

Cours **Réseaux**

UFR de Mathématiques et Informatique
Licence 3 Informatique
Semestre 5

Prof. Ahmed Mehaoua
Ahmed.mehaoua@parisdescartes.fr

Cours : Réseaux

Equipe pédagogique :

Pr. A. MEHAOUA, Professeur, responsable du cours, et chargé de TD (mardi)

Dr. N. DORTA, Maître de Conférences, chargé de TD (lundi)

Dr. O. SALEM, Maître de Conférences, chargé de TD (jeudi)

Dr F. KAABI, Assistant d'enseignement, Chef de projet en Sécurité & Réseaux, GFI (vendredi)

Dr H. MRAD, Assistant d'enseignement, Resp. Sécurité & Réseaux, Orange Cyberdefense (mercredi)

Accueil des étudiants :

sur RDV – contact par email ou en fin de cours : ahmed.mehaoua@parisdescartes.fr

Bibliographie :

- Architectures des réseaux, Dromard et Seret, Pearson Edition
- transparents du cours et énoncés de TD/TP disponibles sur MOODLE et à la scolarité
- Clé d'accès Moodle : L3RES

Evaluation :

- une note d'examen de CC1 en Amphi (épreuve commune) (60%) : **mi semestre (19 novembre 2019)**
- une note de CC2 en séance de TD (30%) fixée par le chargé de TD : **fin de semestre (decembre 2019)**
- une note AP d'assiduité et de participation à l'orale en TD (10%)

- un examen final écrit sur table (sans documents, sans ordinateurs) **semaine de rentrée janvier 2020**
- note FINALE= max (EF, CC) avec $CC = 0,6CC1 + 0,3CC2 + 0,1AP$

Objectifs du cours Réseaux

1. Etudier et comprendre le fonctionnement des réseaux informatiques
 1. Les architectures (logiciels, matériels)
 2. Les logiciels et algorithmes (Systèmes d'exploitation, protocoles)
 3. Les Commandes systèmes et réseaux (paramétrage, diagnostique, ...)
2. Réseaux locaux d'entreprises **ETHERNET/WIFI** (cablage, codage des signaux, algorithmes de contrôle d'accès au canal de communication)
3. Réseau **INTERNET** (adressage, routage, équipements d'interconnexion)
4. Travaux dirigés et pratiques avec utilisation du logiciel de diagnostique et d'analyse des réseaux (sniffer): **WIRESHARK**

Bonnes pratiques du cours :

- Récupérer le poly cours/TD/TP: **version papier ou version électronique** en ligne
- consulter le support du cours et le TD/TP de la semaine **avant chaque séance**
- participer activement aux séances de TD (passage aux tableaux)

Plan Général

- 1) ARCHITECTURES DES RESEAUX, DEFINITIONS
- 2) COUCHE PHYSIQUE : MATERIELS, TRANSMISSION
- 3) COUCHE LOGICIEL : COUCHE LIAISON, PROTOCOLES HDLC
- 4) LES RESEAUX LOCAUX : ETHERNET ET WIFI
- 5) RESEAU INTERNET: ADRESSAGE, NOMMAGE DES RESSOURCES
- 6) RESEAU INTERNET: ROUTAGE DES INFORMATIONS
- 7) LES EQUIPEMENTS D'INTERCONNEXION (HUB, SWITCH, GATEWAY, ...)

Chapitre 2

Réseaux Informatiques

Couche Physique

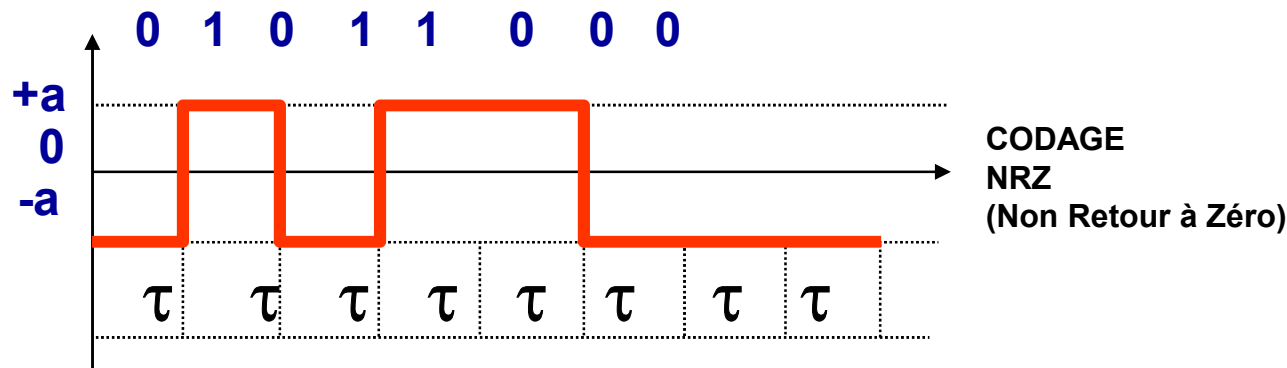
Plan

- ❑ PRINCIPES DE LA COUCHE PHYSIQUE
- ❑ TYPES D'INFOS ET CODAGE SOURCE
- ❑ TECHNIQUES DE TRANSMISSION
- ❑ DELAIS DE TRANSMISSION
- ❑ CODES CORRECTEURS DES ERREURS

