Réseaux et Transmission de Données
2 - Couche Physique

Maîtrise EEA

Olivier Fourmaux

Basé sur la 3éme édition du livre du Pr. A. S. Tanenbaum :

Computer Networks

Plan du cours de RTD

1. Introduction (3h)
2. **Couche Physique (3h)**
3. Couche Liaison (3h)
4. Couche d'Accès au Médium (3h)
5. Couche Réseau (9h)
6. Couche Transport (6h)
7. Applications (6h)

Introduction

- La couche la plus basse
- Traitement direct des bits sur le canal de transmission
- Différents supports de transmission
  - avec guide (fils de cuivre, fibres optiques...)
  - sans guide (micro-ondes, satellite, ondes radio...)
- Limitation des capacités de transmission

Plan

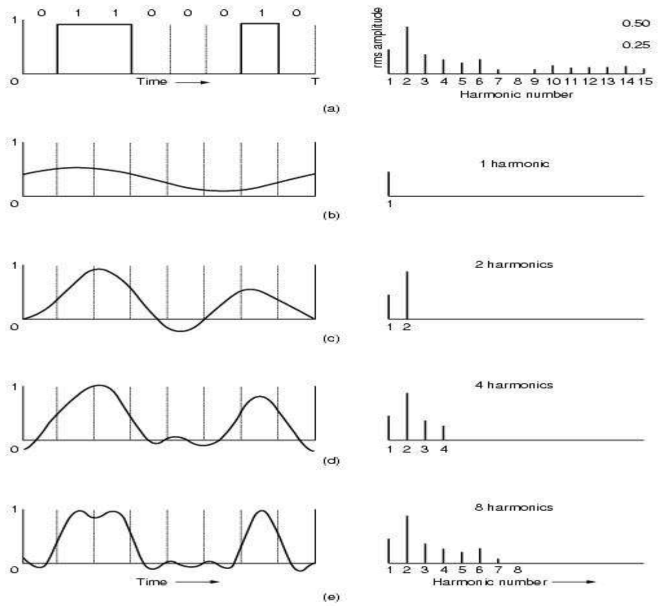
- **Bases Théoriques**
- Média de transmission
- Transmission Sans-fils
- L'environnement téléphonique :
  - Le système téléphonique
  - RNIS bande étroite
  - RNIS large bande
  - Systèmes Satellites

Théorie : Analyse de Fourier (1)

- Fourier montre que l'on peut approximer tout signal périodique *g(t)*
  - **période** *1/f*
  - a_n et b_n amplitudes de la ***n***-ième **harmonique**

$$g(t)=\frac{1}{2}c+\sum_{n=1}^{\infty}a_n\sin(2\pi nft)+\sum_{n=1}^{\infty}b_n\cos(2\pi nft)$$

Théorie : Analyse de Fourier (2)



Théorie : Limitations (1)

- Support = **filtre passe-bas**
  - forte distorsion au dessus de ***fc***
- **Baud :** rapidité de modulation
  - débit (bps) = Baud * Log2 V (b)
- Théorème de **Nyquist :**
  - débit maximum = 2 *fc* Log2 V (bps)
- Théorème de **Shannon :**
  - débit max sur canal **bruité** = *fc* Log2 (1+S/B) (bps)

Théorie : Limitations (2)

- Support = Ligne téléphonique
  - ***fc*** = 3400 Hz
- Harmoniques avec 8 bits par Baud:
  - à 1200, 9600 et 19200 bps ?
- Théorème de **Nyquist :**
  - débit max avec 256 valeurs par Baud ?
- Théorème de **Shannon :**
  - débit max du support avec S/B = 30dB ?

Plan

- Bases Théoriques
- **Média de transmission**
- Transmission Sans-fils
- L'environnement téléphonique :
  - Le système téléphonique
  - RNIS bande étroite
  - RNIS large bande
  - Systèmes Satellites

Média : Support Magnétique

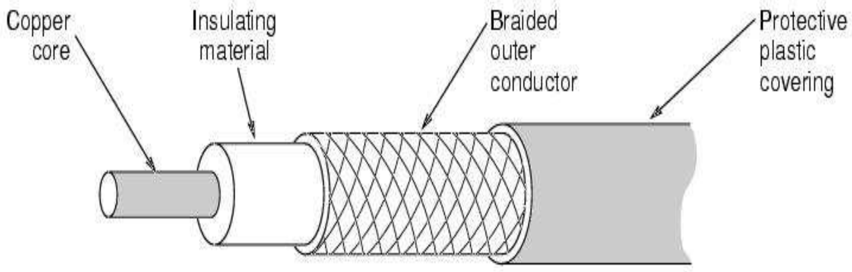
- Débit et coût du Mo
  - Exemple du colis :
    - Colissimo 30kg (délai 48h) : 15 EUR
    - Cartouche 8mm (20Go dans 100g)
- Comparer à un accès Internet sur LS
  - Exemple d'un accès Internet universitaire :
    - Renater : 30.000 EUR/an pour 2Mbps
    - Location L.S. FT : 15.000 EUR/an pour une E1

Média : Paire Torsadée

- ***TP*** *(Twisted Pair)*
- 2 fils de cuivre isolés et enroulés en hélice
- Câblage téléphonique
- Câblage industriel (4x2)
    - UTP (*Unshielded Twisted Pair)* CAT3 (16Mhz)
    - UTP CAT5 (100Mhz) depuis 1988
    - CAT 6, 6+, 7...
    - FTP, STP (*Foilded, Shielded Twisted Pair*), avec blindage alu
    - 100m max du **panneau de brassage**

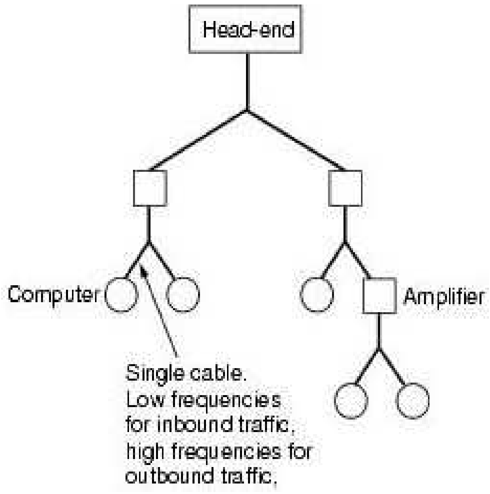
Média : Coax. Bande de Base

- **Baseband Coax :** meilleur blindage que **TP**
- **50 Ohm, 2** Gbps sur qqs Km



