

Réseaux informatiques

~

Couche physique : support et transmission des données

- 1- Couche Physique
- 2- Rappels : signaux numériques et analogique
- 3- Supports de transmission
- 4- Transmission de données

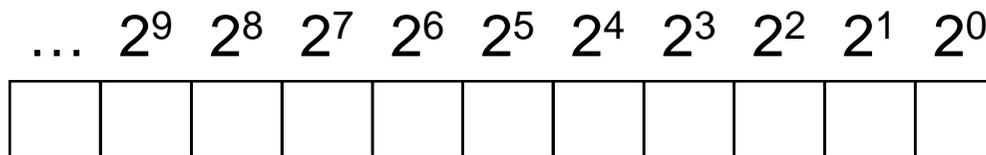
Couche physique

- ◆ Fonction:
 - ◆ Transmission de chaînes de bits (01010...) sur le support physique
- ◆ Nécessité:
 - ◆ Convenir d'une représentation de l'information sous forme numérique / codage, compression des données
 - ◆ Choix d'un support physique
 - Supports guidés : cuivre et fibre optique
 - Supports libres : ondes hertziennes, faisceaux laser
 - ◆ Organisation de la transmission
 - Simplex / duplex
 - Parallèle / série
 - Synchrone / asynchrone
 - Technique de transmission : bande de base/large bande

2

Rappels : signaux numériques et analogique

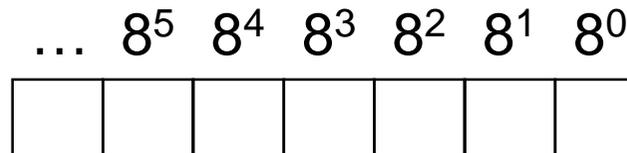
- ◆ Les systèmes de traitement et de transmission de l'information utilisent une logique à 2 états dite « binaire »
 - ◆ Bit (Binary digIT = chiffre binaire) : 0 ou 1
- ◆ Rappels sur la numération binaire:
 - ◆ Nombre binaire : nombre écrit en base 2 (symboles 0 et 1)
 - ◆ Chaque chiffre a un poids :



- ◆ Ex: $1010011 = 1 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$
 $= 64 + 16 + 2 + 1 = 83$
- ◆ Octet (*byte*) = groupement de 8 bits (ex : 01000001)
 - il code des valeurs de 0 à 255
 - Notations : 01000001_2 , $\%01000001$

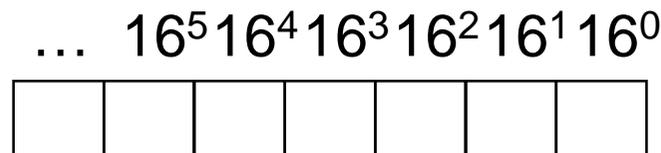
Base 8 (octal) et base 16 (héxadécimal)

- ◆ Octal (ou base 8):



- ◆ Correspond à un regroupement 3 par 3 des bits
- ◆ Chiffres de 0 à 7
- ◆ Notations: 53_8 , 053 (langage C),
- ◆ guère utilisé aujourd'hui

- ◆ Héxadécimal (ou base 16) :



- ◆ Correspond à regroupement 4 par 4 des bits
- ◆ Les chiffres sont notés: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F
- ◆ Notations: 53_{16} , 53H, H53, \$53, 53_{HEX} , 0x53 (langage C),
- ◆ Exemples: $0xFF = 255$, $0xFFFF = 65535$

Rappels : logique booléenne

◆ Opérations logiques entre bits :

◆ ET logique : $a \cdot b$

\backslash b	0	1
0	0	0
1	0	1

◆ OU logique : $a + b$

\backslash b	0	1
0	0	1
1	1	1

◆ Négation : \bar{a}

a	0	1
	1	0

◆ Ou exclusif : $a \oplus b$

\backslash b	0	1
0	0	1
1	1	0

◆ $a \oplus b = \bar{a}.b + a.\bar{b}$

◆ Éléments neutres/absorbants :

◆ $a.0 = 0$ $a.1 = a$

◆ $a+0 = a$ $a+1 = 1$

◆ Distributivité :

◆ $a.(b+c) = (a.b)+(a.c)$

◆ $a+(b.c) = (a+b).(a+c)$

◆ Lois de De Morgan :

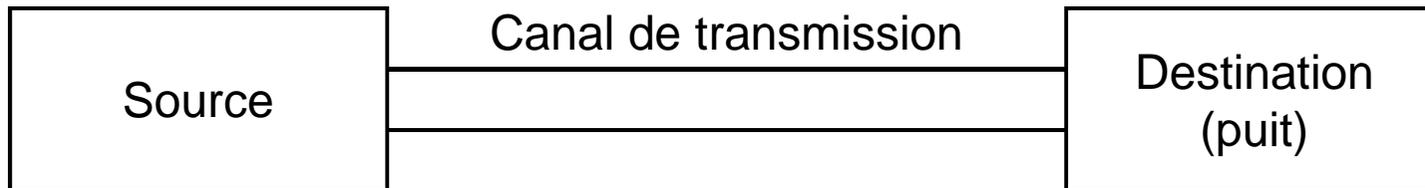
◆ $\overline{a + b} = \bar{a} \cdot \bar{b}$

◆ $\overline{a \cdot b} = \bar{a} + \bar{b}$

Notion de débit binaire

- ◆ Débit binaire

- ◆ Nombre de bits émis pendant une unité de temps sur un canal de transmission



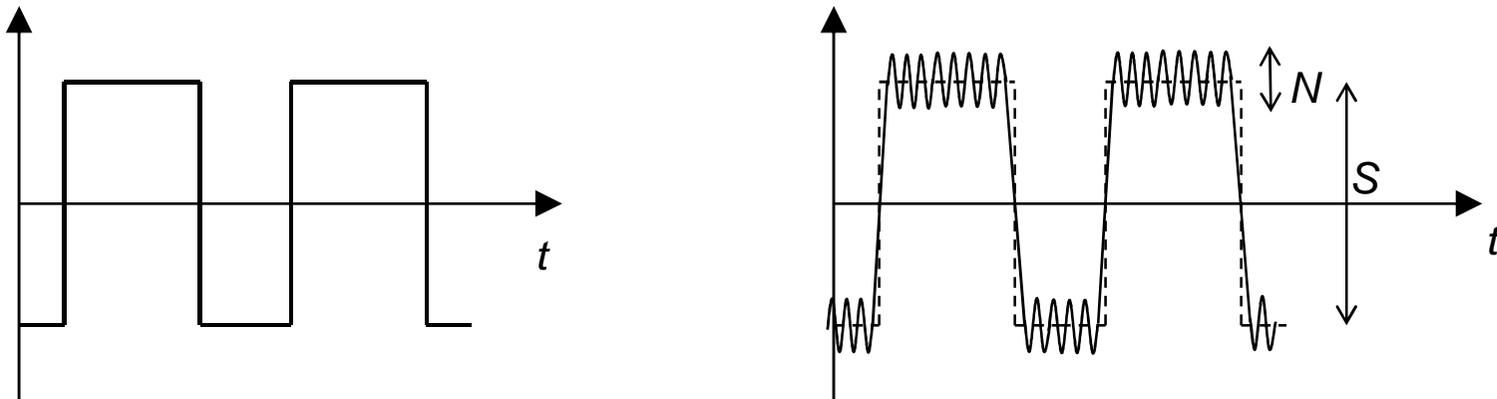
- ◆ $D = V / t$

- D : débit en bit/s
- V : volume à transmettre exprimé en bits
- t : durée de la transmission en seconde

Notion de rapport signal sur bruit

◆ Bruit :

- ◆ Transmission des signaux électriques perturbée par des phénomènes électromagnétiques → bruit

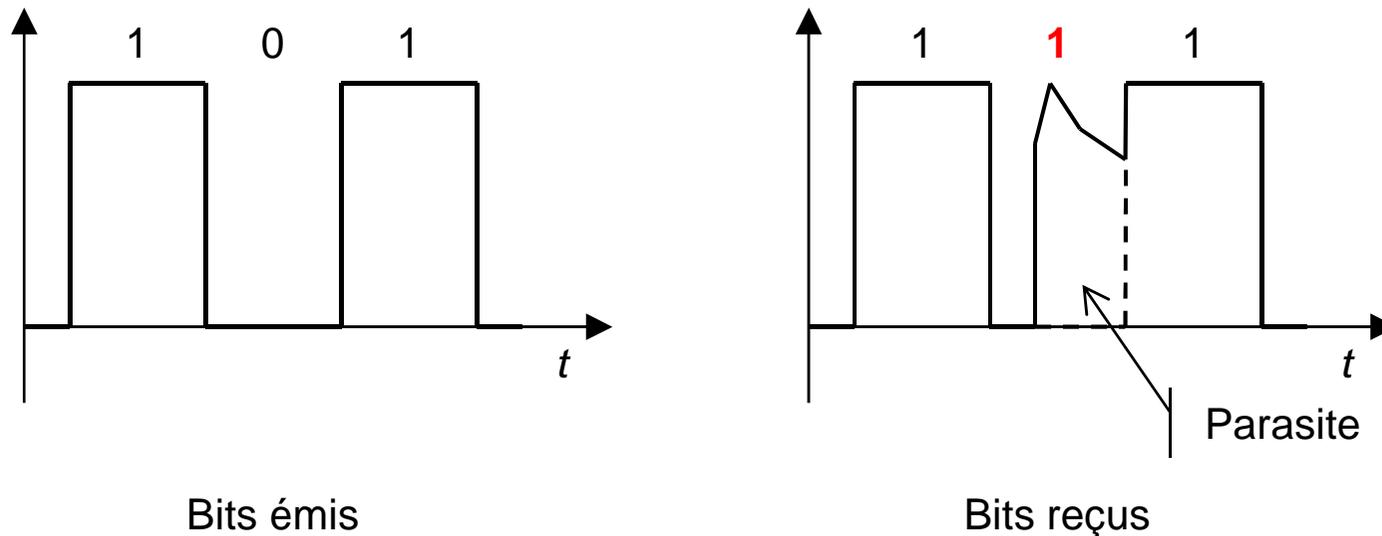


◆ Rapport signal sur bruit [SNR=Signal Noise Ratio] :

