

# heig-vd

Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion  
du Canton de Vaud

## Chapitre III

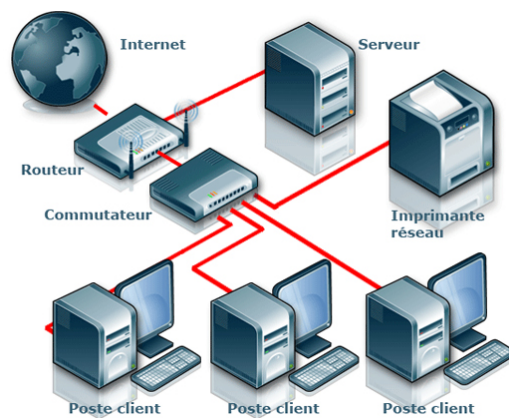
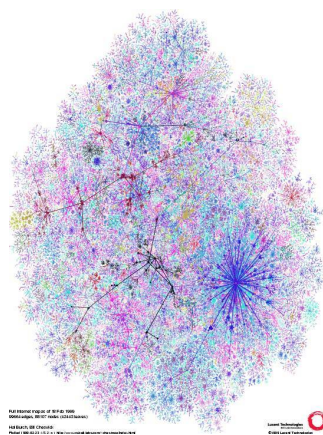
### Médias de transmission



3. Médias de transmission

1

## Big picture



3. Médias de transmission

2

## But du chapitre

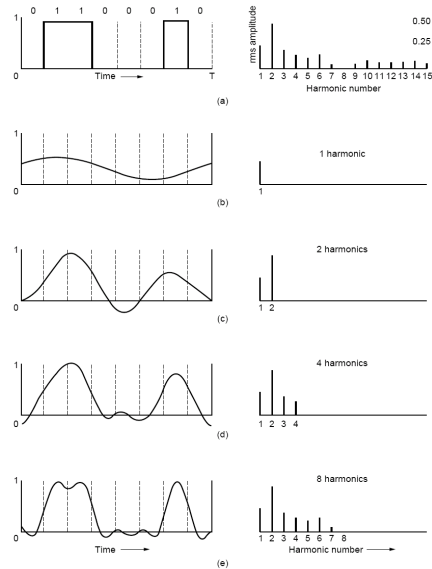
- Présentation des principaux médias de transmission
  - Câble électrique
  - Fibre optique
  - Canal radio
- Connaître les caractéristiques des différents médias
  - Débit, distance
- Révision des concepts de la transmission de données
  - Largeur de bande, capacité d'un canal
  - Modulation

## Transmission de données numériques

- Les informations sont transmises en faisant varier certains paramètres physiques d'un signal
- Les caractéristiques de la transmission dépendent du spectre du signal
  - Affaiblissement
  - Interférences entre plusieurs transmissions
- Le spectre peut être évalué à l'aide de l'analyse de Fourier

## Exemple d'un signal

- Transmission d'une séquence binaire 01100010
- Le spectre du signal consiste
  - en une fréquence fondamentale
  - plus les harmoniques
- Le média de transmission **affaiblit** le signal de manière **non-uniforme** en fonction de la fréquence des composantes
- **Distorsion du signal:** le signal reçu par le récepteur est déformé



3. Médias de transmission

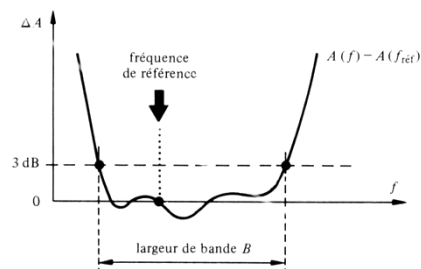
5

## Largeur de bande

- L'affaiblissement non-uniforme du spectre limite la plage des fréquences utilisables pour la transmission
  - Il y a d'autres sources de distorsion, comme p.ex. la diaphonie
- La **largeur de bande** d'un canal est la plage de fréquences dans laquelle les distorsions du signal sont encore tolérables

### Exemple:

- Affaiblissement tolérable:  $\pm 3$  dB par rapport à la fréquence de référence
- Largeur de bande  $B$  du canal