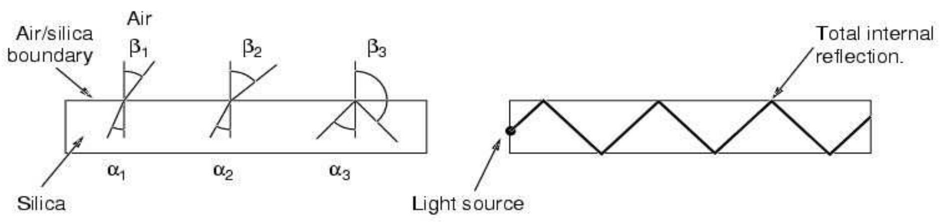
Média : Coax. Large Bande

- **Broadband Coax:** 300 Mhz sur 100km
- Multiplexage fréquenciel
  - Ex: découpage en 5-30 et 40-300 Mhz
- **75 Ohm**



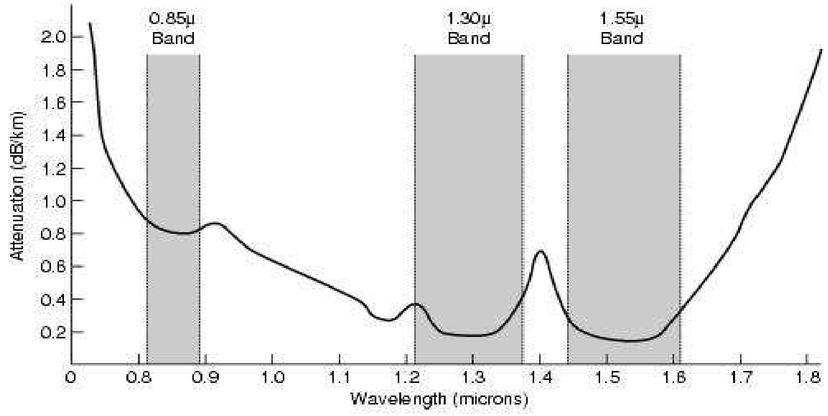
Média : Fibre Optique (1)

- Débit potentiel important : 50 Tera-bps !
- 2 types :
  - Mono-mode (guide d'onde) >100 km sans répéteur
  - Multi-mode (avec réflexion):



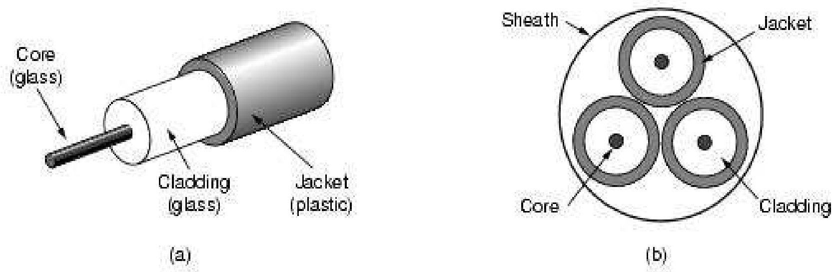
Média : Fibre Optique (2)

- Transmission de la lumière : **atténuation**



Média : Fibre Optique (3)

- Cables :
  - Mono-mode (coeur de qqs micron + guide)
  - Multi-mode (50 + 125 ou 62.5 + 125 micron)



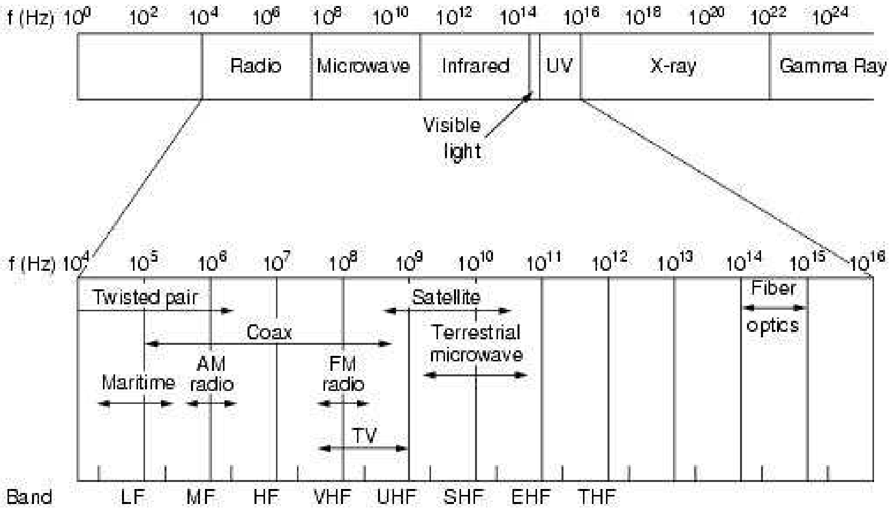
Média : Fibre Optique (4)

- Fibre Optique versus Cuivre :
  - Avantages de la fibre :
    - » plus grandes bandes passantes
    - » répéteurs tous les 30 km (vs 5)
    - » pas d'interférences électromagnétiques
    - » pas de corrosion
    - » plus léger que le cuivre (100kg/km vs 8000kg/km)
    - » plus faible coût d'installation
  - Inconvénients de la fibre
    - » interface avec la fibre plus coûteuse
    - » unidirectionnelle

Plan

- Bases Théoriques
- Média de transmission
- **Transmission Sans-fils**
- L'environnement téléphonique :
  - Le système téléphonique
  - RNIS bande étroite
  - RNIS large bande
  - Systèmes Satellites

Sans-fil : Spectre Électromagnétique



Sans-fil : Spectre Électromagnétique

- Ondes qui se propagent dans le vide
  - caractérisées par leur fréquence (Hz)
  - longueur d'onde : Lo = C/f (m)
- Régulation ITU-R et FCC (pas les mêmes !)
- Bandes :
  - LF (*Low Frequency*) : 1 à 10 km - ondes kilométriques
  - MF (*Médium Frequency*) : 100 à 1000 m - ondes hectométriques
  - HF (*High Frequency*) : 10 à 100 m - ondes décamétriques
  - VHF (*Very High Frequency*) : 1 à 10 m - ondes métriques

Sans-fil : Transmission de donnée

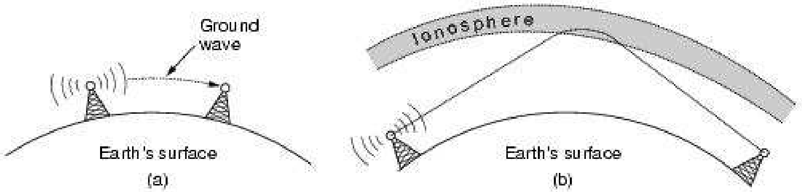
- Plusieurs bits par Hz
  - qqs à basses fréquences
  - >40 à hautes fréquences
    - Débit potentiel à 500 Mhz et 20bits par Hz ?
- Quantité d'info. liée à la **Bande Passante :**
    - **Débit pour une BP de 1,5 micron à 500 Mhz ?**

$$\lambda f = c \Rightarrow \frac{d}{d\lambda} f = -\frac{c}{\lambda^2} \Rightarrow \Delta f = -\frac{c \cdot \Delta\lambda}{\lambda^2}$$

$\Delta\lambda$ *largeur d'une bande de longueur d'onde* Δf *bande de fréquence*

Sans-fil : Ondes Radio

- Atténuation en $1/r^3$
- Grandes ondes = grande portée
  - VLF, LF, MF (1000km pour LF, suivent le sol)
    - GO = 150kHz-300kHz (Basse Fréquence) : Lo ?
    - PO = 520kHz-1600kHz (Moyenne Fréquence) : Lo ?
  - HF (absorbée par le sol, réfléchie par la ionosphère)
  - VHF (> 100 Mhz direct : TV, FM...) 105.5Mhz : Lo ?