La couche physique

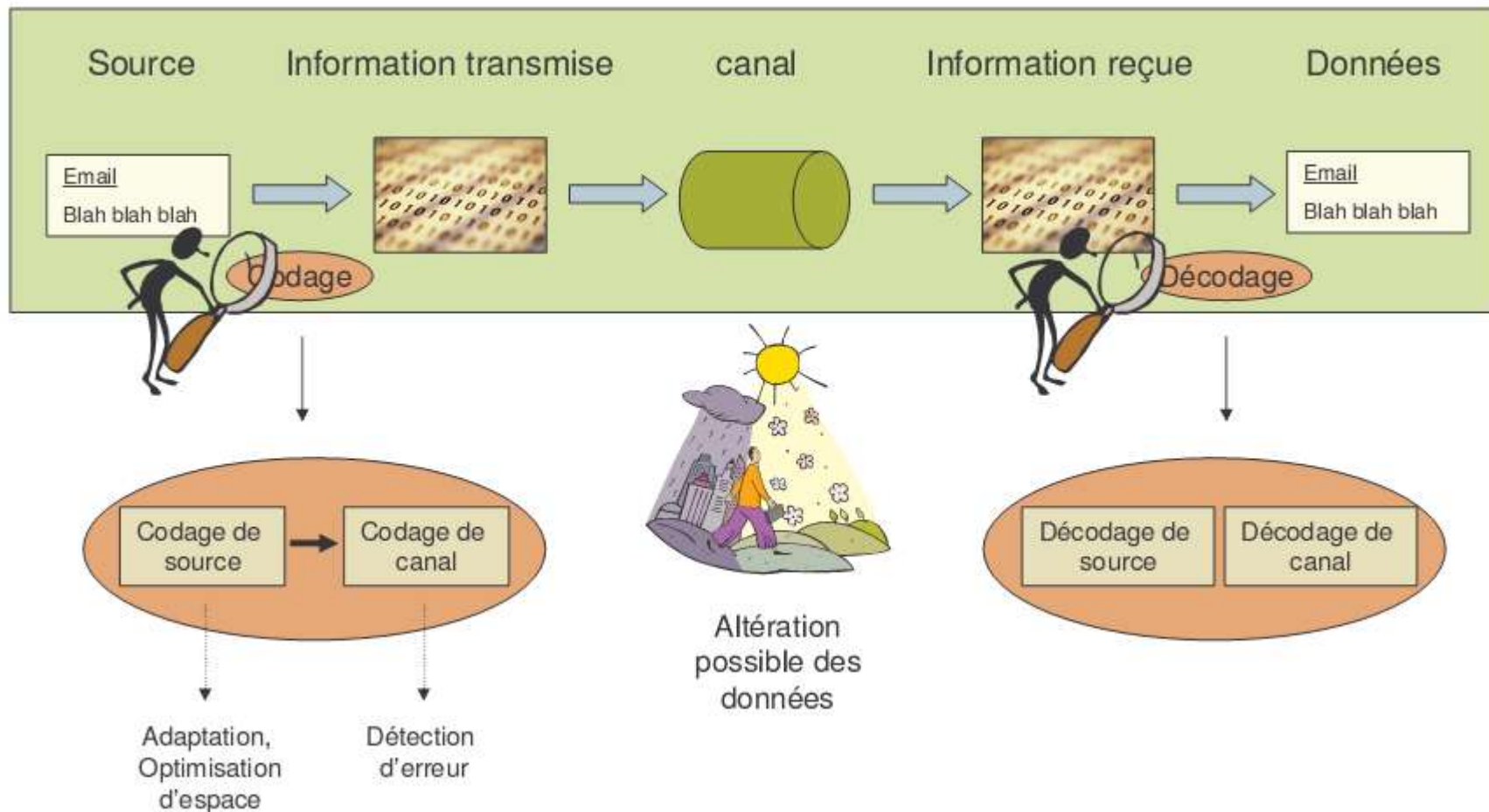
Le codage canal

- La couche physique est chargée de la transmission (émission et réception) effective d'un bit ou d'un train de bits continu sous la forme de signaux électriques ou optiques entre les interlocuteurs.
- Cette couche est chargée de la conversion entre bits et signaux électriques ou optiques.
- La transmission numérique (ou bande de base) consiste à convertir (ou coder) les bits en un signal à 2 niveaux : $0 \rightarrow -a$ et $1 \rightarrow +a$



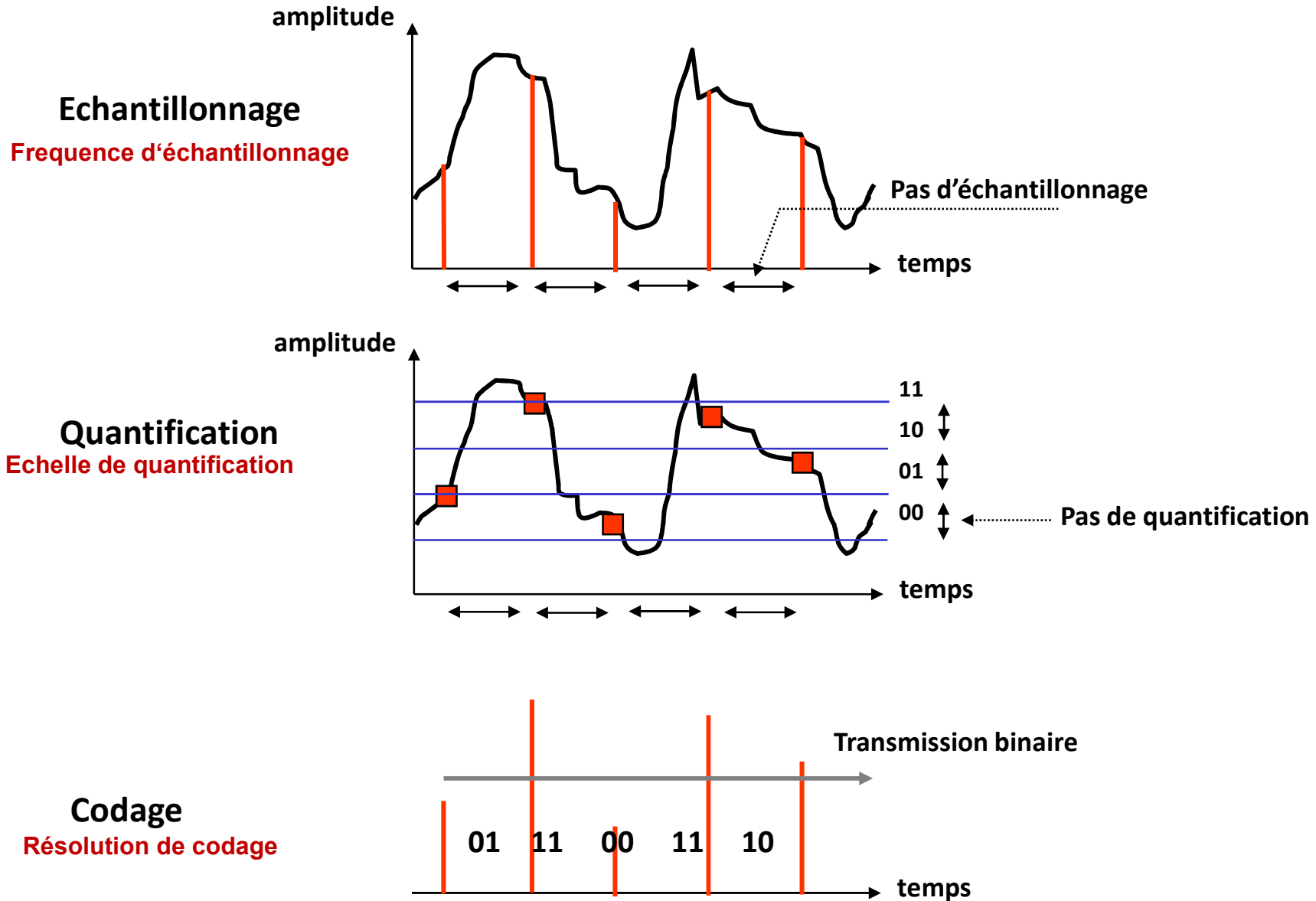
LE CODAGE SOURCE

LE CODAGE CANAL



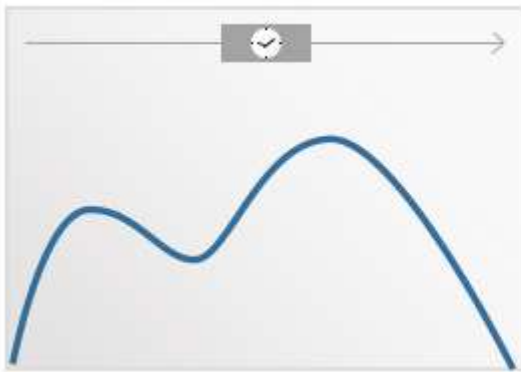
Codage source : **La numérisation**

MIC: Modulation par Impulsion et Codage

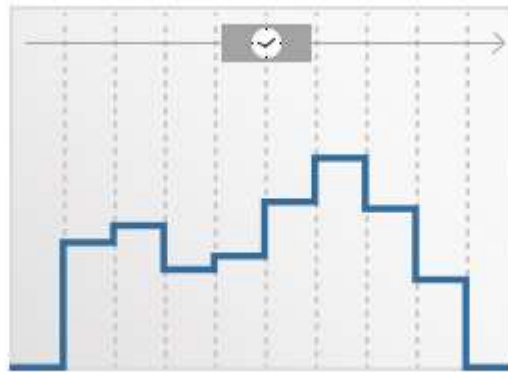


Codage source : **La numérisation**

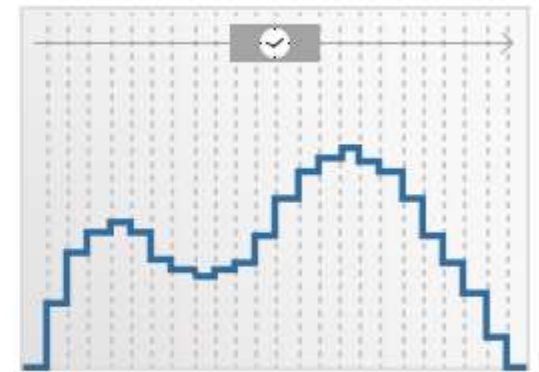
Frequence d'échantillonnage vs Echelle de quantification
Audio Qualité CD vs Qualité Studio



Original analog recording



CD: 16bit/44.1kHz



High-Resolution Audio: 24bit/192kHz

Codage source et Normes

Informations sous forme binaire 0 et 1 :

Nombres → Représentation sous forme binaire

Texte → Code ASCII, UTF-8

UNICODE

Code Vidéotex

...