3. Médias de transmission

6

## Théorème de Nyquist

- Le débit binaire maximum  $D_{\max}$  d'un canal **exempt de bruit** dépend
  - de la **largeur de bande**  $H$  du canal
  - du **nombre de niveaux**  $V$ :

$$D_{\max} = 2 \cdot H \cdot \log_2 V$$

## Exercices 1 et 2

## Capacité d'un canal

- Un canal réel est sujet aux bruits qui perturbent le signal transmis
- Rapport signal sur bruit (**S/N**)
  - Rapport entre la puissance du signal reçu et la puissance du bruit qui se superpose au signal
  - Limite la précision avec laquelle les 'symboles' transmis peuvent être distingués et influence ainsi la probabilité d'erreurs bit
- La **capacité d'un canal** **C** (Shannon) donne la limite théorique du débit binaire d'un canal en fonction du rapport S/N:

$$C = H \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

## Exemple

Soit un canal (paire torsadée, comme ADSL) ayant

- un rapport signal/bruit de 30 dB :  $S/N = 10^3$
- une largeur de bande:  $H = 1$  MHz

Capacité du canal :

$$C = 10^6 \times \log_2 (1 + 10^3) = 10 \text{ Mb/s}$$

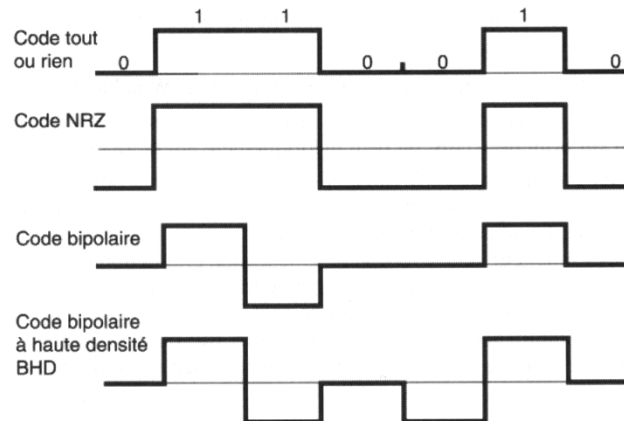
Débit réel (ADSL) : 9 bits/Hz sur 3 km sont réalisables

## Exercice 3,4

## Transmission en bande de base

- Méthode de transmission la plus simple
  - Transmission de différents niveaux de courants pour coder les bits 0 et 1
- Critères qui déterminent le choix du code
  - Absence d'une composante continue lors de la transmission d'une séquence binaire
  - Concentration de la puissance du signal dans une bande de fréquence limitée
  - Bonne teneur en horloge pour faciliter la synchronisation du récepteur

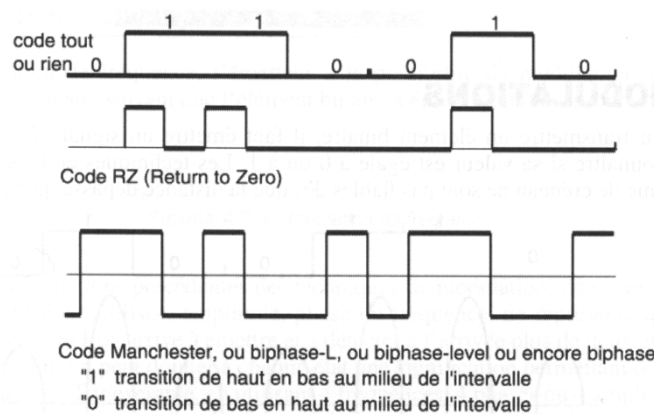
## Exemples de codages en bande de base



3. Médias de transmission

13

## Exemples de codages en bande de base



3. Médias de transmission

14

## Exercice 5

## Modulation

- La transmission en bande de base n'est utilisable qu'à de courtes distances ( $< 5\text{km}$ )
  - Les distorsions déforment le signal

### Modulation

- Transpose le signal à transmettre dans la bande passante du canal
- Utilise un signal sinusoïdal avec une fréquence adaptée au canal comme porteuse
- **Modem** (Modulateur-Démodulateur): prend en entrée un signal en bande de base pour en faire un signal sinusoïdal, et inversement.





