

## Chapitre 2 : Techniques de transmission

/site/w3e/WWW/www-new/htdocs/armor/lesmembres/cousin/Enseignement/Reseaux-generalites/Cours/2.fm - 1 juin 2001 18:29

### Plan

- 1. Introduction p37
- 2. Phénomènes caractérisant les supports de communication p38
- 3. Éléments intervenant dans la transmission p43
- 4. Modulation p45
- 5. Le Codage p51
- 6. Conclusion p68

### Bibliographie

- A.Tanenbaum, Réseaux, InterEditions, 1997.
- H. Nussbaumer, Téléinformatique - tome 1, Presses polytechniques romandes, 1987.
- C. Macchi, J-F.Guibert, Téléinformatique, Dunod, 1983.
- S. Pierre, M. Couture, Télécommunications et transmission de données, Eyrolles, 1993.
- A. Glavieux, M. Joindot, Communications numériques, Masson, 1996.

## 1. Introduction

Les supports de communication ne sont pas parfaits.

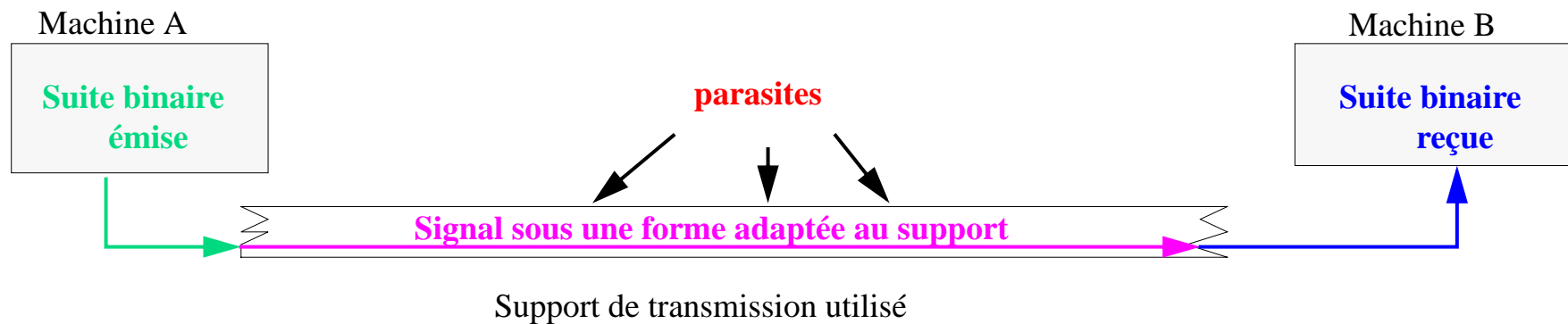
- les principaux phénomènes : affaiblissement, déphasage, bruits.

Les défauts du support limitent la transmission (**débit** et **étendue**)

==> Adapter les techniques de transmission aux caractéristiques du support !

Deux grandes techniques de transmission :

- transposition en fréquence (modulation en fréquence, amplitude ou phase)
- en bande de base : codes de transmission de données

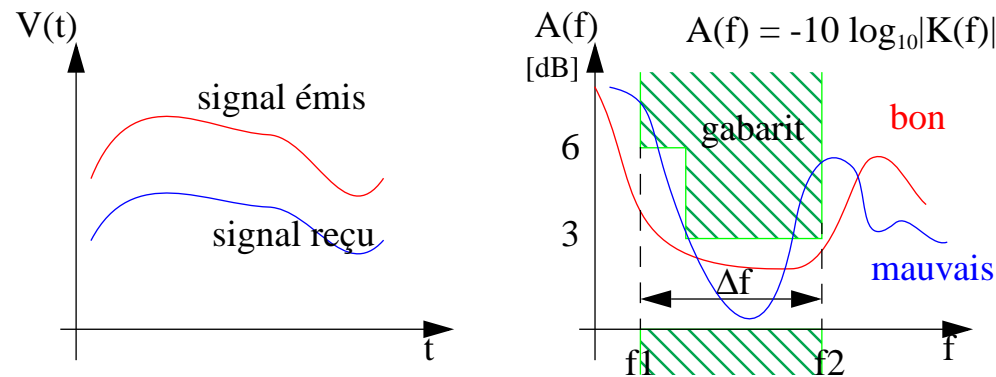


## 2. Phénomènes caractérisant les supports de communication

### 2.1. Affaiblissement

Transformation de l'amplitude du signal :  $V e^{2i\pi f t} \rightarrow |K(f)| \cdot V e^{2i\pi f t}$

- analyse temporelle et fréquentielle d'un signal transmis (spectre fréquentiel) :



L'affaiblissement croît plus vite que la distance

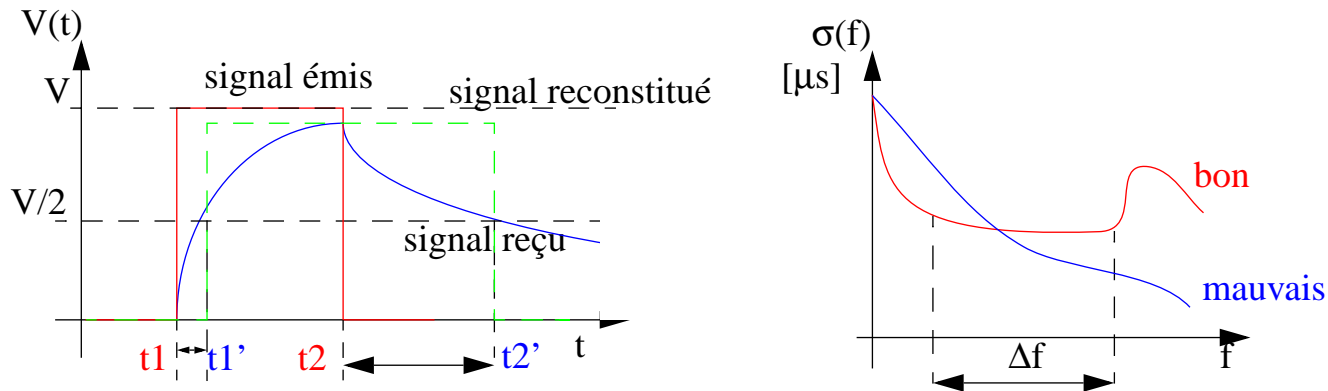
- amplificateur de signal dans la liaison (de gain  $1/|K(f)|$ )

L'affaiblissement varie en fonction de la fréquence :

- ex : proportionnel à  $\sqrt{f}$  sur les paires métalliques
- utilisation du support dans la plage de fréquence où l'affaiblissement est constant :
  - . la largeur de la bande passante du support ( $\Delta f = f_2 - f_1$ ) !

## 2.2. Le déphasage

Déformation de la phase du signal :  $V e^{2i\Pi f t} \rightarrow V e^{2i\Pi f t - i\phi(f)}$



Le déphasage varie en fonction de la fréquence !

- temps de propagation de groupe  $\sigma(f) = 1/2\Pi \cdot d\Phi(f)/df$
- détection difficile des instants significatifs (l'horloge) :  $t_1' - t_1 \neq t_2' - t_2$
- utilisation d'une plage de fréquence où le déphasage est constant

### 2.3. Les phénomènes perturbateurs

Bruit blanc : agitation thermique,

- de faible puissance,
- sur une large plage de fréquences.

Bruit impulsif : organes électromécaniques, microcoupures

- forte puissance,
- durée faible,
- peu présent dans les réseaux numériques.