Sans-fil : Micro-ondes

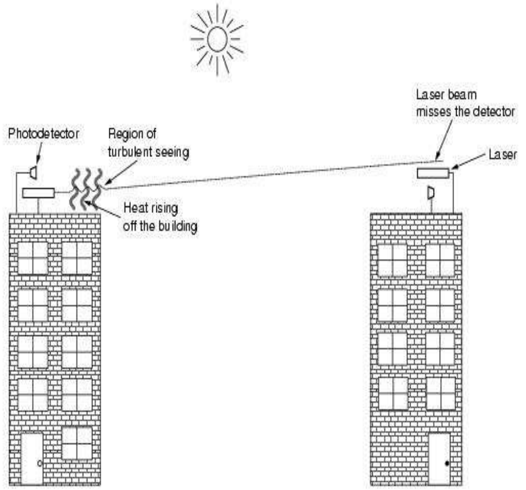
- 1-100 Ghz (pb avec la pluie > 8 Ghz : fours !)
  - transmission directe de faisceaux (appelée **faisceaux hertziens**)
  - concentration à l'aide de parabole
  - plusieurs émetteurs côte-à-côte sur un même relais
  - relais tous les 50km (si assez élevés)
  - les bandes basse fréquence sont surchargées (900Mhz) mais plus économiques et non perturbées (radars, fours...)

Sans-fil : Infrarouge et Ondes Millimétriques

- 0.1-100 Ghz
  - communication courte distance (télécommandes...)
  - ondes directionnelles
  - ne passent pas à travers les obstacles
  - pas de licence gouvernementale
  - pas d'utilisation en extérieur (soleil)

Sans-fil : Laser

- Idem fibre optique mais sans support
  - focalisation très précise
  - sujet au turbulence atmosphériques :

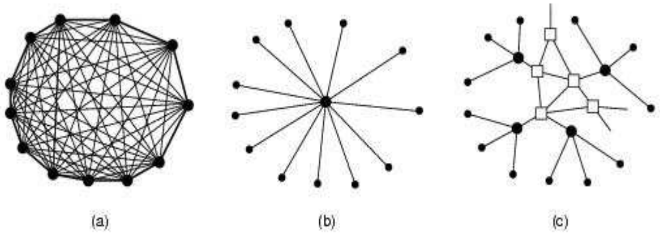


Plan

- Bases Théoriques
- Média de transmission
- Transmission Sans-fils
- **L'environnement téléphonique :**
  - **Le système téléphonique**
  - RNIS bande étroite
  - RNIS large bande
  - Systèmes Satellites

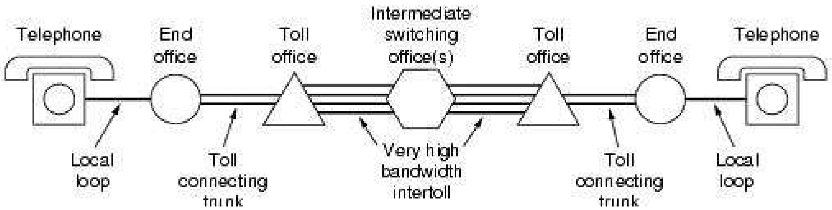
Le Système Téléphonique

- Premier réseau longue distance et universel
- Très différent des LANs (débit, erreur...)
- Structure de **commutation** hiérarchique :
  - historique



SysTel : Structure du système

- Structure centenaire et inchangée
  - niveau opérateur (relation moyenne distance) :
    - Commutateur Local (*End office*)
    - Centre de Rattachement (*Toll office*)
    - Centre de Transit (*Intermediate switching office*)



SysTel : Les Circuits

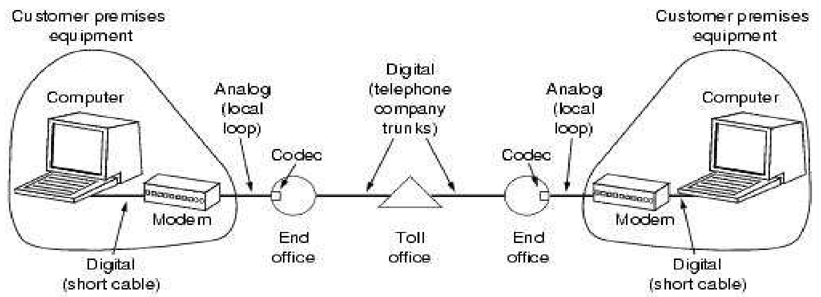
- Établissement de **circuits** commutés
  - Commutateurs reliés par :
    - Boucle Locale (*Local loop*) en paire torsadée avec signal **analogique**
    - Artère principale et secondaire (*Toll connecting trunk, Intertoll trunk*) en fibres optiques, faisceaux hertziens ou satellites avec signal **numérique** haut débit

SysTel : La Boucle Locale

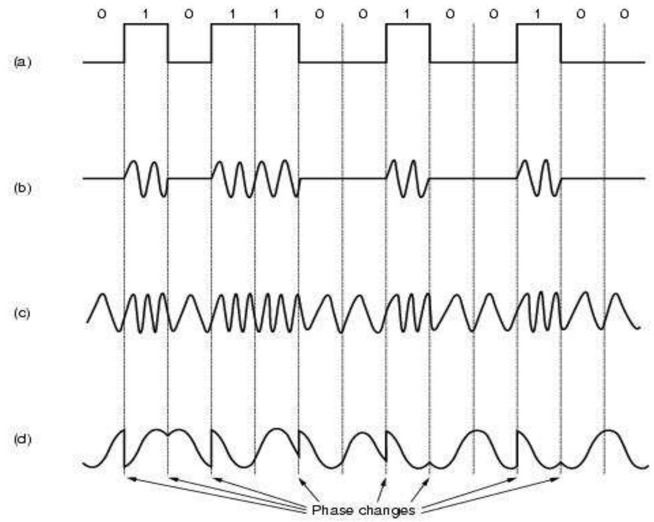
- *« Last mille still the longest »*
- Technologie ancienne
  - médium en paire torsadée
  - signal analogique
- Coût de conversion immense
  - persistance sur le moyen terme
- Incontournable pour la majorité des accès personnels