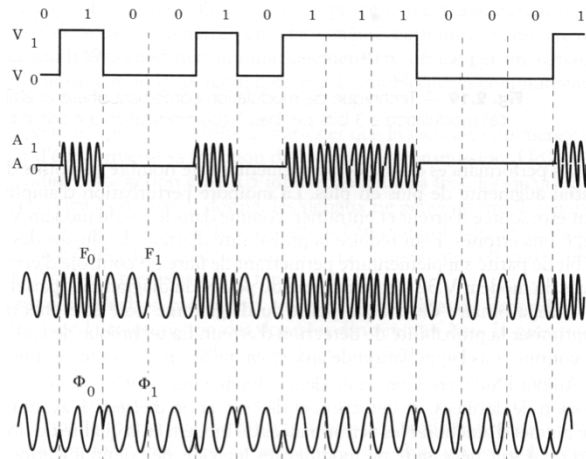
## Types de modulation

- Le signal modulé est décrit par la fonction

$$p(t) = A_p \cos(\omega_p t + \theta_p)$$

- Trois types principaux de modulation, selon le paramètre varié

- ASK
- FSK
- PSK



3. Médias de transmission

17

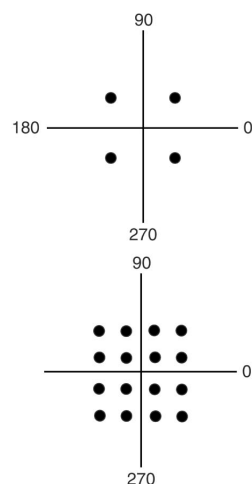
## Modulation QAM

- Pour un débit binaire élevé, on peut **augmenter le nombre de 'symboles'** par action de modulation (augmentation du nombre de moments)
- Les techniques de modulation plus performantes combinent plusieurs modulations élémentaires

### Modulation QAM

(*Quadrature Amplitude Modulation*)

- Fait varier la phase et l'amplitude du signal pour coder les différents symboles



3. Médias de transmission

18

# Media de transmission

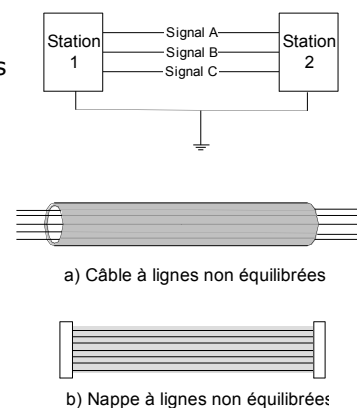
## Médias principaux

- Ligne électrique
  - Équilibrée ou non équilibrée
  - Câble coaxial
- Fibre optique
  - Monomode ou multimode
- Ondes radio
  - Transmission par micro-ondes
  - Satellites

## Ligne électrique

### Ligne non équilibrée

- Utilise plusieurs fils pour les différents signaux mais **un seul fil comme voie retour**
- Très **sensible aux perturbations** électriques
- **Bon marché**
- Configuration:
  - Câble rond ou nappe
- Souvent utilisée pour les lignes série
- Débit: p.ex. **200 kb/s sur 15m**



## Paire torsadée

- Transmission équilibrée (ou différentielle)
  - Chaque signal à une voie retour séparée
  - Réduit les interférences entre les signaux

### Paire torsadée

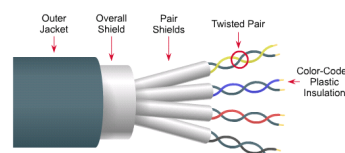
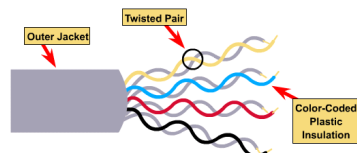


- Les deux fils d'une ligne sont enroulés de façon hélicoïdale
  - Réduit les interférences électromagnétiques
  - Utilisée dans les systèmes téléphoniques et les câbles LAN
- Débit: p.ex. 4 Mb/s sur 3 km (ADSL)

## Câbles à paires torsadées

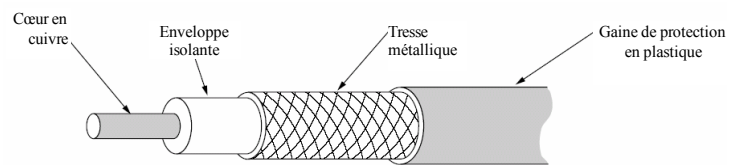
### UTP (Unshielded Twisted Pair)   STP (Shielded Twisted Pair)

- 4 paires torsadées non protégées
  - Longueur jusqu'à 100 m
  - **Avantages**: moins cher et plus flexible
- Différentes catégories:
    - Cat. 3: jusqu'à 10 Mb/s
    - Cat. 5: jusqu'à 100 Mb/s
    - Cat. 5e, 6, 7a: Gigabit-Ethernet
- Paires individuelles et câble complet sont protégées
  - Longueur jusqu'à 100 m
  - Atténuation plus faible
  - **Inconvénient**: cher et difficile à installer (mise à terre)



