

Cours **Réseaux**

UFR de Mathématiques et Informatique
Licence 3 Informatique
Semestre 5

Prof. Ahmed Mehaoua
Ahmed.mehaoua@u-paris.fr

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

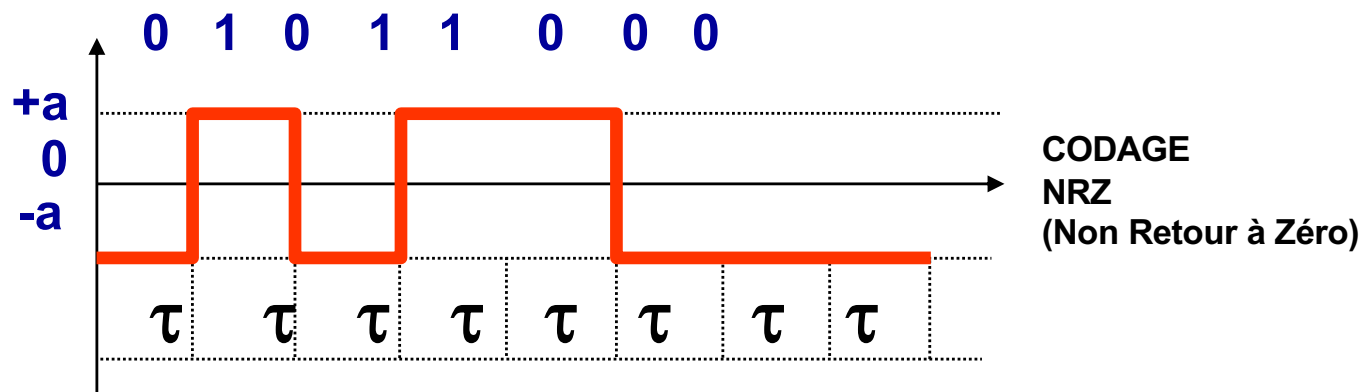
Plan

- ☐ PRINCIPES DE LA COUCHE PHYSIQUE
- ☐ TYPES D'INFOS ET CODAGE SOURCE
- ☐ TYPES DE TRANSMISSION ET CODAGE CANAL
- ☐ CARACTERISTIQUES D'UN CANAL :
 - ☐ DEBIT
 - ☐ DELAIS DE TRANSMISSION
 - ☐ TAUX D'ERREURS
- ☐ CODES CORRECTEURS DES ERREURS

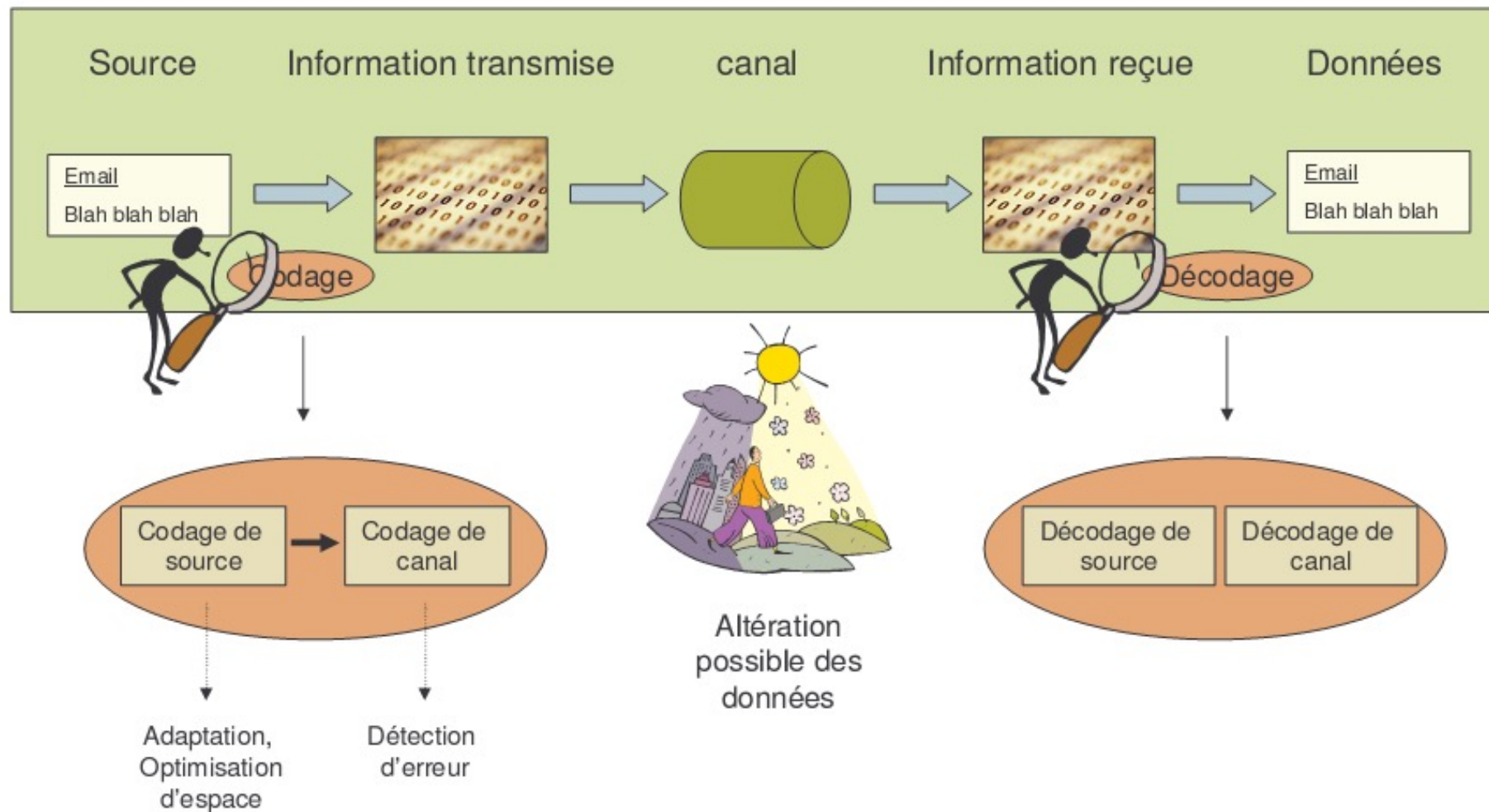
La couche physique

Fonction

- **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 → -a** et **1 → +a**



TRANSMISSION DE DONNEES



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.