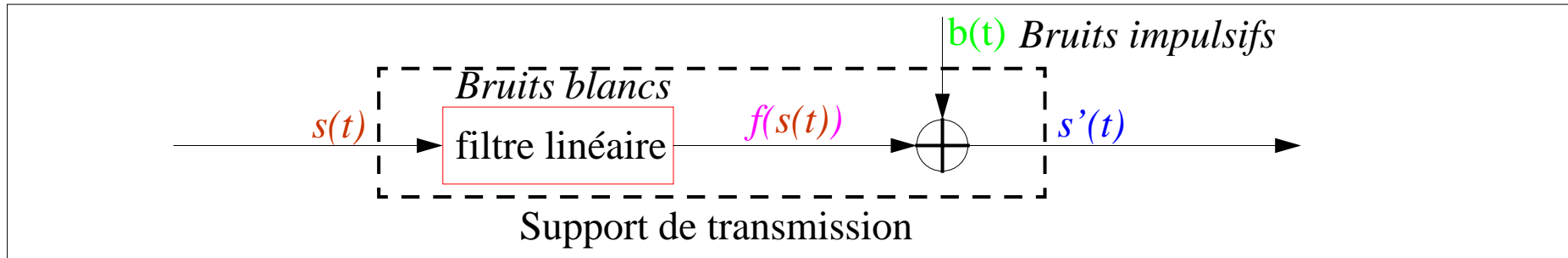
Diaphonie : couplage parasite entre lignes voisines - influence électromagnétique

- placement des câbles, blindage, fibre optique !

Echo : réflexion du signal due à une désadaptation d'impédance

- supprimeur d'écho.
- ex : câblage téléphonique 4 fils/2 fils

## 2.4. Modélisation du support de transmission



La **bande passante** d'un support de communication correspond à la plage de fréquences où il présente les meilleures caractéristiques de transmission.

- où le gain est non nul ! (gain = 1/affaiblissement)
- malheureusement en général le gain n'est jamais tout-à-fait nul !

La bande passante à  $n$  décibels (**dB**) est la plage de fréquences dans laquelle le rapport S/B (appelé le **rapport signal sur bruit**) vérifie :

$$- S/B = 10 \log_{10}(P_s/P_b) \leq n \text{ dB},$$

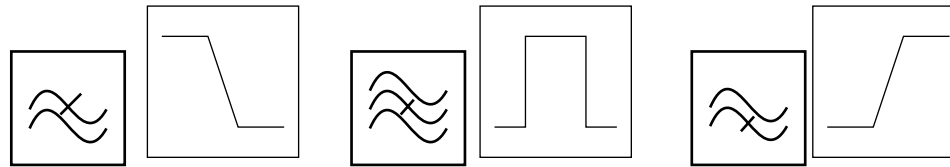
où  $P_s$  est la puissance du signal et  $P_b$  est la puissance du bruit.

Tableau 1 : quelques valeurs approchées en décibel

x	1/4	1/2	1	2	4	10	100	1000
$10 \log x$ (db)	-6	-3	0	3	6	10	20	30

Trois principaux types de filtres :

- filtres **passe-bas**,
- filtres **passe-bande**
- et filtres **passe-haut**.



La formule de *Shannon* [1948]

- donne le **débit théorique maximum** d'un support soumis à du bruit :

$$D = W \cdot \log_2(1 + P_s/P_b)$$

- . où D est exprimé en bit/s
- . W, exprimé en Hertz (Hz), représente la bande passante du support,
- . Ps la puissance du signal et Pb la puissance du bruit, est obtenu à l'aide du rapport signal sur bruit exprimé en décibel.

Exemple : le débit maximum théorique d'une ligne téléphonique [300 à 3400 Hz] admettant un rapport signal sur bruit de 30 dB est de :  $(3400-300) \cdot \log_2(1+10^{30/10}) = \pm 30$  Kbit/s

### 3. Éléments intervenant dans la transmission

#### 3.1. Les principaux éléments

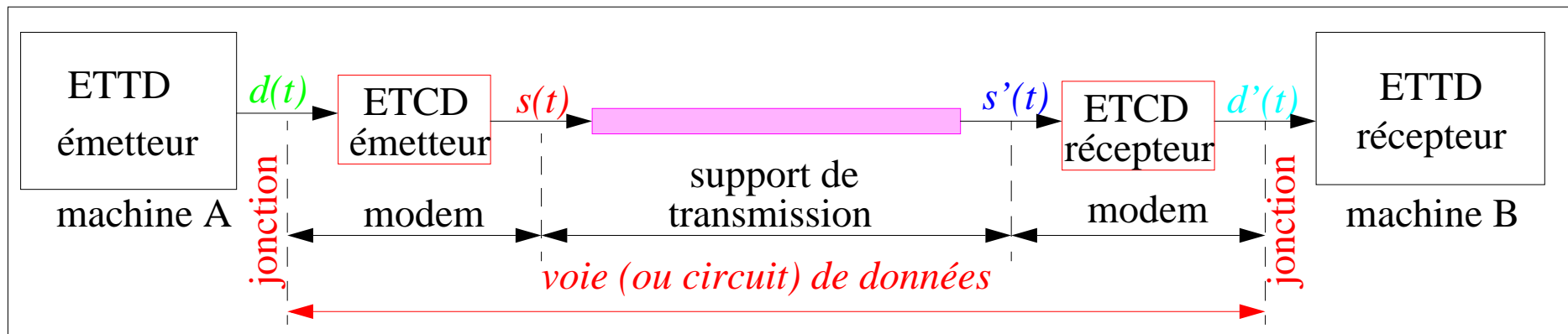
L'ETCD (équipement terminal de communication de données)

- équipement spécifique chargé d'adapter les données à transmettre au support de communication

L'ETTD (équipement terminal de traitement de données)

- l'ordinateur !

Le support de transmission



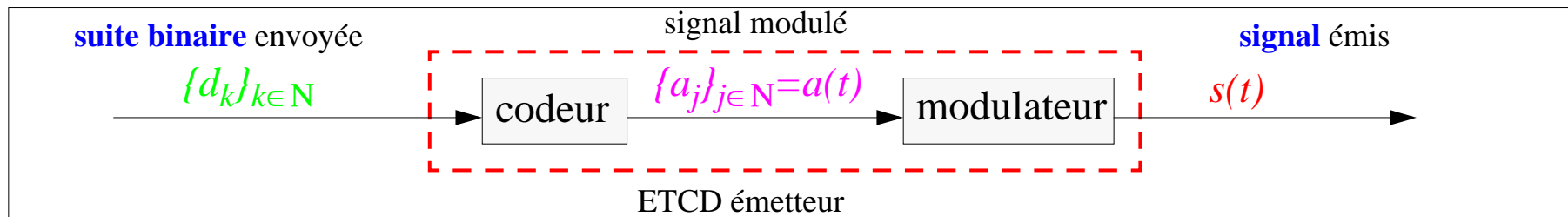


### 3.2. Fonctions de l'ETCD

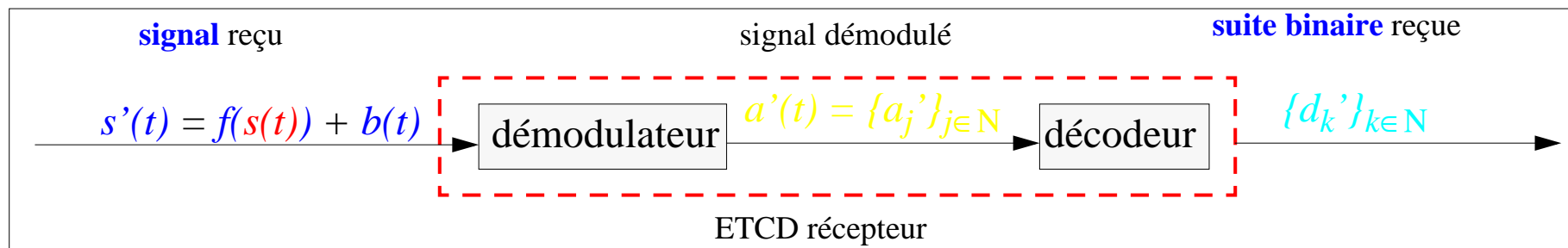
Deux transformations fondamentales sont définies :

- le **codage** : bits  $\rightarrow$  symboles
- la **modulation** : symboles  $\rightarrow$  signal
  - . les symboles peuvent être une fonction continue ou une suite de valeurs
  - . la transformation appliquée peut être très simple (pour le codage en BdB)

A l'émission



A la réception



## 4. Modulation

Le **modulateur** transforme un signal initial quelconque  $a(t)$  en un signal  $s(t)$  adapté au support de communication employé.

