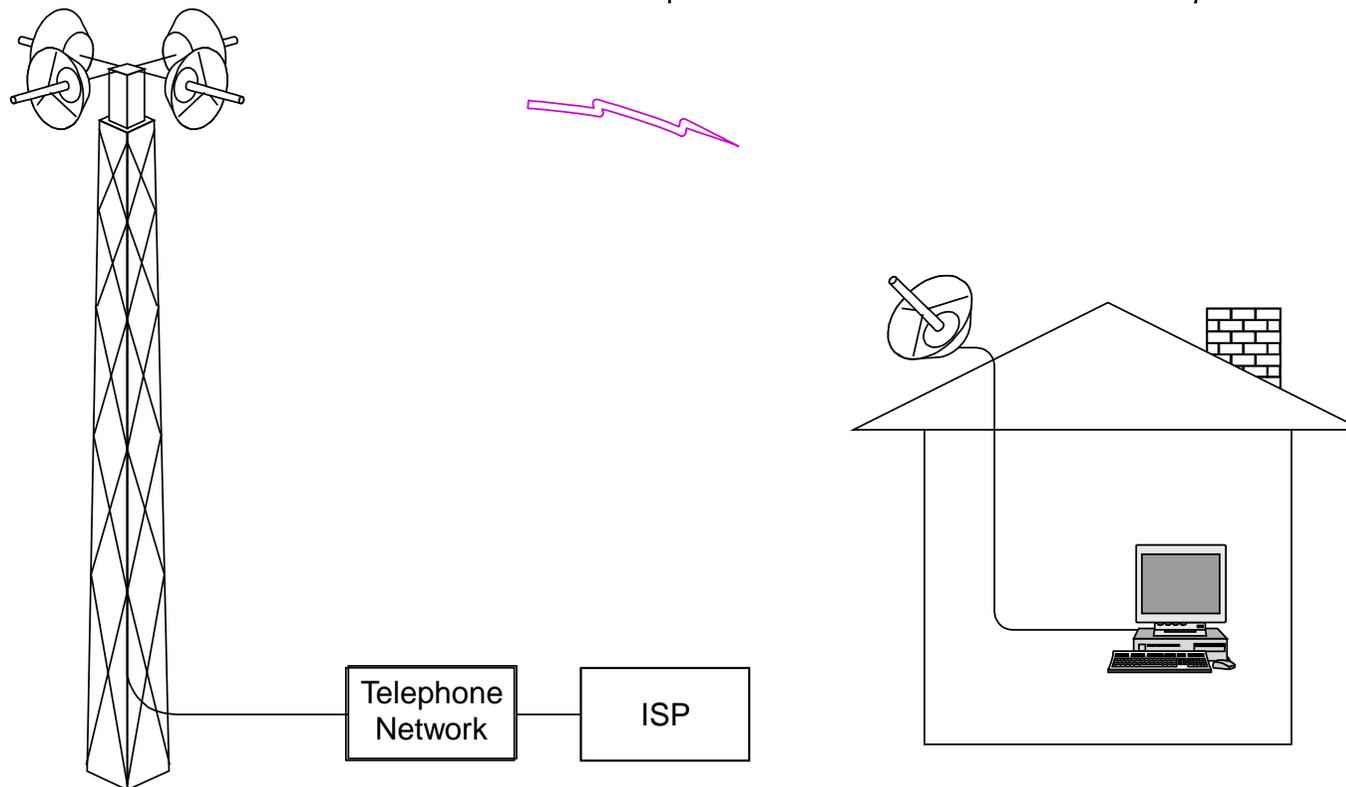
Boucle Locale Radio (BLR)

Wireless Local Loop (WLL)

- services visés
 - ✓ **haut débit**
 - ☞ similaire à l'ADSL et au câble
 - ✓ **pas de raccordement filaire**
 - ☞ antenne en hauteur (taille selon la technologie)
 - ✓ **usager statique**
 - ☞ sans-fil fixe (*fixed wireless*)
- deux technologies :
 - ✓ **MMDS** (*Multichannel Multipoint Distribution Service*)
 - ☞ micro-ondes, portée de 50 Km
 - ☞ 33 canaux de 6 MHz dans la bande des 2.5 GHz
 - ☞ technologie silicium, économique mais bande passante limitée
 - ✓ **LMDS** (*Local Multipoint Distribution Service*)
 - ☞ ondes millimétriques, portée de 2 à 5 Km
 - ☞ 3 GHz dans la bande des 40.5–43.5 GHz (29–32 GHz US)
 - ☞ technologie arséniure de gallium coûteuse