SysTel : Modems (1)

- Utilisation de signal analogique pour les transmissions numériques
  - signal sinusoidal ou **porteuse** (*sine wave carrier*)
  - modulation en amplitude, phase et fréquence (**MO**dulateur-**DEM**odulateur)

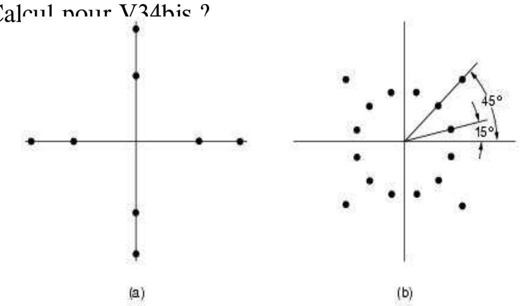


SysTel : Modems (2)



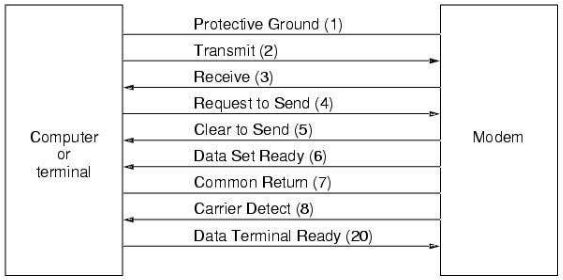
SysTel : Modems (3)

- Utilisation de plusieurs modulations
  - 3 bits (QAM *quadrature amplitude modulation*)
  - 4 bits (V32) et plus : constellation de points (treillis) Calcul pour V34bis ?



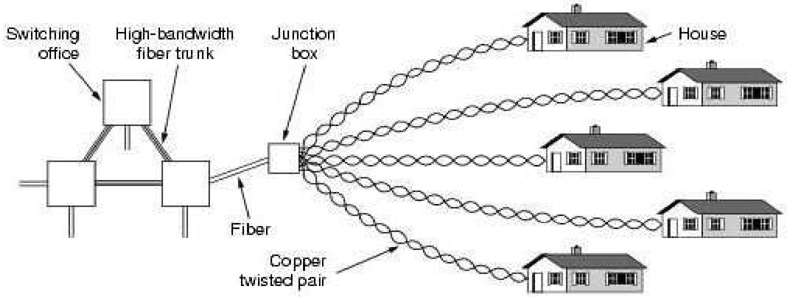
SysTel : RS 232 C

- Exemple de protocole de la couche PHY
  - spécifcations mécaniques, électriques, fonctionnelles et procédurales
  - EIA **RS 232 C** = CCITT **V24**



SysTel : *Fibre in the loop ?*

- Fibre dans la maison ?
- Fibre rapprochée + xDSL ?
- Fibre + coax (cable) ?

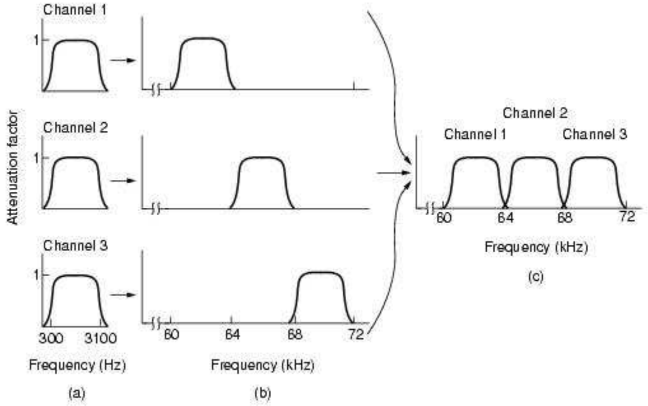


SysTel : Multiplexage

- Le coût d'une ligne n'est pas lié à son débit
- Utilisation de liaison haut-débit et de techniques de multiplexage :
  - Multiplexage Fréquenciel
    - FDM (*Freque,cy Division Multiplexing*
  - Multiplexage Temporel
    - TDM (*Time Division Multiplexing*)

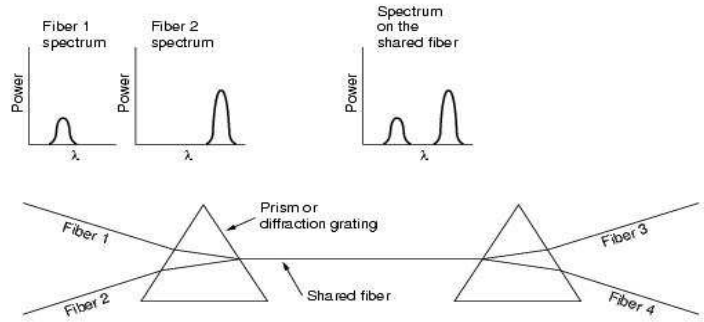
SysTel : Multiplexage Fréquenciel

- Groupe primaire = 12*4000Hz (500+3000+500) de 60 à 108 Khz
- Groupe secondaire = 5 groupe primaire = 60 voies
- Groupe tertiaire = 5 groupes seconaire = 300 voies
- ... 230000 voies



SysTel : Mul. en Longueur d'Ondes

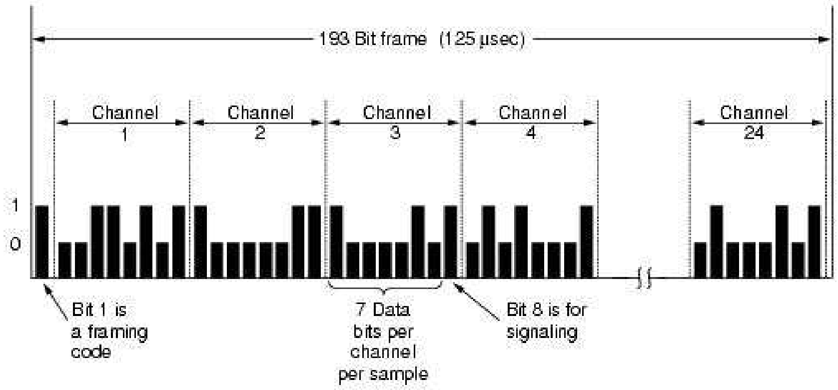
- WDM (*Wavelength Division Multiplexing*)
  - idem TDM mais utilisation d'un mécanisme passif : **variation de diffraction**
  - intéressant car signal optiques limités au Gbps (conversion electrique) alors que bandes utilisées 25Thz



