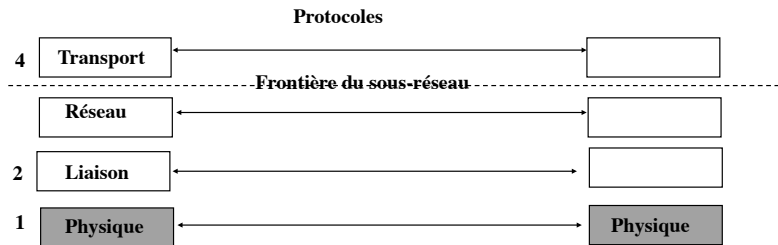


## La couche physique

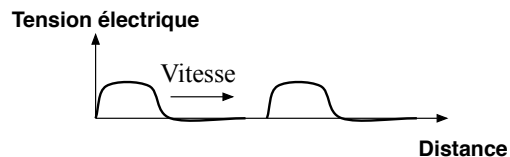


## La couche physique

1. Notions de débit, vitesse et bande passante
2. Accès multiples: différentes solutions
3. Type de codage
  - Bande de base
  - Modulation
4. Types de supports et caractéristiques des réseaux existants
5. Principes de commutations

## Vitesse et temps de propagation

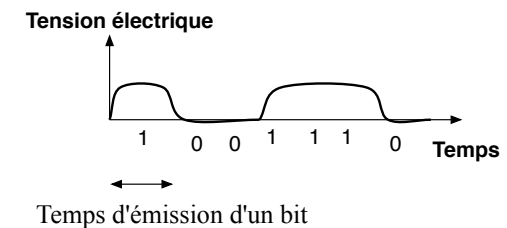
- Codage de l'information binaire à l'aide d'une onde physique
- Exemple :



- Une onde possède une vitesse qui dépend du support
- Le temps de propagation dépend de la vitesse  $V$  de l'onde et la longueur  $L$  du support :  $L/V$

## Débit et temps d'émission

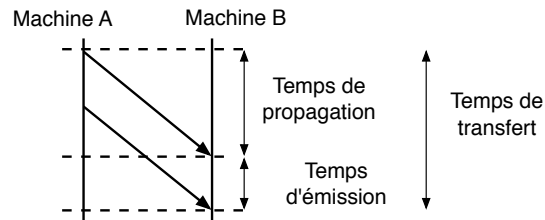
- Exemple :



- Le débit d'une ligne est défini par le nombre de bits émis par seconde sur le support
- Le débit  $D$  dépend du temps  $T$  nécessaire pour émettre un bit :  $D = 1/T$

- Débit et vitesse sont complètement indépendants

## Temps de transfert d'un paquet

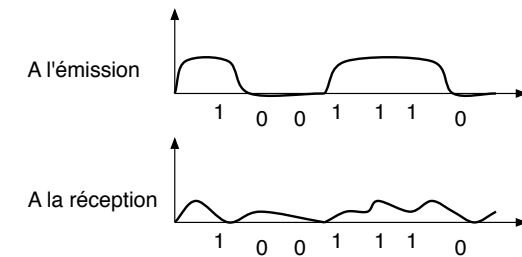


### Exemple:

- Satellite  $l=36000$  km,  $v=3.10^8$  m/s : T. de propagation= 0,12 s
- Paquet de 10 kbits à 1 méga bits/s: T. d'émission= 0,01s
- Réseau local sur fibre optique  $l=200$ m  $v=200.10^6$ m/s: T. de prop. =  $10^{-6}$ s
- Paquet de 10 kbits à 1 méga bits/s: T. d'émission= 0,01s

## Limitation du débit

- Une onde s'affaiblit lors de son déplacement et peut être modifiée par des bruits extérieurs



### Théorie du signal:

- suivant les caractéristiques du support, sa longueur et les perturbations extérieures, on peut déterminer la fréquence maximale (et donc le débit maximal) au delà de laquelle on ne sait plus reconnaître à l'arrivée les échantillons représentant l'information émise
- On parle de bande passante

## Accès multiple: solutions par partage "statique" du support

- Le problème : envoyer plusieurs flux en parallèle sur un même support
  - Exemple : réseau radio, plusieurs émetteurs
- Peut être résolu au niveau physique de façon statique mais aussi au niveau liaison de donnée, sous couche MAC: (Medium Access Control) par un *accès dynamique*
- Pour le partage des *accès statiques*, on parle de multiplexage
  - Soit en fréquence
  - Soit temporel

## Multiplexage en fréquence

### Définition et propriétés

- La bande passante de la ligne physique est divisée en un certain nombre de sous-canaux plus étroits (en terme de fréquence) affectés en permanence aux machines accédant au support
- On peut émettre en même temps sur ces différents canaux
- En réception, on sait distinguer les signaux si les plages de fréquence sont bien séparées
- Limitation: le nombre de sous-canaux (et donc de machines) est restreint
- Les sous-canaux sont affectés en permanence, donc peu efficace quand les émissions sont irrégulières