Architecture LMDS

pictures from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*



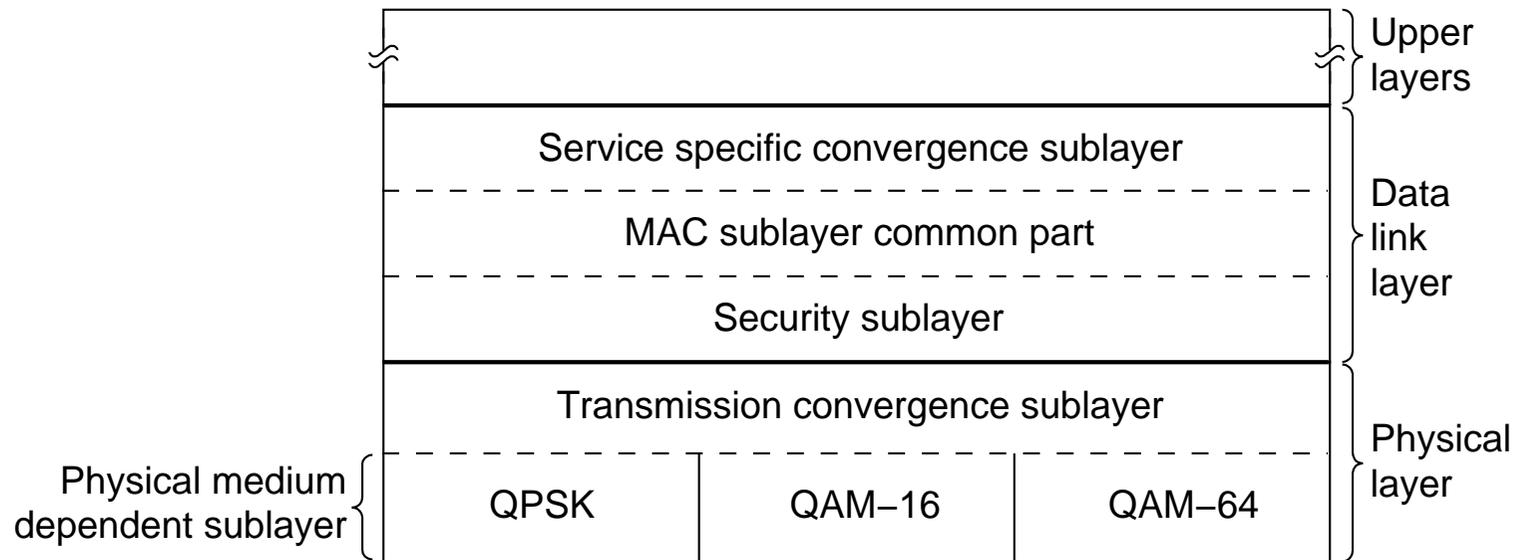
- antennes directionnelles (réutilisation de fréquences)
 - ✓ 36 Gbps par secteur
- liaison directe (sans obstacles) ➡ tours
 - ✓ perturbation par le mauvais temps

802.16 : WMAN

Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems

- communication sans fils haut débit
- technologie de boucle locale :
 - ✓ deserte d'immeuble (non mobile)
 - ✓ plusieurs ordinateurs fixes (réseau)
 - ✓ équipements mutualisés
 - ☞ plus cher que 802.11
 - ☞ ondes-millimétriques
 - ☞ duplex
 - ✓ longue distance : atténuations fortes
 - ✓ accès multiples : cryptographie
 - ✓ gestion de la QoS
 - ☞ support audio/vidéo
- analogie :
 - ✓ 802.11 = réseau Ethernet sans fils
 - ✓ 802.16 = réseau CATV sans fil