Exemples:

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

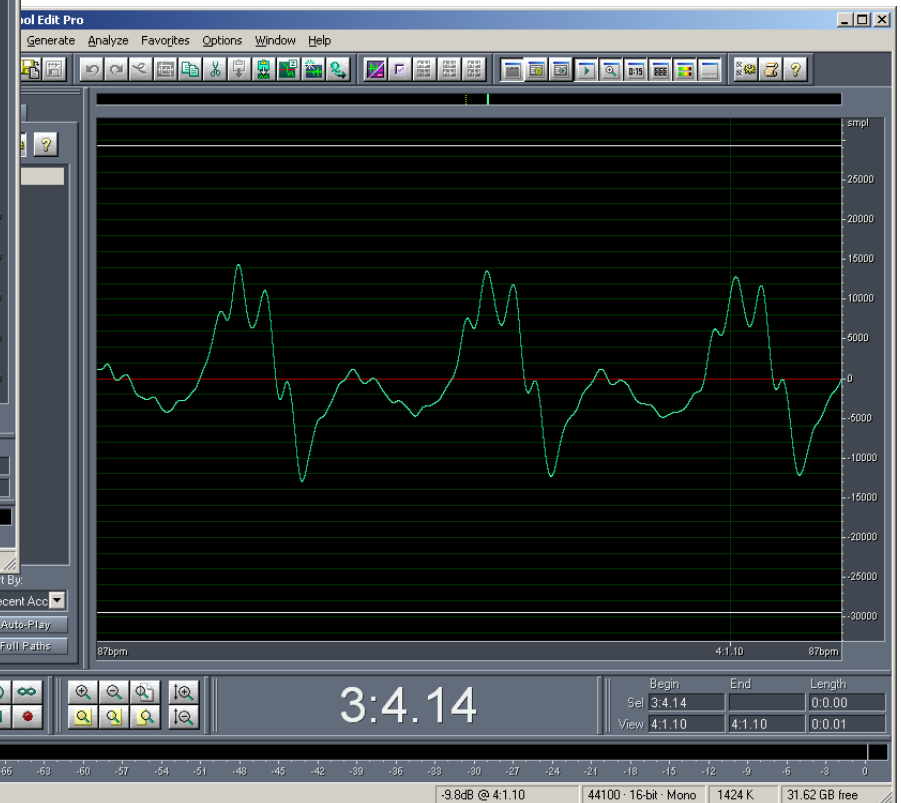
poids forts

	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	\	l	ù
1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1110	SO	RS	.	>	N	^	n	≈
1111	SI	US	/	?	O	<--	o	DEL

poids faibles

Code ASCII 7 bits

Signal Audio Analogique



Images numériques

■ Image N&B

- ▶ Usually we use 256 levels for each pixel. Thus we need 8bits to represent each pixel ($2^8 == 256$)
- ▶ Some images use more bits per pixel, for example MRI images could use 16bits per pixel.