Le signal  $s(t)$  est obtenu en faisant varier les paramètres d'une onde généralement sinusoïdale

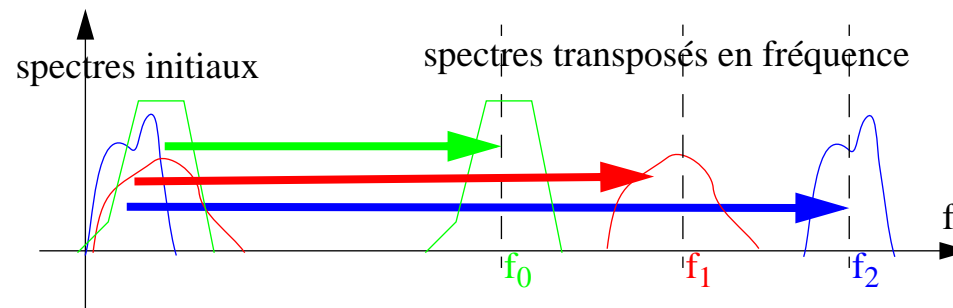
- $s(t) = A \cos(2 \pi f t - \Phi)$ .

- . le signal sinusoïdal est centré autour d'une fréquence  $f_0$  appelée onde de référence ou **porteuse**

Trois types élémentaires de modulation par **transposition en fréquence**:

- . **modulation d'amplitude** (lorsque les variations portent sur  $A$ )
- . **modulation de fréquence** (lorsque les variations portent sur  $f$ )
- . **modulation de phase** (lorsque les variations portent sur  $\Phi$ )

La transposition en fréquence autorise le multiplexage temporel :



Lorsque la fonction de modulation existe la transmission est dite **analogique**. En fait de ce cas, on a une transformation d'une fonction continue en une autre fonction continue.

La transmission est dite en **bande de base** lorsque le signal ne subit pas (peu) de transposition en fréquence. Dans ce cas, le signal présente souvent un aspect rectangulaire car la fonction de modulation simple utilisée est rectangulaire.

On peut transformer une fonction discrète  $\{d_k\}$  en fonction continue  $d(t)$  à l'aide de la relation suivante :

$$d(t) = \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} d_k \cdot R_T(t - kT - \tau_0)$$

$\tau_0$  étant l'instant initial, la rapidité de modulation étant  $1/T$  et  $R_T(t)$  étant la fonction rectangulaire sur l'intervalle  $[0, T]$  définit ainsi :

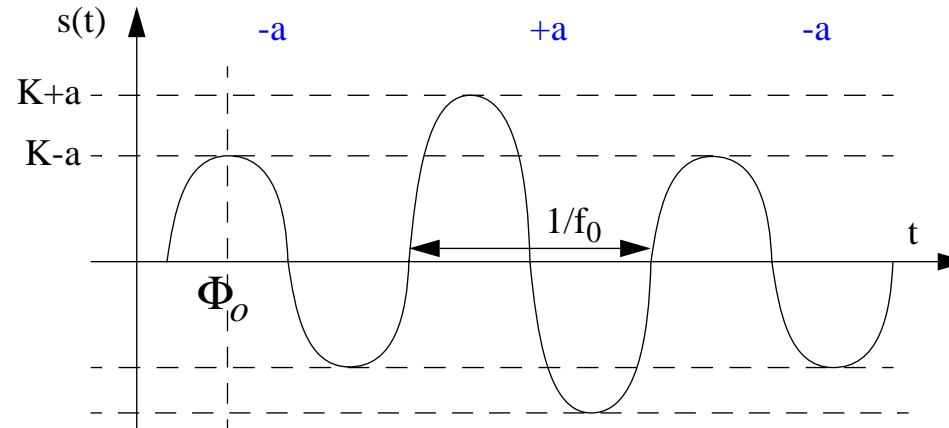
$$R(t) = \begin{cases} 1, & t \in [0, T] \\ 0, & t \notin [0, T] \end{cases}$$

Par abus de langage, on parle de **transmission numérique** lorsque une fonction discrète (suite binaire) est transformée en fonction continue lors de l'émission et réciproquement lors de la réception.

## 4.1. Modulation d'amplitude

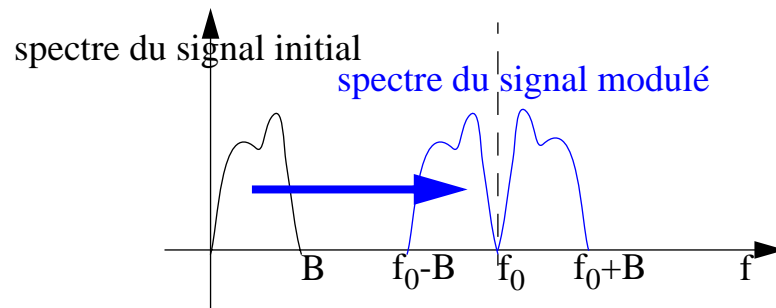
Signal :  $s(t) = A(t) \cos(2 \pi f_o t - \Phi_o)$

- avec  $A(t) = K + a(t)$  et  $a(t) \in \{-a, +a\} \dots$  ou  $a(t) \in [-a, +a] !$

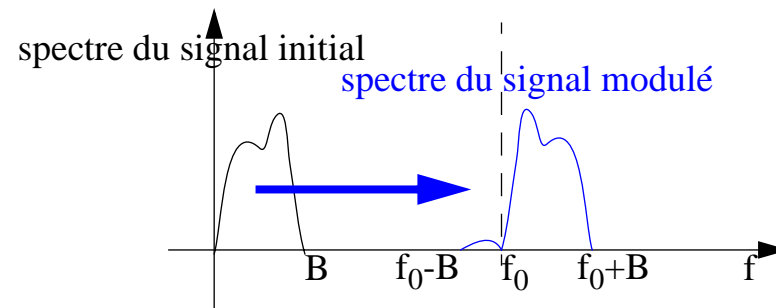


Technique électroniquement simple mais sensible au bruit.

Modulation en double bande



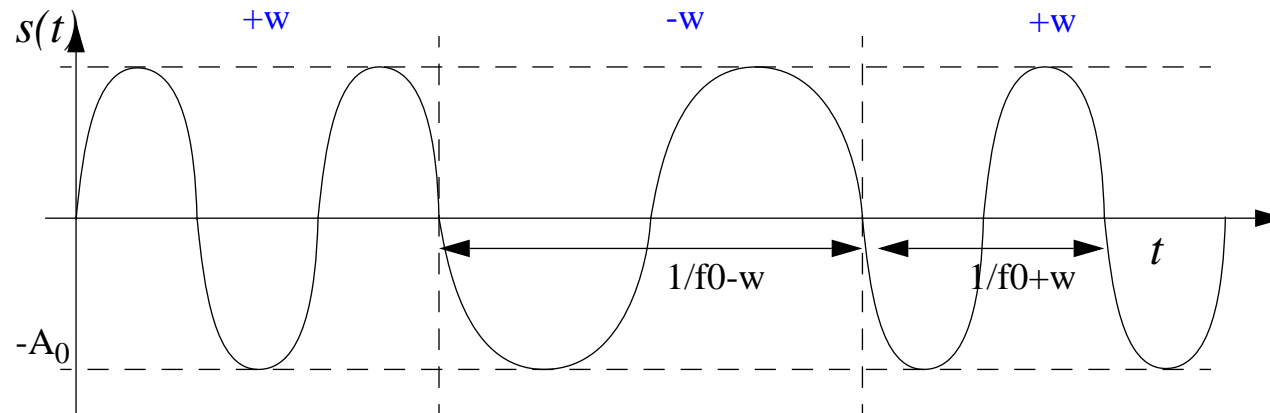
BLU : Bande latérale unique



## 4.2. Modulation de fréquence

Signal :  $s(t) = A_0 \cos(2 \pi f(t) t - \Phi_0)$

- avec  $f(t) = f_0 + a(t)$  et  $a(t) \in \{-w, +w\} \dots$  ou  $a(t) \in [-w, +w] !$



