

Chapitre III

Médias de transmission



But du chapitre

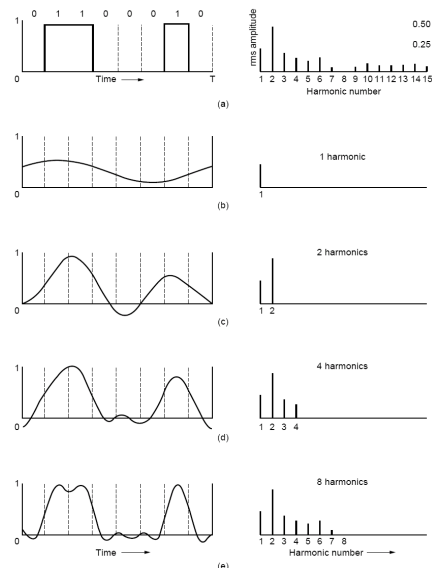
- Présentation des principaux médias de transmission
 - Câble électrique
 - Fibre optique
 - Canal radio
- Connaître les caractéristiques des différents médias
 - Débit, distance
- Révision des concepts de la transmission de données
 - Largeur de bande, capacité d'un canal
 - Modulation

Transmission de données numériques

- Les informations sont transmises en faisant varier certains paramètres physique 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

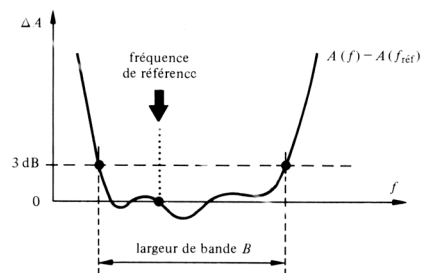


Largeur de bande

- 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: +/- 3 dB par rapport à la fréquence de référence
- Largeur de bande H du canal



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 moments V** :

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

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 :

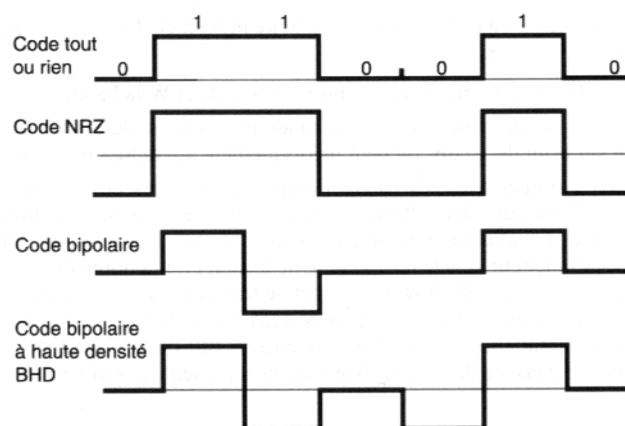
$$C = 10^6 \times \log_2 (1 + 10^3) = 10 \text{ Mb/s}$$

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

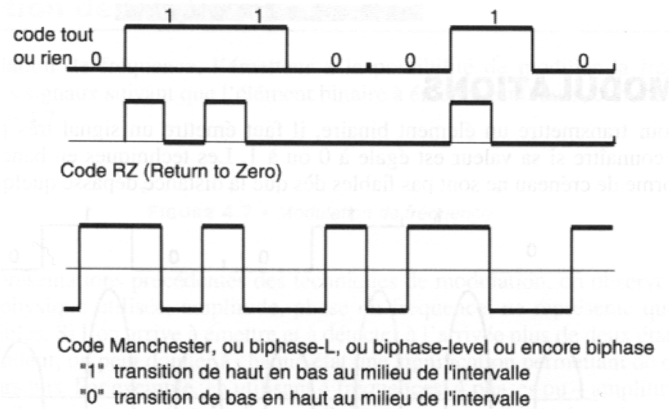
Transmission en bande de base

- 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



Exemples de codages en bande de base



Modulation

- La transmission en bande de base n'est utilisable qu'à de courtes distances (< 5km)
 - 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.