Image → Noire et blanc (1 bit : 0 noir et 1 blanc)

Nuances de gris (8 bits par point)

Couleur (RVB, 8 bits par couleur → 24 bits par point)

Compression JPEG

...

Parole, Son et Vidéo → PCM (Pulse Modulation Code) pour un signal **analogique**

Compression DPCM (Son)

Compression MPEG (Vidéo)

...

Codage source :

code ASCII

ASCII: American Standard Code for Information Interchange

Exemples de code ASCII:

Caractère **0** → code ASCII: **30H**

Caractère **A** → code ASCII: **41H**

Caractère **SP** → code ASCII: **20H**

SP: Espace

Bit de parité: est un bit supplémentaire qu'on ajoute pour faire **8 bits**, de telle façon que la somme des éléments binaires modulo 2 soit égale à 0.

poids forts

	000	001	010	011	100	101	110	111
0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	\	p
0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0111	BEL	ETB	,	7	G	W	g	w
1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1100	FF	FS	'	<	L	Ç	l	ù
1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1110	SO	RS	.	>	N	↑	n	≈
1111	SI	US	/	?	O	<--	o	DEL

poids faibles

Code ASCII 7 bits

A: 0 100 0001 → Somme des bits (mod 2)=0

B: 0 100 0010 → Somme des bits (mod 2)=0

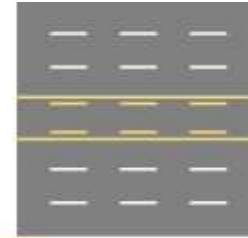
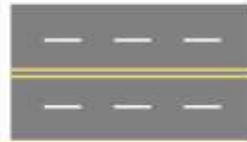
C: 1 100 0011 → Somme des bits (mod 2)=0

Exemples:

Le canal de communication

La bande passante

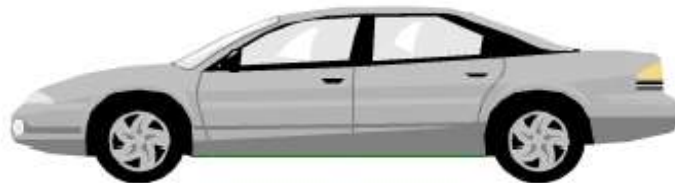
La bande passante peut être comparée au nombre de voies.



Les équipements réseau correspondent aux bretelles, aux feux de signalisation, aux panneaux et aux cartes.



Les paquets sont comparables aux véhicules.

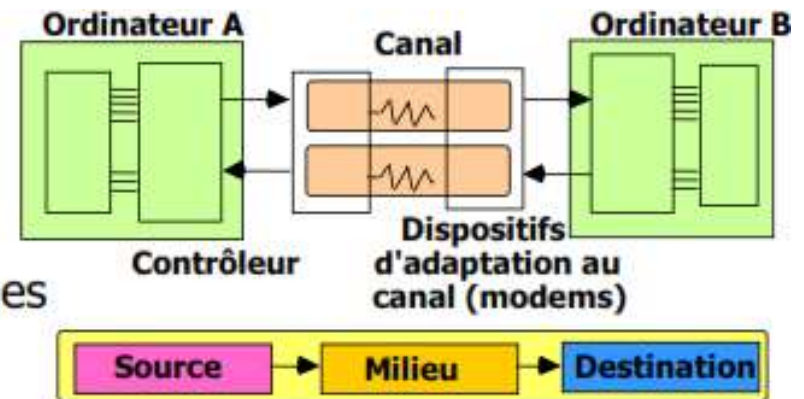


Le canal de communication

Le support physique

■ **Disposer d'un support Physique** qui véhicule les signaux électromagnétiques:

- fils métalliques => signaux électriques
- Atmosphère => ondes radio
- fibre optique => lumière



Définitions

- **Unités (Hz)**
 - La fréquence d'un signal (Hertz), est le nombre de périodes (oscillations) par seconde
 - kHz, MHz, GHz ...
- **Bande Passante (Hz) :**
 - La bande passante d'un canal de communication (W), est la bande de fréquences dans laquelle les signaux sont correctement reçus par la destination. Il est calculé
 - $W = F_{\max} - F_{\min}$ F_{\max} : Fréquence maximale
- **Rapidité de modulation (signal numérique):**
 - $R \text{ (bauds)} = 1/\Delta$ (Δ : durée d'un élément binaire)

Débits et Capacité d'un canal

- **Débit binaire:**
 - $D \text{ (bits/s)} = n.R$ (n : nombre de bits/intervalle de modulation)
- **Valence:**
 - $V=2^n$ est appelé **Valence** du signal.
- **Capacité d'une voie de transmission (bit/s ou bps):** est le débit binaire maximal. C'est une fonction directe de la bande passante (W) :
 - Selon Nyquist: $C=D_{\max}=2W \cdot \log_2(V)$ (canal sans bruit) (V = Valence)
 - Selon Shannon $C=D_{\max}=W \log_2(1+S/B)$ (canal bruité) (S/B = Signal/Bruit)
- **Remarque:** Lorsque $V = 2$ (modulation simple), le débit binaire (bits/s) est égal à la rapidité de modulation (bauds). Par abus de langage on parle de débits en bauds ($V \neq 2$)

Définitions

- **Décibel (dB) :**
 - En électronique, en télécommunication, en traitement du signal, le **décibel** est utilisé en plus des pourcentages **pour exprimer des rapports de puissance**.
 - Par exemple entre le **niveau du signal** et le **niveau du bruit** (SNR) dans un canal de communication, appelé rapport signal-sur-bruit (SNR).
 - Il permet de calculer le taux de transmission global du signal électrique à travers une série de composants ou de systèmes reliés les uns à la suite des autres en additionnant les valeurs en décibels calculées pour chacun d'eux au lieu de multiplier les rapports de transmission :
 - gain c'est-à-dire d'augmentation de l'amplitude par un amplificateur électronique (répéteur, switch, ...), donnant des **valeurs positives** en décibels,
 - atténuation, c'est-à-dire la diminution de l'amplitude dans un réseau de composants ou une ligne de transmission, donnant des **valeurs négatives** en décibels.

Définitions

- **Décibel (dB) (suite) :**

- Si on appelle X le rapport de deux puissances P_0 et P_1 , la valeur de X peut s'écrire en décibels comme suit :

$$X_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_0} \right)$$

Exemples : Si le rapport entre les deux puissances est de $10^{0,3} = 2$ alors cela correspond à **3 dB** ;

Ainsi, lorsque la puissance double, la valeur augmente de 3 dB.

Rapports de valeur de puissance et décibels

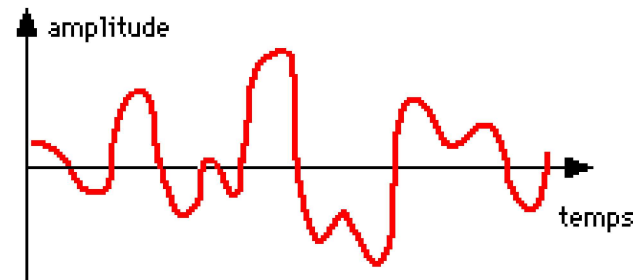
Rapport	1	1,26	1,6	2	2,5	~3,2	4	5	10
ou		$\approx \frac{5}{4}$	$\approx \frac{8}{5}$		$\approx \frac{5}{2}$	$\sqrt{10}$	2^2		
dB	0	1	2	3	4	5	6	7	10

- **L'atténuation d'un signal:**

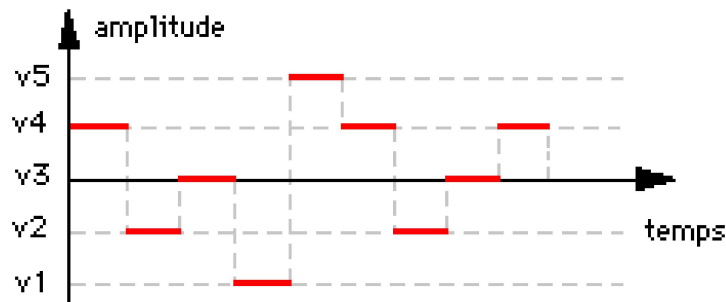
Atténuation ou affaiblissement est la diminution de l'amplitude ou de la puissance d'une onde ou d'un signal au cours de sa transmission. On la quantifie par le rapport entre leur grandeur à la sortie par celui à l'entrée de la section considérée. Ce rapport s'exprime en décibels.