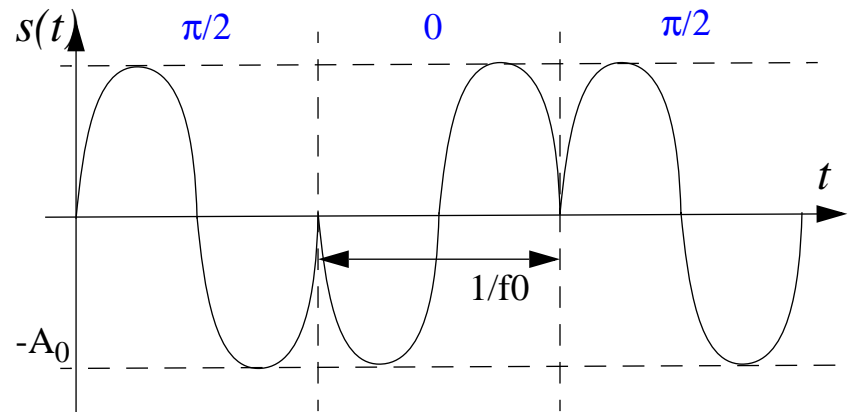
Difficulté à maintenir la phase.

Utilisée par la technique de multiplexage fréquentiel.

### 4.3. Modulation de phase

Signal :  $s(t) = A_0 \cos(2 \pi f_0 t - \Phi(t))$

- avec  $\Phi(t) = \Phi_0 + a(t)$  et  $a(t) \in \{\Pi k/n\}$  pour  $n$  symboles ... ou  $a(t) \in [-\Pi, +\Pi]$  !



### 4.4. Modulation complexe

Modulation en quadrature (MAQ)

- modulation en phase et en amplitude
- par exemple :

codage MAQ	$A_0$	$A_1$
$\Phi_0$	00	01
$\Phi_1$	10	11

## 5. Le Codage

Le **codeur** transforme une suite  $\{d_k\}_{k \geq 0}$  initiale généralement binaire (de bits) en une suite codée  $\{a_k\}_{k \geq 0}$  (de symboles) généralement binaire ou ternaire.

Le décodeur fait l'opération inverse.

Le but du codage est d'adapter la suite de bits à transmettre aux caractéristiques de la transmission.

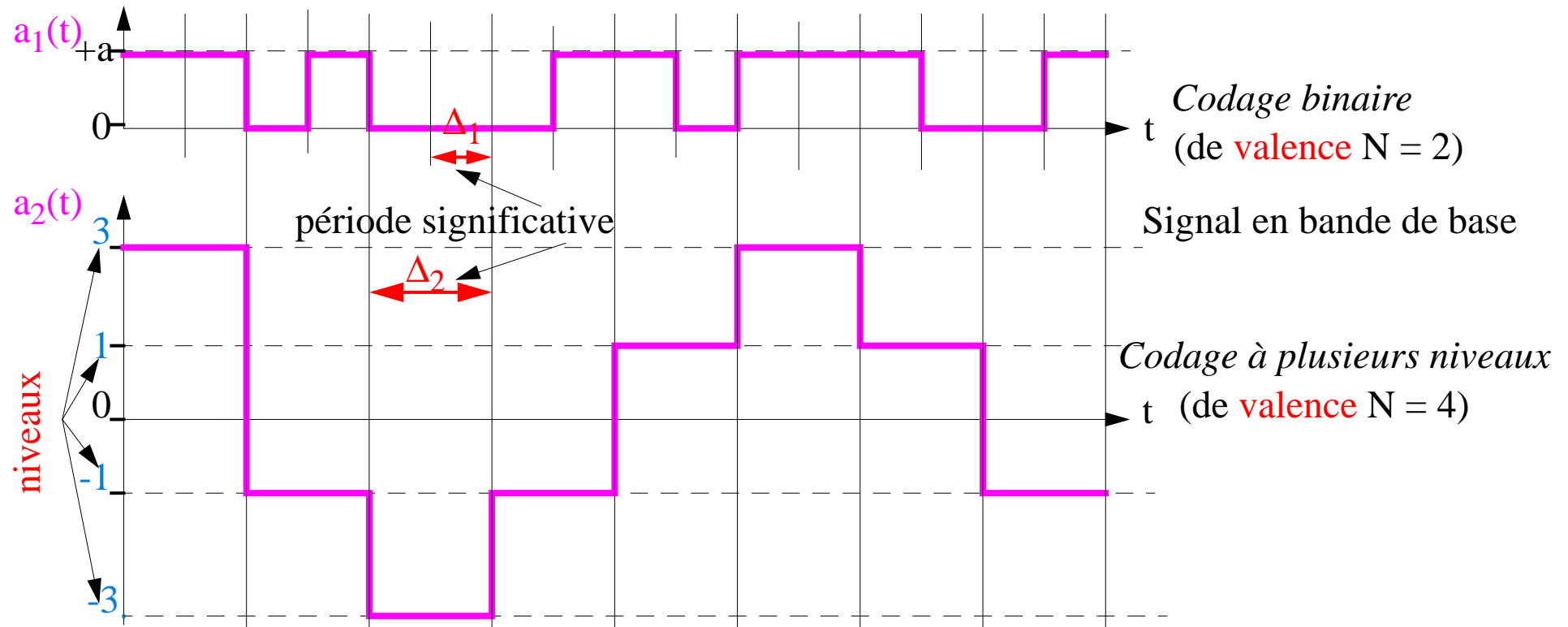
S'il n'y a pas de modulation par transposition en fréquence, le codage est dit **en bande de base** :

- la plage de fréquences utilisée par le signal issu de la suite codée est la même que celle de la suite initiale.
- dans ce cas, le modulateur module à partir d'une fonction rectangulaire.

$$\cdot \{a_k\}_{k \geq 0} \rightarrow a(t)$$

Exemples :

$\{d_k\} = (1---1---0---1---0---0---0---1---1---0---1---1---1---0---0---1)$  suite binaire initiale





### 5.1. Débit binaire et rapidité de modulation

Le **débit binaire**  $D$  d'une voie de données est le nombre maximum de bits  $d_i$  transmis par seconde sur cette voie.

$$D = \frac{1}{T} \text{ bits/s}$$

La **rapidité de modulation**  $R$  (exprimée en bauds) mesure le nombre maximum de symboles (éléments de modulation) transmis par seconde

$$R = \frac{1}{\Delta} \text{ bauds}$$

Remarque : Généralement,  $1/\Delta$  est un multiple de  $1/T$  et le nombre de niveaux  $N$  est choisi de telle sorte que  $a(t)$  et  $d(t)$  aient le même débit d'information. On a alors :

$$D = \frac{1}{T} = \frac{\log_2(N)}{\Delta} = R \cdot \log_2(N) \text{ bits/s}$$

## 5.2. Les principales qualités d'un code

- largeur de sa plage de fréquences
  - . la plus étroite possible
- répartition fréquentielle de la puissance
  - . peu de puissance aux faibles fréquences, aucune à la fréquence nulle
- codage de l'horloge
  - . fréquence suffisante des transitions
  - . synchronisation de l'horloge du récepteur sur le signal reçu
- résistance au bruit
  - . espacement des niveaux
- complexité du codage
  - . coût et vitesse de codage
- dépendance à la polarité
  - . facilité d'installation
- équilibrage
  - . mesure approximative de l'influence du codage sur des symboles successifs
  - . Running Digital Sequence :  $RDS(\{a_k\}) = \sum_k a_k$ .
  - .  $\Delta RDS(\{a_k\}) = \max(\text{abs}\{RDS(\{a_j\}) \text{ tel que } \{a_j\} \text{ sous-suite valide de } \{a_k\}\})$ .