- ◆ $S/N_{dB} = 10 \log_{10} (S / N)$
 - S : puissance du signal transmis
 - N : puissance du signal parasite ou bruit
- ◆ Ou $S/N_{dB} = 20 \log_{10} (S / N)$ si S et N sont exprimés en tension

Notion de taux d'erreur

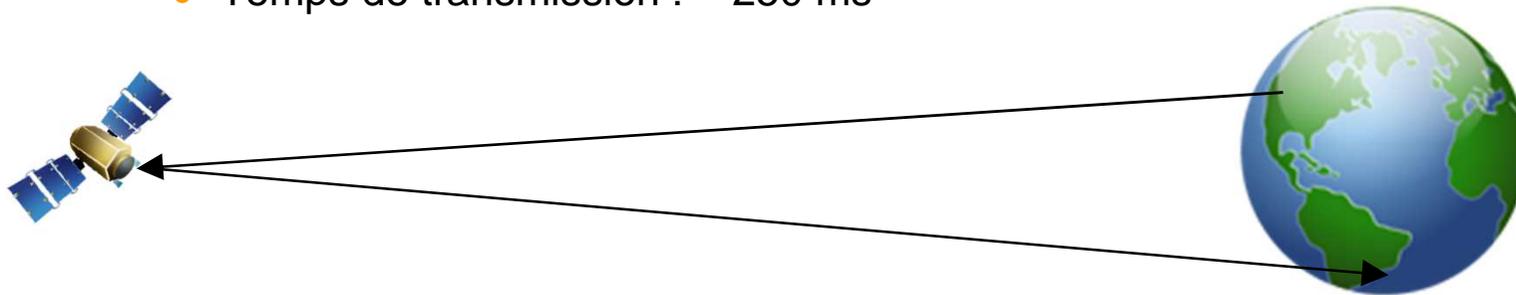
- ◆ Erreurs de transmission :
 - ◆ Les signaux parasites peuvent affecter les informations et modifier la valeur des bits reçus



- ◆ Taux d'erreur binaire [BER=Bit Error Rate] :
 - ◆ $T_e = \text{Nombre de bits en erreur} / \text{Nombre de bits transmis}$

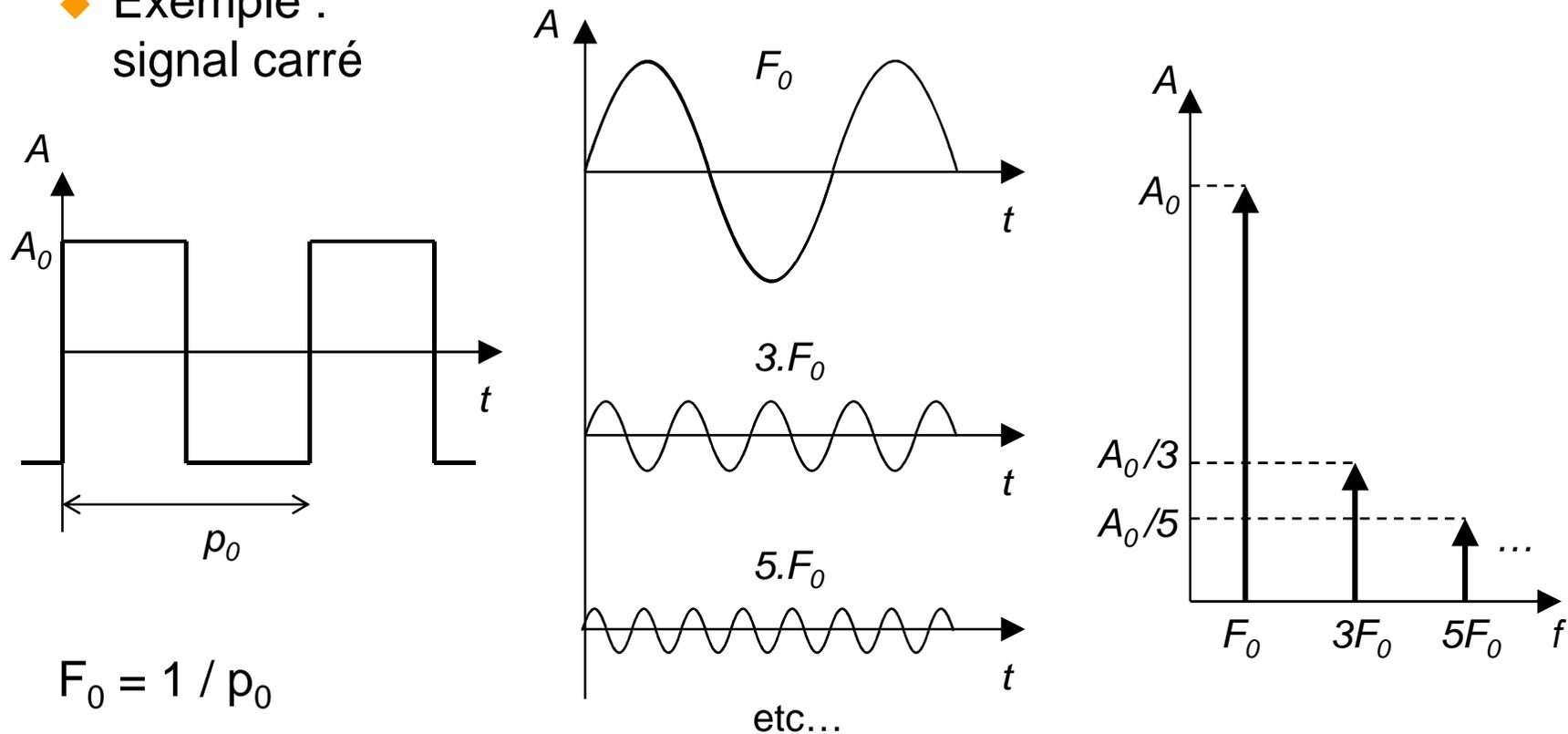
Notion de temps de transfert / Gigue

- ◆ Temps de transfert (ou de latence) :
 - ◆ Temps entre l'émission d'un bit à la source et sa réception à la destination
- ◆ Gigue [Jitter] :
 - ◆ Variation du temps de transfert autour d'une valeur moyenne
- ◆ Origines du temps de transfert :
 - ◆ Temps de traitement dans les équipements actifs
 - ◆ Temps de propagation du signal
 - Exemple : satellite géostationnaire
 - Altitude : 36 000 km → 72 000 km A/R
 - Temps de transmission : ~ 250 ms



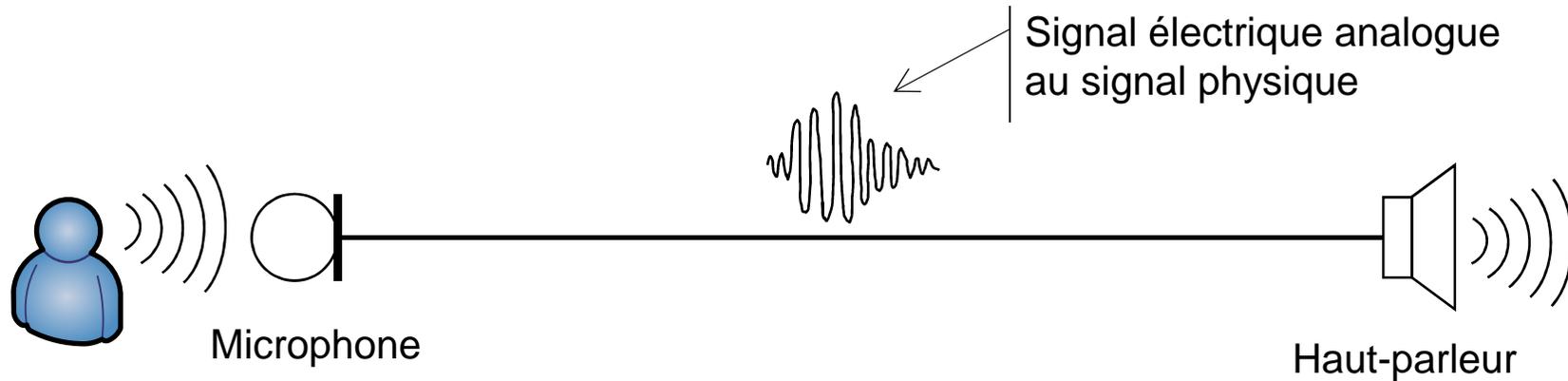
Notion de spectre de signal

- ◆ Décomposition de Fourier :
 - ◆ Tout signal périodique est composé d'une somme de signaux élémentaires sinusoïdaux : fondamentale (F_0) + harmoniques
 - ◆ Exemple : signal carré

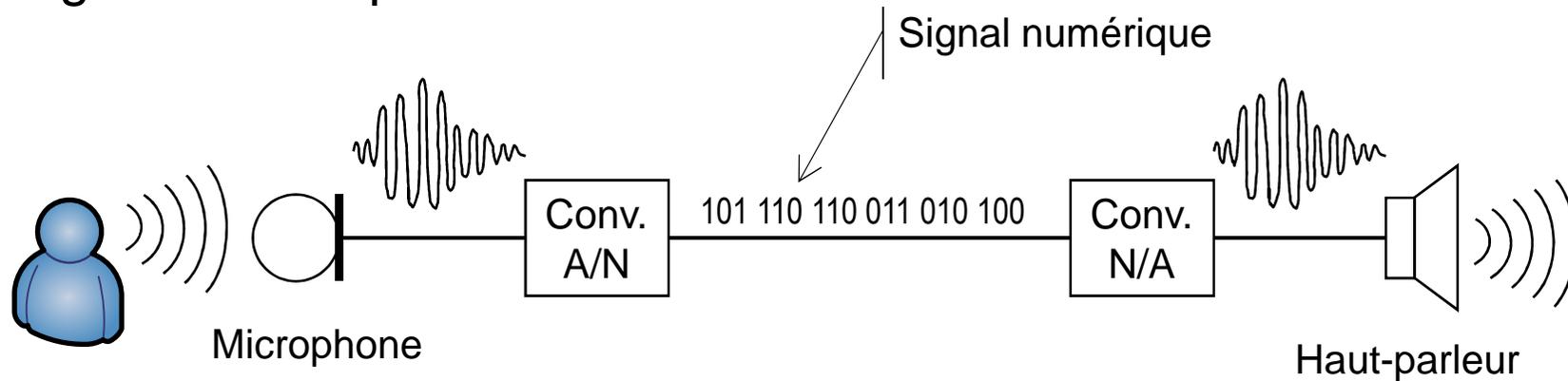


Notion de signal numérique

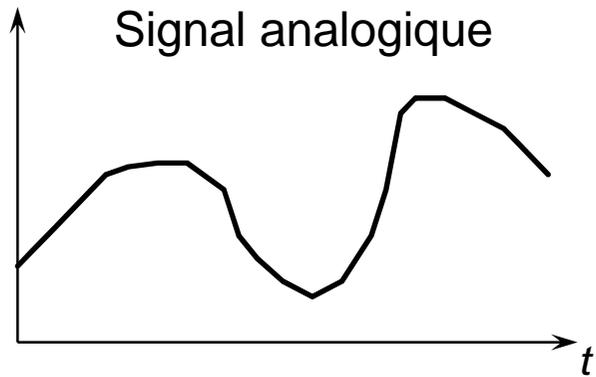
◆ Signal analogique :