Transmission

- L'**information** (analogique ou numérique) est véhiculée grâce à un signal physique. Ce signal peut être de nature analogique soit de nature digital (numérique).
- **Transmission analogique**: Un signal analogique est un signal **continu** qui peut prendre une infinité de valeurs.



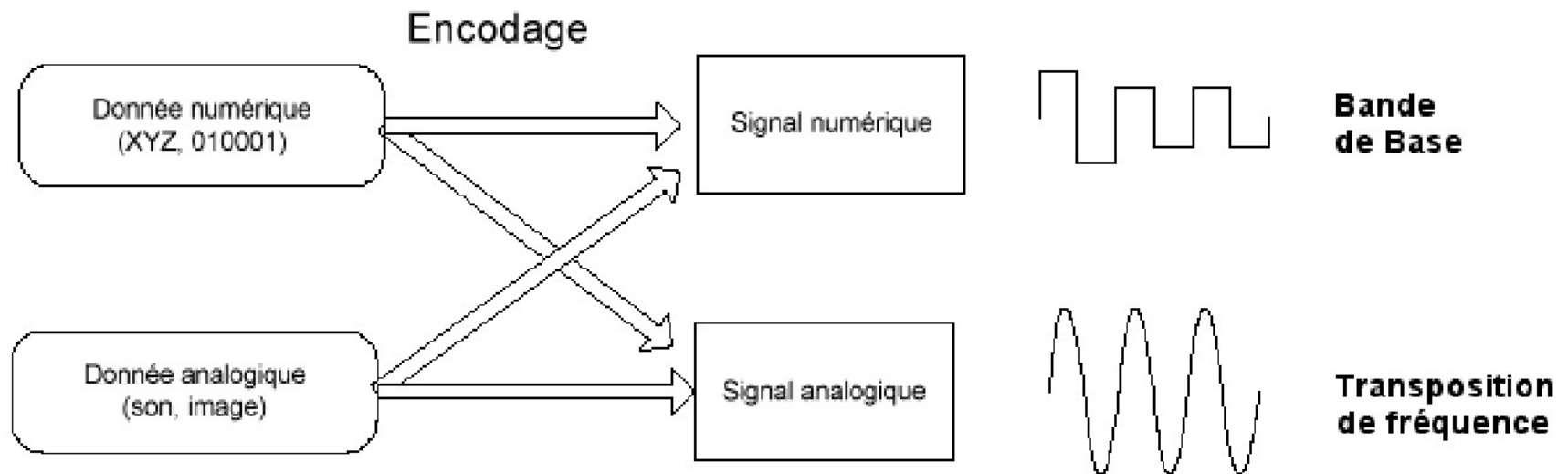
- **Transmission numérique**: un signal **numérique** varie à des instants déterminés (discontinue) dans le temps et ne peut prendre que des valeurs distinctes dans un ensemble fini.



- **Remarque**: 4 combinaisons possibles entre les différents types d'information et les modes de transmission.

Transmission (suite)

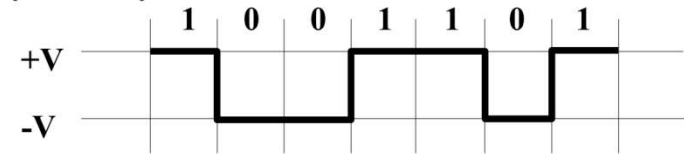
- **4 combinaisons** possibles entre les différents types d'information et les modes de transmission:
- Information **Analogique** – Transmission **Analogique** (voix sur RTCP)
- Information **Analogique** – Transmission **Numérique** (voix sur GSM ou Internet)
- Information **Numérique** – Transmission **Analogique** (données ordinateur sur RTCP via modem)
- Information **Numérique** – Transmission **Numérique** (données ordinateur sur LAN ou Internet)



Transmission numérique

- Codage unipolaire sans retour à zéro (NRZ)

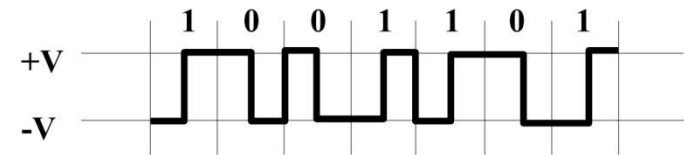
- Machine (horloge)



- Codage **Manchester** (simple)

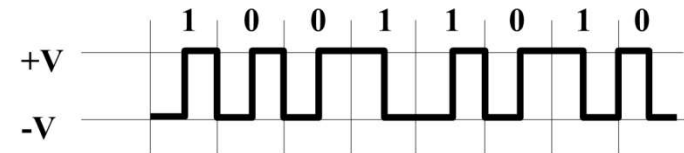
- Inclus le signal d'horloge

- $\frac{1}{2}$ temps bit à l'inverse de la valeur
+ $\frac{1}{2}$ temps bit à la valeur.



- Codage **Manchester différentiel**

- Bit 0 = Changement de polarité
- Bit 1 = Polarité du début temps bit identique à précédente

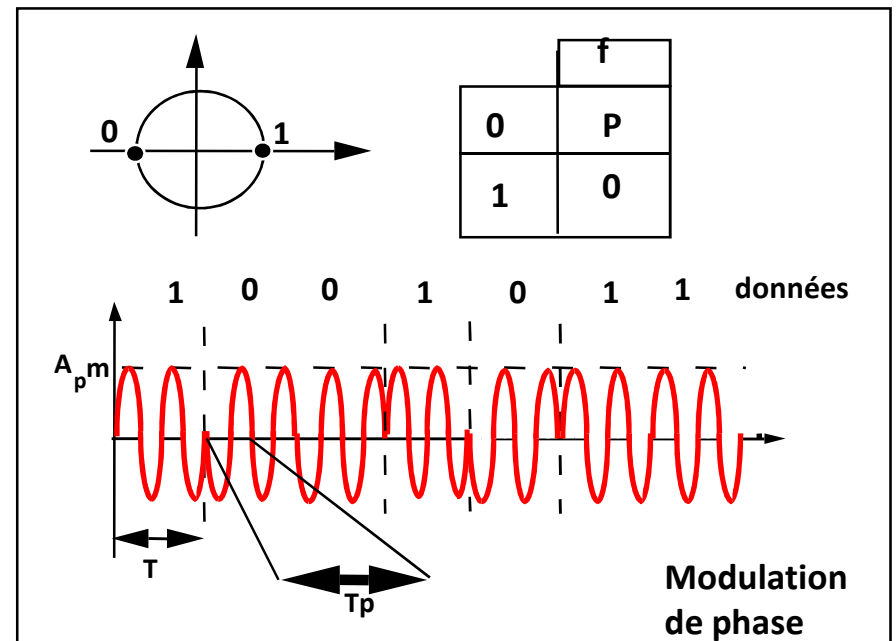
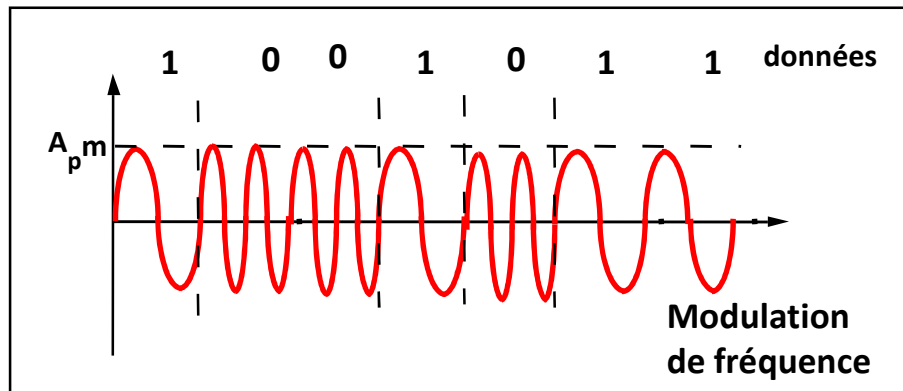
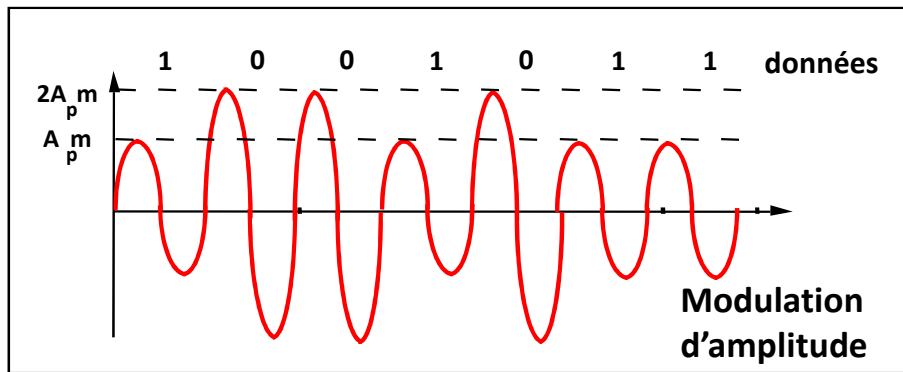