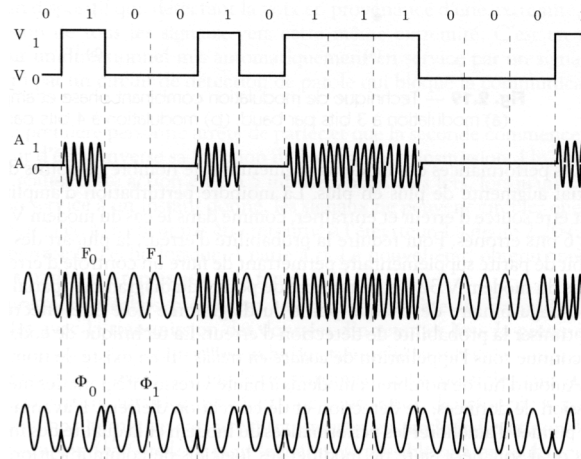
Types de modulation

- 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



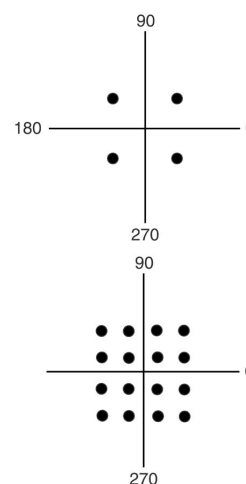
Modulation QAM

- 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



Media de transmission

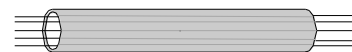
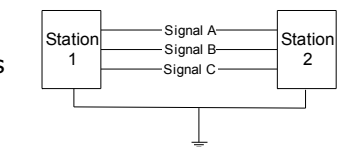
Médias principaux

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

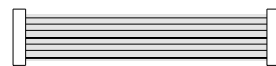
Ligne électrique

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**



a) Câble à lignes non équilibrées



b) Nappe à lignes non équilibrées

Paire torsadée

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

Paire torsadée

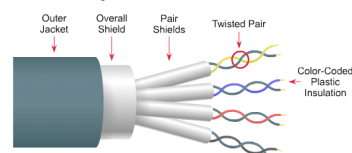
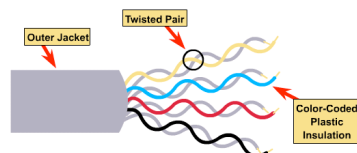


- Les deux fils d'une ligne sont enroulés de façon hélicoïdale
 - Réduit les interférences électromagnétiques
 - Utilisée dans les systèmes téléphoniques et les câbles LAN
- Débit: p.ex. 4 Mb/s sur 3 km (ADSL)

Câbles à paires torsadées

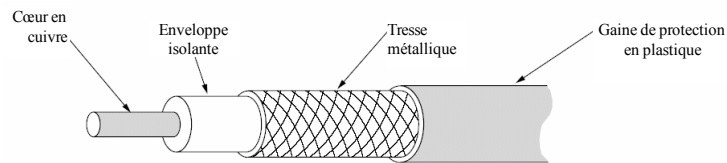
UTP (Unshielded Twisted Pair) STP (Shielded Twisted Pair)

- 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: 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)