## Câble coaxial

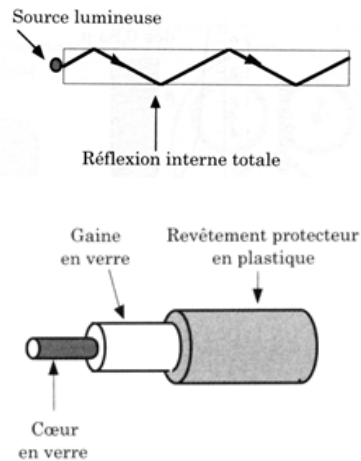
- Très bonne protection électromagnétique
- Utilisé principalement dans les réseaux de télédiffusion
  - Premières réseaux LAN sur câble coaxiaux
- Largeur de bande: p.ex. 800 MHz sur plusieurs km



## Exercices 6,8

## Fibre optique

- Basée sur le principe de la **réflexion totale** d'un faisceau lumineux à la frontière entre deux matériaux
- Une fibre optique consiste en
  - Un **cœur en silice**
  - Une **gaine, aussi en silice**, mais avec un indice de réfraction plus petit
  - Une **protection**



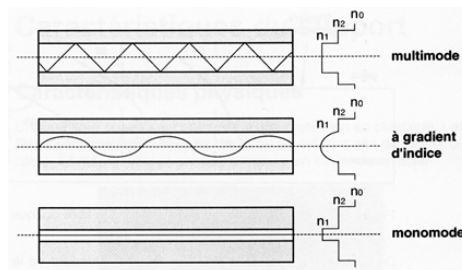
## Types de fibres optiques

### Fibre multimode

- Diamètre plus épais ( $\sim 50 \mu\text{m}$ )
- Le signal se propage avec plusieurs 'angles' (**modes**) différents
- L'interférence entre les modes limite la distance de transmission (**dispersion modale**)

### Fibre monomode

- Diamètre plus petit ( $\sim 10 \mu\text{m}$ )
- Un seul mode est possible
- Très bonnes caractéristiques de transmission
- Plus chère



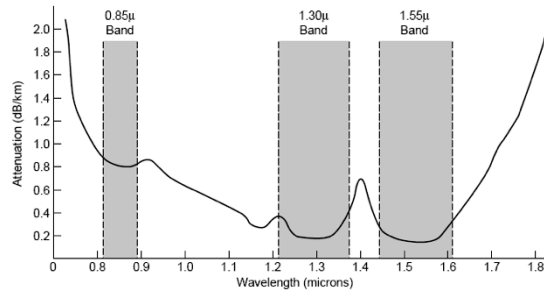
## Sources lumineuses

### LED

- Débit binaire faible
- Transmission multimode
- Bon marché
- Longue durée de vie

### Diode Laser

- Débit binaire plus élevé
- Multimode ou monomode
- Plus cher
- Courte durée de vie



### Fréquences de transmission

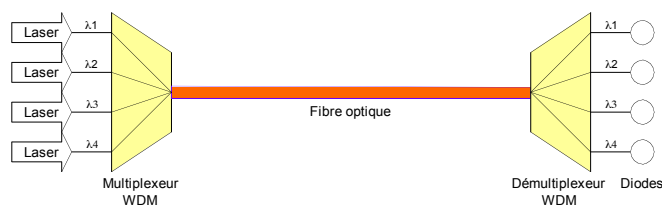
- Lumière infrarouge ( $\sim 300$  THz)
- Trois fenêtres optiques
- Largeur de bande  $> 10$  THz
- Transmission sur des milliers de kilomètres avec amplificateurs passifs

## Multiplexage en longueur d'onde (WDM)

- Multiplexe plusieurs signaux sur la même fibre, mais avec des longueurs d'onde différentes
  - Permet de minimiser les effets de dispersion (*dispersion chromatique*)
  - Permet d'utiliser des émetteurs / récepteurs électriques à bas débit