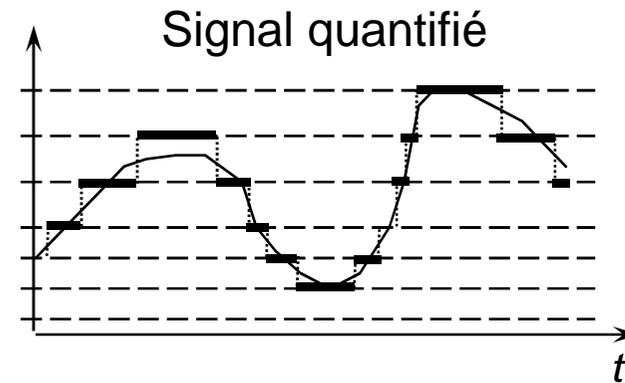
◆ Signal numérique :



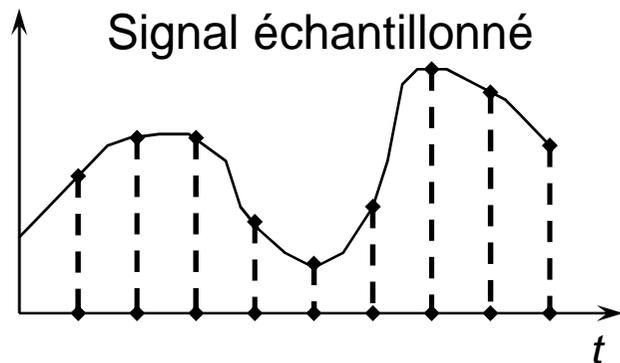
Numérisation d'un signal analogique (1/2)



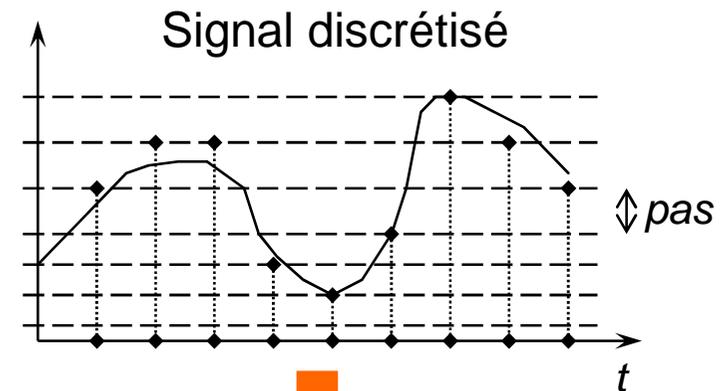
Quantification



Echantillonnage



Quantification



Codage

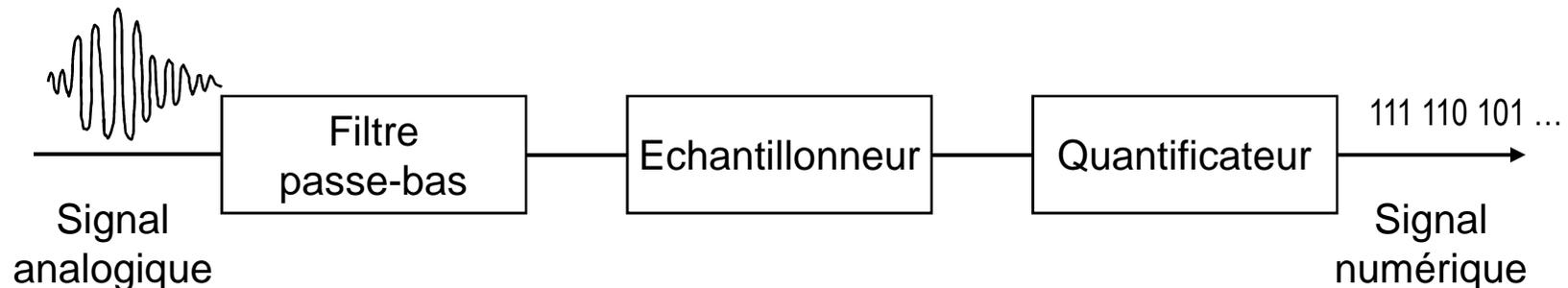
Signal numérique :

5 6 6 3 2 4 7 6 5
 101 110 110 011 010 100 111 110 101

t

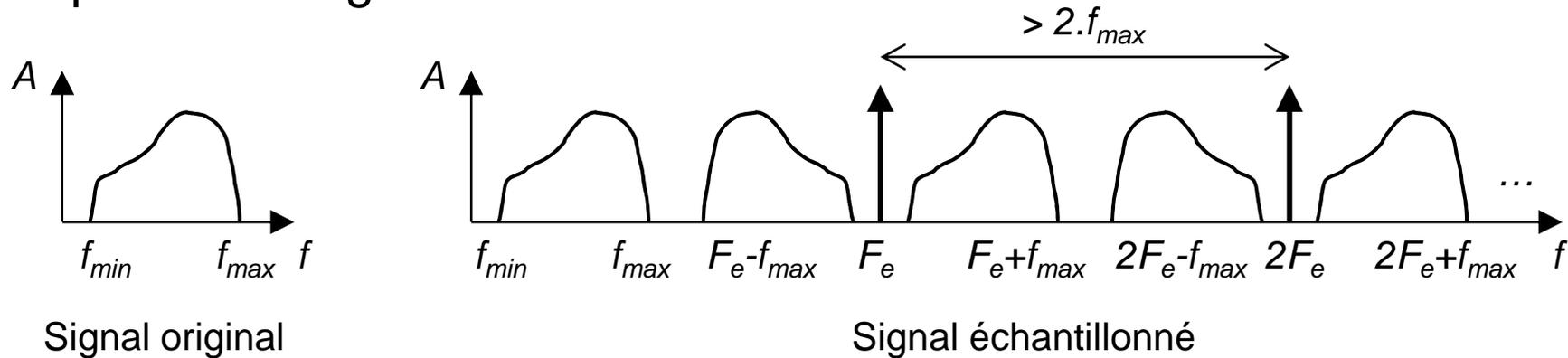
Numérisation d'un signal analogique (2/2)

- ◆ 3 étapes:
 - ◆ Échantillonnage : à fréquence fixe (F_e)
 - Exemple : téléphonie 8000 Hz (soit un échantillon toutes les 125 μ s)
 - ◆ Quantification : nb de valeurs de quantification suffisant
 - Exemple : téléphonie 256 valeurs (8 bits) et quantification non-linéaire (pas de quantifications non égaux)
 - ◆ Codage : codification en binaire
 - Exemple : téléphonie flux de 64 Kbits/s
- ◆ Structure de principe d'un convertisseur analogique/numérique



Fréquence maximale d'un signal échantillonné

◆ Spectre du signal échantillonné



◆ Relation de Shannon :

◆ $F_e > 2 \cdot f_{max}$

→ F_e = fréquence d'échantillonnage

→ f_{max} = fréquence maximale du signal à échantillonner

◆ Conséquence :

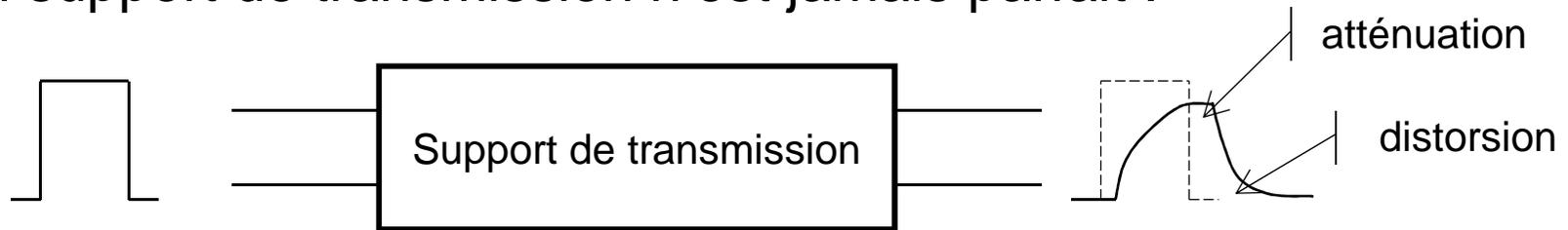
→ nécessité d'un filtre passe-bas avant échantillonnage

Supports de transmission

- ◆ Différents supports physiques
 - ◆ Supports guidés
 - Support métallique (cuivre en général) et propagation d'un courant électrique
 - Fibre optique (verre en général) et propagation d'une onde lumineuse (lumière visible)
 - ◆ Supports libres
 - Ondes hertziennes (liaisons sans-fil, liaisons satellites)
 - Lumière (faisceaux laser)

Rappels sur la transmission de signal (1/2)

- ◆ Un support de transmission n'est jamais parfait :