SysTel : Numérisation

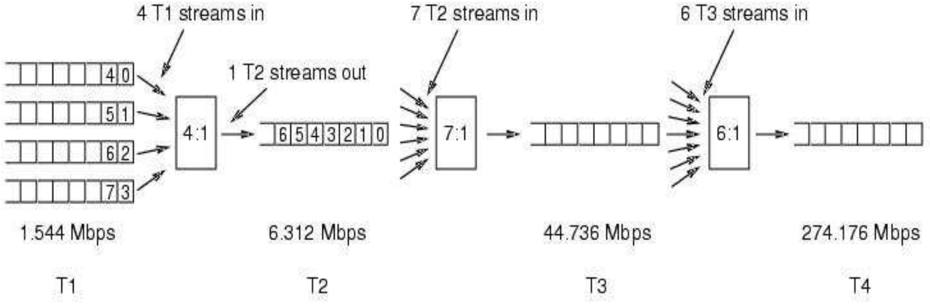
- Utilisation d'un **CODEC** (COdeur-DECodeur)
- Ligne téléphonique :
  - Nyquist : 8000 échantillons (125 microsec)
  - 64kbps car sur 8 bits
  - MIC (Modulation par Impulsion et Codage) ou PCM (*Pulse Code Modulation*)
  - d'autres techniques pour réduire les débits engendrés (différentiel, delta, compression, ...)

SysTel : Multiplexage Temporel



SysTel : Multiplex T1

- **US** : *T1 = 1.544Mbps*, T2 = 6.312M, *T3 = 44.736*, T4 = 274.176Mbps
- **CCITT** : *E1 = 2.048Mbps*, E2 = 8.848Mbps, *E3 = 34.304Mbps*, E4 = 139.264Mbps et E5 = 565.148Mbps
  - Calcul du nobre de canal pour les US, pour l'Europe (CCITT)?

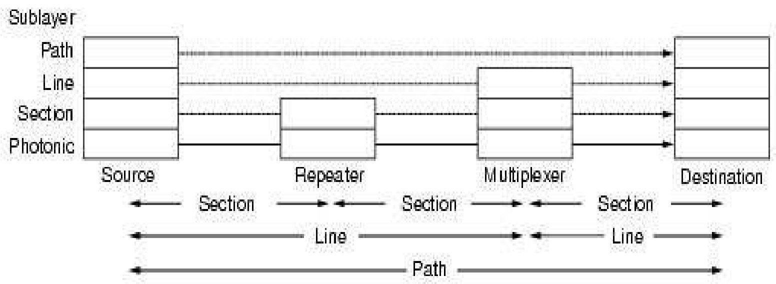


SysTel : SONET / SDH (1)

- Sytème de multiplexage temporel optique
  - SONET (*Synchronous Optical NETwork*) par Bellcore
  - SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) par CCITT
- Buts :
  - Standard = interconnexion d'opérateurs
  - Support des MIC US/Europe/Japon identiques mais groupés différemment
  - Dépasser les T3 et E3 (orientation vers le Gbps)
  - Intégration de la gestion (OAM, *Operation, Administration and Maintenance*)

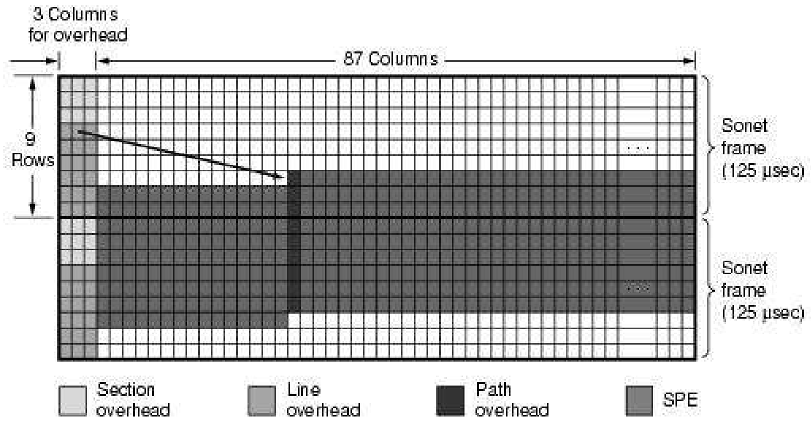
SysTel : SONET / SDH (2)

- Architecture



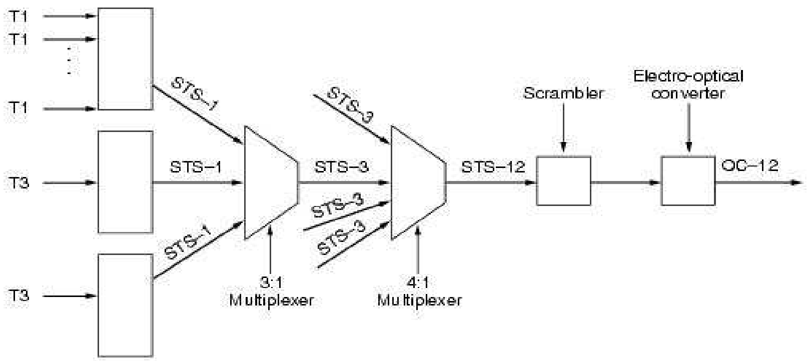
SysTel : SONET / SDH (3)

- Trame (STS-1 *Synchronous Transport Signal-1*)



SysTel : SONET / SDH (4)

- STS-1 (électrique) = OC-1 (Optique)
  = 1 trame par 125microsec (SONET)



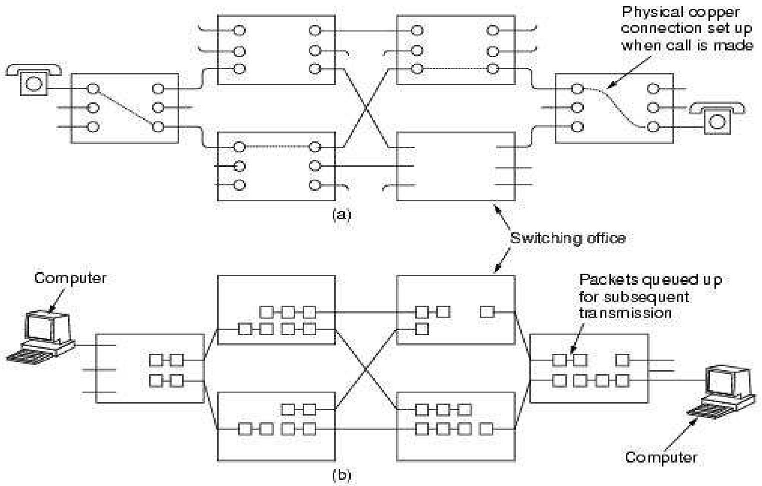
SysTel : SONET / SDH (5)