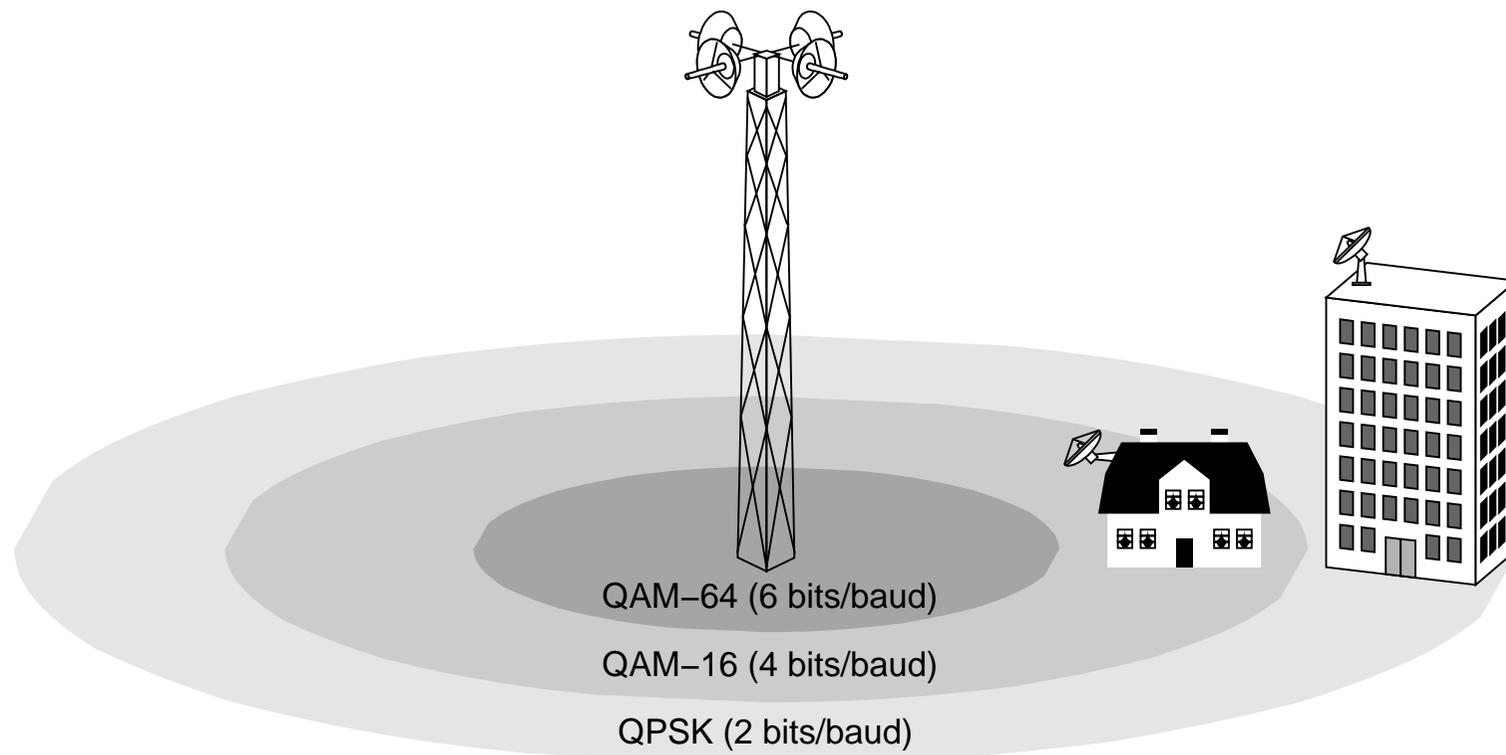
802.16 : Pile de protocoles



pictures from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*

- approche 802 usuelle :
 - ✓ **couche liaison** (orienté connexion)
 - ☞ 3 sous-couches : LLC + MAC + sécurité
 - ✓ **couche physique**
 - ☞ adaptation au support et à la distance

802.16 : Couche physique



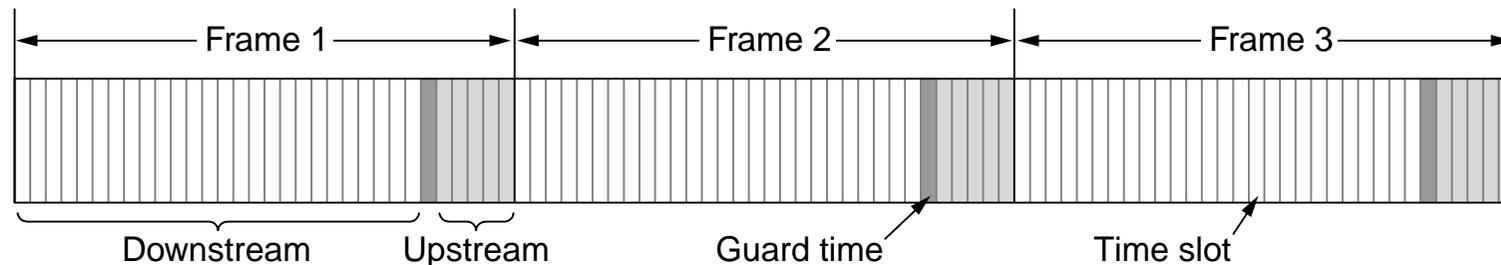
pictures from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*