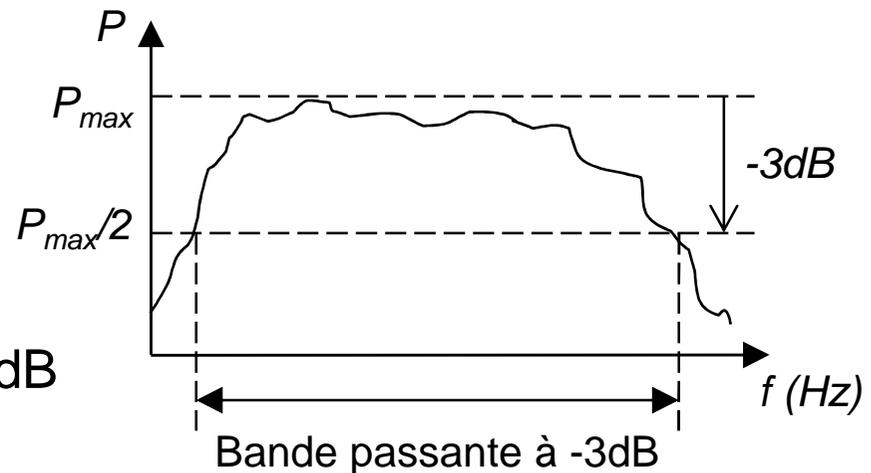


- ◆ Atténuation : $A = 10 \log_{10} P_1/P_0$
 - P_1 : puissance du signal en sortie
 - P_0 : puissance du signal en entrée

→ Mesurée en décibels (dB)

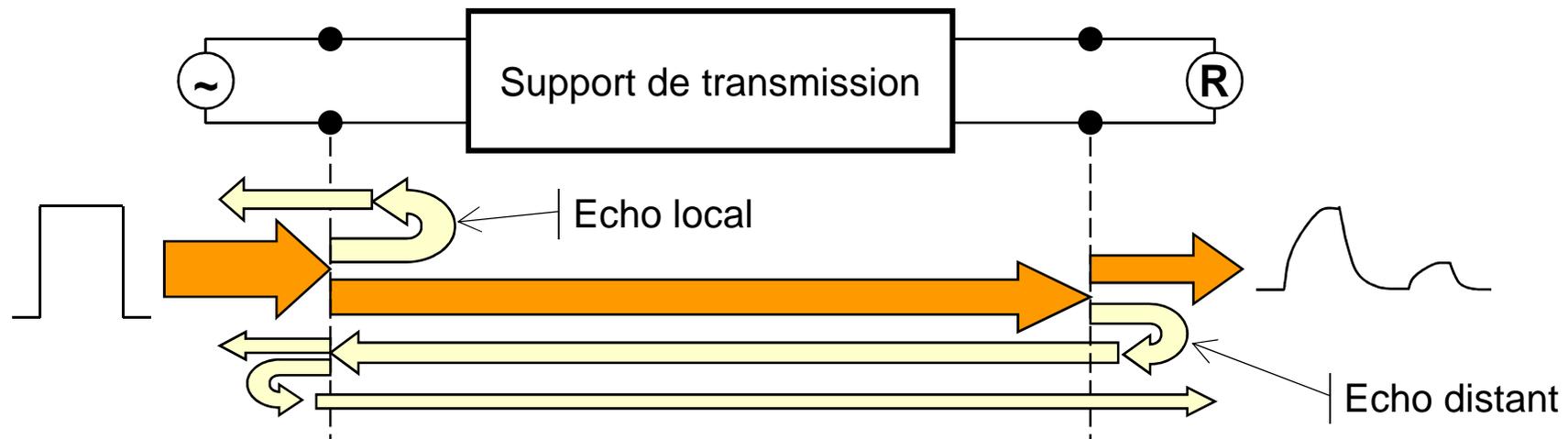
- ◆ Courbe de réponse du système : $P = f(f)$

- ◆ Bande passante (BP) :
 - ◆ Plage de fréquence où $A < -3$ dB



Rappels sur la transmission de signal (2/2)

- ◆ Echos (dus à des problèmes d'adaptation d'impédance) :
 - ◆ Une fraction du signal n'est pas transmise et est réfléchi

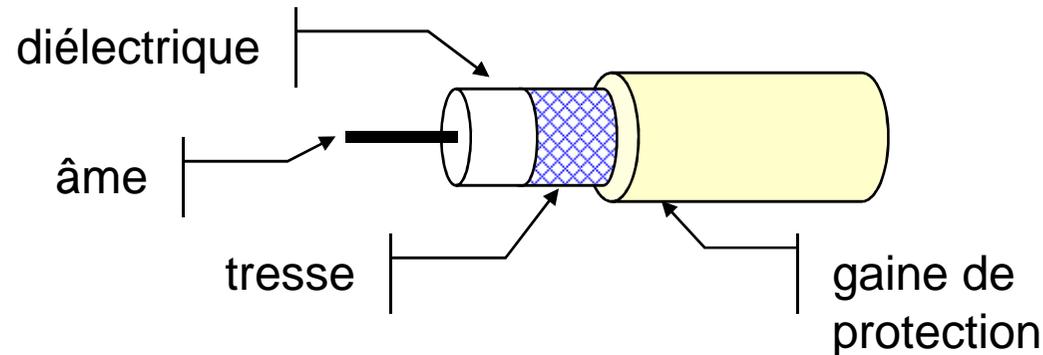


- ◆ Coefficient de vélocité = v :
 - ◆ Vitesse de propagation du signal par rapport à la vitesse de la lumière dans le vide ($0,3 \cdot 10^9$ m/s)
 - Exemple : cuivre $v \approx 0,7$

Supports – Câble coaxial

◆ Câble coaxial:

- ◆ La tresse sert de conducteur de retour et de protection contre les perturbations électromagnétiques (blindage) – mise à la terre



- ◆ Impédance caractéristique :
 - 50 ohms (câbles RG 58 et RG 213)
 - 75 ohms (TV)
- ◆ La bande passante peut atteindre 1 Ghz
- ◆ Guère utilisé aujourd'hui :
 - Courte distance : paire torsadée
 - Longue distance : fibre optique

Supports – Paire torsadée

◆ Paires torsadées:

◆ Fils de cuivres isolés torsadés :

- La torsade élimine les champs magnétiques perturbateurs
- Chaque paire a un pas différent pour limiter l'inter-modulation

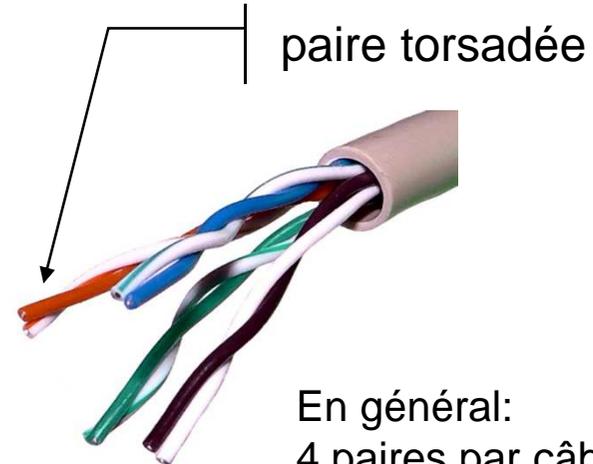
◆ Différents types :

- non-blindées: UTP [unshielded twisted pairs]
- écrantées: ScTP [screened twisted pairs], FTP [foiled twisted pairs]
- blindées: STP [shielded twisted pairs]

◆ Câble UTP le plus utilisé

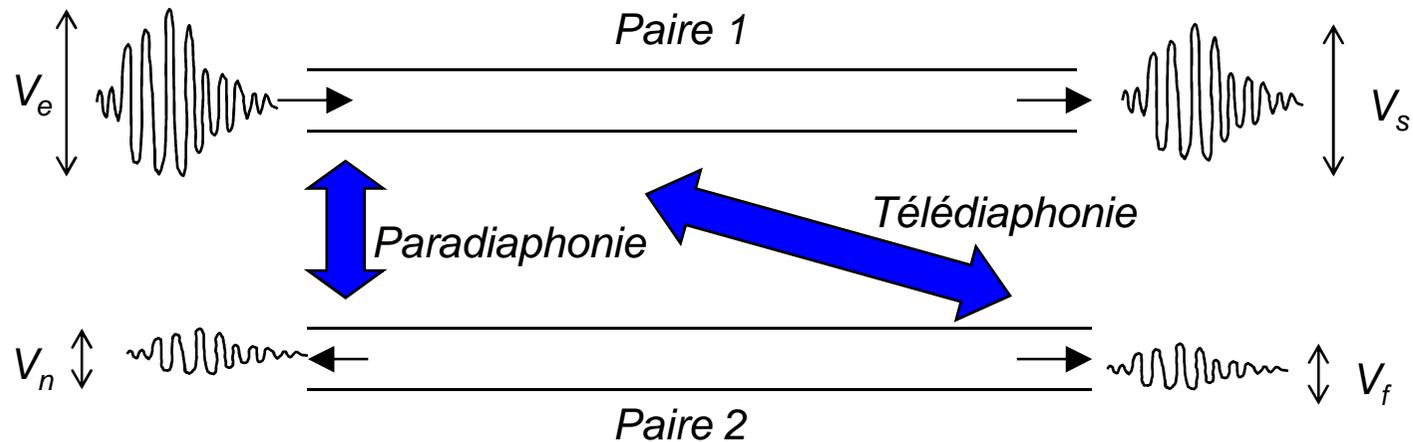
- Câblage banalisé : usage mixte téléphonie/réseau
- Peu cher (achat et pose)

◆ Plusieurs catégories de câbles :



Catégorie	BP max.	Exemple
3	16 Mhz	Ethernet 10 Mb/s
5	100 Mhz	Ethernet 100 Mb/s
6	250 Mhz	GigaEthernet
7	600 Mhz	Câbles SFTP

Supports – Problèmes de la paire torsadée



- ◆ Atténuation $A = 20 \log_{10} \frac{V_s}{V_e}$
- ◆ Diaphonie
 - ◆ Paradiaphonie [NEXT =Near end crosstalk] $Next = 20 \log_{10} \frac{V_n}{V_e}$
 - ◆ Télédiaphonie [FEXT =Far end crosstalk] $Fext = 20 \log_{10} \frac{V_f}{V_e}$
- ◆ V_e : tension du signal d'entrée
- ◆ V_s : tension de sortie
- ◆ V_n : tension locale induite sur la paire 2
- ◆ V_f : tension distante induite sur la paire 2