### 5.3. Les codes usuels utilisés en bande de base

#### Les codes à deux niveaux :

- code **NRZ** (Non Return to Zero)
- code **NRZI** (Non Return to Zero Invert)
- code **biphase**
- code **biphase différentiel**
- code **de Miller**

#### Les codes à trois niveaux :

- code **RZ** (Return to Zero)
- code **bipolaire** (simple)
- code **bipolaire entrelacé d'ordre 2**
- codes **bipolaires à haute densité d'ordre n (BHDn)**

#### Les codes par blocs :

- code **nB/mB**
- code **nB/mT**

## 5.4. Code NRZ (Non Return to Zero)

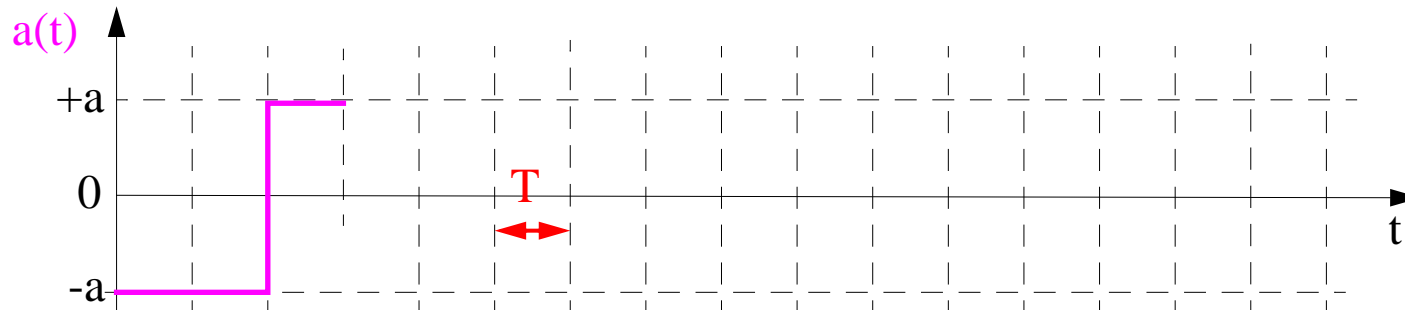
$$\begin{cases} (d_k = 0) \Leftrightarrow (a_k = [a]) \\ (d_k = 1) \Leftrightarrow (a_k = [-a]) \end{cases}$$

$$\begin{aligned} 0 &\Leftrightarrow \boxed{\phantom{0}} \\ 1 &\Leftrightarrow \boxed{\phantom{0}} \end{aligned}$$

Exemple :

$\{d_k\} = (1 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 0 \text{---} 0 \text{---} 1 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 1 \text{---} 1 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 0 \text{---} 1)$

suite binaire initiale



*Codage NRZ*

$RDS(\{a_k, k < i\}) = -a, -2a, -a, -2a, -a, 0, +a, 0, -a, 0, -a, -2a, -3a, \dots$

Code simple, utilisé couramment entre l'ordinateur et ses périphériques.

$$\Delta RDS(NRZ) = \infty$$

$$\text{spectre : } X(f) = T \cdot (a \cdot \sin(\Pi f T) / \Pi f T)^2$$

## 5.5. Code RZ (Return to Zero)

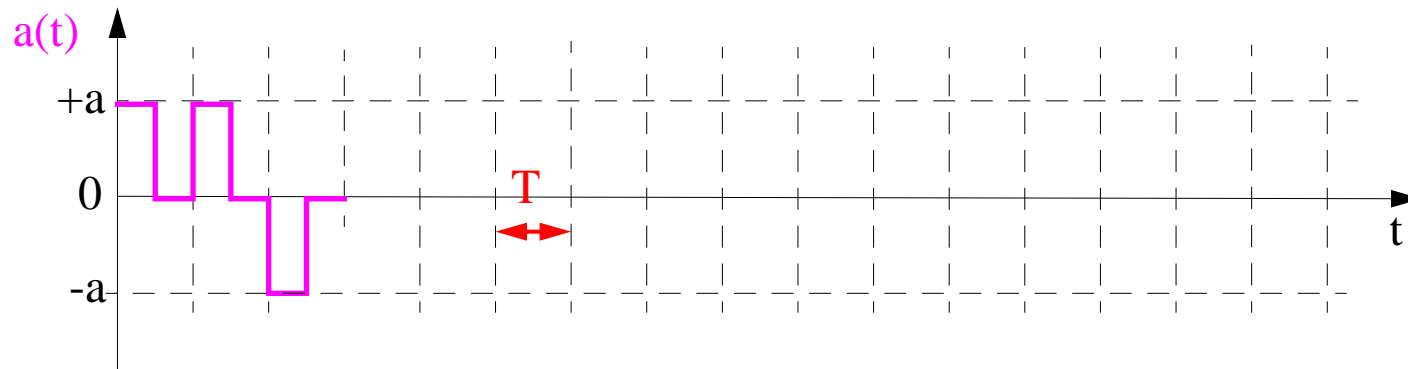
$$\begin{cases} (d_k = 0) \Leftrightarrow (a_k = [-a, 0]) \\ (d_k = 1) \Leftrightarrow (a_k = [a, 0]) \end{cases}$$

$$1 \Leftrightarrow \begin{array}{|c|} \hline \text{---} \\ \hline \end{array}$$

$$0 \Leftrightarrow \begin{array}{|c|} \hline \text{---} \\ \hline \end{array}$$

Exemple :

$\{d_k\} = (1 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 0 \text{---} 0 \text{---} 1 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 1 \text{---} 1 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 0 \text{---} 1)$  suite binaire initiale



*Codage RZ*

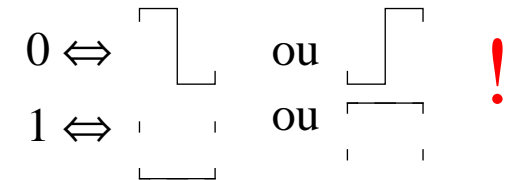
Code ternaire simple, limite les interférences entre symboles, codage de l'horloge