**A 8bit grayscale
Image.**

Images numériques Couleurs



Image originale



R



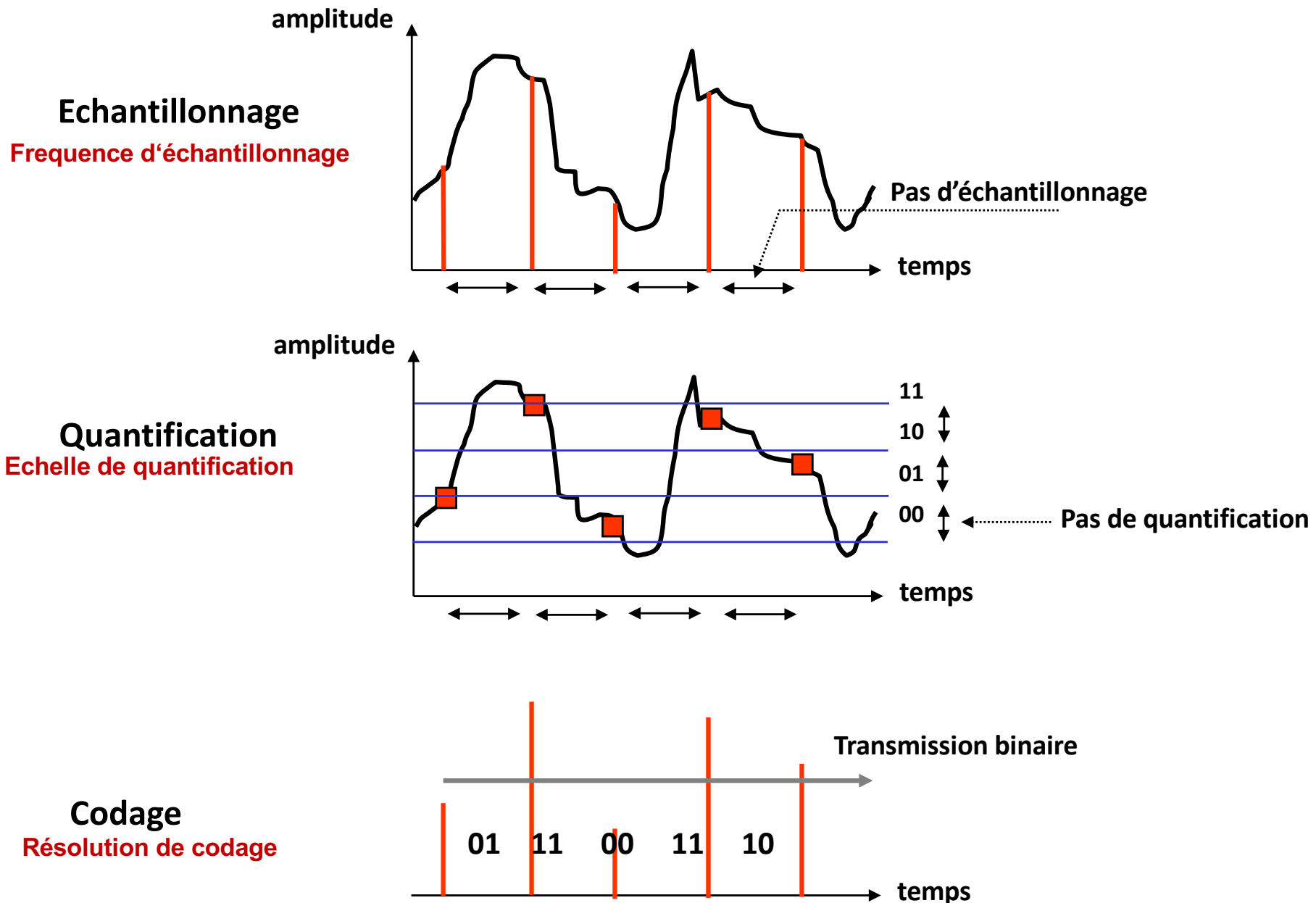
G



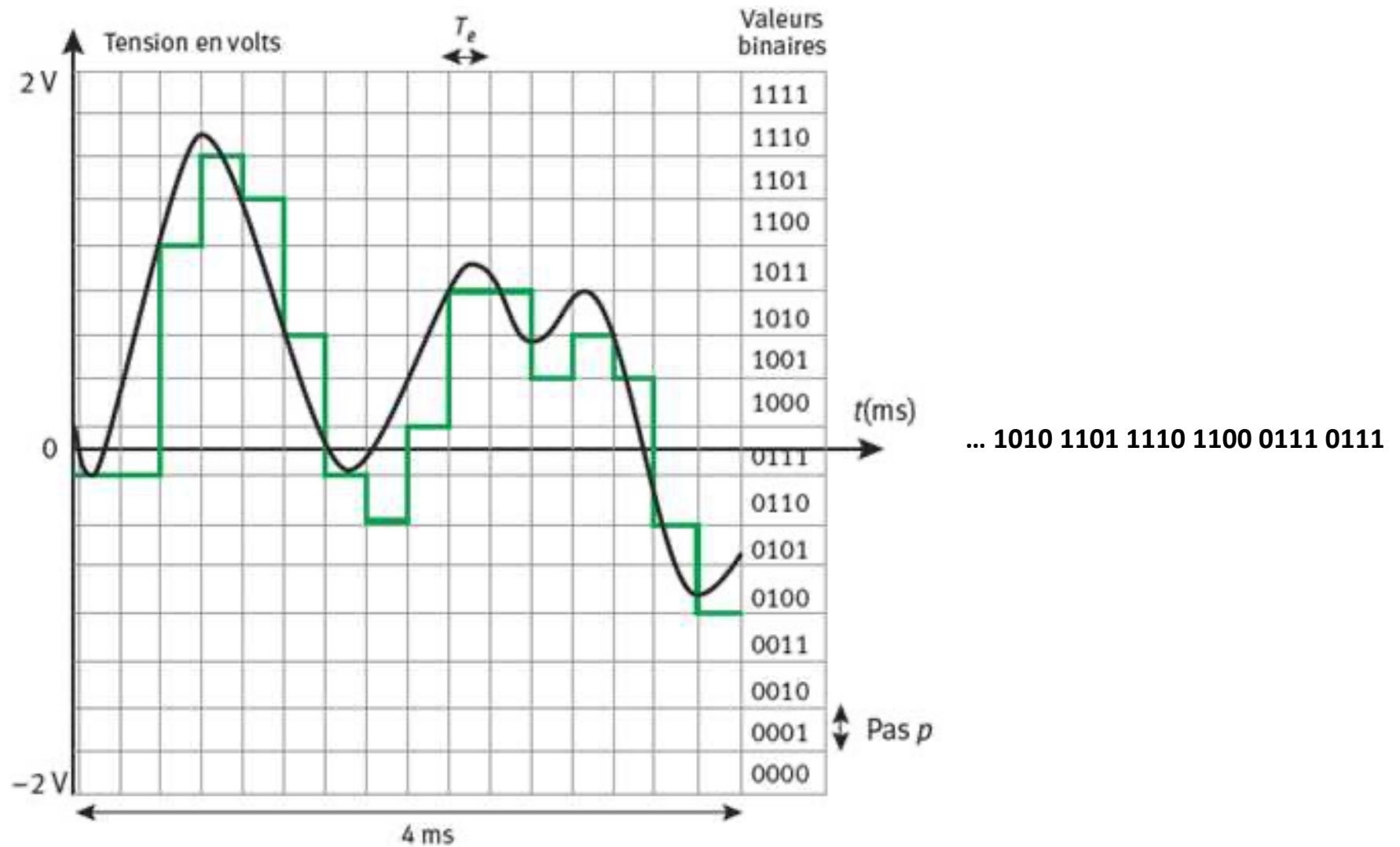
B

Codage source : **La numérisation**

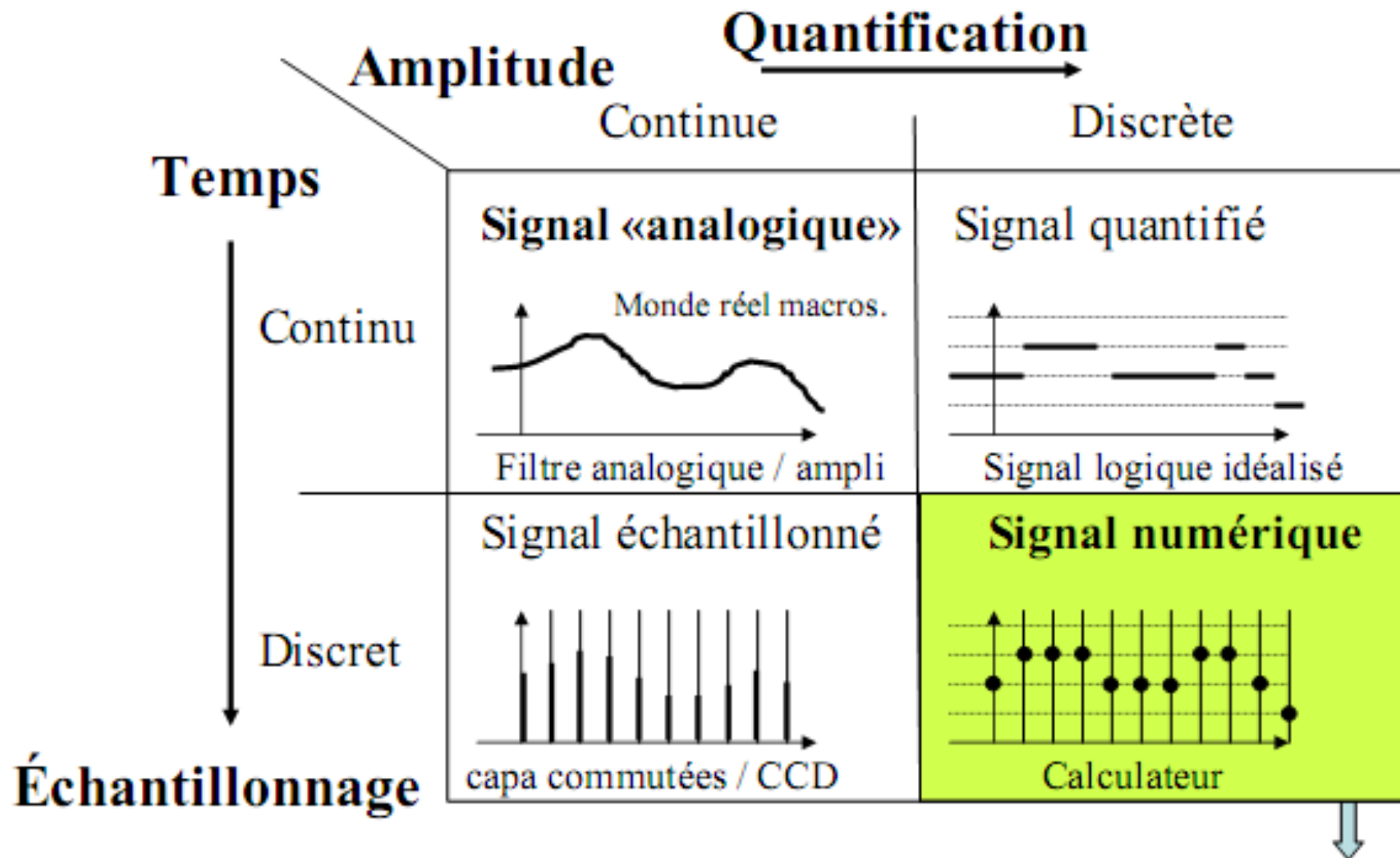
MIC: Modulation par Impulsion et Codage



Numérisation d'un signal



Conversion signal Analogique -> Numérique



Shannon/Nyquist Theorem

- The necessary condition of reconstructing a continuous Analog signal from the Digital sampling version is that the sampling frequency (in Hertz unit, named Hz):

$$f_s > 2f_{\max}$$

f_{\max} is the highest frequency component in the signal.

- If a signal's frequency components are restricted in $[f_1, f_2]$, we need **$f_s > 2(f_2 - f_1)$** .

Digitalization of voice and audio signals

Questions ?

- What is the f_s for sampling voice “telephony” signal if the bandwidth is [300, 4000 Hz] ?