Supports – Fibre optique

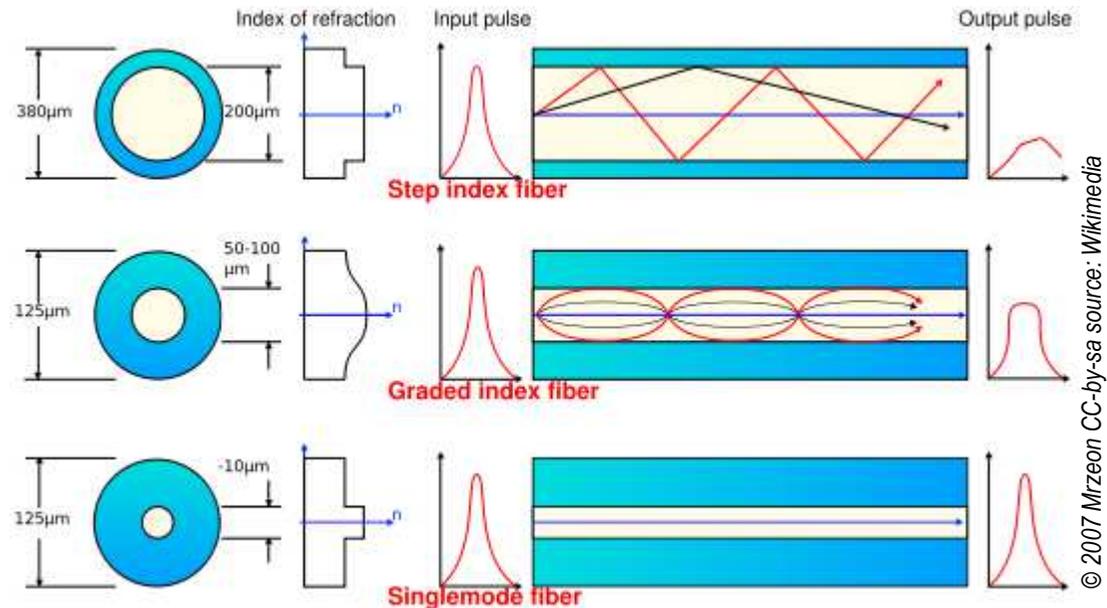
◆ Fibre optique:

- ◆ Principe : la lumière est piégée dans le cœur de la fibre si l'indice de réfraction du verre de l'enveloppe est inférieur à celui du cœur

- ◆ Fibre multimode [MMF - multi mode fiber] :

- Saut d'indice
- Gradient d'indice

- ◆ Fibre monomode [SMF - single mode fiber]

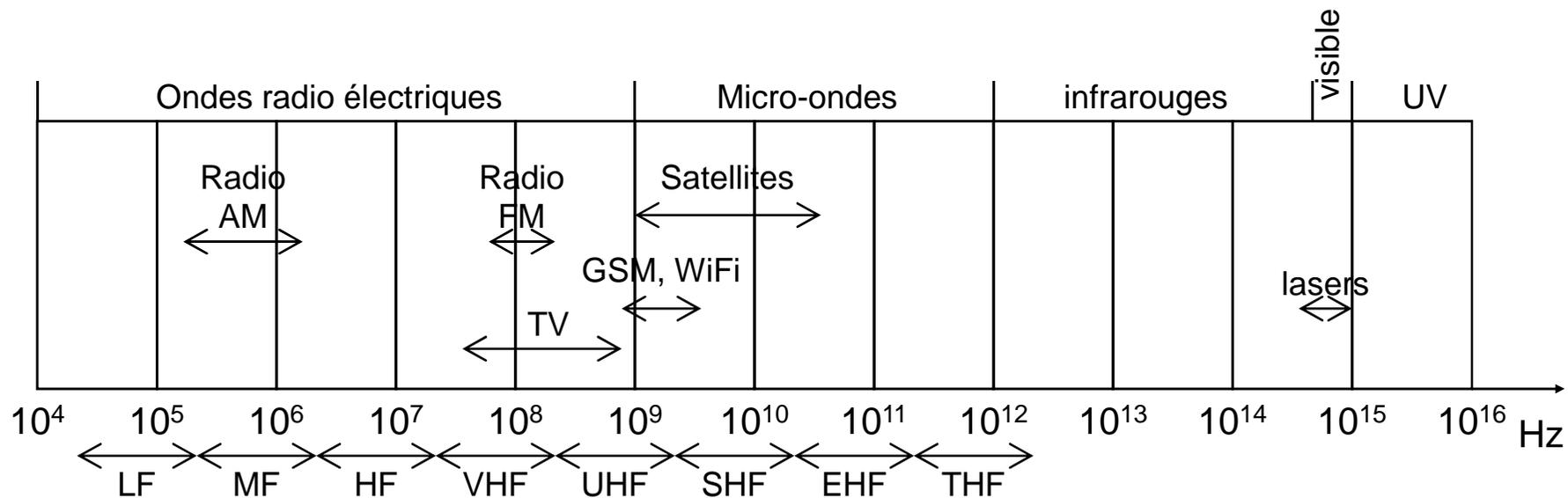


- ◆ Conversion signal électrique \leftrightarrow signal lumineux :

- Émission : utilisation de LED ou de diodes laser
- Réception : utilisation de photodiodes

Supports – liaisons hertziennes (1/2)

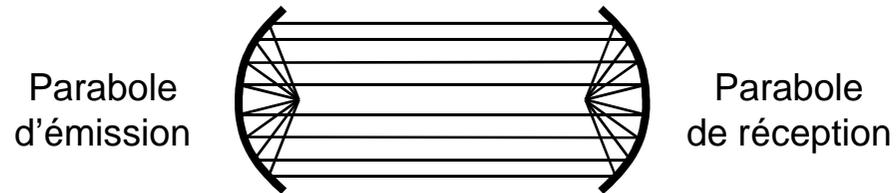
- ◆ Transmission sans fil :
 - ◆ Ondes radio-électriques
 - ◆ Micro-ondes
 - ◆ Ondes lumineuses : transmission laser à courte distance (lumière visible ou infrarouge)



Supports – liaisons hertziennes (2/2)

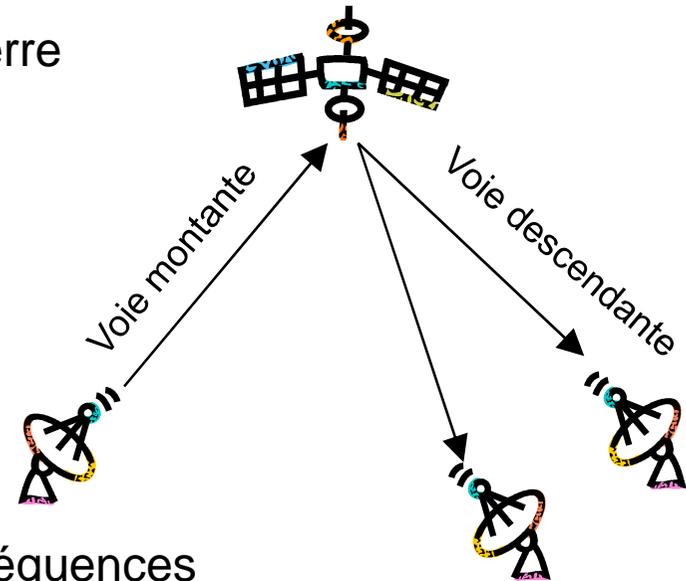
◆ Faisceaux hertziens

- ◆ Utilisation d'antennes très directives (paraboles) pour concentrer l'énergie dans un faisceau.
- ◆ Distance : env. 100 km
 - Limitation principale : rotondité de la terre



◆ Liaisons satellites

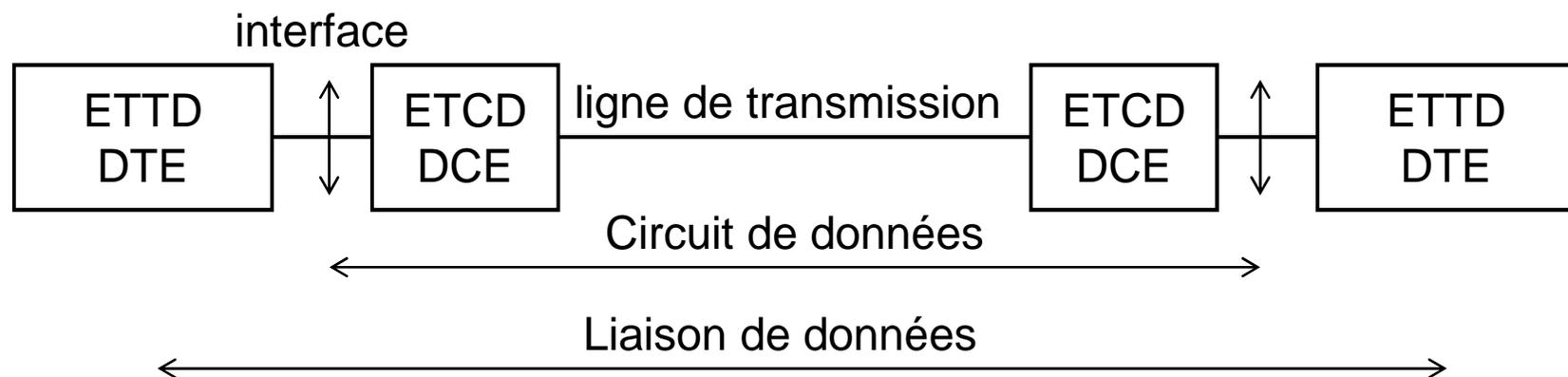
- ◆ Le satellite sert de relai
- ◆ Permet la diffusion sur une large zone (avantage pour la TV)
- ◆ Si plusieurs émetteurs, nécessité de partager la voie montante
 - AMRF : allouer des sous-bandes de fréquences
 - AMRT : chaque station a une tranche de temps de parole
 - AMRC : chaque voie a un code et transmission simultanée