$$\Delta RDS(RZ) = \infty / 2 !$$

-> codage 1B/2T

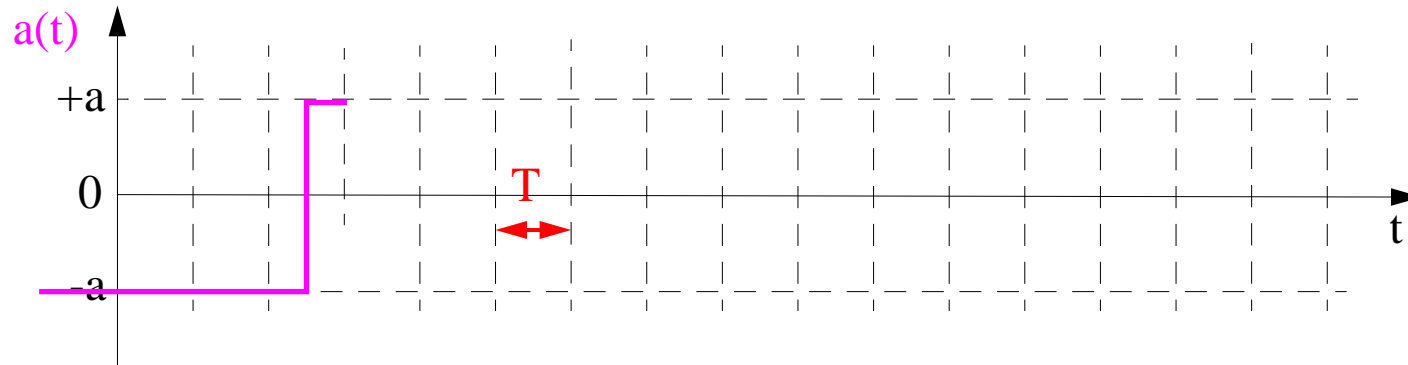
## 5.6. Code NRZI (Non Return to Zero Invert)

$$\begin{cases} (d_k = 0) \Leftrightarrow (a_k = [\alpha_k, \beta_k]) / ((\alpha_k \neq \beta_k) \wedge (\alpha_k = \beta_{k-1})) \\ (d_k = 1) \Leftrightarrow (a_k = [\alpha_k, \beta_k]) / ((\alpha_k = \beta_k) \wedge (\alpha_k = \beta_{k-1})) \\ (\alpha_k \in \{a, -a\}, (\beta_0 = -a)) \end{cases}$$



Exemple :

$\{d_k\} = (1 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 0 \text{---} 0 \text{---} 1 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 1 \text{---} 1 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 0 \text{---} 1)$  suite binaire initiale



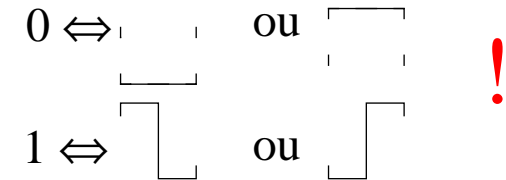
*Codage NRZI*

Code binaire, indépendant de la polarité, adapté à la transmission photonique.

$$\Delta RDS(NRZI) = \infty$$

## 5.7. Code de Miller

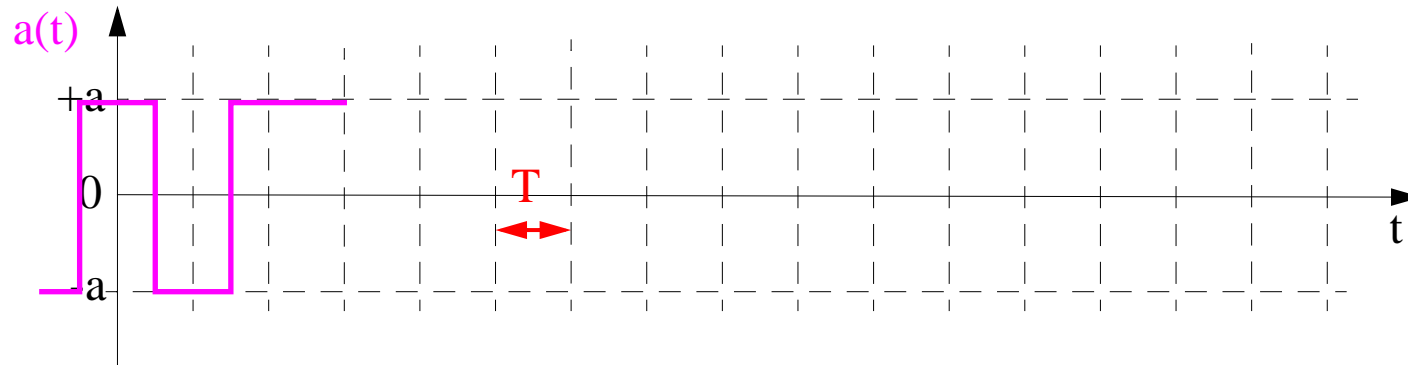
$$\left\{ \begin{array}{l} (d_k = 0) \Leftrightarrow (a_k = [\alpha_k, \beta_k]) / ((\alpha_k = \beta_k) \wedge (\alpha_k \neq \alpha_{k-1})) \\ (d_k = 1) \Leftrightarrow (a_k = [\alpha_k, \beta_k]) / ((\alpha_k \neq \beta_k) \wedge (\alpha_k = \beta_{k-1})) \\ (\alpha_k \in \{a, -a\}, (\alpha_0 = -a), (\beta_0 = a)) \end{array} \right.$$



Autres dénominations : “modified FM”, DM : “Delay modulation”

Exemple :

$\{d_k\} = (1 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 0 \text{---} 0 \text{---} 1 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 1 \text{---} 1 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 0 \text{---} 1)$  suite binaire initiale



*Codage de Miller*

Code binaire dense, conservation de l’horloge et indépendance de la polarité

$$\Delta RDS(\text{Miller}) = 3a/2$$

On peut le construire à partir du code biphasé en supprimant une transition sur deux.

## 5.8. Code biphasé

$$\begin{cases} (d_k = 0) \Leftrightarrow (a_k = [a, -a]) \\ (d_k = 1) \Leftrightarrow (a_k = [-a, a]) \end{cases}$$

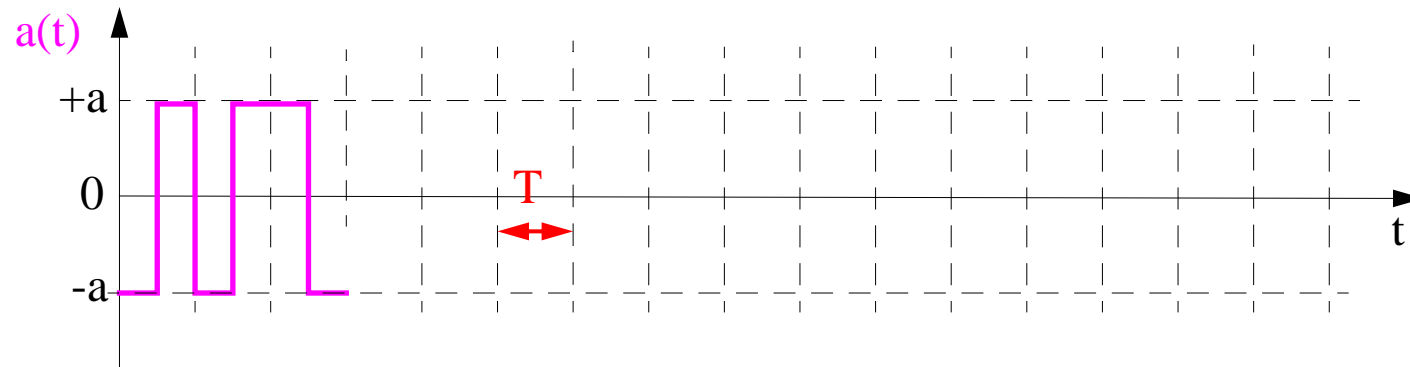
$$0 \Leftrightarrow \begin{array}{|c|} \hline \phantom{0} \\ \hline \end{array}$$

$$1 \Leftrightarrow \begin{array}{|c|} \hline \phantom{1} \\ \hline \end{array}$$

Autres dénominations : Manchester, biphasé\_L(evel), -> codage 1B/2B.

Exemple :

$\{d_k\} = (1 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 0 \text{---} 0 \text{---} 1 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 1 \text{---} 1 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 0 \text{---} 1)$  suite binaire initiale



*Codage biphasé*

Code binaire, équilibré, conservation de l'horloge, mais spectre très large (le double).

$$\Delta RDS(\text{biphase}) = 0 !$$

$$\text{Spectre : } X(f) = T \cdot ((2a)/(\Pi f T))^2 \cdot \sin(\Pi f T/2)^4$$

Codage utilisé par Ethernet.