- antennes directionnelles
 - ✓ multiples modulations, en fonction de la distance :
 - ☞ avec un canal de 50 MHz, 300 Mbps, 200 Mbps et 100 Mbps

802.16 : Duplexage

transmission full-duplex asymétrique

- **duplexage fréquentiel** (FDD : *Frequency Division Duplexing*)
 - ✓ approche classique symétrique (GSM, D-AMPS)
- **duplexage temporel** (FDD : *Time Division Duplexing*)
 - ✓ contrôle par la station de base
 - ☞ retournement pendant l'envoi d'une trame
 - ☞ temporisation de retournement



pictures from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*

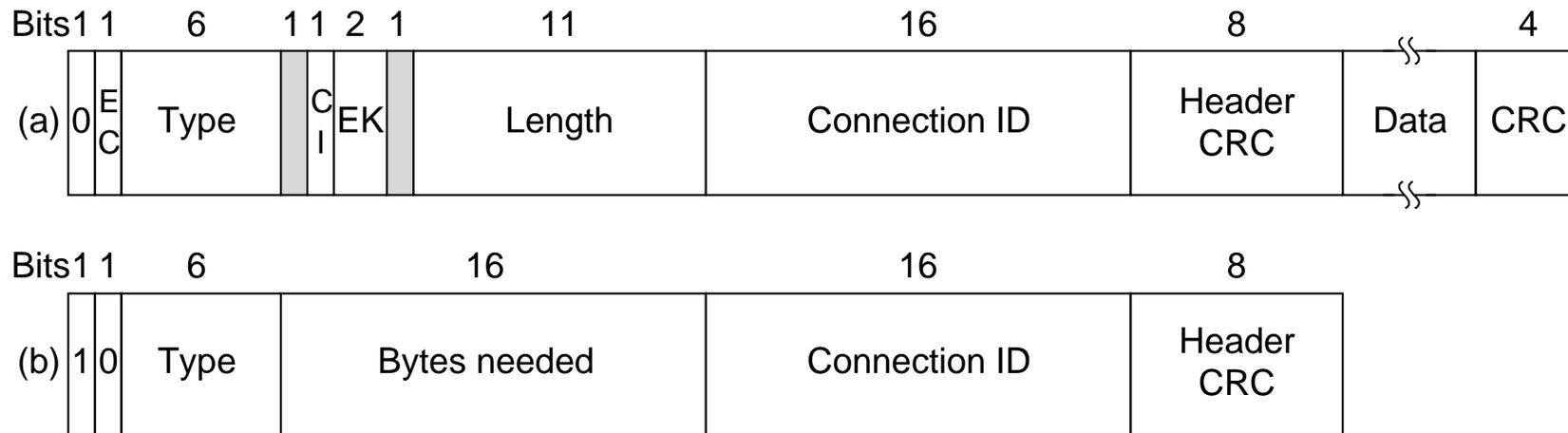
- **correction d'erreur (codes de Hamming)**
 - ✓ la moitié du trafic en redondance (\sim CDROM)

802.16 : Sous-couche MAC

Service d'accès au médium en **mode connecté**

- chiffrement de la charge utile
- gestion des slots
 - ✓ allocation aux stations pour les flux montants
 - ✓ 4 classes de services
 - ☞ débit constant (CBR) : allocation systématique
 - ☞ débit variable en temps réel (RT-VBR) : interrogation
 - ☞ débit variable différé (NRT-VBR) : interrogation
 - ☞ au mieux (UBR) : CSMA+BEB

802.16 : Structure de trame



pictures from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*

IP sur 802.16

Encapsulation IP sur 802.16 ?

- 802.16 est une technologie qui présente un service de couche liaison avec support :
 - ✓ couche réseau connectée : ATM
 - ☞ une connexion 802.16 par VC
 - ✓ couche réseau non-connectée : Ethernet, IP, PPP...
 - ☞ connexion 802.16 considéré comme un lien point-à-point ?

▣► Complexe mais potentialité d'utiliser les extensions QoS d'IP.