Transmission de données

◆ Définitions

- ◆ ETTD (équipement terminal de traitement de données) [DTE-Data Terminal Equipment]
 - Ordinateurs d'extrémités
- ◆ ETCE (équipement terminal de circuit de données) [DCE-Data Circuit Equipment]
 - Équipements qui réalisent l'adaptation entre les ordinateurs et la ligne de transmission
 - Modifient la nature du signal pas sa signification

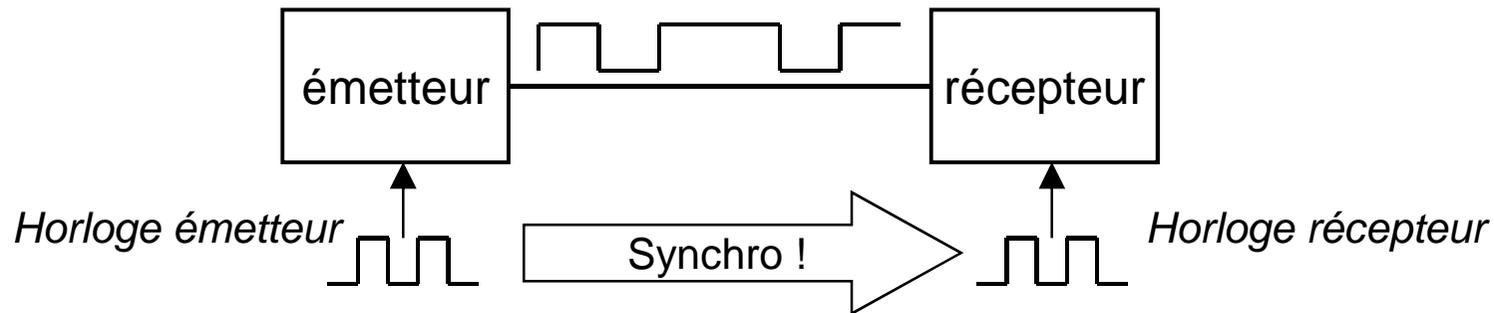


Organisation des échanges

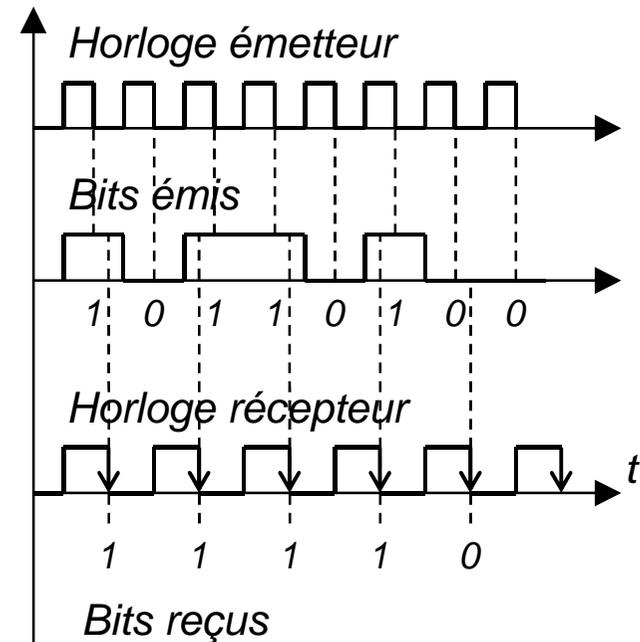
- ◆ Organisation fonctionnelle
 - ◆ Liaison simplex :
 - les échanges n'ont lieu que dans un seul sens
 - ◆ Liaison half-duplex ou duplex à l'alternat
 - il y a un seul émetteur et un seul récepteur mais ils peuvent échanger les rôles = retournement
 - ◆ Liaison full-duplex
 - Les échanges peuvent avoir lieu dans les 2 sens (2 émetteurs et 2 récepteurs)
- ◆ Organisation physique
 - ◆ Transmission parallèle
 - Plusieurs bits sont transférés simultanément
 - ◆ Transmission série
 - Les bits sont transmis les uns à la suite des autres

Transmission série

◆ Problème de synchronisation des horloges



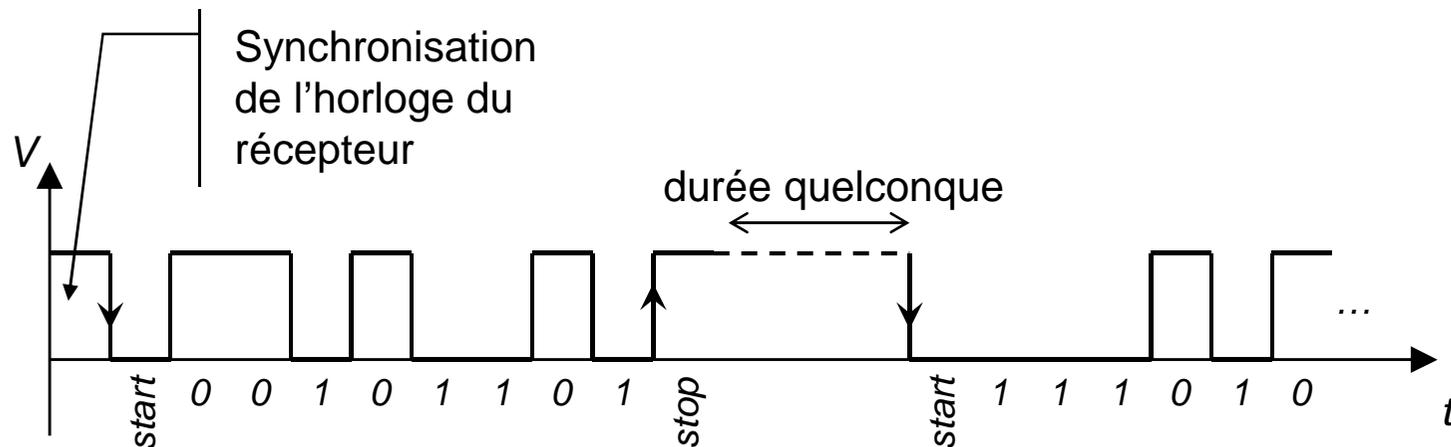
- ◆ Les bits sont émis à un certain rythme par une horloge d'émission
- ◆ L'horloge de réception doit être synchronisée
 - Même rythme
 - Même instants de transition
- ◆ En cas de dérive, il peut y avoir des lectures erronées voire des pertes de bit



Transmission série / asynchrone

◆ Caractéristiques

- ◆ Les horloges d'émission et de réception sont indépendantes
- ◆ Synchronisation par des bits supplémentaires :
 - 1 bit de start avant le caractère à transmettre
 - 1 (ou 2) bit de stop après chaque caractère



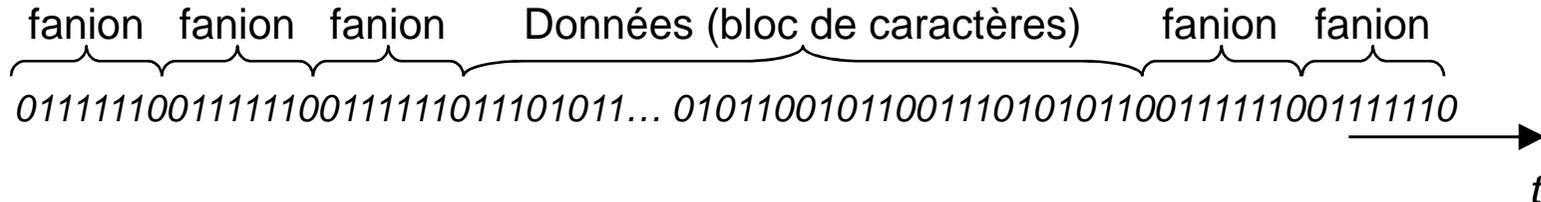
◆ Mode de transmission par bloc

- Bit de start avant chaque caractère
- Bit de stop en fin de bloc

Transmission série / synchrone

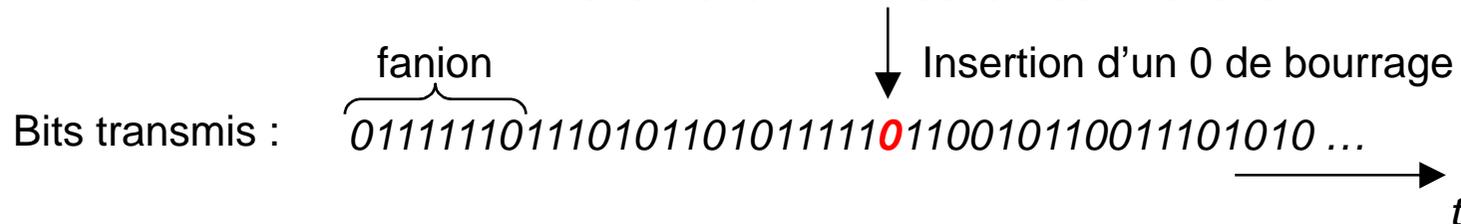
◆ Caractéristiques

- ◆ Les horloges d'émission et de réception restent synchronisées par transmission permanente d'un signal (synchronisation bit)
- ◆ Utilisation d'un fanion (caractère spécial)
 - Avant la transmission d'un bloc (synchronisation caractère)
 - Si pas données à émettre → sert de signal de bourrage



- Problème : le fanion ne doit pas se trouver dans les données
 - Solution : insérer un bit de bourrage à 0 après 5 bits à 1

Données à transmettre : 111010110101111110010110011101010 ...