## Multiplexage en fréquence



### Exemples :

#### Les radios FM

- Plage de 87,5 – 108 MHz, canaux indépendants multiples de 100KHz
- On change de radio en changeant de canal de fréquence

#### Multiplexage des voies téléphoniques analogiques

- Une voie téléphonique sur la boucle locale : un sous-canal de largeur 4 KHz suffit pour transporter la voix
- Groupe primaire : regroupe 12 voies téléphoniques dans un canal de largeur 48 khz
- Si plusieurs groupes primaires sont multiplexés sur le même support, 5 groupes primaires forment un groupe secondaire (60 voies)
- Certains supports peuvent supporter jusqu'à 230 000 voies téléphoniques

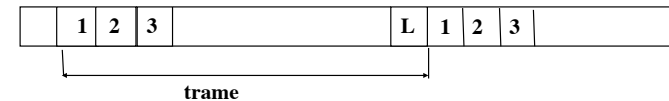
## Multiplexage temporel

### Définition

On affecte à chaque utilisateur à tour de rôle la totalité du débit binaire de la voie pendant une fraction de temps

### Mise en œuvre :

- Le train de bits de débit D sur la voie est divisé en trames de L intervalles de temps. Chaque intervalle de temps permet l'envoi d'un caractère (ou d'un bit) en provenance des différents utilisateurs (débit D/L)



- Utilisé sur les artères du réseau téléphonique avec l'apparition des circuits numériques
- Utilisé aussi sur la fibre optique (SONET et SDH)

## Multiplexage temporel

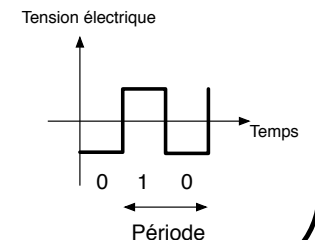
### Propriété

- Le débit maximal pour chaque utilisateur est D/L
- Peu efficace si les émissions sont irrégulières: "il faut attendre son tour même si les autres n'émettent pas"
- D'où l'intérêt d'une méthode à accès "aléatoire" ; la couche MAC à proprement parler des réseaux locaux à diffusion (Ethernet, WIFI)
- Dans ce cas le partage se fait au grès des accès, pour que cela fonctionne une seule machine émet à un instant donnée, possibilité de collision, problème de «prise de parole»...

## Modes de transmission

### Mode de base (ou bande de base)

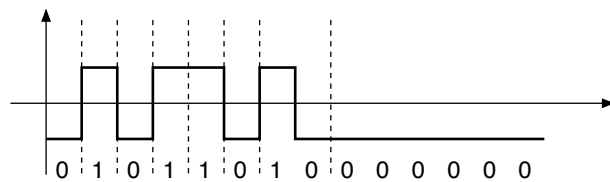
- On transmet directement l'information binaire à l'aide de signaux pouvant prendre n valeurs (n est appelé la valence)
- Exemple: valence = 2: -1 et 1 volt sur un support métallique
- Le débit dépend de la bande passante H et de la valence V:
  - Débit =  $2 \cdot H \log_2 V$  (Théorème de Nyquist)
  - Bande passante H en bauds, Débits en bit/s



## Exemples de codage en bande de base

- **Codage NRZ (Non-return to Zero)**
- Problème de synchronisation émetteur /récepteur : séparation de plusieurs valeurs identiques à la suite

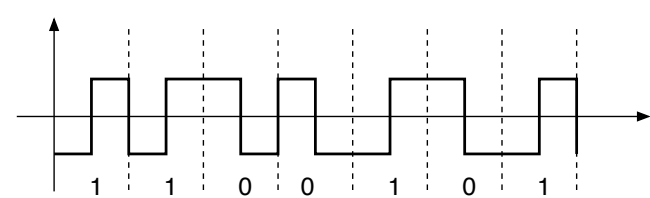
Tension électrique



## Le codage Manchester (ou biphasé)

- Utilisé dans **Ethernet 10 base T** (0,85 volts, -0,85 volts, 0 volt au repos)
- Une transition pour chaque bit: Montante code un 1, descendante code un 0
- **Intérêt:** Permet une meilleure synchronisation du récepteur mais le débit maximal est divisé par 2 par rapport au NRZ

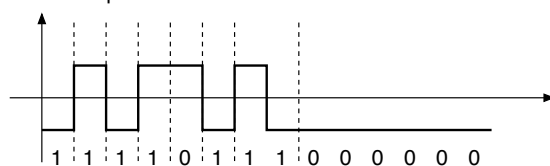
Tension électrique



## Le codage NRZI (Non return To Zero Inverted on One)

- Une transition représente un 1, Pas de transition représente un 0
- Toujours le problème des non transitions pour les suites de 0
- Couplé avec 4b5b : On ajoute 1 bit pour chaque groupe de 4 bits dont la traduction est prise dans un dictionnaire (exemple: 0000 transformé en 00001)
- Utilisé pour l'**USB** et dans le 100 base FX (Ethernet sur fibre optique 100 Mégabits/s)