Plan

Réseau Téléphonique Commuté

xDSL

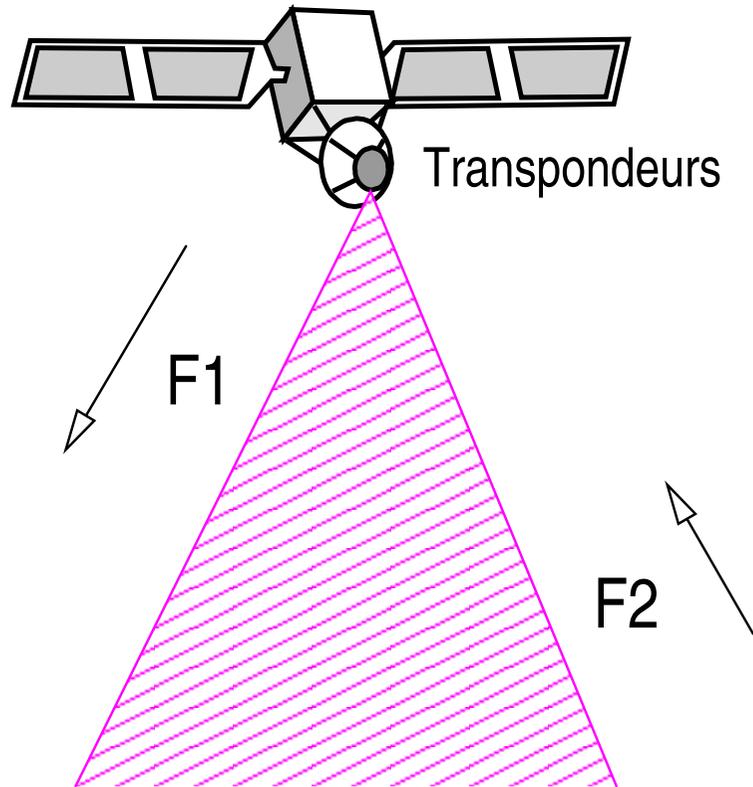
Câble TV

Courants Porteurs en Ligne

Boucle Locale Radio

Satellites

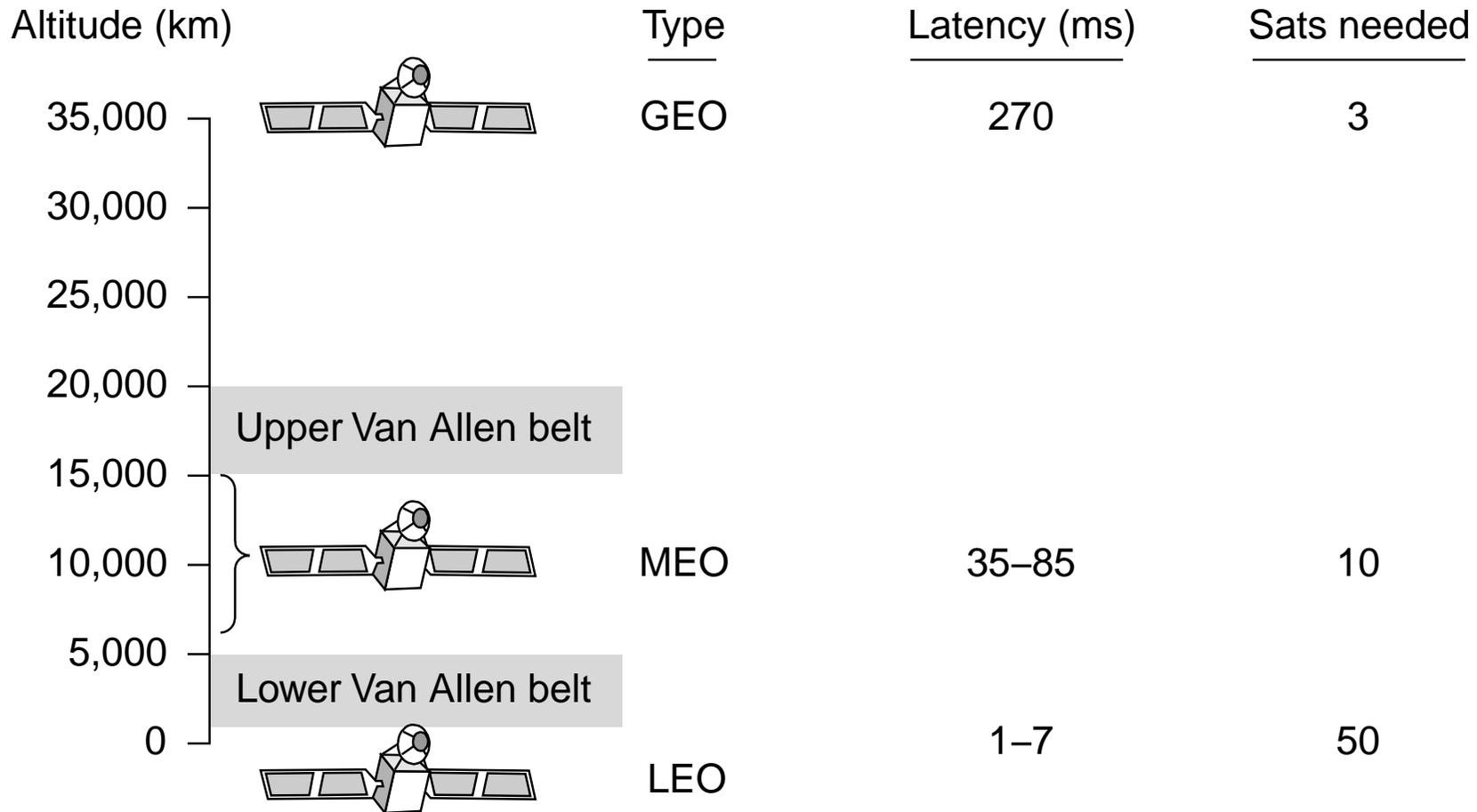
Satellites : Introduction



Réflecteur dans l'espace

- répéteur de **micro-ondes**
 - ✓ plusieurs transpondeurs
 - ☞ amplification
 - ☞ transposition fréquentielle
 - ✓ **couverture** terrestre (faisceaux descendants)