■ Answer

- What is the f_s for sampling audio “music” signal if the bandwidth is [50, 22 050 Hz] ?

■ Answer

Digital Audio/Voice bit rates

Questions ?

- What is the bit rate (bit/s) of a digital voice signal with a BW of 4 KHz, and a sampling coding resolution of 8 bits?

■ Answer

- What is the bit rate (bit/s) of a digital stereo audio signal with BW of 22 050 Hz and a sampling coding resolution of 16 bits (CD audio) ?

■ Answer

Codage source : **La numérisation**

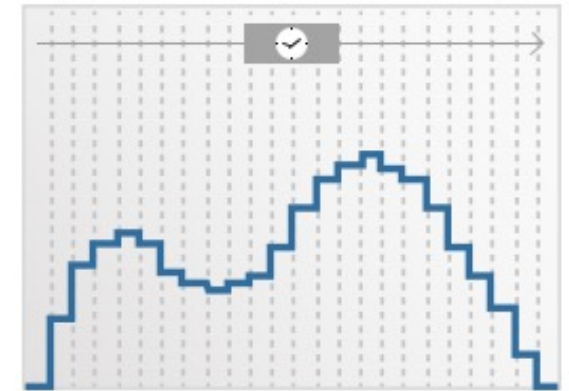
Frequence d'échantillonnage vs Echelle de quantification
Audio Qualité CD vs Qualité Studio



Original analog recording



CD: 16bit/44.1kHz

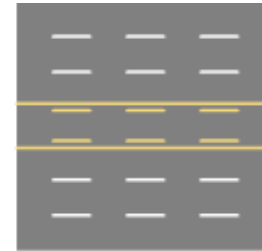


High-Resolution Audio: 24bit/192kHz

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.

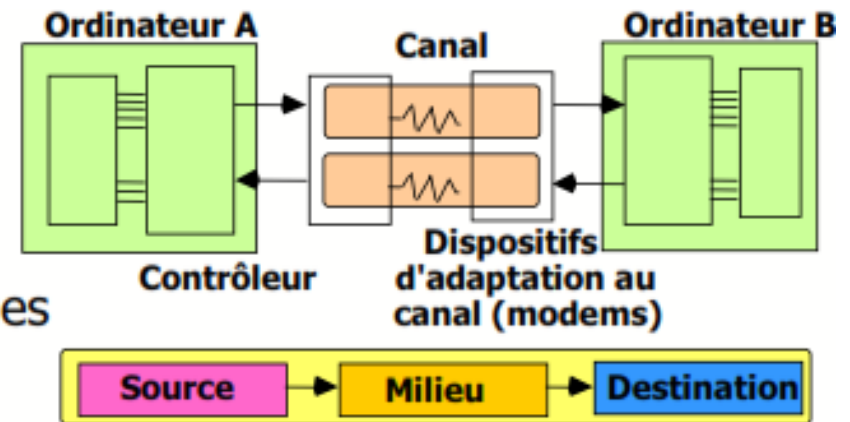


Le canal de communication

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

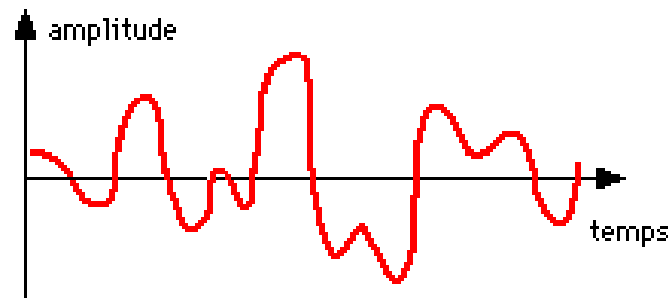
Rapport	1	1,26	1,6	2	2,5	~3,2	4	5	10
ou		$\approx \frac{5}{4}$	$\approx \frac{8}{5}$		$\approx \frac{5}{2}$	$\sqrt{10}$	2^2		
dB	0	1	2	3	4	5	6	7	10

- **L'atténuation d'un signal:**

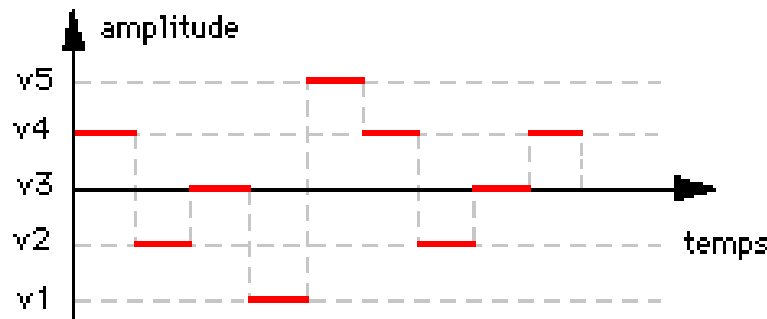
Atténuation ou affaiblissement est la diminution de l'amplitude ou de la puissance d'une onde ou d'un signal au cours de sa transmission. On la quantifie par le rapport entre leur grandeur à la sortie par celui à l'entrée de la section considérée. Ce rapport s'exprime en décibels.

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.



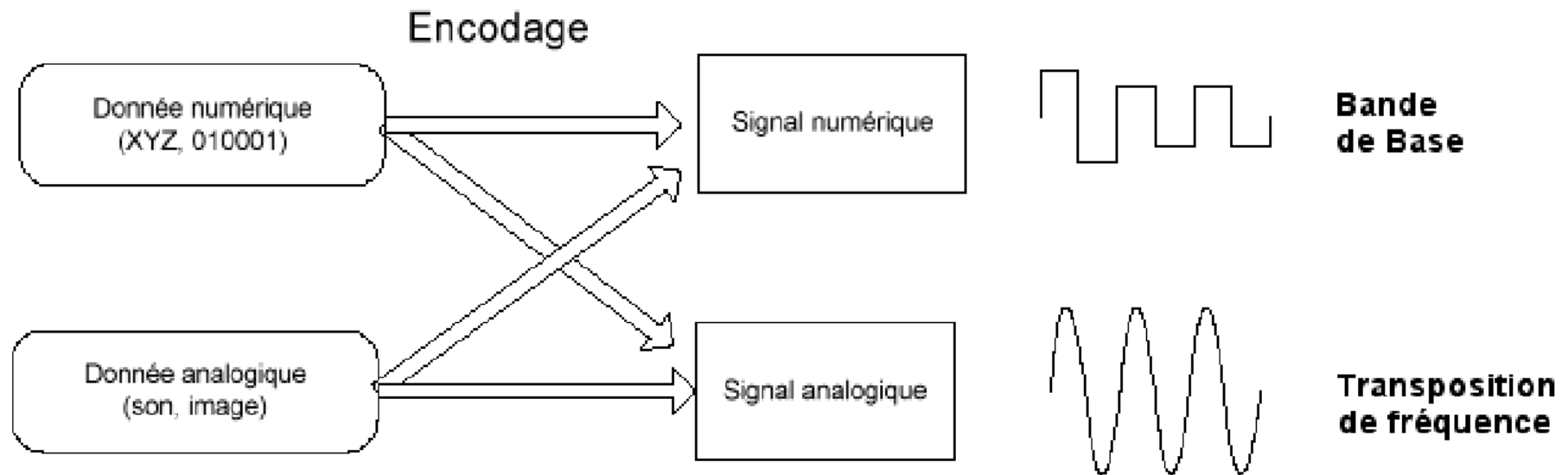
- **Transmission numérique**: un signal **numérique** varie à des instants déterminés (discontinue) dans le temps et ne peut prendre que des valeurs distinctes dans un ensemble fini.