Transmission analogique

- Un signal est caractérisé par :
 - son amplitude A , sa fréquence f et sa phase Φ , tel que:
 - $y(t) = A \sin (2\pi f t + \Phi)$ avec $f_{\text{(Hz)}} = 1/T$ (T = période)
- Le signal est transporté sous la forme d'une onde adaptée aux caractéristiques physiques du support:
 - ddp électrique, onde radio-électrique, intensité lumineuse (fibre optique)
- Le signal se présente sous la forme d'une onde de base régulière appelée **porteuse**.
 - On fait subir des déformations (ou **modulations**) à cette porteuse pour distinguer les éléments du message (0, 1, 00, 01, 10,).
 - 4 types de modulations :
 - modulation d'**amplitude**
 - modulation de **fréquence**
 - modulation de **phase** (synchronisation)
 - modulation **combinée** (par exemple de phase et d'amplitude)

Transmission analogique

la Modulation

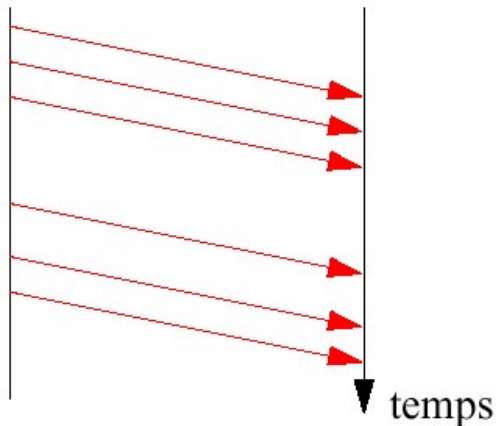


Modem (modulateur-démodulateur) entre l'ordinateur (numérique) et le système téléphonique (analogique)

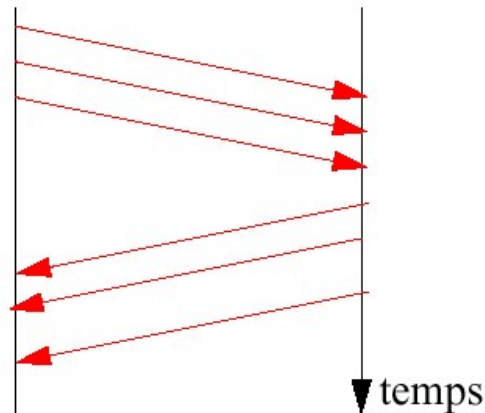
Transmission de données mode d'échange

Unidirectionnel (simplex)

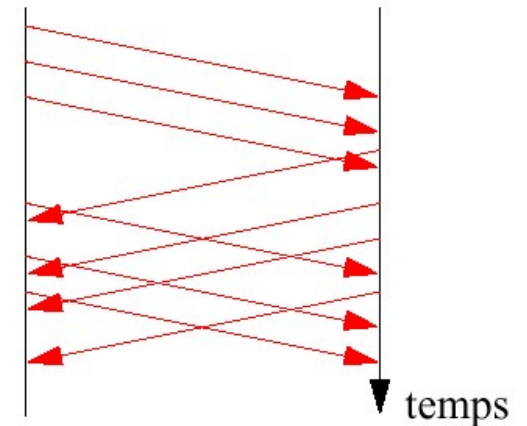
- Bidirectionnel à l'alternat (half-duplex)
- Bi-directionnel (full-duplex)



Simplex



Half-duplex

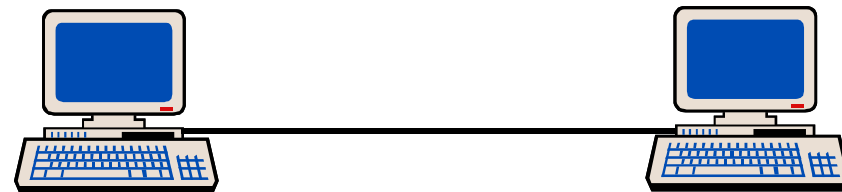
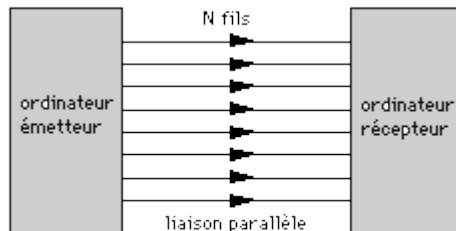


Full-duplex

Transmission de données

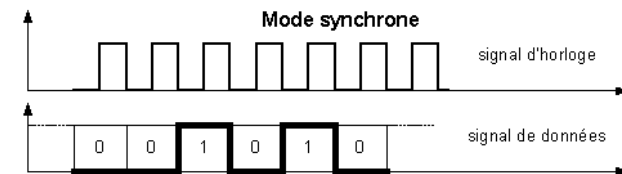
Transmission parallèle

- ✓ *Plusieurs bits en même temps*
- ✓ *16, 32 ou 64 bits*



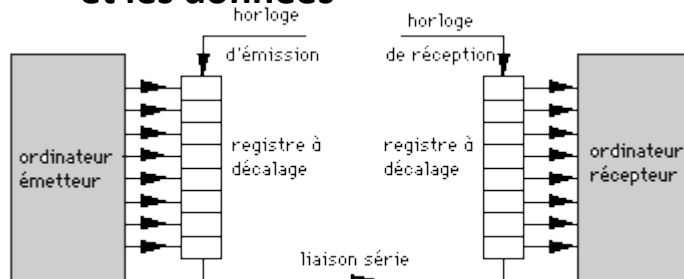
Transmission synchrone

L'information est transmise sous la forme d'un flot continu de bits à une cadence définie par l'horloge d'émission.



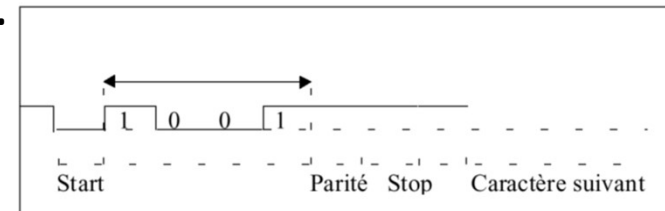
Transmission série

- ✓ *1 bit à la fois*
- ✓ *Pour les informations de contrôle et les données*



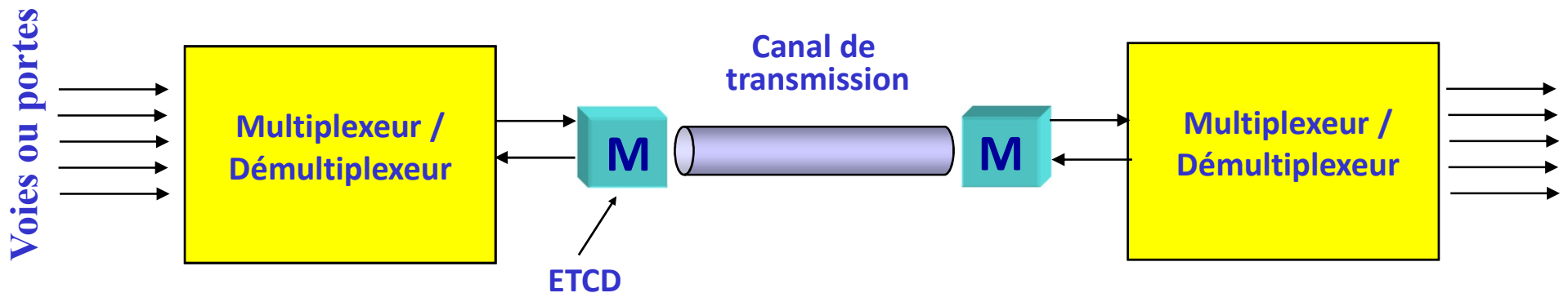
Transmission asynchrone

Chaque caractère est émis de façon irrégulière dans le temps.