 - ☞ larges (15000 km)
 - ☞ étroits (100 km)
- **période** orbitale
 - ✓ 3^e loi de Kepler : $P^2 = \alpha R^3$ (avec α constant)
 - ☞ **lune** (384000 Km) : 28j
 - ☞ géostationnaire (35800 Km) : 24h
 - ☞ proche de la terre : \sim 1h30

Satellites : 3 catégories



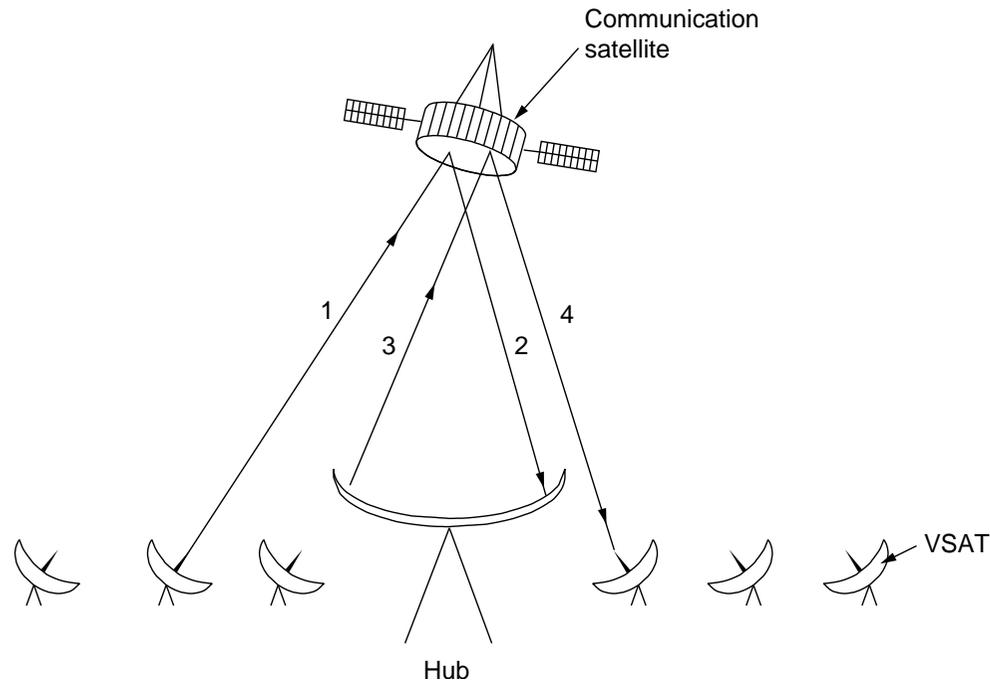
pictures from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*