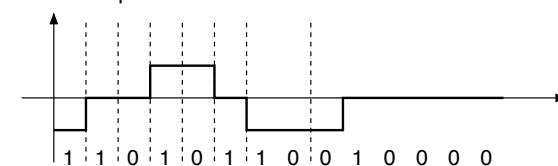
Tension électrique



## Le codage MLT-3 ou NRZI-3 (MultiLevel Transition)

- Trois niveaux -1, 0 et +1
- Toute transition code un 1 (+1, 0, -1, 0, +1 ...) et pas de transition un 0
- Utilisé dans le 100 base TX (Ethernet sur paire torsadée 100 Mégabits/s) 4b5b puis MLT3

Tension électrique



## Modes de transmission

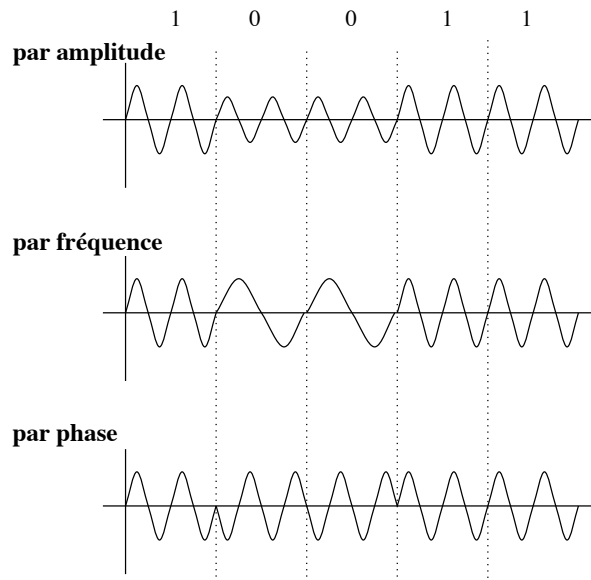
### Modulation

- L'information codée sert à modifier un ou plusieurs des paramètres (amplitude, fréquence, phase) d'un signal sinusoïdal appelé onde porteuse
- Utilisé sur les lignes téléphoniques à travers les Modems (Modulateur/démodulateur)
- Plus adapté pour des supports à forte atténuation (moyenne distance) et bruits importants (comme les boucles locales des lignes téléphoniques)

## Modulation

- Utilisé sur les lignes téléphoniques
- Au départ une ligne téléphonique (boucle locale en paire torsadée): canal de 4 KHz suffit pour le transport de la voix
- Multiplexage fréquentiel sur grosse artère pour le transport de plusieurs communication sur un même fil
- Modem: modulateur/démodulateur
  - Principe : L'information codée sert à modifier un ou plusieurs des paramètres (amplitude, fréquence, phase) d'un signal sinusoïdal appelé onde porteuse et représenté par :
    - »  $v(t) = a \sin(\omega\tau + \varphi)$
  - Modulation
    - par fréquence
    - d'amplitude
    - de phase

## Modulations



## Combinaison des modulations

- Les premiers modems utilisaient une bande passante de 2400 bauds (2400 échantillons reconnaissables par seconde)
- Si une seule modulation (d'amplitude par exemple): un échantillon: deux motifs possibles
  - 1 bit / échantillon donc débit de 2,4 kilobit/s
- Solution : Pour augmenter le débit sans changer de bande passante, on augmente le nombre de motifs par échantillon
- **Exemple:** Combinaison de 4 phases et de 4 amplitudes
  - » 4 amplitudes et 4 phases donnent 16 motifs donc 4 bits possibles par échantillon
  - » Avec la même bande passante de 2400 bauds, on arrive à un débit de  $4 \times 2,4 = 9,6$  kbits/s

## Combinaison des modulations

- Evolution progressive des débits des modems par ce type de technique
  - Exemples:
    - \* Premiers Modem à 9,6 kilobit/s (4 bits par échantillon à 2400 bauds)
    - \* Modem V34 à 28 800 bit/s : 12 bits par échantillon
    - \* Norme V90:
      - 8000 bauds (fréquence à 4 kHz)
      - 8 bits par échantillon : 64 kbits/s
      - 7 bits de données + 1 bits de contrôle d'erreur : 56 kbits/s pour les données

## Modulation ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)

- Sur boucle locale en paire torsadé
- On ne se limite plus au 4 KHz nécessaire à la voix mais à une bande passante de 1,1 MHz (et maintenant 2,2 MHz pour l'ADSL2+)
- Bande passante dépend de la distance à la desserte locale ADSL (inférieure à ~2km pour les plus hauts débits )
- Aujourd'hui : offre théorique jusqu'à 28 mégabits/s en réception et jusqu'à 1 mégabit/s en émission (ADSL 2+)