Multiplexage

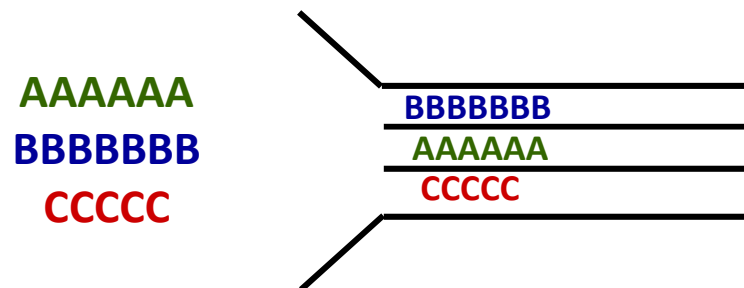
- **Objectif :**
 - Optimiser l'usage des canaux de transmission
→ transit simultané d'un maximum d'informations
- **Principe :**
 - Traiter le signal pour concentrer des flux d'origines diverses sous forme d'un signal composite unique
→ signal multiplex
- **3 techniques :**
 - Multiplexage fréquentiel
 - Multiplexage temporel
 - Multiplexage temporel statistique
- **Equipement:**



Multiplexage: fréquentiel, temporel

- Multiplexage fréquentiel

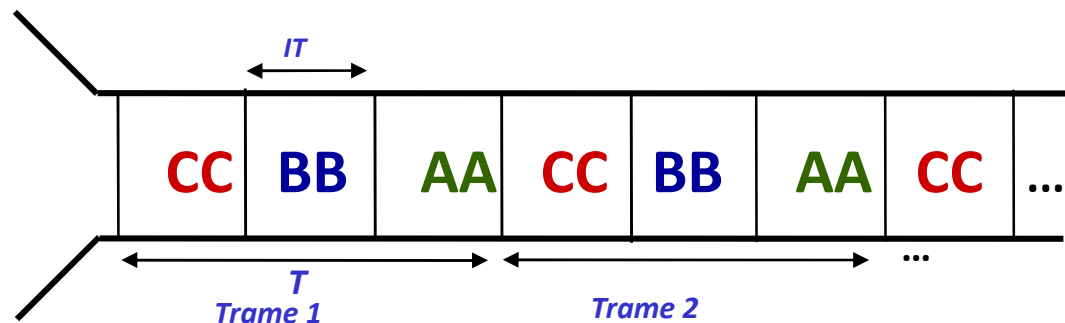
- Découper la bande passante d'un canal en plusieurs sous-bandes, chaque sous-bande est affectée à une voie de transmission



- Multiplexage temporel

- Appelé aussi TDM (Time Division Multiplexing)
- Prélèvement successif de bits ou (d'octets) sur les différentes voies reliées au multiplexeur pour construire un train de bits (ou d'octets) qui constituera le **signal composite**

Voie 1: AAAAAA
Voie 2: BBBBBB
Voie 3: CCCCC

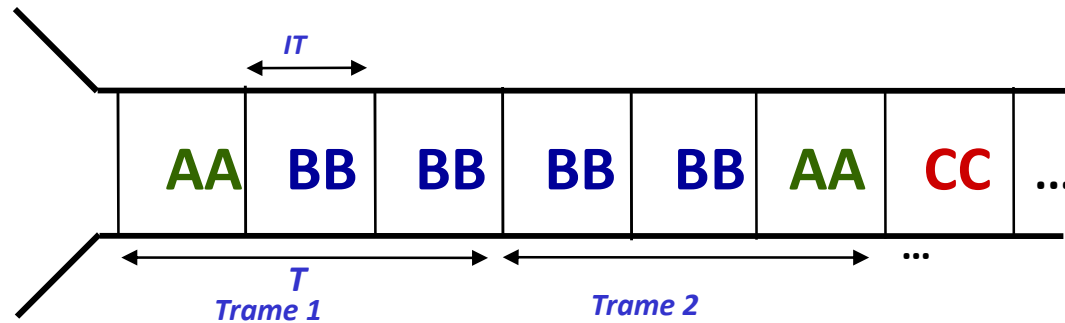


Multiplexage: Temporel statistique

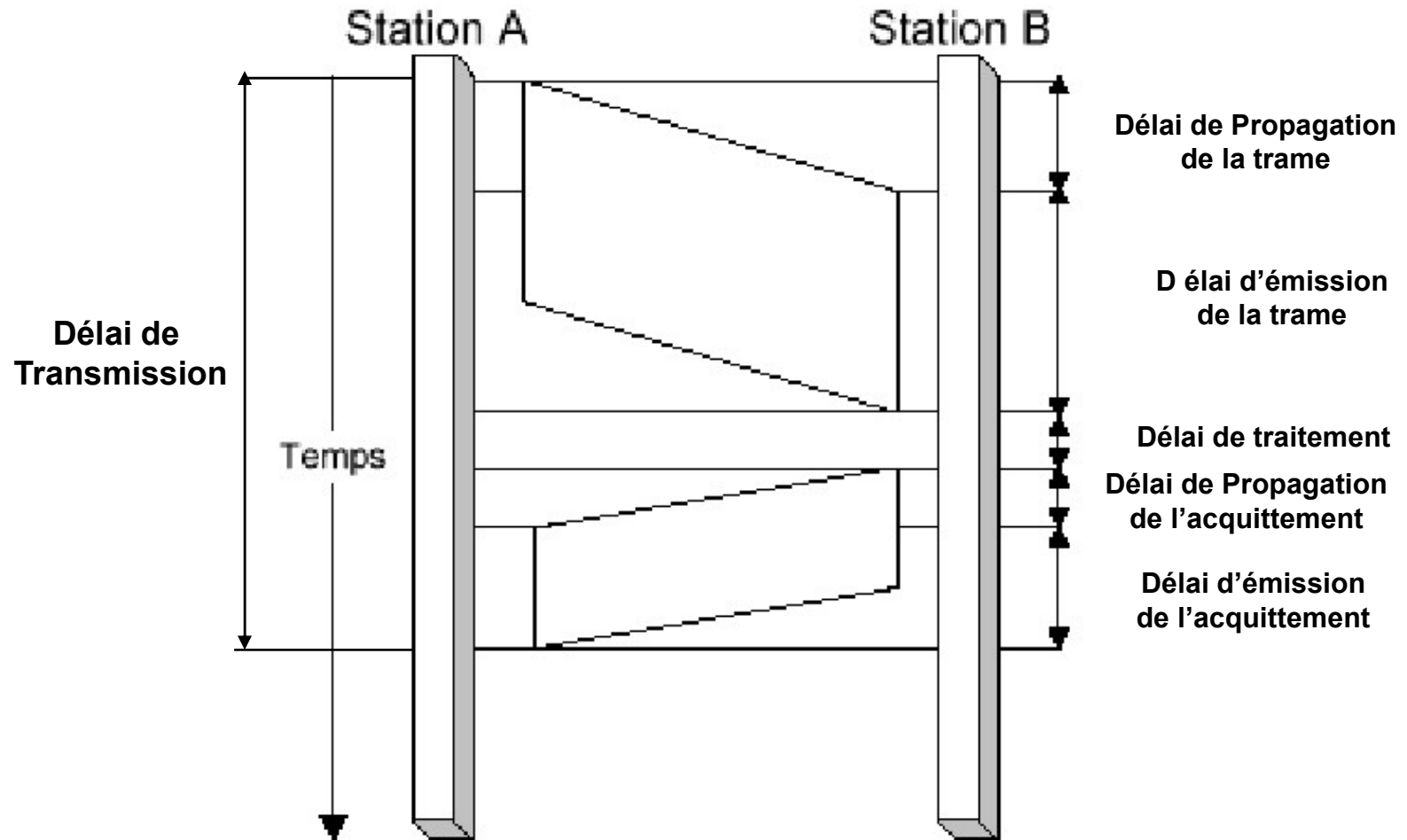
- Multiplexage temporel statistique

- Appelé aussi STM (statistical Time Division Multiplexing)
- Prélèvement successif de bits ou (d'octets) sur les différentes voies reliées au multiplexeur pour construire un train de bits (ou d'octets) qui constituera le **signal composite**