Satellites : GEO

Geostationary Earth Orbit

- orbite géostationnaire : altitude 35800 Km sur le plan equatorial
 - ✓ un satellite tous les 2 degrés (180 satellites max)
 - ✓ 5 bandes de fréquence disponible
 - ☞ **L** : 1.5 GHz desc., 1.6 GHz mont., BP=15 MHz (encombrée)
 - ☞ **S** : 1.9 GHz desc., 2.2 GHz mont., BP=70 MHz (encombrée)
 - ☞ **C** : 4.0 GHz, 6.0 GHz, BP=500 MHz (interférences terrestres)
 - ☞ **Ku** : 11 GHz, 14 GHz, BP=500 MHz (absorbtion par la pluie)
 - ☞ **Ka** : 20 GHz, 30 GHz, BP=3500 MHz (absorbtion par la pluie, coût élevé)
 - ✓ plusieurs transpondeurs (+ 40)
 - ☞ 80 Mhz chacun
 - ☞ gestion du multiplexage fréquentiel et temporel
 - ☞ télécom, vidéo et data
 - ✓ délais (propagation à la vitesse de la lumière $\sim 3\mu\text{s}/\text{km}$)
 - ☞ 270 ms de bout-en-bout ($RTT > 540$ ms)

Satellites : Hub et microstations



pictures from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*

- microstations terrestres **VSAT** (*Very Small Aperture Terminal*)
 - ✓ antennes de moins d'1m (10m pour une antenne GEO) sous 1 watt
 - ➡ débits : montant = 19.2 Kbps et descendant = 512 Kbps
 - ➡ délais : 540 ms de bout-en-bout entre 2 VSAT
 - ➡ DBS-TV (*Direct Broadcast Satellite-TV*) : en unidirectionnel

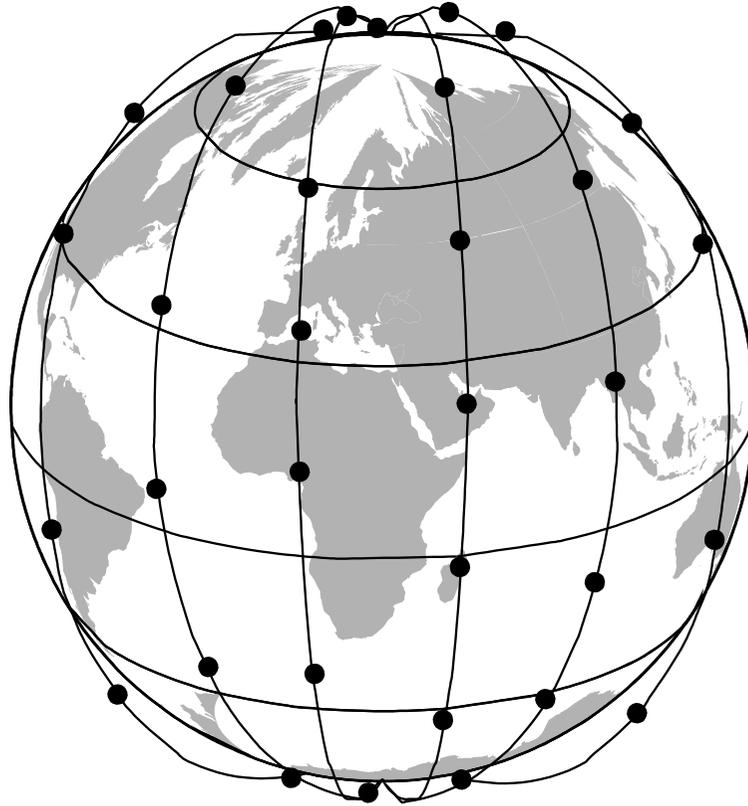
Satellites : MEO

Medium-Earth Orbit

- orbite : altitude entre 5000 Km et 15000KM
 - ✓ entre les 2 ceintures de Van Allen
 - ✓ **besoin de les suivre dans le ciel**
- exemple
 - ✓ système GPS (*Global Positioning System*)
 - ☞ 24 satellites
 - ☞ période : 6h
 - ☞ altitude : 18000 Km
- pas de services telecom/data

Satellites : LEO – Couverture

Low-Earth Orbit



➤ 6 colliers Iridium

- **Iridium**

- ✓ 66 satellites à 750 Km
- 48 faisceaux spots /sat
- 1628 cellules terrestres
- 3840 canaux /sat
- 253440 au total