- OC-1 = 51.84 Mbps (49.536 util.)
- OC-3 = STM-1 = 155.52 Mbps (148.608)
  - OC-3c (*concatenated*) = 155.52 Mbps (149.760)
- OC-12 = STM-4 = 622.08 Mbps (594.432)
- OC-48 = STM-16 = 2488.32 Mbps (2377.728)
- OC-192 = STM-64 = 10 Gbps !
- ....
  - OC (*Optical Carrier*)
  - STM (*SynchronousTransport Module*)

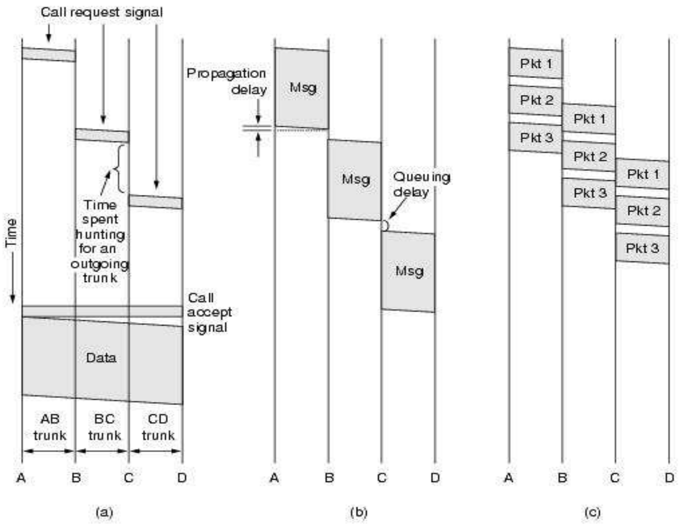
SysTel : Commutation (1)

- Comment relier les lignes entres elles et la boucle locale ?
- 2 approches pour la commutation :
  - Commutation de circuits
  - Commutation de paquets

SysTel : Commutation (2)



SysTel : Commutation (3)

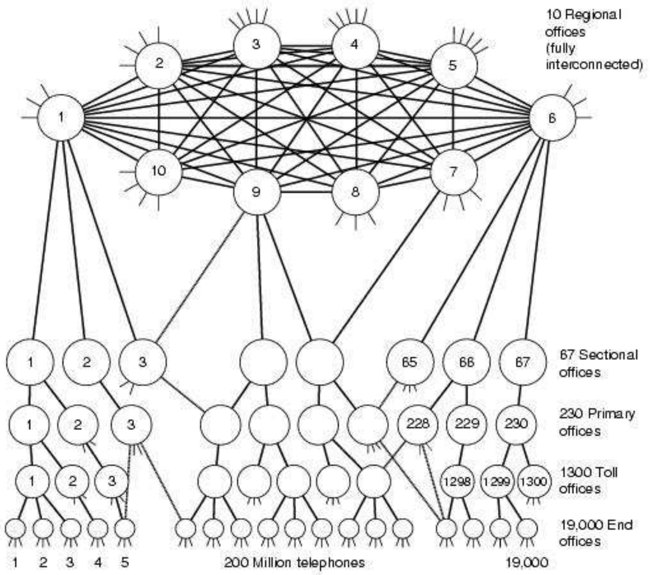


SysTel : Commutation (4)

- Comparaison des deux commutations
  - CIRCUIT vs PAQUET
  - chemin dédié (circuit) vs partagé
  - BP statique vs dynamique
  - pas de stockage vs *store'n forward*
  - même route et ordonné vs route multiple et desordonné
  - congestion initiale vs pour chaque paquet
  - facturation au temps vs au paquets

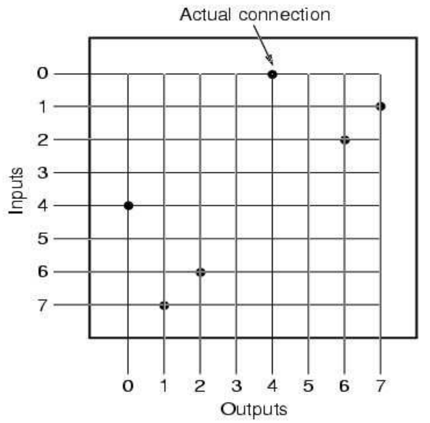
SysTel : Commutateur (1)

- Hiérarchie :



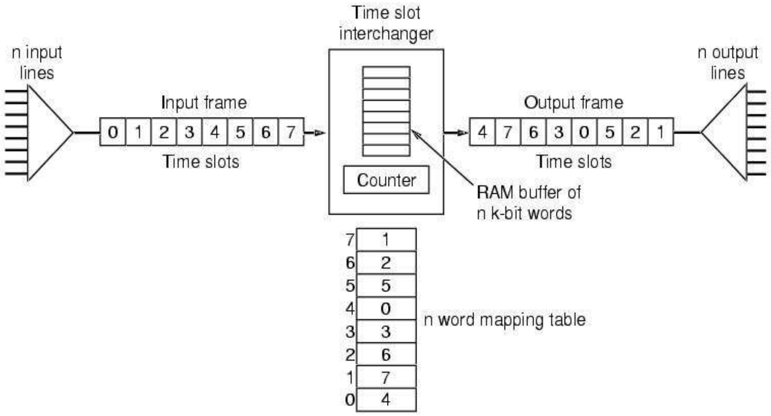
SysTel : Commutateur (2)

- Commutateur spacial
  - **Crossbar** (jusqu'à 1000*1000) :



SysTel : Commutateur (3)

- Commutateur temporels
  - dépend de la mémoire



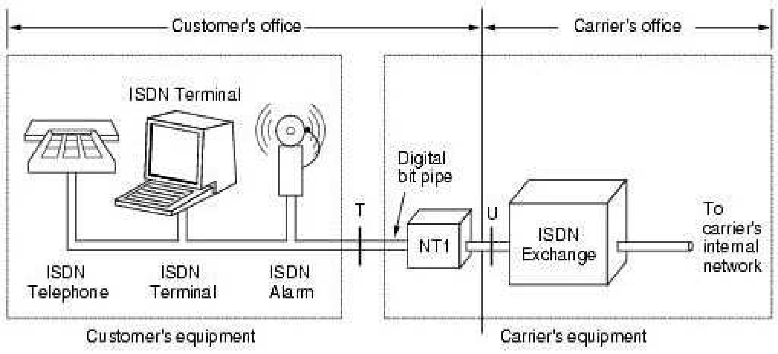
RNIS-BE : Services

- Réseau Numérique à Intégration de Services (ISDN *Integrated Services Digital Network*)
  - BE = Bande Étroite (NB *Narrow Band*)
  - Définition par le CCITT en 1984
- Transport de la voix avec plein d'autres fonctionnalités :
  - données
  - nom de l'appellant
  - ...