## Modulation ADSL

- Multiplexage en fréquence sur des canaux de 4 KHz
- 3 plages de fréquences indépendantes
  - Voie téléphonique ordinaire: premier canal (0 à 4 KHz)
  - En émission numérique : 31 canaux (4 KHz à 128 KHz)
  - En réception numérique : 223 canaux restants (128 KHz à 1,1 MHz)
- En émission et réception numérique :
  - Utilisation des techniques des anciens modems sur chacun des canaux
  - Exemple: en réception:
    - un canal: 4000 échantillons/s, 15 bits par échantillon,
    - 223 canaux: 60 kbits/s \* 223 = 13,38 Mbit/s
  - Sensibilité aux bruits
    - Taux d'erreurs important
    - Ajout de mécanisme de contrôle et correction d'erreur
    - Mesure au départ et pendant la communication du taux de pertes et adaptation dynamique des modulations choisies sur chaque porteuse (de 2 à 15)

## Caractéristiques des supports

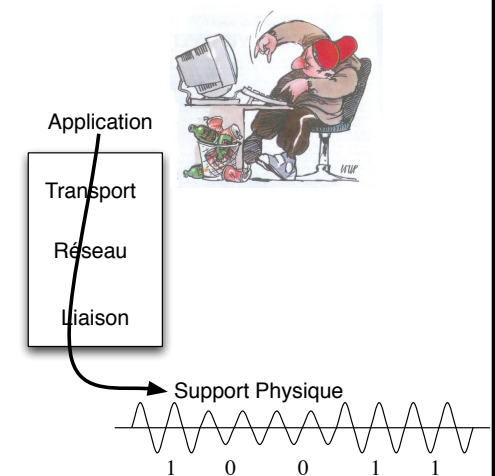
- Débits
  - Quelques Mégabits/s (ADSL) au Gigabits/s pour les réseaux locaux
- Délai de propagation: Longueur/vitesse
  - Réseaux étendus:
    - » Satellite géostationnaire (36000 km):
      - Vitesse de l'ordre de  $300 \cdot 10^6$  m/s
      - Délai de propagation Aller /retour : ~0,25 s
    - » Fibre optique :
      - Vitesse de l'ordre de  $200 \cdot 10^6$  m/s
      - Délai de propagation: 1 ms pour 200 km
  - Réseaux locaux:
    - » Paire torsadée: vitesse de l'ordre de  $170 \cdot 10^6$  m/s
    - » Câble coaxial : vitesse de l'ordre de  $200 \cdot 10^6$  m/s
    - » Quelques micro-secondes

## Caractéristiques des supports

- **Taux d'erreur:** probabilité de perte (ou de modification) pendant le transfert d'une information élémentaire
  - Réseaux étendus:
    - »  $10^{-3}$  (ADSL sur ligne téléphonique)
    - » Quasi nul pour de la fibre optique
  - Réseaux locaux: de  $10^{-9}$  à quasi nul suivant les supports
- Ces caractéristiques vont intervenir dans les protocoles des couches supérieures
  - Par exemple : nécessité de faire de la détection d'erreur
  - Qualité de la détection d'erreur

## Débit physique/ débit applicatif

- **Débit physique**
  - Débit exact sur le support physique
  - Dépend de la bande passante
- **Débit applicatif (ou utile)**
  - Débit de l'émission des données applicatives
  - Observé au niveau des applications par l'utilisateur
- **Débit applicatif peut être nettement inférieur au débit physique**



## Pourquoi le débit applicatif est il toujours inférieur au débit physique ?

### 1. Réseaux à accès aléatoire (Ethernet, WIFI)

- Pas multiplexage en fréquence
- Accès dynamique
- Partage de la bande passante en cas de plusieurs émetteurs
- Partage du débit physique entre les différents utilisateurs

2. Les **pertes ou erreurs** sur le réseau implique une baisse du débit applicatif: perte de temps pour les reprises d'erreurs, les collisions...

## Débit physique >> débit applicatif

### 3. Informations supplémentaires nécessaires aux protocoles utilisés:

- Exemple : 26 octets, 20 octets 20 octets 1 à 1500 octets

Entête Ethernet	Entête IP	Entête TCP	Données A.
-----------------	-----------	------------	------------

- Temps d'émission d'un paquet de donnée applicative est forcément supérieur au Temps d'émission au niveau physique

$$\frac{\text{Taille données}}{\text{Débit applicatif}} \geq \frac{\text{Taille paquet}}{\text{Débit Physique}}$$

$$\text{Débit applicatif} \leq \text{Débit Physique} \times \frac{\text{Taille données}}{\text{Taille paquet}}$$

- Débit applicatif dépend de la taille des données envoyées dans chaque paquet
- Exemple: 66 octets de données applicative pour 66 octets d'entête:
  - »  $\text{Débit-applicatif} \leq (66/132) \times \text{Débit-physique} = \text{Débit-physique}/2$

## Exemple de débit applicatif

- WIFI à **11 mégabits/s** de débit physique
- Un seul émetteur avec des gros paquets de donnée: applicatif au mieux 6 mégabits/s
- deux émetteurs: 3 mégabits/s
- Baisse encore du débit
  - si la distance augmente
  - si la taille des données applicatives diminue
  - ...