- **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 3G/4G ou Internet)
- Information **Numérique** – Transmission **Analogique** (données ordinateur sur RTCP via modem)
- Information **Numérique** – Transmission **Numérique** (données ordinateur sur LAN ou Internet)

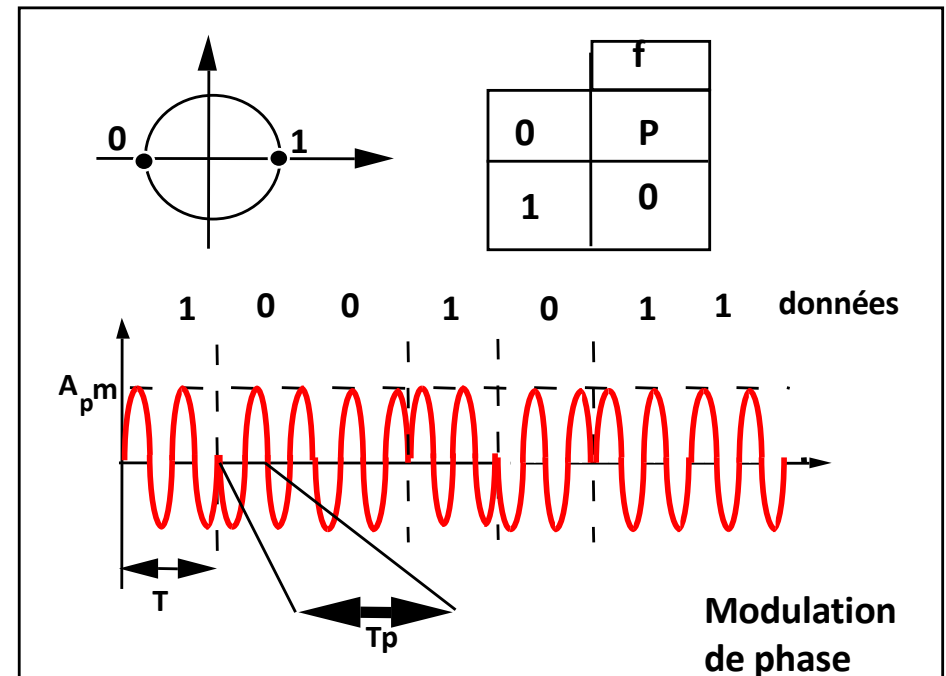
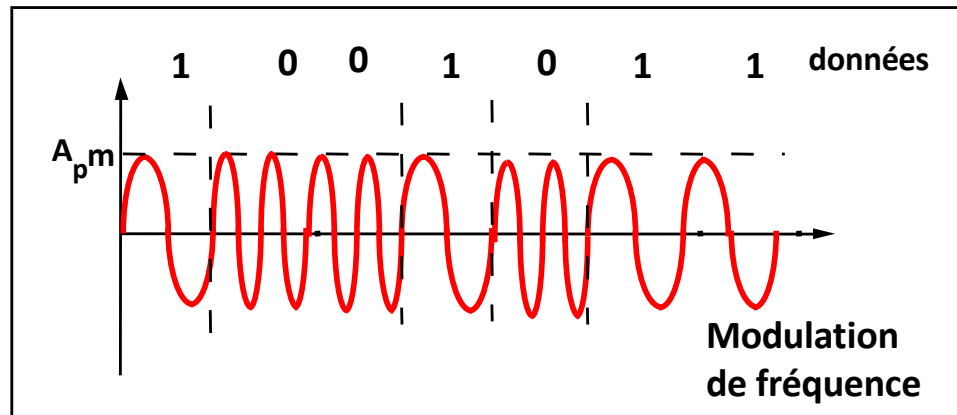
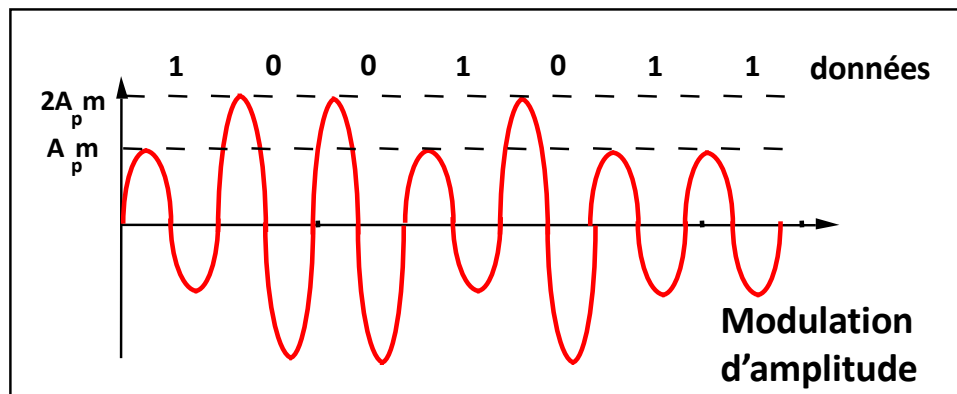


Transmission analogique

- Un signal est caractérisé par :
 - son amplitude A , sa fréquence f et sa phase Φ , tel que:
 - $y(t) = A \sin(2\pi ft + \Phi)$ 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

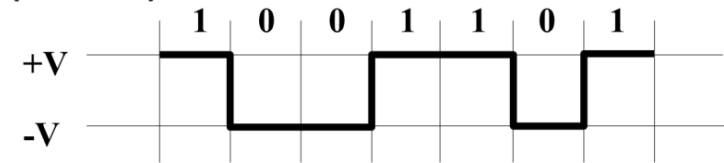


Modem (modulateur-démodulateur) entre l'ordinateur (numérique) et le système téléphonique (analogique)

Transmission numérique

- Codage unipolaire sans retour à zéro (NRZ)

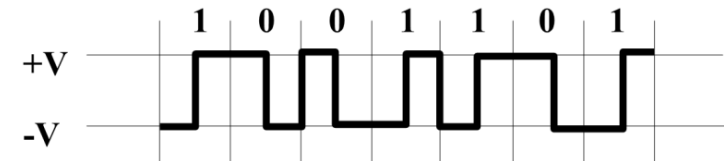
- Machine (horloge)



- Codage **Manchester** (simple)