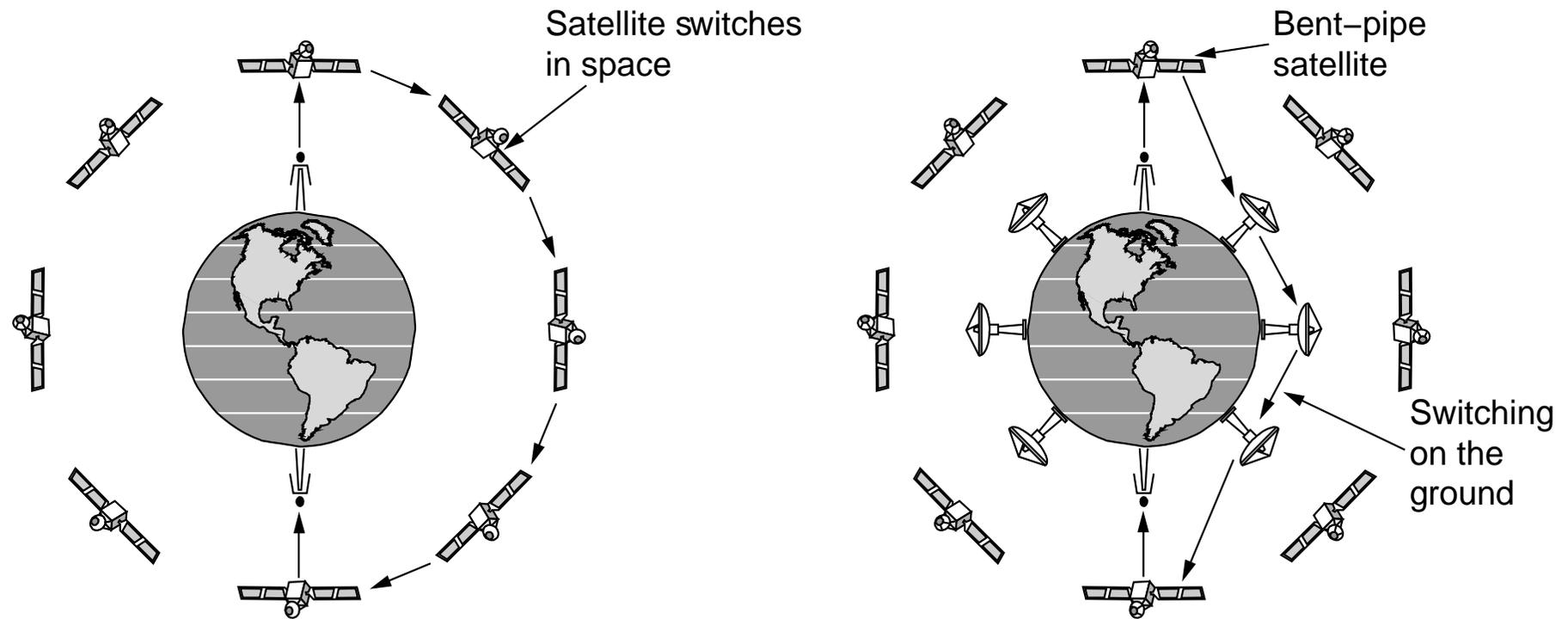
- **Globalstar**

- ✓ 48 satellites à 920 Km
- simples répéteurs
- puissance réduite

- **Teledesic (2005)**

- ✓ 30 satellites à 1350 Km
- bande **Ka**
- antennes VSAT
- 100 Mbps montant
- 750 Mbps descendant

Satellites : LEO – Relayage



pictures from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*

- Deux approches pour gérer les connexions/flux de données
 - ✓ commutation/routage **dans l'espace** ⇒ Iridium, Teledesic
 - ✓ commutation/routage **sur terre** ⇒ Globalstar

Satellites / Fibres optiques

- utilisations différentes
 - ✓ **satellites**
 - ☞ diffusion
 - ☞ disponibilité géographique
 - ✓ **fibres optiques**
 - ☞ bande passante
 - ☞ insensibilité aux perturbations

Fin

Document réalisé avec \LaTeX .
Généré le 26 décembre 2004.
Classe de document `foils`.
Dessins réalisés avec `xfig`.

Olivier Fourmaux, olivier.fourmaux@lip6.fr
<http://www-rp.lip6.fr/~fourmaux>

Ce document est disponible en postscript compressé avec `gzip` à
<http://www-rp.lip6.fr/~fourmaux/res/res4cAc-.pdf>