Voie 1: AAAA
Voie 2: BBBB
Voie 3: CC



DELAI DE TRANSMISSION



DELAIS

Soit :

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• C: Capacité/Débit de la ligne (bit/s)• L: Longueur de la trame (bits)• V : vitesse du support (m/s) | <ul style="list-style-type: none">d: distance de propagation (m)L' : Longueur de l'acquittement (bits) |
|---|---|

Te: délai d'émission de la trame	= L / C
Tp: délai de propagation de la trame	= d / V
T'e : délai d'émission de l'acquittement	= L' / C
T'p: délai de propagation de l'ACK	= $T_p = d / V$
Texec : délai de traitement de la trame/ACK	= négligeable
T: délai de transmission (total)	= $T_e + 2T_p + T'e = ((L+L')/C) + 2d/V$
délai de blocage de l'émetteur	= $2T_p + L'/C$

Effacité d'un protocole	<ul style="list-style-type: none">= Taux d'occupation du canal= délai d'émission des données/Délai de transmission= Débit utile / Débit de la ligne
-------------------------	---

CONTRÔLE DES ERREURS

Assurer la bonne réception de toutes les données émises

- Téléphonie : 10^{-3} bits
- vidéo compressée : 10^{-6}
- données informatiques : 10^{-9}

3 opérations à effectuer :

1. détecter une erreur
2. localiser l'erreur dans les données
3. corriger l'erreur

La protection peut s'appliquer à différents niveaux :

1. Au niveau bit ou caractère (bit de parité)
2. Au niveau d'une suite de bits : trame ou paquet, ... (CRC)

Contrôle multiple :

1. codes de contrôle des erreurs (parité, CRC)
2. numérotation de trames
3. vérification de la longueur des trames

Codage canal

Les CODES DETECTEURS

- Si l'on veut pouvoir détecter des erreurs, le codage de canal induit toujours un ajout d'information
- Il existe deux principales manières de rajouter cette information :
 - On rajoute à la fin du message un ensemble de bits dédiés au contrôle d'erreur
 - **Checksum** (somme de contrôle), **CRC** (Code de Redondance Cyclique), ...
 - On découpe le message en blocs et on calcule un ensemble de bits de contrôle pour chacun des blocs
 - On parle de **codages par blocs**
 - **Parité, ...**

Distance de Hamming

➤ **Distance de Hamming** entre deux mots: XOR

- nombre de bits différents entre 2 mots du code
= nombre de bits à 1 dans le résultat du XOR

Ex: $10001001 \wedge 10110001$ i.e. 3

```
10001001
10110001
-----
00110000
```

Détecter

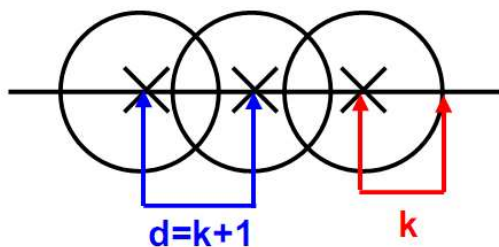
Trame: longueur n bits = m données + r contrôle

- L'ensemble des n bits est un **mot du code**

Distance de Hamming **d'un code** est d

=> d erreurs suffisent pour passer d'un mot à un autre

Détecter k erreurs nécessite une distance de Hamming de $d=k+1$

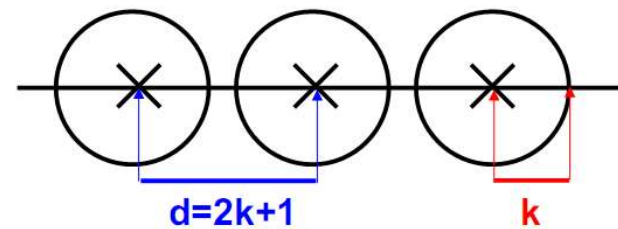


Corriger

Pour corriger k erreurs,
il faut que la distance de
Hamming soit d'au moins $d=2k+1$

Le nombre minimal de bits de contrôle r
permettant de corriger **une** erreur (où qu'elle soit)
doit vérifier: $(m+r+1) \leq 2^r$

Comme on connaît m , on peut trouver r .



CODES DETECTEURS

- bits de parité -

- Principe :

- On choisit une convention : parité paire ou impaire
- A chaque bloc de k bits on ajoute un bit tel que le nombre de 1 dans le bloc de $k+1$ bits respecte la convention de parité.

- Exemple :

- Soit le message 01011110. On choisit $k = 4$ et une *parité paire*
- Les deux blocs de 4 bits à coder sont donc 0101 et 1110
- Les deux blocs de 5 bits à transmettre sont donc 0101**0** et 1110**1**
- Le message transmis est alors 0101**0**1110**1**

- Propriétés :

- Le codage de parité permet de **détecter un nombre impair d'erreurs**
- Le codage de parité **ne permet pas de corriger les erreurs** détectées

CODES DETECTEURS

- bits de parité -

Parité longitudinale LRC (longitudinal Redundancy check) :

Pour chaque caractère, on fait la somme des bits à "1" et on ajoute un bit de redondance de parité qui peut prendre la valeur "0" ou "1" selon le type de parité utilisé.

On peut ajouter une **Parité Verticale VRC** (Vertical Redundancy check)

Exemple : donnée initiale codée sur 7 bits (ASCII) : "0011010"
parité paire : "00110101"
parité impaire : "00110100"

1	0	0	1	1	0	0	1
0	1	1	0	0	1	0	1
1	0	0	1	1	0	1	0

parité LRC et VRC paire

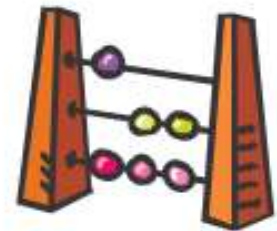
0	1	1	0	0	1	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

Suite d'éléments binaires émis :
01100110 10011010 01100101 10011001

CODES DETECTEURS

- CHECKSUM -

- Somme de contrôle de s bits (en général 8) calculée en additionnant les valeurs de blocs de b bits (en général 8) modulo 2^s



- Exemple : Checksum sur 1 octet $\rightarrow s = 8 \rightarrow 2^8 = 256$

– Message à transmettre : 011010100101010101010010

$$01101010 \ 01010101 \ 01010010 = 106 + 85 + 82 = 273$$

$$273 \text{ modulo } 256 = 17$$

– Message transmis : 01101010 01010101 01010010 00010001



Checksum (representant 17 en binaire)