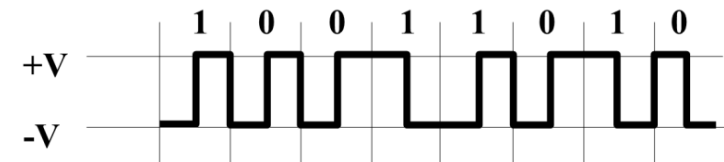
- Inclus le signal d'horloge

- $\frac{1}{2}$ 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

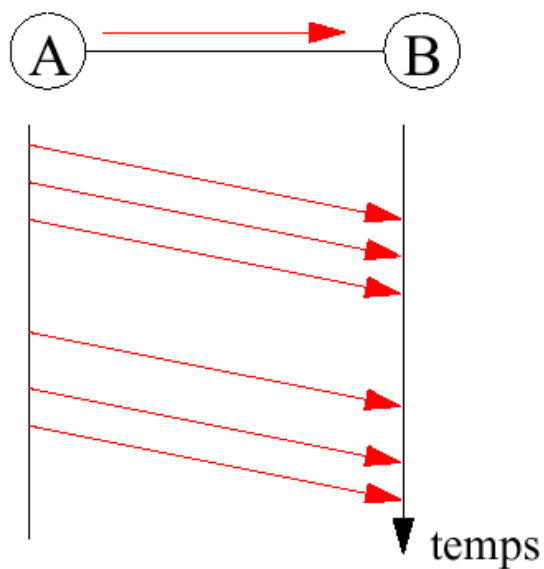


Transmission de données

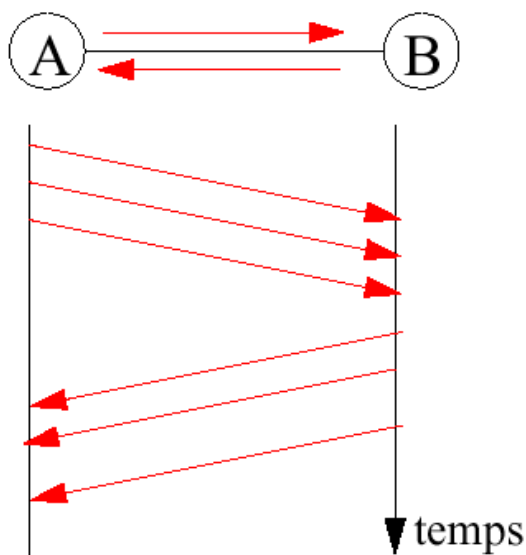
mode d'échange

Unidirectionnel (simplex)

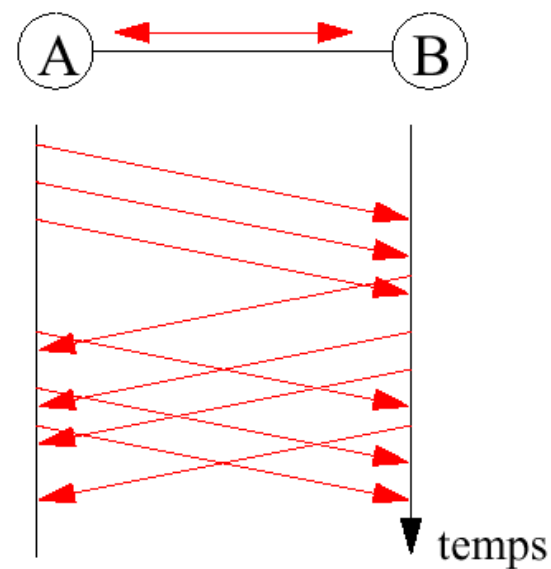
- Bidirectionnel à l'alternat (half-duplex)
- Bi-directionnel (full-duplex)



Simplex



Half-duplex

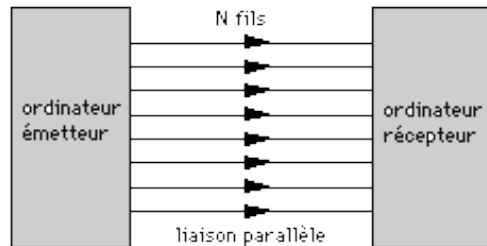


Full-duplex

Transmission de données

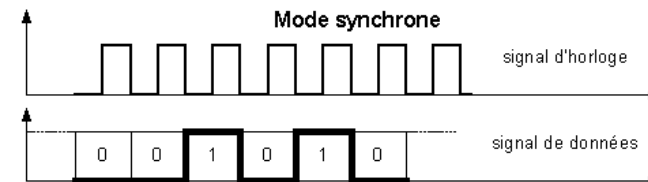
Transmission parallèle

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



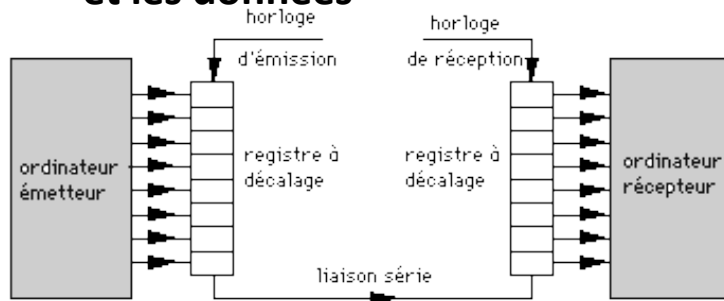
Transmission synchrone

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



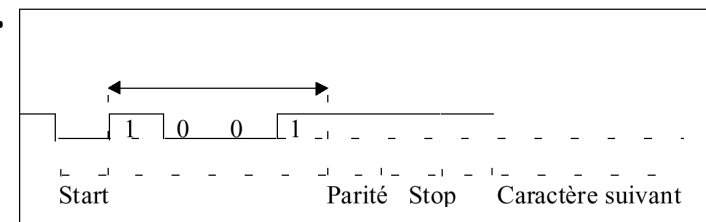
Transmission série

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



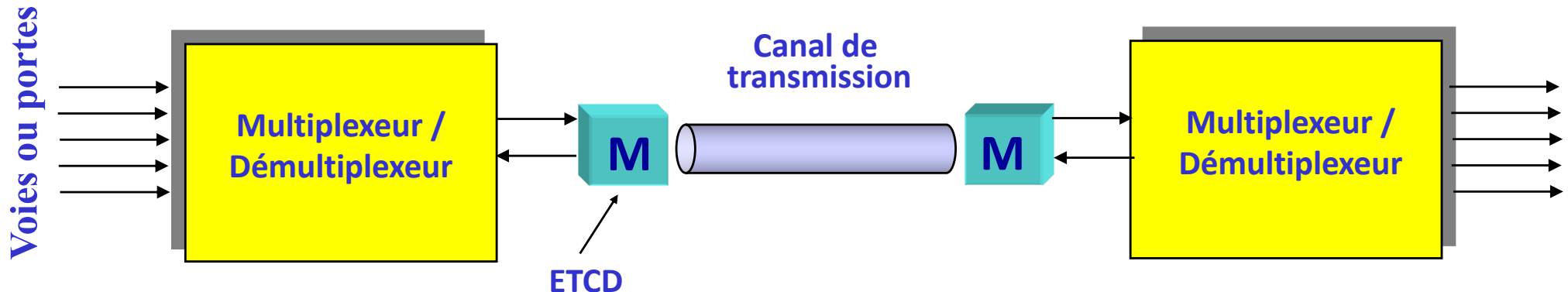
Transmission asynchrone

Chaque caractère est émis de façon irrégulière dans le temps.