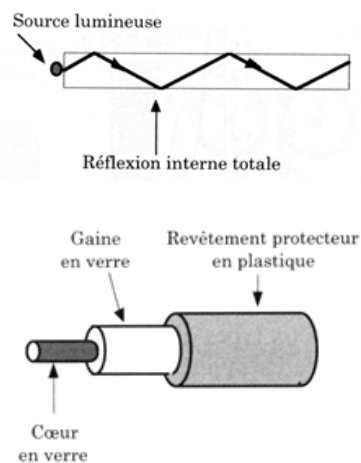
Câble coaxial

- 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



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



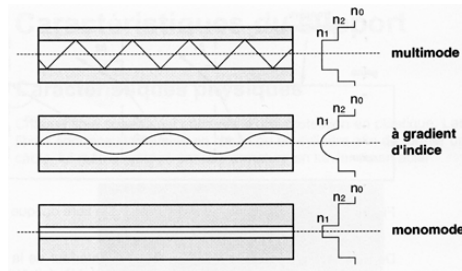
Types de fibres optiques

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



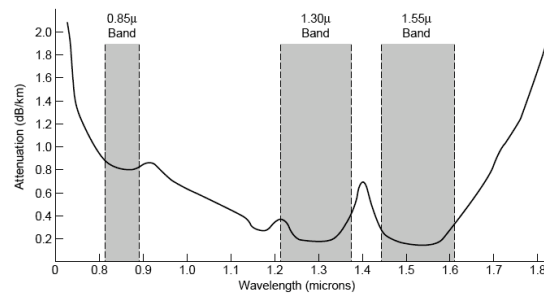
Sources lumineuses

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

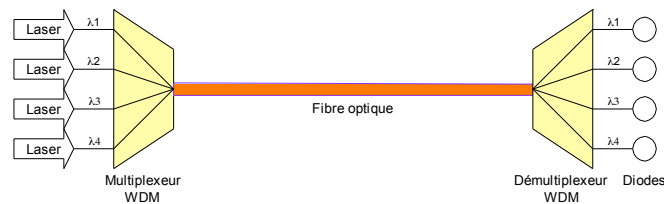
- Lumière infrarouge ($\sim 300 \text{ THz}$)
- Trois fenêtres optiques
- Largeur de bande $> 10 \text{ THz}$
- Transmission sur des milliers de kilomètres avec amplificateurs passifs

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*)

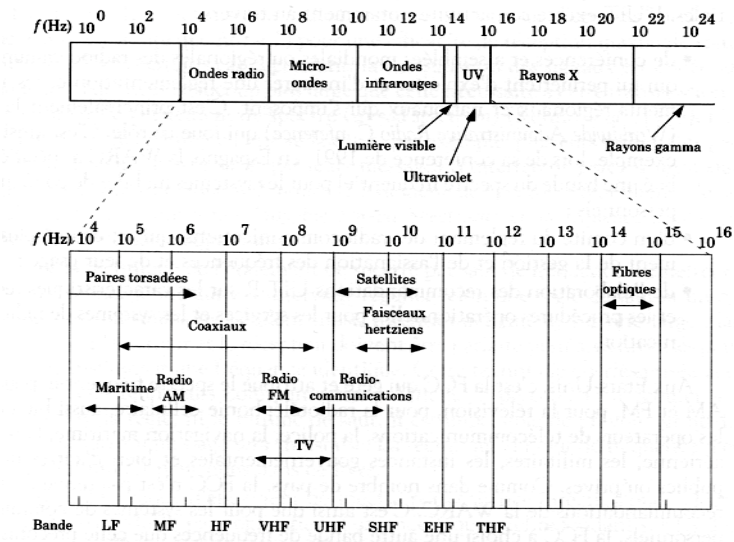
- Jusqu'à 100 canaux à 20 Gb/s sur la même fibre



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 et UMTS)
 - Réseaux MAN sans fil (WirelessMAN)
- La transmission radio est la base pour l'Internet « partout »

Spectre électromagnétique



Septembre 2008

3. Médias de transmission

25

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
- Fréquences > 6 GHz
 - Nécessitent une visibilité directe
- Fréquences > 12 GHz
 - Absorption par l'eau (brouillard, pluie)

Septembre 2008

3. Médias de transmission

26

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

WiressMAN ou WiMAX (réseaux MAN sans fils)

- A partir de 2005
- 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 (UMTS, GSM)

- Débit: jusqu'à 2 Mb/s (UMTS)
- 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)