## 5.9. Code biphase différentiel

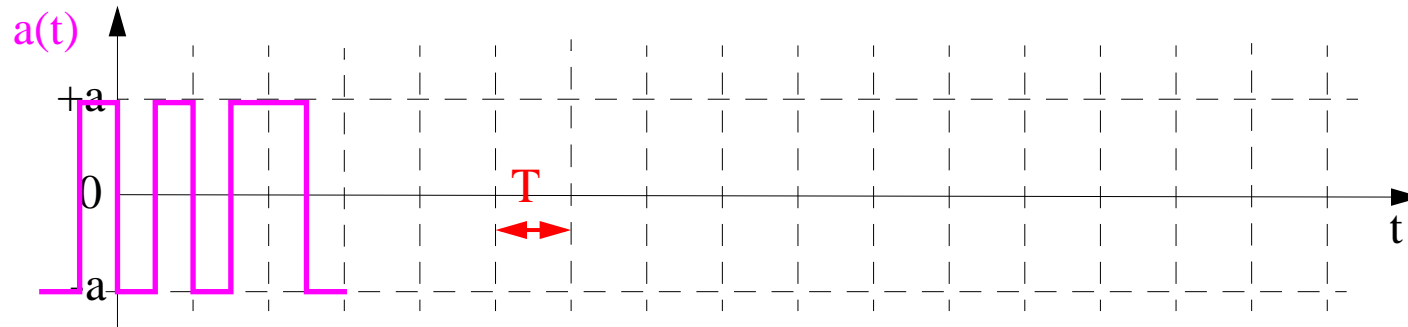
$$\left\{ \begin{array}{l} (d_k = 0) \Leftrightarrow (a_k = [\alpha_k, \beta_k]) / ((\alpha_k \neq \beta_k) \wedge (\alpha_k \neq \alpha_{k-1})) \\ (d_k = 1) \Leftrightarrow (a_k = [\alpha_k, \beta_k]) / ((\alpha_k \neq \beta_k) \wedge (\alpha_k = \alpha_{k-1})) \\ (\alpha_k \in \{a, -a\}, (\alpha_0 = -a), (\beta_0 = a)) \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l} 0 \Leftrightarrow \begin{array}{|c|} \hline \text{ } \\ \hline \end{array} \quad \text{ou} \quad \begin{array}{|c|} \hline \text{ } \\ \hline \end{array} \\ 1 \Leftrightarrow \begin{array}{|c|} \hline \text{ } \\ \hline \end{array} \quad \text{ou} \quad \begin{array}{|c|} \hline \text{ } \\ \hline \end{array} \end{array} \quad !$$

Autres dénominations : Manchester différentiel, FSK : “frequency shift keying”, FM : “frequency modulation”, biphase\_M(ark) ou biphase\_S(pace)

Exemple :

$\{d_k\} = (1 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 0 \text{---} 0 \text{---} 1 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 1 \text{---} 1 \text{---} 1 \text{---} 0 \text{---} 0 \text{---} 1)$  suite binaire initiale



*Codage biphase*

Identique au code Manchester + indépendance de la polarité

Problème s'il y a corruption d'un des symboles : la suite est mal décodée

$$\Delta RDS(\text{biphase\_diff}) = 0$$

Codage utilisé par Token Ring.

## 5.10. Code bipolaire simple

- notation :  $d_j^1$  le  $j^{\text{ème}}$  bit de la sous-suite des bits à 1

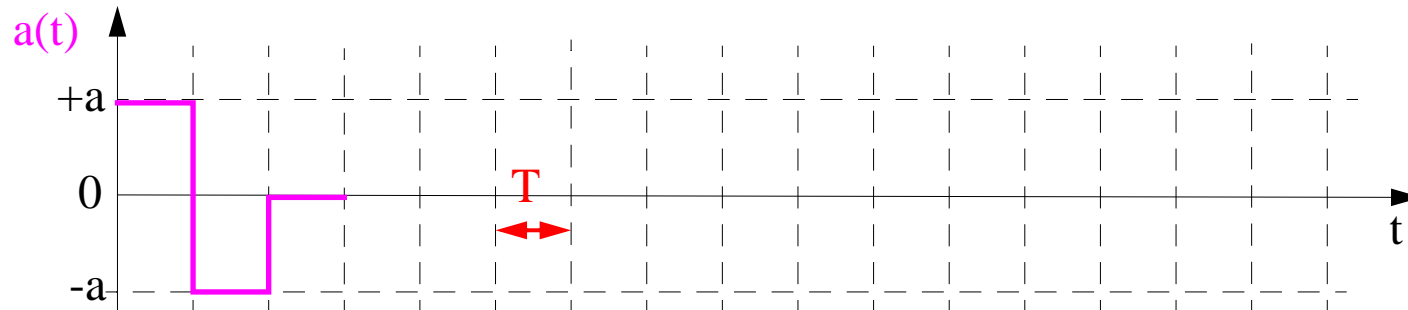
$$\left\{ \begin{array}{l} (d_k = 0) \Leftrightarrow (a_k = 0) \\ (d_k = 1) \in d_m^1 \Leftrightarrow \begin{cases} (a_k = [a])/m = 2n + 1, (n \in \mathbb{N}) \\ (a_k = [-a])/m = 2n, (n \in \mathbb{N}) \end{cases} \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l} 0 \Leftrightarrow \text{—} \\ 1 \Leftrightarrow \begin{array}{|c|} \hline \text{alternativement} \\ \hline \end{array} \end{array}$$

Autres dénominations : AMI “Alternate Mark Inversion”

Exemple :

$\{d_k\} = (1---1---0---1---0---0---0---1---1---0---1---1---1---0---0---1)$  suite binaire initiale



*Codage bipolaire*

Code ternaire, équilibré, indépendant de la polarité, dérive de l’horloge (suite de 0)

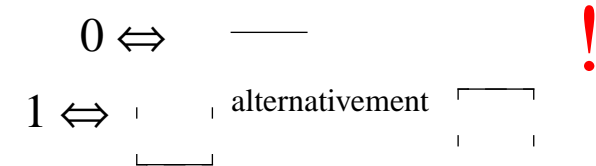
spectre :  $X(f) = T \cdot (a/(\Pi f T))^2 \cdot \sin(\Pi f T)^4$

$\Delta RDS(\text{bipolaire}) = a$

Utilisé par le système de téléphonie numérique PCM sur le ligne de transmission T1.

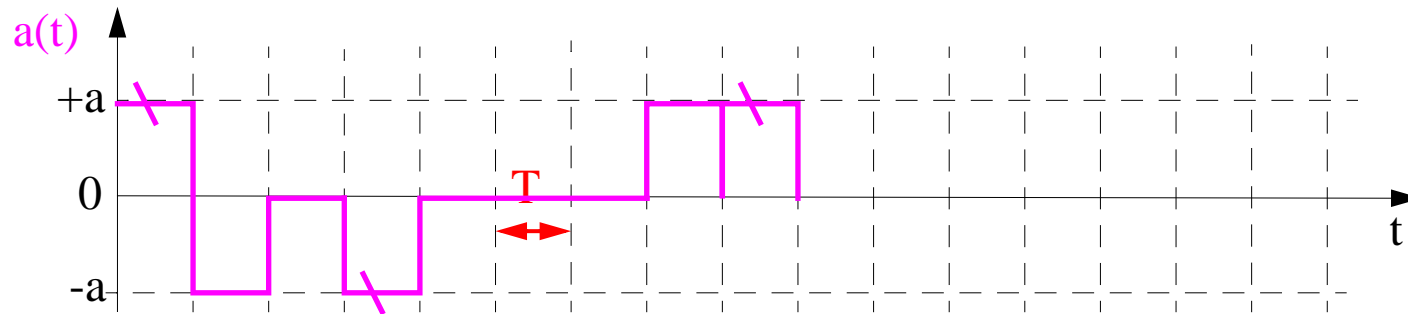
### 5.11. Code bipolaire entrelacé d'ordre 2

- Construction de 2 sous-suites à partir de la sous-suite des bits à 1 :
  - . la sous-suite des 1 pairs et celle des 1 impairs.
- Chaque sous-suite est indépendamment codée en alternance.