## Les supports existants

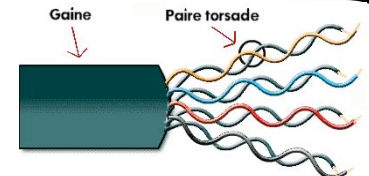
- **Non réseaux: CD, DVD, Clé USB, bande magnétique**
  - 1000 DVD \* 7 gigaoctets en 24 h = 648 Mégabit/s
  - Clé USB de 32 gigaoctets en 10 minutes: 426 Mégabit/s
- **Métalliques: Câble coaxial, paire torsadée**
  - Les plus utilisés dans les réseaux locaux
- **Verre: Fibre optique**
  - En déploiement constant depuis une vingtaine d'année pour les WANs
  - Utilisé aussi pour les réseaux locaux
- **Immatériel: ondes , radio**
  - Radio: très utilisé pour les réseaux étendus, en pleine croissance pour les réseaux locaux :Wifi, Bluetooth
  - Laser, infrarouge : très directionnel, utilisé ponctuellement (dans les LANs)

## Supports métalliques

- Fils simples : Utilisé pour les distances courtes (dans un ordinateur)
- Problème de parasitage (très sensible aux bruits extérieurs)
- Réseau électrique: le **CPL** (Courants porteurs en ligne)
  - \* Autorisé depuis 2005 en France
  - \* Protocole Ethernet sur réseau électrique
  - \* Prise RJ45 / prise électrique
  - \* Débit théorique 14, 85 ... 200 et 500 Mégabits/s
  - \* Débit pratique diminue très rapidement avec l'éloignement :
    - \* 56/55/10 Mégabits/s à 1/10/40 mètres pour un débit théorique de 200 Mégabits
  - \* Gros inconvénient: Forte perturbation vers et depuis les ondes courtes (en particulier radio)



## Supports métalliques: la paire torsadée



- Paire de fils torsadés:
  - 2\* 1 mm de cuivre isolé, résiste mieux aux interférences extérieures
- Réseau téléphonique (boucle locale en paire torsadée)
  - Prise RJ11 sur le téléphone : 2 paires
  - Câbles de 4 paires chez l'utilisateur (prise en T) à 112 paires (voir plus)
    - Modem : Au départ 9,6 kbit/s à 56 kbit/s (norme V90 avant 2000)
    - RNIS: Réseaux National à Integration de service (Numéris 1990 à 2000)
      - Deux canaux numériques à 64 Kbit/s pour la voix numérisée ou les données
    - ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) (à partir de 2000)
      - Débits effectifs jusqu'à : Réception 28 mégabit/s/Emission 1 Mégabit/s
      - Bande passante dépend de l'éloignement aux centres de commutations





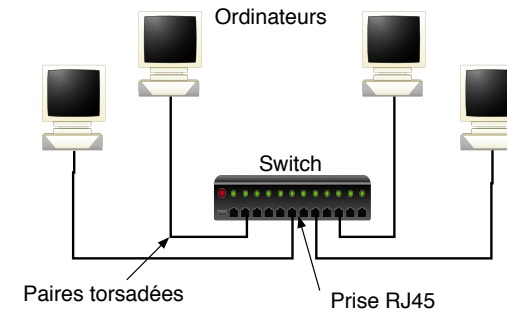
## Réseaux locaux en paires torsadées



- UTP3 puis UTP5 (Unshielded Twisted Pair) non blindée- Prise RJ45
- Ethernet à 10 Mégabit/s (10baseT), 100 Mégabit/s (100baseTX), 1 Gigabit/s (1000 base T), bientôt 10 Gbase T (normalisée en 2006) et 100 GBase T (en cours de normalisation)
- 4 paires dans le même câble (dont 2 utilisées en simplex pour le 10baseT et le 100base TX)
- Ethernet 100 base T4 utilise 4 paires torsadées au lieu de 2
- UTP5 (câblage le plus courant) : jusqu'à 1 Gigabit/s
- Longueur maximale d'un brin en 10baseT, 100 baseT et 1 GBaseT: 100 m

## Un exemple: le réseau Ethernet en paire torsadée

- Câble UTP5: 1 paire utilisée en entrée, 1 paire en sortie
- **Concentrateurs (Hub) /commutateurs (Switch)** centralisés dans une armoire de brassage pour faciliter l'administration et la maintenance
- Réseau en étoile mais à diffusion: le hub retransmet sur toutes les paires de sorties ce qu'il reçoit sur une paire d'entrée