Multiplexage

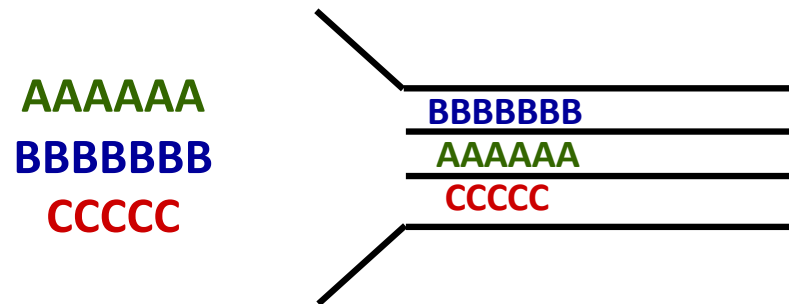
- **Objectif :**
 - Optimiser l'usage des canaux de transmission
 - ➔ transit simultané d'un maximum d'informations
- **Principe :**
 - Traiter le signal pour concentrer des flux d'origines diverses sous forme d'un signal composite unique
 - ➔ signal multiplex
- **3 techniques :**
 - Multiplexage fréquentiel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



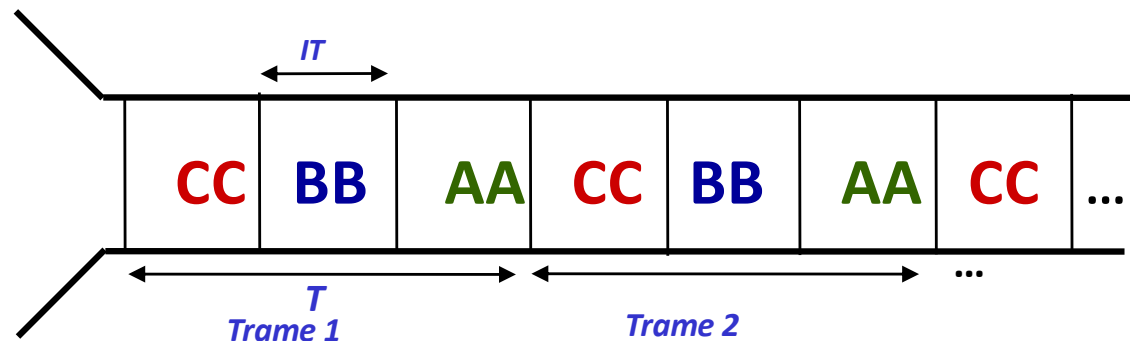
- Multiplexage temporel

- 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: BBBB BBB

Voie 3: CCCCC

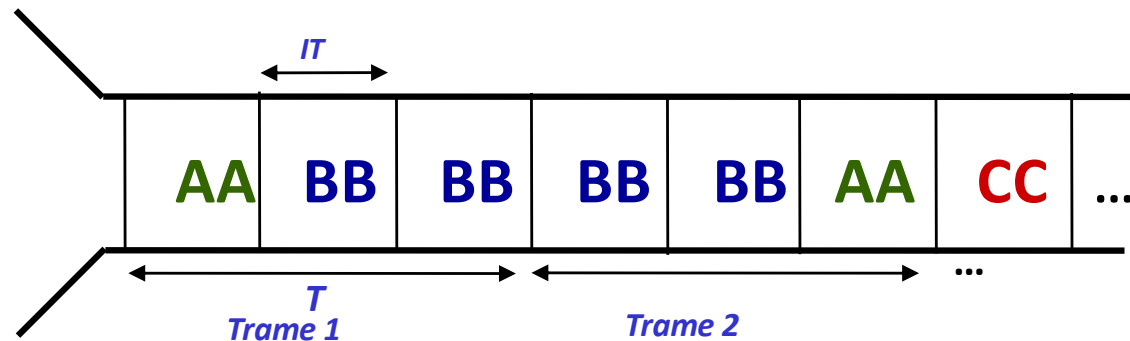


Multiplexage: Temporel statistique

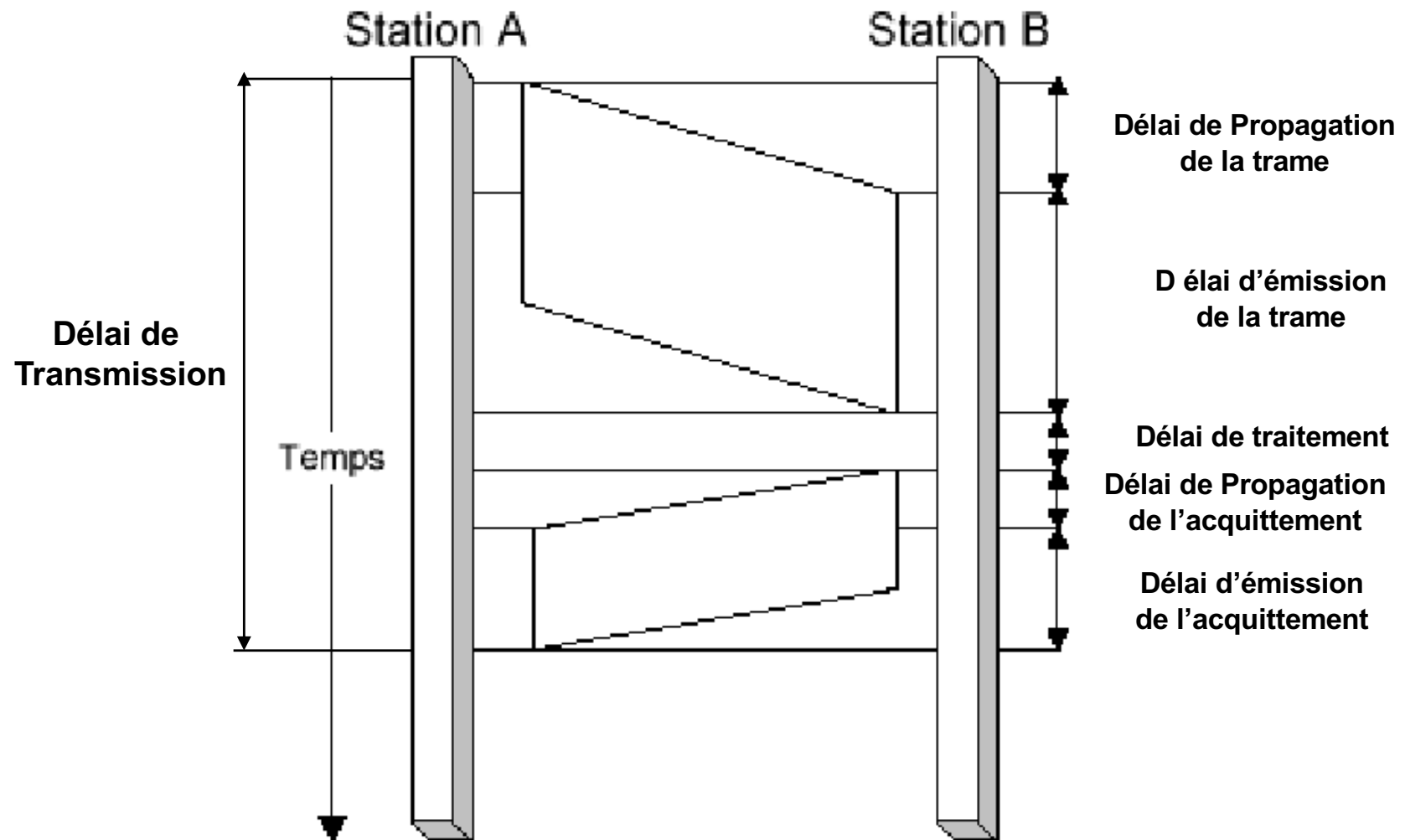
- Multiplexage temporel statistique

- 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 :