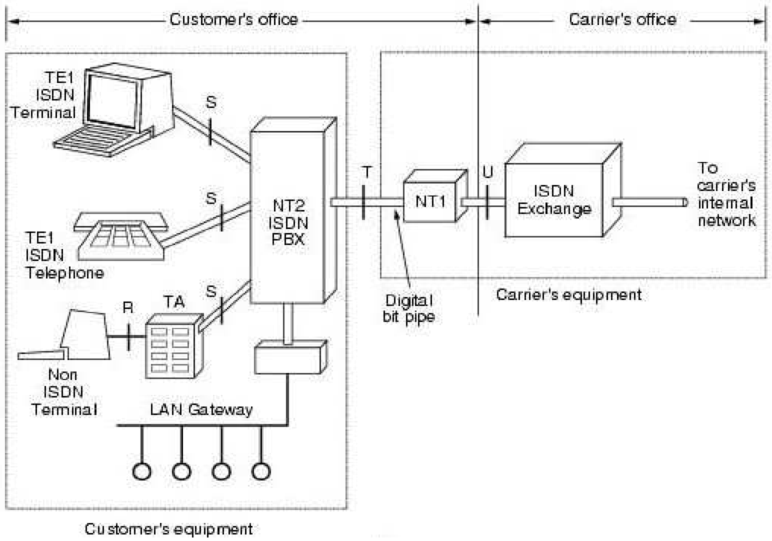
Plan

- Bases Théoriques
- Média de transmission
- Transmission Sans-fils
- **L'environnement téléphonique :**
  - Le système téléphonique
  - **RNIS bande étroite**
  - RNIS large bande
  - Systèmes Satellites

RNIS-BE : Architecture (1)

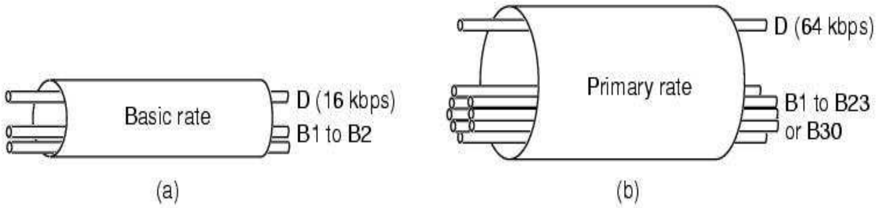


RNIS-BE : Architecture (2)



RNIS-BE : Interfaces

- Accès de base = 2B + 1D
- Accès primaire = 23B + 1D (US), 30B + 1D
  - B = 64kbps MIC pour la voie ou les données
  - D = 16 ou 64kbps pour la signalisation hors-bande



RNIS-BE : Perspectives

- Tentative de remplacer le téléphone analogique dans les année 80
  - Standardisation trop longue !
- Actuellement, solution temporaire pour un accès données plus rapide
- Les entreprises attendent des hauts débits !!!
  - **RNIS - LB**

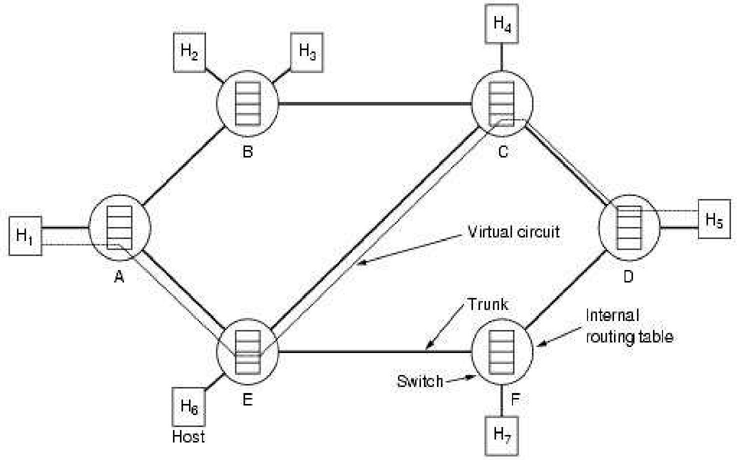
Plan

- Bases Théoriques
- Média de transmission
- Transmission Sans-fils
- **L'environnement téléphonique :**
  - Le système téléphonique
  - RNIS bande étroite
  - **RNIS large bande**
  - Systèmes Satellites

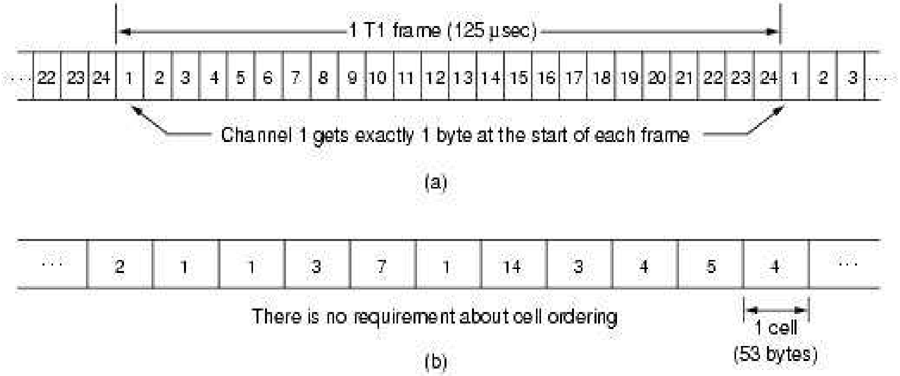
RNIS-LB et ATM

- RNIS large-bande (*Broadband ISDN*)
- Circuits virtuels avec petites céllules (53o)
- Haut débit (> 150Mbps)
  - utilisation d'une infrastructure spécifique
- Intégration étendue
  - audio, vidéo, multimédia ...
- Utilise la technologie ATM (*Asynchronous transfer mode*)