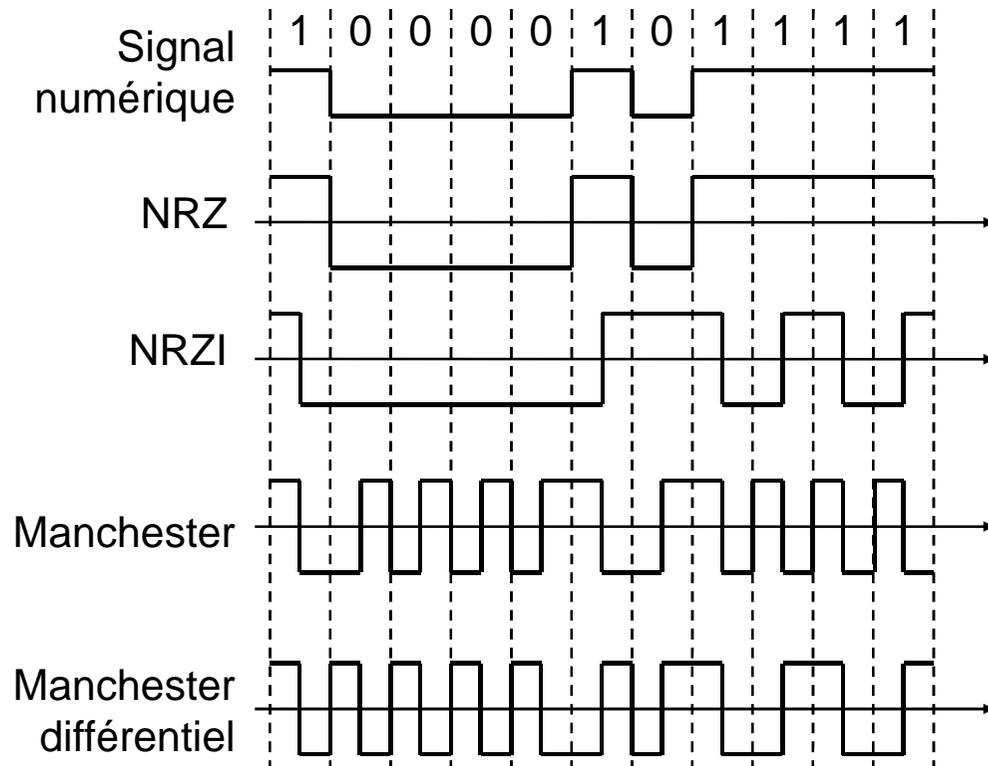


Adaptation au support

- ◆ Le support se comporte comme un filtre passe-bande:
 - ◆ La ligne de transmission se comporte comme un filtre passe-bas
 - les hautes fréquences sont atténuées
 - ◆ L'isolation galvanique forme un filtre passe-haut
 - Coupure de la composante continue et des basses fréquences
- ◆ Deux techniques d'adaptation
 - ◆ Transmission en bande de base
 - Légère adaptation du signal / technique simple et peu couteuse
 - Distance limitée
 - ◆ Transmission en large bande
 - Translation du spectre du signal à émettre dans une bande de fréquence adaptée
 - Permet le multiplexage de plusieurs liaisons

Transmission en bande de base (1/2)

- ◆ Transmission en bande de base:
 - ◆ transmission directe du signal numérique sur le support sous la forme d'impulsions
- ◆ nombreux codages:
 - ◆ NRZ [non return to zero] :
 - Très (trop!) simple
 - ◆ NRZI [NRZ invertive] :
 - Pas de transition = 0;
Transition = 1
 - ◆ Manchester:
 - 0 : transition ↗
 - 1 : transition ↘
 - ◆ Manchester différentiel
 - 0 : pas de chang.
 - 1 : inversion signal



Transmission en bande de base (2/2)

◆ Autres codages

◆ Codage de Miller:

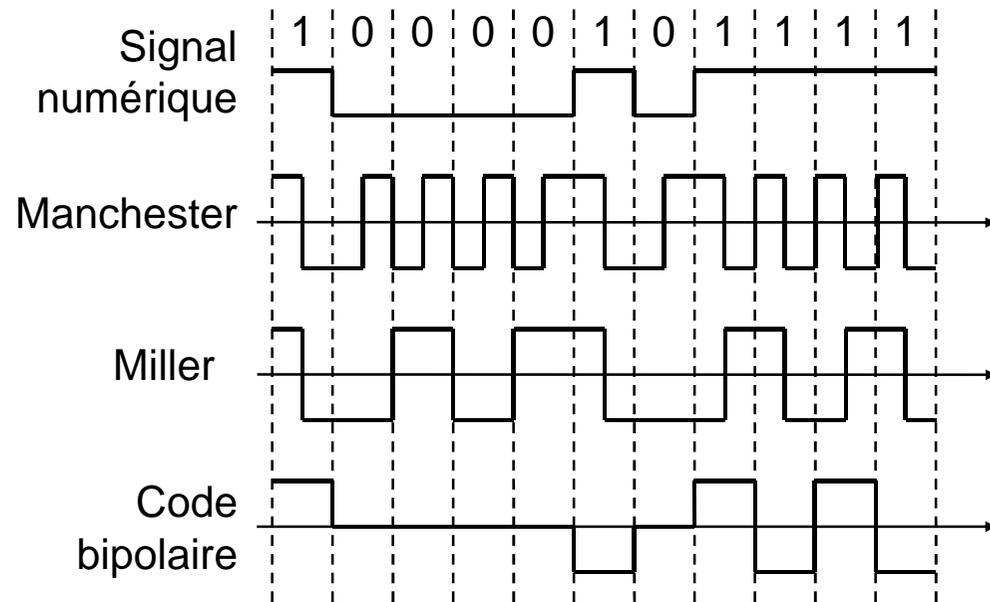
- Supprimer une transition sur 2 du codage Manchester

◆ Code bipolaire :

- 0 : 0V
- 1 : +V/-V en alternance

◆ Codages de bloc xB/yB :

- Correspondre x bits du signal binaire avec y bits du signal transmis
 - Éliminer les séquences longues de '0'
 - Minimiser la composante continue
 - Codes de contrôles dispo. (fanion, etc.)
- Exemples: 4B/5B (FDDI, Ethernet 100 Mb/s), 8B/10B (Ethernet 1 Gb/s)



Binaire	4B/5B	Binaire	4B/5B
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

Notion de rapidité de modulation (1/2)

- ◆ Critère de Nyquist :
 - ◆ $R_{max} \leq 2 \cdot BP$
 - BP = bande passante exprimée en Hz
 - R_{max} = nb max d'impulsions électriques du signal (nb de symboles)
 - ◆ R est exprimé en baud
 - ◆ Exemple :
 - Téléphone : BP (300-3400 Hz) = 3100 Hz d'où $R_{max} = 6200$ bauds
- ◆ Relation entre débit binaire et rapidité de modulation
 - ◆ $D = R \cdot Q = R \cdot \log_2 (1/p)$
 - D = débit binaire en bits/s
 - Q = quantité d'information en bits par symbole
 - p = probabilité d'apparition d'un état
 - ◆ Exemple :
 - Si chaque symbole à 2 valeurs possibles 0 et 1:
 $p = 0,5$; $Q = 1$ bit et $D = R$

Notion de rapidité de modulation (2/2)

◆ Augmentation du débit

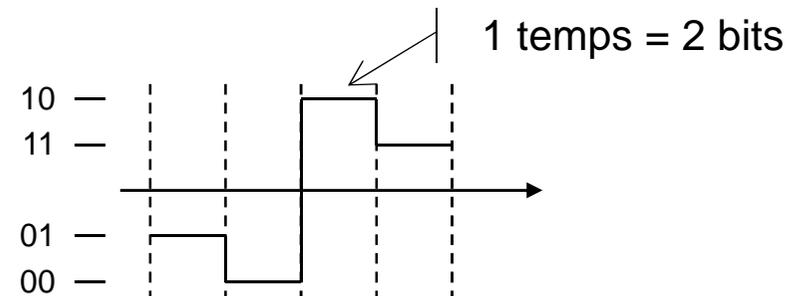
◆ **Valence** ν = nb d'états que prend le signal par symbole ($\nu = 1/p$)

→ $Q = \log_2 (\nu)$ et $D = R \cdot \log_2 (\nu)$

◆ Exemple : codage 2B1Q

→ 2 bits, 1 symbole quaternaire

→ Utilisé par le RNIS



◆ Limitation par le bruit

◆ L'augmentation de ν est limitée par le bruit

◆ Le nombre d'état discernables est donné par : $n = \sqrt{(1 + S/N)}$

→ S/N : rapport signal / bruit

◆ La capacité maximale est donc : $C_{max} = BP \cdot \log_2 (1 + S/N)$

◆ Exemple :

→ Téléphone : BP (300-3400 Hz) = 3100 Hz $S/N = 1000$

d'où $C_{max} = 30\ 876$ bits/s

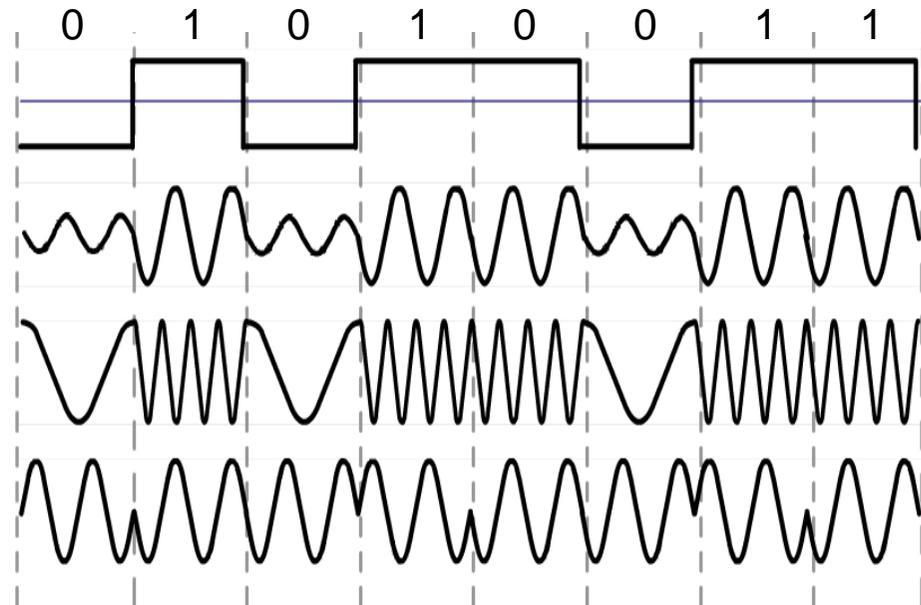
NB : modem V.34bis : 33 600 bits/s

Transmission en large bande

- ◆ Transmission en large bande:
 - ◆ Utilisation de modems (modulateurs-démodulateurs)
 - ◆ Avantages:
 - Permet de mélanger plusieurs signaux (multiplexage fréquentiel)
 - Meilleure immunité aux perturbations