## Supports métalliques : les câbles coaxiaux

- Ame en cuivre - isolant - tresse métallique- gaine de protection
- Résistant aux bruits
- Mieux que la paire torsadée sur la longue distance

### – Utilisation en “Bande de base”

- 1 km jusqu'à 1 giga bit/s
- Très utilisé pour longue distance du réseau téléphonique
- Utilisés en réseaux locaux mais supplantés par la paire torsadée en local et par la fibre optique en longue distance

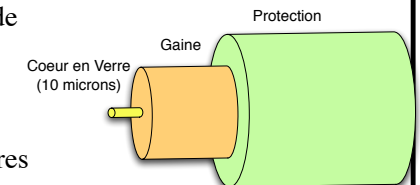
### – Utilisation en “Large bande”

- Fréquence plus grande
- Transmission par modulation
- Télévision câblée, accès à Internet



## Fibres optiques

- Tube en verre très fin (1 cheveu) recouvert d'une gaine isolante à la lumière et d'une gaine de protection
- Utilisé en simplex (2 fibres)
- Certains «câbles» regroupent plusieurs fibres
- Utilisées en LAN et WAN
  - Ethernet 100 base FX, 1000 base SX et 1000 base LX
- jusqu'à 100 km : plusieurs Gigabit/s ( $10^9$  bits)
  - Exemple Ethernet 802.3ae: 10 Gigabit/s jusqu'à 40 km
  - 100 Gigabit/s en cours de normalisation
- Limitation due au passage de l'optique à l'électrique
  - Optique pure 50 000 Gigabit/s



## Fibres optiques

- Gros développement pour l'interconnexion de centraux de télécommunication depuis longtemps: France Télécom: 1,3 million de km de fibres en 1996
- En 2014 le conseil général annonce le déploiement de 3000 km de Fibre dans l'Isère
- Récemment déploiement jusqu'à l'abonné
  - Plusieurs milliers de km de fibre optique (jusqu'à l'abonné) sur Paris dès 2007 par l'opérateur Free
  - Abonnement jusqu'à 200 mégabit/s (très haut débit) dans certaines villes: Fibre optique puis terminaison en câble coaxial ou Fibre optique de bout en bout
  - Abonnés très haut débit en France:
    - 230 000 en septembre 2009
    - 420 000 en septembre 2010
    - 760 000 en 2012
    - 2,3 millions en 2014

## Les ondes lumineuses

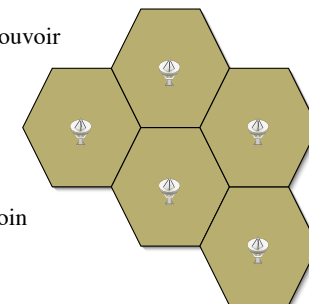
- **Rayons infra rouges**
  - » Faible portée : télécommande de TV
  - » Facile à mettre en oeuvre
  - » Omnidirectionnelles
  - » Peu utilisés car supplantés par les ondes radio
- **Rayons lasers**
  - » Peu coûteux, large bande passante
  - » Très directif : problème des interceptions (nuage, brouillard)
  - » Sensible aux intempéries (chaleur)
  - » Utilisé ponctuellement pour des applications spécifiques

## Ondes radio

- Grandes distances (>100 km) et très grande distance avec les satellites
- Débit dépend de la plage de fréquence utilisée (100 Mhz à 1 GigaHertz)
- Très utilisé pour la télévision et les artères principales du téléphone
- Fort déploiement pour les réseaux locaux (Wi-Fi)
- Limitation de l'allocation des plages de fréquences
- Mise en place moins coûteuse que la fibre optique
- Tours Hertzienne, antennes et paraboles : souvent moins onéreux que de creuser une tranchée pour mettre une fibre optique
- Réseau à diffusion : problème de confidentialité, implique le cryptage des données transportées (IPsec)

## Réseaux cellulaires

- **Téléphones portables**
- **Au départ analogique (1er en 1956 en France): maintenant numérique**
  - Problème du nombre d'utilisateurs simultanés : plages de fréquence différentes pour éviter les interférences. Attente importante, peu de succès
- **Découpage cellulaire** permettant de réutiliser les plages de fréquences
  - Surface géographique découpée en petites cellules pour pouvoir réutiliser plages de fréquence
  - Taille: quelques centaines de mètres à 30 km de diamètre suivant densité de communications
  - Les cellules voisines n'utilisent pas les mêmes plages de fréquence
  - Puissance des appareils limitée pour ne pas émettre trop loin
  - Une antenne d'émission/réception centrale : Nombre d'antennes important