ATM : Circuits Virtuels

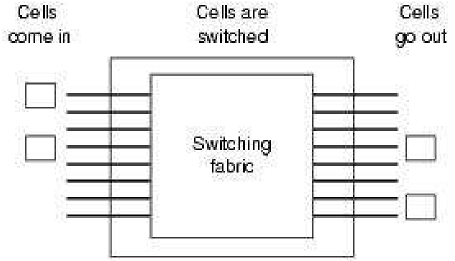


ATM : Transmission Asynchrone

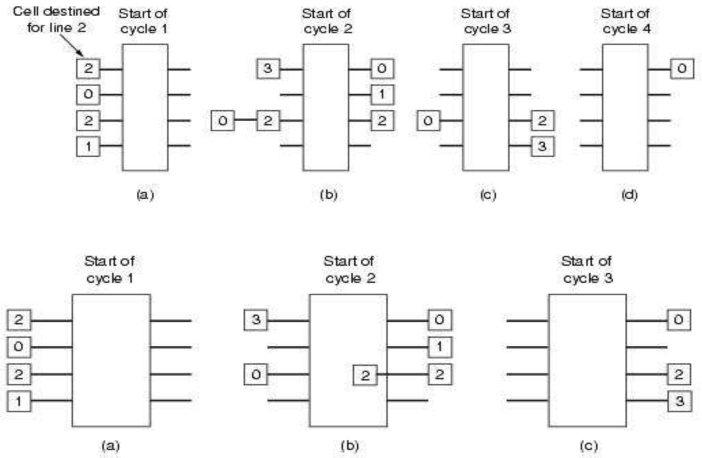


ATM : Commutateurs

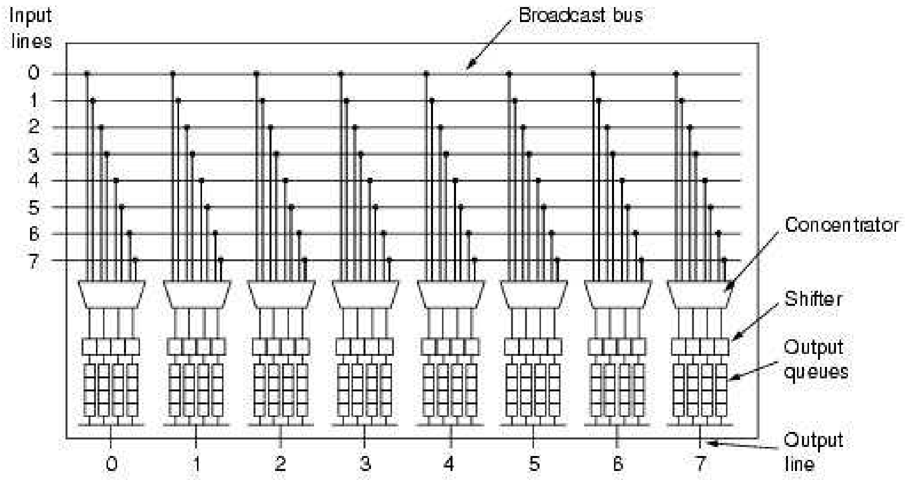
- Commutateur de cellules
  - 360000 cell/s à 155Mbps (1 cell en 2,7 microsec/entrées)
  - commuter toutes les cellules sans éliminations
  - ne pas ré-ordonner les cellules dans un circuit virtuel



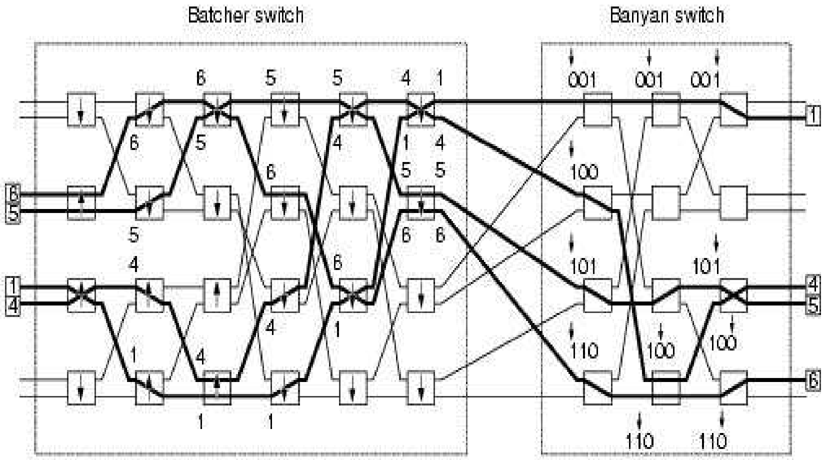
ATM : Files d'attentes



ATM : Commutateur Knockout



ATM : Commutateur Batcher-Banyan



Plan

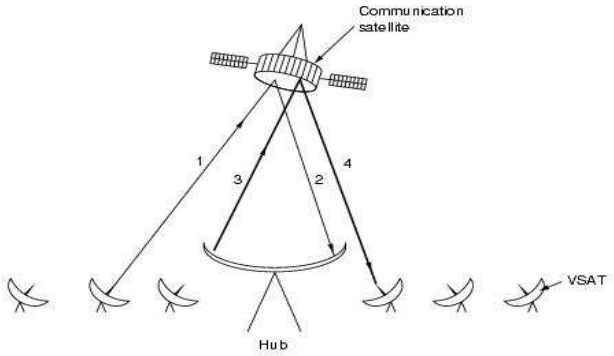
- Bases Théoriques
- Média de transmission
- Transmission Sans-fils
- **L'environnement téléphonique :**
  - Le système téléphonique
  - RNIS bande étroite
  - RNIS large bande
  - **Systèmes Satellites**

Satellites

- Station relais d'onde à très haute fréquences
  - Utilisation de **transpondeur** pour transposer les fréquences et éviter les interférences
  - Couverture plus ou moins étendues de la planète
  - 2 types principaux :
    - Géostationnaires
    - Basse orbite

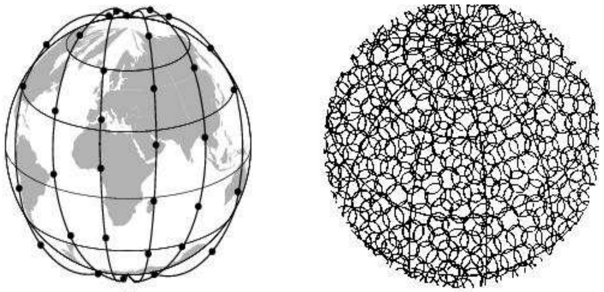
Sat : Géostationnaires

- Altitude 36000km
- Bandes C (4/6 Ghz), Ku (11/14 Ghz) et Ka (20/30)
- BP 500MHz



Sat : Constellation

- Altitude 750km
- Ex : iridium = 66 satellites avec 48 zone de 174 canaux full-duplex


(a) (b)

Sat : vs Fibre Optique

- Avec les fibres trans-atlantiques, satellites réservés à des niches :
  - Besoin urgent de 50 Mbps
  - Accès mobile
  - *Broadcast*
  - Absence d'infrastructure
  - Passage de fibres impossible
  - Militaires
  - ...

Résumé

- Couche PHY = base matérielle des réseaux
- Impose ses limitations
  - Nyquist
  - Shannon
- Nombreux supports avec ou sans guide
- Environnement téléphonique :
  - Concepts de boucle locale, modem, multiplexage FDM et TDM, commutation de circuits et de paquets commutateurs ...