- ◆ Trois techniques

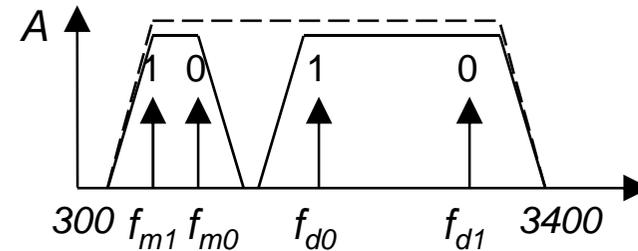
- ◆ Modulation d'amplitude [ASK=Amplitude Shift Keying]
- ◆ Modulation de fréquence [FSK=Frequency Shift Keying]
- ◆ Modulation de phase [PSK=Phase Shift Keying]



Modulations de fréquence et de phase

◆ Modulation de fréquence

- ◆ Facile à mettre en œuvre
- ◆ Résistante aux bruits
- ◆ MAIS grande largeur du spectre du signal → débits faibles
- ◆ Exemple : Modem V23 (Minitel)



- Voie montante (75 bits/s) :
 $f_{m1} = 390 \text{ Hz}$, $f_{m0} = 450 \text{ Hz}$
- Voie descendante (600/1200 bits/s) :
 $f_{d1} = 1300 \text{ Hz}$, $f_{d0} = 1700 \text{ Hz} / 2100 \text{ Hz}$

◆ Modulation de phase

- ◆ BPSK = Binary PSK, 2 états de phase
- ◆ Facile à mettre en œuvre en émission, plus difficile à la réception
- ◆ On peut multiplier les états de phase
 - On augmente le débit binaire
 - Limité par l'erreur de phase introduite par le bruit
- ◆ Exemple : 4 états de phase

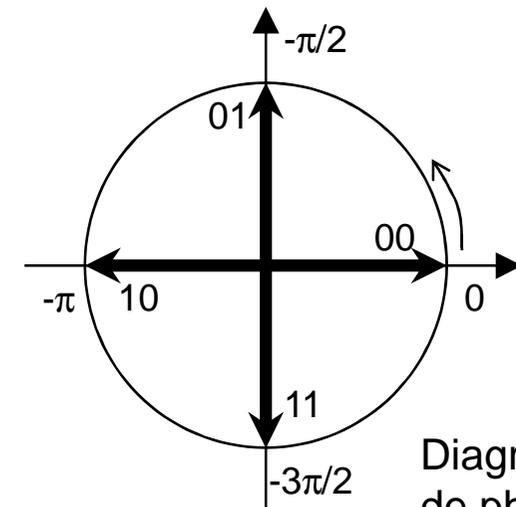
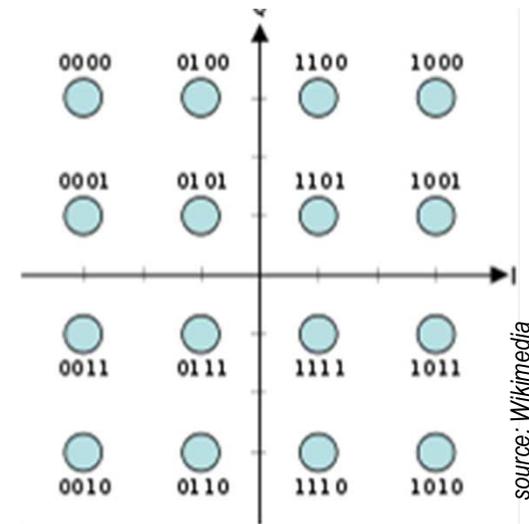


Diagramme de phase

Modulations complexes

- ◆ Modulation d'amplitude à porteuse en quadrature (MAQ) [QAM=Quadrature Amplitude Modulation]

- ◆ Modulation en phase ET en amplitude
- ◆ Permet de coder plusieurs bits par symbole transmis
- ◆ Exemple : 16-QAM
- ◆ On utilise jusqu'à 256-QAM

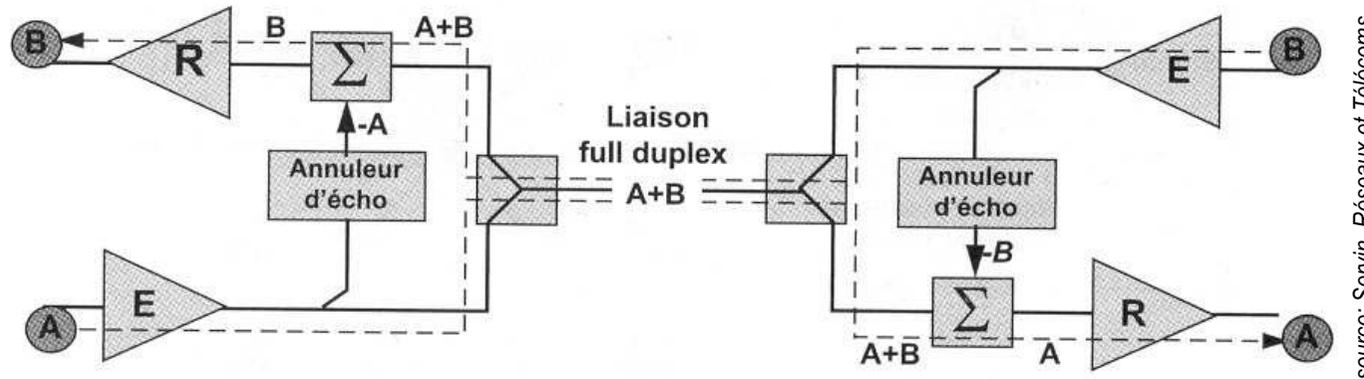


- ◆ Modulation par multiples sous-porteuses

- ◆ DMT [Discrete MultiTone],
ODFM [Orthogonal Frequency-Division Multiplexing]
- ◆ Chaque sous-porteuse est modulée en phase et amplitude (MAQ)
- ◆ Système adaptatif : n'utiliser que les sous-porteuses avec rapport S/N suffisant
- ◆ Principes utilisés dans ADSL, 802.11a/g, HomePlug-AV

Liaison full duplex

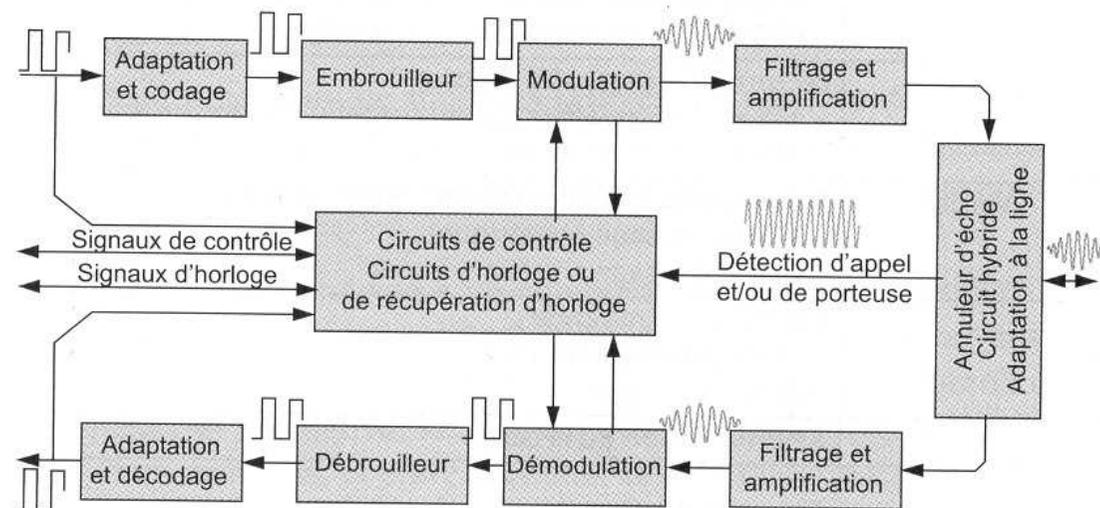
- ◆ Liaison 4 fils
 - ◆ 2 liaisons croisées
- ◆ Liaisons 2 fils
 - ◆ En large bande : utilisation de 2 bandes de fréquences disjointes
 - Exemple : modem V.23 (Minitel)
 - ◆ En bande de base :
 - Utilisation d'un circuit annuleur d'écho



source: Servin, Réseaux et Télécoms

Modem

- ◆ Schéma de principe d'un modem
 - ◆ 2 parties :
 - Modulateur : émetteur des données
 - Démodulateur : récepteur des données



source: Servin, Réseaux et Télécoms

- ◆ Caractéristiques principales
 - ◆ Mode de travail : bande de base ou large bande
 - ◆ Type de transmission : synchrone ou asynchrone
 - ◆ Débit binaire

Tableau des principaux modems

<i>Avis</i>	<i>Type modulation</i>	<i>Débit</i>	<i>Transmission</i>	<i>Exploitation</i>	<i>support</i>	<i>commentaires</i>
V.22	PSK diff. 4 états	2400 bits/s	Synchrone	Full duplex	RTC LS	
V.22 bis	QAM 16 états	1200 bits/s	Asynchrone			
V.23	FSK 2 états	1200 bits/s	Asynchrone Synchrone	Full duplex	RTC LS	Minitel
V.27ter	PSK diff. 8 états	4800 bits/s 2400 bits/s	Synchrone	Half duplex Full duplex	RTC LS	Fax
V.29	QAM 16 états	9600 bits/s 7200 bits/s 4800 bits/s	Synchrone	Full duplex	LS 4 fils	Fax
V.34	QAM 16, 32 ou 64 états DMT 9 fréquences	De 28800 à 2400 bits/s (pas=2400)	Synchrone Asynchrone	Half duplex Full duplex	LS	Transmission asym. avec basculement
V.34 bis	Amélioration de V.34	33600 bits/s				
V.90	Pas de modem pour la voie descendante : signal PCM	33600 bits/s (Montant) 56000 bits/s (Descendant)			RTC PDH	
V.92		48000 bits/s (Montant) 56000 bits/s (Descendant)			RTC PDH	