## Normes Réseaux cellulaires

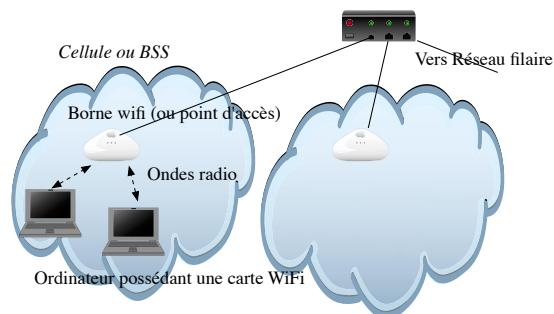
- **Cellulaire norme européenne: GSM (Global System Mobile Communications, 1990):**
  - Débit: 14 kbit/s
  - Numérisation du son , Compression propre à GSM, Modulation
- **Evolution du GSM : le GPRS (General Packet Radio Service, 2001)**
  - permet le transfert d'information en plus de la voix
  - 110 kbit/s max en fait 20 à 30 kbit/s
- **3ème génération : UMTS (Universal Mobile Telecommunications System, 2004 en Europe)**
  - 3GPP: Débit limité de 128 à 384 kbit/s en réception et 64 à 128 kbit/s en émission
  - Version 5 et 6 (3G\*+ 2010): 7 à 14 Mbits/s en réception, 5,8 en émission
  - Version 7 et 8 (2012): 21, 42, 84 Mbits/s (multiantennes) en réception

## Normes Réseaux cellulaires

- **4ème génération : LTE (Long Term Evolution)**
- En fait pas tout à fait 4G
- 300 Mégabit/s / 86 Mégabit/s en émission
- En France: Bande de fréquence 2600 khz et 800 khz (ancienne plage de télé analogique) Vendu par l'état au 4 opérateurs en 2011 pour 3,5 milliards d'Euros
- 100 Mbit/s à 1 gigabit/s à partager entre utilisateurs comme le WIFI.
- En déploiement en France depuis juin 2012.
- A Grenoble depuis Avril 2013
- Utilisation aussi du WiMax (voir plus loin) par certains opérateurs de téléphonie...
- Vrai 4ème génération: LTE-Advanced jusqu'à 1 gigabit/s

## Les réseaux locaux sans-fil

- **Wi-Fi (Wireless Fidelity), Ethernet sans fil (protocole similaire)**
  - norme IEEE 802.11:
    - 11 Mégabit/s (802.11b) puis 54 Mégabit/s(802.11g)
  - Infrastructure WiFi avec borne d'*accès*



## Principe WI-FI

- Pas d'antenne directionnelle
- Chaque borne émet sur une plage de fréquence différente (14 canaux)
- Emission périodique de paquet de signalisation
- Parcours par les cartes WIFI des pages et choix en fonction de la qualité de réception
- Infrastructure sans borne d'accès possible: Réseau Ad Hoc
  - Les machines utilisateurs servent de routeurs entre elles
  - Infrastructure du réseau dynamique

## Couverture WI-FI

- La couverture dépend de
  - la structure des bâtiments et de l'implantation des antennes
    - » Dalle béton, cloison de plâtre ...
  - Interférences avec d'autres réseaux radio (Bluetooth, micro ondes, autres wifi)
- Le bâtiment F est équipé deux ou trois bornes Wi-Fi par étage

## Débit WI-FI

- **Débit effectif dépend :**
  - De la distance: autoréglage du débit en fonction du taux de pertes (obstacle, bruit ambiant...)
  - Du nombre d'utilisateurs : collisions (protocole adéquat)
- **Pour 802.11b en terrain sans obstacle**
  - 2 Mbits/s de 75 à 100 m
  - 5,5 Mbits/s de 45 à 75 m
  - 11 Mbits/s de 30 à 45 m
- **Depuis 2008 norme définitive: 802.11n**
  - Débit théorique de 540 Mbit/s
  - 100 Mbit/s à 90 m
  - Compatibilité avec 802.11b et 802.11g

## Bluetooth

- Connexion d'appareils numériques : téléphone, caméra, appareil photos, imprimantes, système d'alarme, ordinateurs
- Porté : 10 m à 100 m (suivant la puissance), en général 10 à 15 m
- **Développé pour de la faible consommation**
- Plage de fréquence de 2,4 GHz (Interférence avec le WiFi)
  - Changement de fréquence possible à chaque paquet
- Normes (802.15): Débits
  - Version 1 (1999): 1 Mégabits/s
  - Version 2.0 (2004) : 3 Mégabits/s
  - Version 2.0 (2009), 4.0 (2010) et 4.1 (2013): 24 Mégabits/s

## UWB (Ultra Wide Band)

- Utilisation au départ par les militaires pour la détection d'objet ou de personne (traverse facilement les obstacles)
- Peut aussi être utilisé pour transmettre des données
- 480 Mégabits/s jusqu'à 10 m
- normalisé en 2007
- N'a pas encore réussi à s'imposer pour des applications de transfert de donnée face au développement du WIFI
- Commercialisation (Ubisense) pour la localisation précise d'objet (15 cm) en temps réel