### Systèmes DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*)

- Jusqu'à 100 canaux à 20 Gb/s sur la même fibre

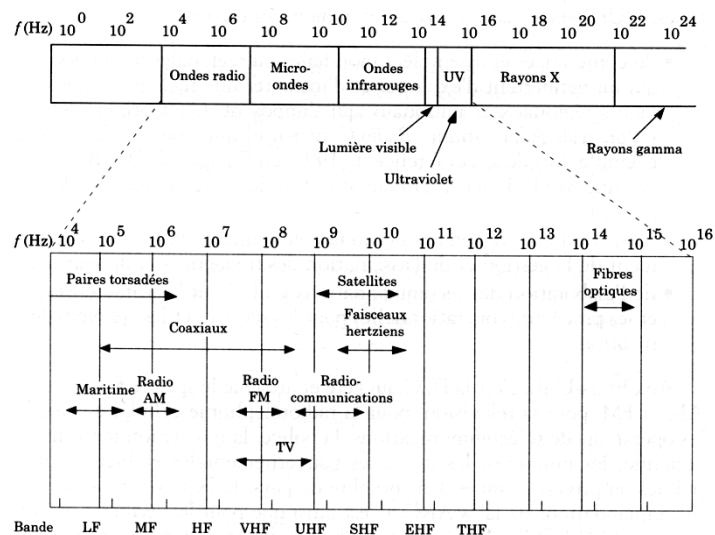


## Exercice 9

## Transmission radio

- Utilisée depuis des décennies pour les réseaux WAN
  - Faisceaux hertziens et satellites
- **Nouvelles technologies sans fil**
  - Réseaux locaux sans fil (WLAN)
  - Réseaux mobiles (GSM, UMTS, HSPA)
  - Réseaux MAN sans fil (WirelessMAN)
- La transmission radio est la base pour l'Internet « partout »

## Spectre électromagnétique



3. Médias de transmission

31

## Caractéristiques des micro-ondes

- Utilisées pour la communication radio
- Fréquences: 250 MHz – 70 GHz
  - Propagation en ligne droite
- Fréquences < 6 GHz
  - Traversent facilement les murs (utilisable à l'intérieur)
- Fréquences > 6 GHz
  - Nécessitent une visibilité directe
- Fréquences > 12 GHz
  - Absorption par l'eau (brouillard, pluie)
- (2.45 GHz, 5.8 GHz: ISM)

3. Médias de transmission

32



## Faisceau hertzien

- Transmission d'un faisceau très concentré de micro-ondes
  - Visibilité directe entre émetteur et récepteur
  - Antennes paraboliques directionnelles
  - Fréquences utilisées: 250 MHz à 22 GHz
  - Débit: typiquement 155 Mb/s ou 622 Mb/s
  - Distance: jusqu'à 200 km
    - Limitée par la courbure de la Terre
- Bon marché, mais de plus en plus remplacé par la fibre optique

## Réseaux sans fils

### WLAN ou WiFi (réseaux locaux sans fils)

- Débit: 54 Mb/s
- Distance: quelques 10 m (intérieur), quelques 100 m (extérieur)
- Fréquences: 2,4 GHz et 5 GHz

### WirelessMAN ou WiMAX (réseaux MAN sans fils)

- A partir de 2005 (Swisscom a fait des essais dans l'oberland bernois en 2007 mais rendu sa licence en 2008 suite à des oppositions)
- Débit: jusqu'à 100 Mb/s
- Distance: typiquement < 10 km, mais jusqu'à 70 km
- Fréquences: 2 GHz – 66 GHz (visibilité directe ou non)

### Réseaux mobiles (GSM, UMTS, HSPA, LTE)

- Débit: jusqu'à 2 Mb/s (UMTS), 42 Mb/s pour HSPA+ (déployé en juin 2011), 150 Mb/s (LTE)-1Gb/s (LTE Advanced)
- Fréquences: < 2 GHz

## Transmission par satellite

- Satellites GEO (*Geostationary Earth Orbit*)
  - A 36'000 km d'altitude, géostationnaires
  - Principalement pour la diffusion radio et TV
  - Peuvent être utilisés pour l'accès Internet
    - P.ex. 2 Mb/s voie descendante
    - Voie montante par ligne téléphonique ou antenne bidirectionnelle
- Satellites MEO (*Medium Earth Orbit*)
  - A env. 10'000 km d'altitude
  - Utilisés principalement pour le GPS
- Satellites LEO (*Low Earth Orbit*)
  - A env. 1'000 km d'altitude
  - Prévus pour l'accès Internet
    - Avantage: délai de propagation plus court que pour GEO
    - Inconvénient: jusqu'à 300 satellites sont nécessaires pour couvrir la Terre
  - Systèmes Iridium (Motorola), Globalstar (Broadcom), Teledesic (Bill Gates)

## Exercice 10