CODES DETECTEURS

- CRC ou Codes polynomiaux -

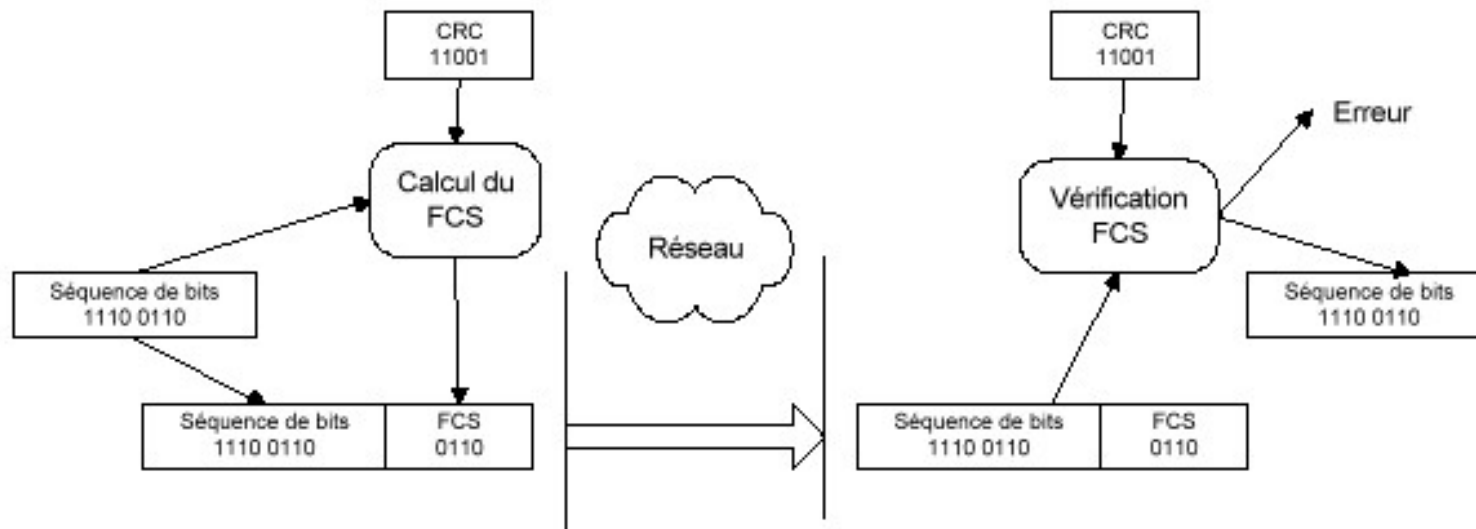
- s'applique sur une suite quelconques de bits
- détection des erreurs plus fiable,
- moins gourmand en ressources

Exemples: codes polynômes :

$$\text{CRC-12} = x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x^1 + x^0$$

$$\text{CRC-16} = x^{16} + x^{15} + x^2 + x^0$$

$$\text{CRC-CCITT} = x^{16} + x^{12} + x^5 + x^0$$



CODES DETECTEURS

- CRC ou Codes polynomiaux -

- On considère une suite de $n+1$ bits comme un **polynôme de degré n** où les coefficients ne peuvent prendre que les valeurs 0 ou 1.

– Exemple : $1001011 = x^6 + x^3 + x + 1 \longrightarrow \text{degré} = 6$

- L'addition et la soustraction de tels polynômes sont de simples Ou-Exclusifs

$$\begin{array}{rcllcl}
 101101 = & x^5 + & & x^3 + & x^2 + & & x^0 \\
 + \quad 1011 = & & & x^3 + & & x + & x^0 \\
 \hline
 100110 = & x^5 + & & & x^2 + & x &
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcllcl}
 101101 = & x^5 + & & x^3 + & x^2 + & & x^0 \\
 - \quad 1011 = & & & - x^3 & & - x & - x^0 \\
 \hline
 100110 = & x^5 + & & & x^2 + & x &
 \end{array}$$

CODES DETECTEURS

- CRC ou Codes polynomiaux -

- On choisit un **polynôme générateur** noté **G(x)** de degré d
 - CRC-12 $= x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x^1 + 1$
 - CRC-16 $= x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
 - CRC-CCITT $= x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$
 - CRC Eth. $= x^{32} + x^{26} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x$
- On ajoute au message M à transmettre un bloc **B0** de *d* bits à 0
- On effectue la **division de M.B0 par G(x)**, On obtient un reste R de *d* bits
 - L'opération de division est la division classique avec l'addition et la soustraction précédentes
- On transmet **M' = M.R**
- Si à l'arrivée on vérifie **M'(x)/G(x) = 0**, alors on considère qu'il n'y pas eu d'erreur.
- Un CRC de *d* bits permet de détecter :
 - Avec une probabilité de 1 la présence de paquets d'erreurs de longueur < d
 - Avec une probabilité de $(1 - 1/2^{d-1})$ la présence de paquets d'erreurs de longueur d
 - Avec une probabilité de $(1 - 1/2^d)$ la présence de paquets d'erreurs de longueur > d

CODES DETECTEURS

- exemple calcul du CRC -

a	b	a Xor b
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

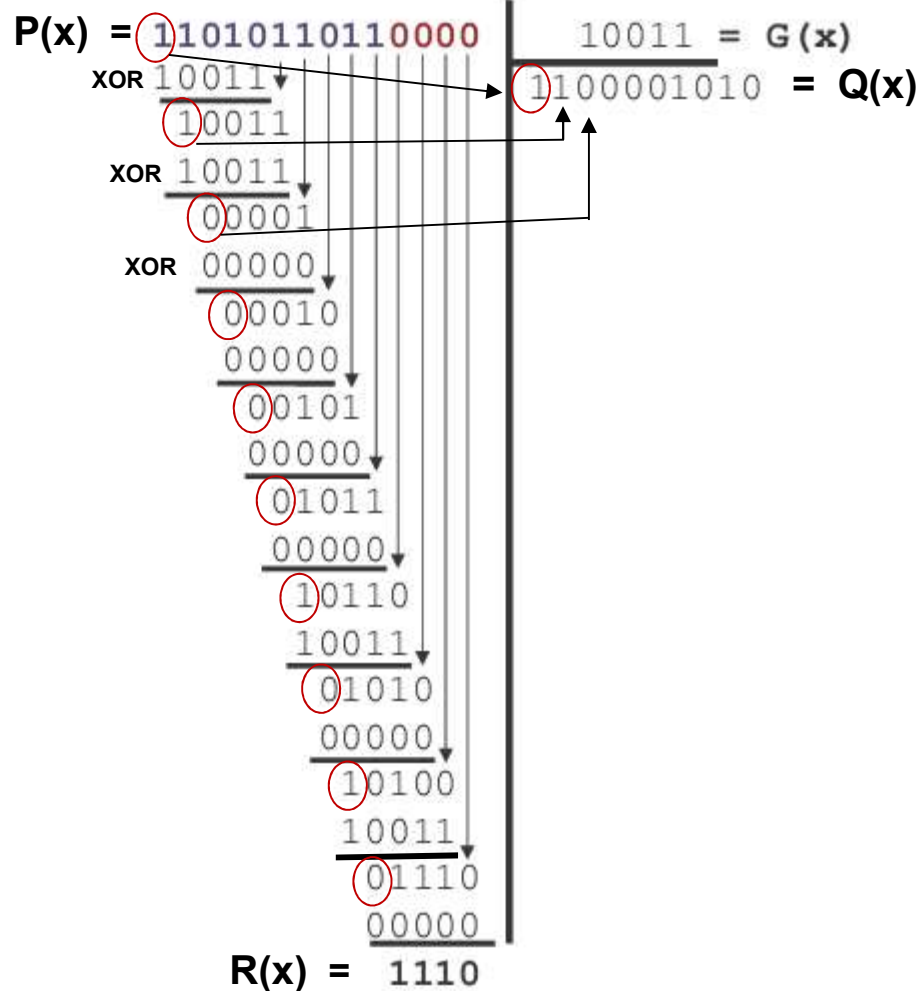
Exemple : CRC sur 4 bits

- $M = 1101011011$
- $P(x) = 11010110110000$
- $G(x) = x^4 + x + 1 = 10011$
- d (degré) = 4
- CRC = 1110

- Message transmis :

$$M'(x) = P(x) \cdot R(x)$$

$$M'(x) = 1101011011 \ 1110$$



CODES DETECTEURS

- checksum et CRC -

Problèmes :

Ces codes détectent les erreurs mais :

- ne les localisent pas
- ne les corrigent pas !!

Solutions :

1. L'émetteur numérote les blocs de données à transmettre
2. Le destinataire acquitte les blocs reçus
3. L'émetteur retransmet les blocs erronés

Rôle du protocole de communication entre l'émetteur et le destinataire