## WIMAX

### Sans fil à large bande ou WMAN

- Normes 802.16 (à partir d'Avril 2002)
- Réseau radio moyenne distance (1 à 15 km)
- Plage de fréquence de 11 à 66 GHz
- Efficace si il y a peu d'obstacle (ligne de vue de l'antenne)
- En 2003 (802.16a): 10 Mbit/s sur 20 km
- Alternative à l'ADSL pour les zones isolées
- En 2005: 802.16e: 30 Mbits/s jusqu'à 3,5 km permettant la mobilité des équipements
- Forte utilisation au USA, première offre commerciale en 2010 dans des départements du Nord de la France
- Mode connecté, QoS garanties (contrairement au WIFI)
- 802.16m (2009) 1 Gbits/s en immobile, 100Mbits/s en mobile: Peut être utilisé par les opérateurs de téléphonie mobile

## Satellites géostationnaires

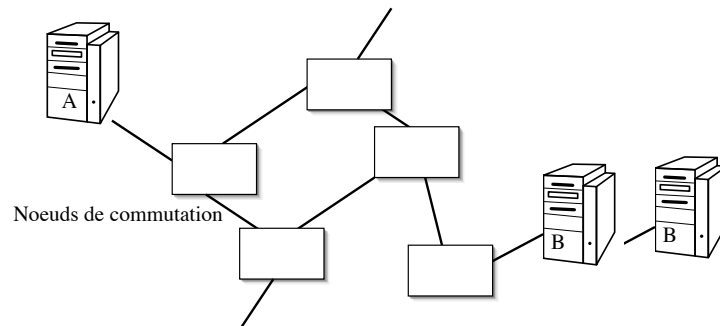
- 36 000 km : Temps de propagation de 0,27s (aller-retour)
- Utilisé pour les lignes internationales du téléphone
- Problème du temps de propagation
- Intérêt
  - Pour point isolé (îles ...)
  - Pour accéder facilement (directement) à du haut débit
  - Pour application mobile



- Nombreuses offres sur le territoire français (en 2014)
- Exemple Proposition Nordnet
  - Station bi-directionnelle fournie et installée : ~400 Euros
  - 20 (Réception) / 6 (Emission) Mbit/s (35 Euros/mois), quantité transmise maximum de 10 Go
  - Autres offres avec quantité plus grande (jusqu'à 100 Go)

## La commutation

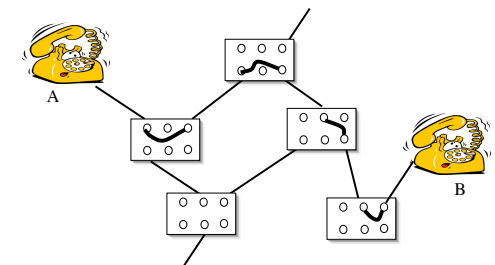
- Partage d'une voie composée de plusieurs tronçons reliés par des noeuds de commutation



- Deux types de commutation :
  - » Circuits (réseau téléphonique analogique)
  - » Paquets (réseau informatique)

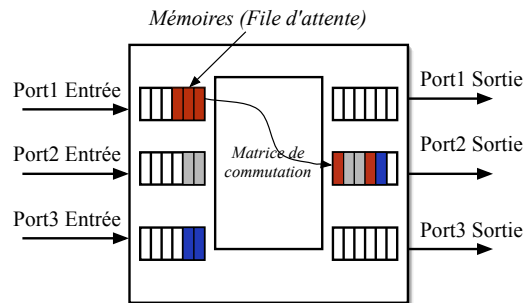
## Commutation de circuits

- Mode utilisé pour le réseau téléphonique analogique
- La voie est établie à l'établissement de la communication, par commutation des circuits élémentaires (au départ "à la main" puis mécaniquement)
- Problème: monopolisation de la voie pendant la durée de la communication
- Jamais utilisé dans les réseaux "informatiques"



## Commutation de paquets

- Le paquet est mémorisé dans chaque nœud de commutation avant d'être réexpédié au nœud suivant
- Asynchronisme au niveau des paquets
- Partage des voies plus efficace puisqu'on n'occupe pas tout le temps la voie (intéressant quand le débit sur une communication est variable)
- Utilisé dans les routeurs d'Internet, commutateurs Ethernet, commutateurs ATM...



## Circuit virtuel

- Commutation de paquet
- Etablissement de circuit virtuel au début de la communication
- Pas de déséquence des paquets
- Garantie de Qualité de service plus facile
- Temps d'établissement du circuit virtuel non négligeable
- Utilisé dans certains protocoles
  - X25 (Transpac) abandonné au profit de TCP/IP
  - ATM (Asynchronous Transfer Mode) : Niveau 2. Commutation de petits paquets de taille fixe appelés cellule pour augmenter la rapidité de la commutation (composant matériel au lieu de logiciel)
  - MPLS : MultiProtocol Label Switching) Niveau 2,5. Basé sur un étiquetage des paquets qui identifie le circuit virtuel. Utilisé au dessous d'IP pour garantir des qualités de service.