- | | |
|---|--|
| • C: Capacité/Débit de la ligne (bit/s) | d: distance de propagation (m) |
| • L: Longueur de la trame (bits) | L' : Longueur de l'acquittement (bits) |
| • V : vitesse du support (m/s) | |

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	= $2T_p + L'/C$

Efficacité d'un protocole	= 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, ...**

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 : “0011010**1**”
parité impaire : “0011010**0**”

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 -

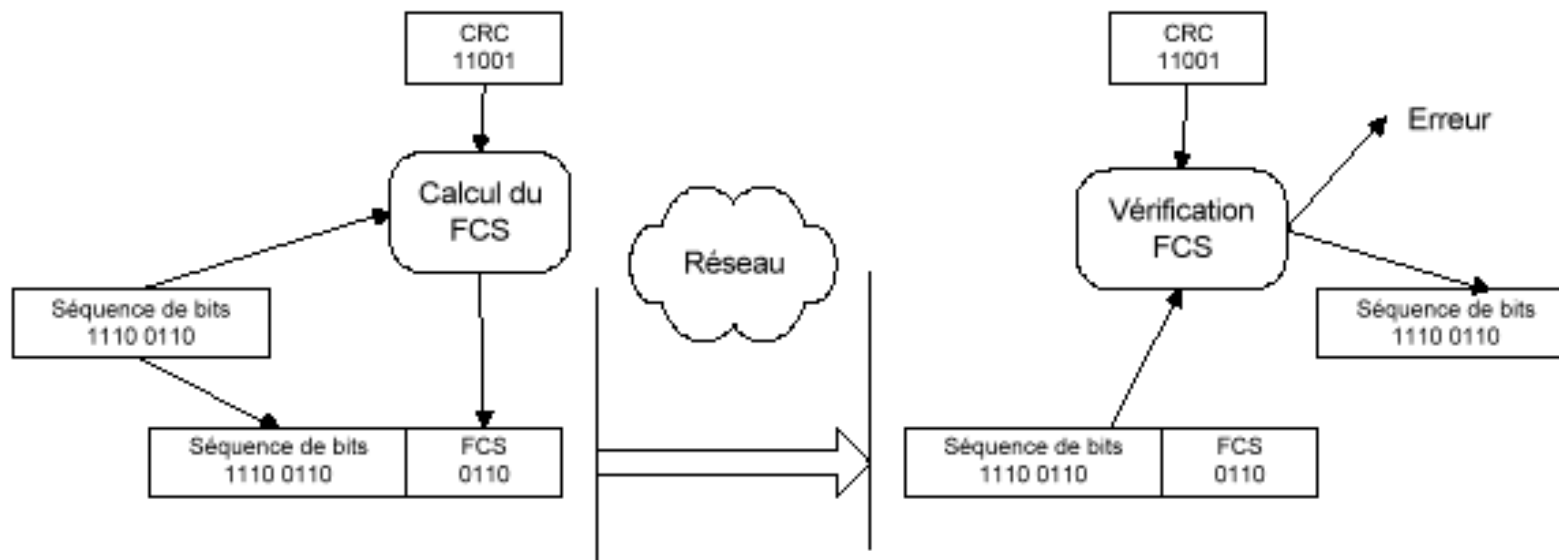
- s'applique sur une suite quelconques de bits
- détection des erreurs plus fiable,
- moins gourmand en ressources

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

$$\begin{array}{rcl}
 101101 & = & x^5 + \\
 + 1011 & = & x^3 + \\
 \hline
 100110 & = & x^5 +
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 101101 & = & x^5 + \\
 - 1011 & = & - x^3 \\
 \hline
 100110 & = & x^5 +
 \end{array}$$

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

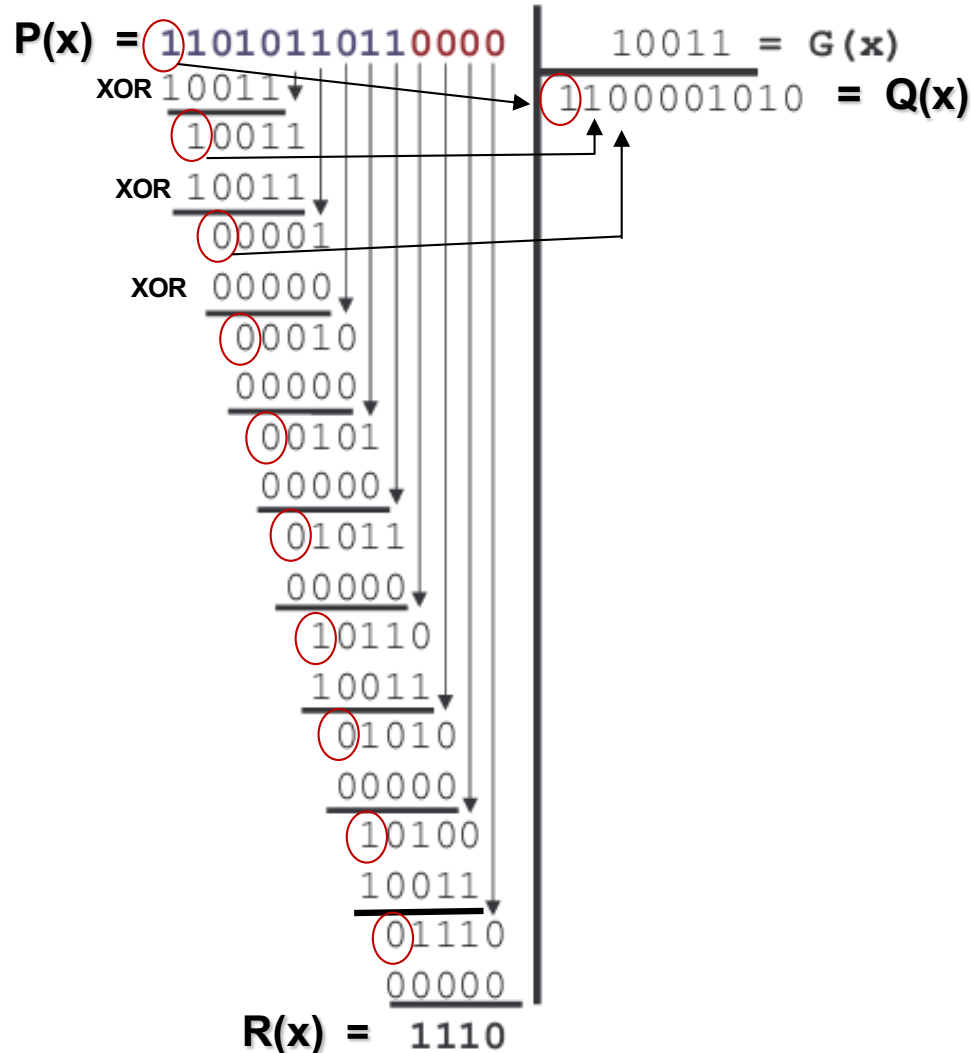
Exemple : CRC sur 4 bits

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

- Message transmis :

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

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



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