Exemple :

$\{d_k\} = (1\text{---}1\text{---}0\text{---}1\text{---}0\text{---}0\text{---}0\text{---}1\text{---}1\text{---}0\text{---}1\text{---}1\text{---}1\text{---}0\text{---}0\text{---}1)$  suite binaire initiale



*Codage bipolaire entrelacé*

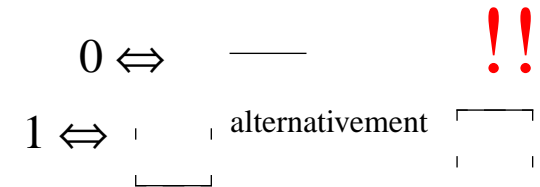
Spectre très étroit, code complexe qui ne résout pas le problème lié aux longues suites de 0. Les longues suites de 1 présentent un battement dont la fréquence est réduite (de moitié) par rapport au codage bipolaire simple.

Généralisation possible aux codes bipolaires entrelacés d'ordre  $n$ .

## 5.12. Code bipolaire haute densité d'ordre $n$ (BHD $n$ )

Même codage que le code bipolaire + une transformation des suites de plus de  $n$  zéros.

- basée sur la violation de l'alternance : **bit de viol** (noté V)



Une suite consécutive de  $n+1$  bits à 0 est codée par :

(a) suite de  $n$  zéros suivis d'un bit de viol :  $[000\dots 00] \rightarrow [000\dots 0V]$

(b) suite formée d'un **bit de bourrage** (noté B),  $n-1$  zéros, suivis d'un bit de viol; les bits B et V ayant même polarité :  $[000\dots 00] \rightarrow [B00\dots 0V]$

Pour assurer l'équilibrage :

On choisit la forme (a) si le nombre de bits à 1 suivant le dernier bit de viol est impair, la forme (b) sinon.

Remarques :

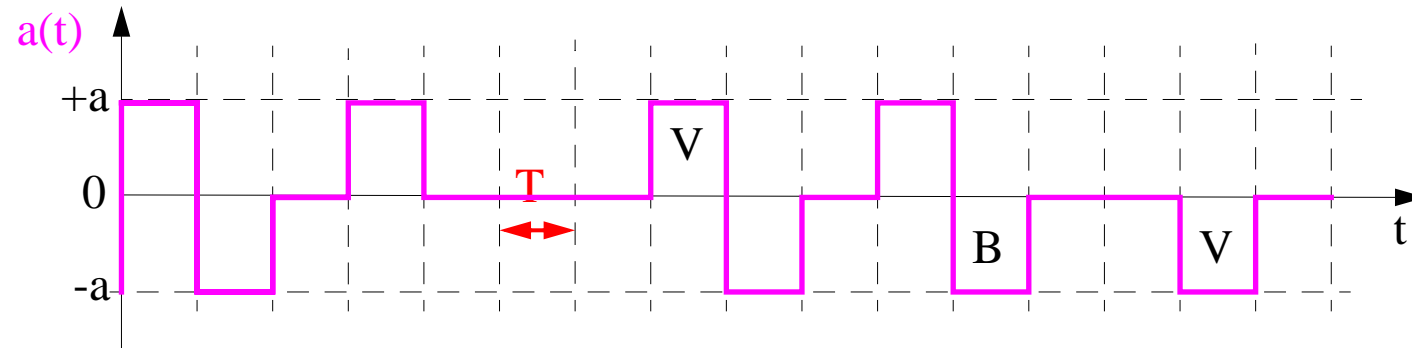
- . le premier bit à un (suivant un bit de viol) est codé avec la valeur inverse du bit de viol qui le précède
- . On considère que la suite est conventionnellement précédée d'un bit de viol.
- . Dans une très longue suite de zéros tous les blocs successifs (sauf parfois le premier) sont codés dans la forme (b).

$$\Delta RDS(BDH3) = 2a$$

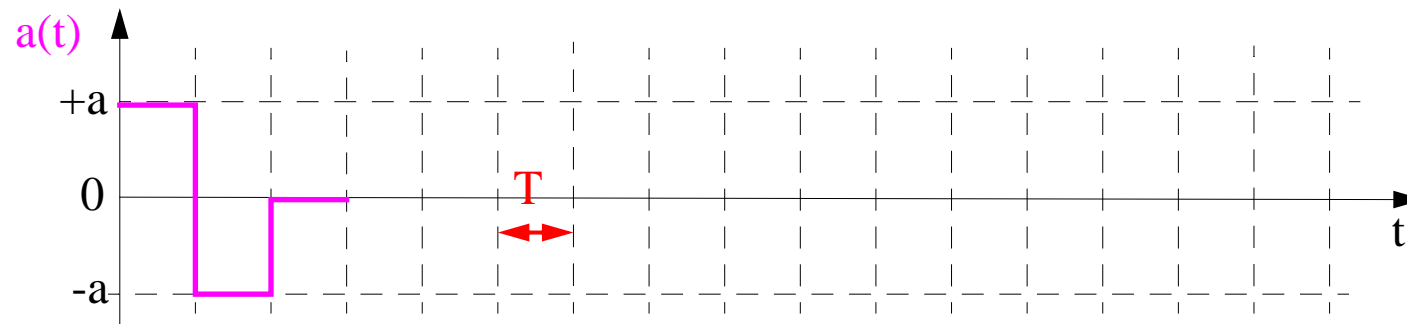
Exemple :

$\{d_k\} = (1---1---0---1---0---0---0---0---1---0---1---0---0---0---0---0)$

suite binaire initiale



*Codage BHD3*



*Codage BHD2 ?*

### 5.13. Remarques

La plupart de ces codes acceptent plusieurs variantes. Par exemple en inversant la convention de codage de la parité (0/1) ou en modifiant les conditions initiales.

## 5.14. Codes par blocs

Code chaque bloc de  $k$  bits par un bloc de  $n$  symboles pris dans un alphabet de taille  $L$ . L'alphabet étant généralement binaire, ternaire, ou plus rarement quaternaire (noté resp. B, T, Q).

- on a la relation :  $2^k \leq L^n$
- notation :  $kB/nL$ , par exemple 4B/5B

Tableau 2 : quelques encodages de symboles FDDI

0	1	2	3	4	5	...	F	Idle	J	K	R	S	Halt	Quiet
11110	01001	10100	10101	01010	01011	...	11101	11111	11000	10001	00111	11001	00100	0000

Certains codes précédents peuvent être perçus comme des codes par blocs (surtout si le bloc à coder est réduit à un seul bit).

- Exemple : RZ  $\in$  1B/2T, biphas  $\in$  1B/2B

L'efficacité de ces codes peut être faible ( $2^k/L^n$ ).

Ces codes servent à éliminer les suites de symboles impropres à la transmission. Lors de précodage :

- La modulation est généralement effectuée ultérieurement en utilisant un des codes simples précédents.
  - . Exemple : FDDI = 4B/5B + NRZI

## 6. Conclusion

Adaptation des techniques de transmission aux caractéristiques du support de communication.

La modulation par transposition en fréquence :

- module des signaux analogiques ou numériques

De très nombreux codes de transmission existent (NRZ, biphase, bipolaire, etc.), chacun possédant certaines des caractéristiques voulues, mais pas toutes.

Ne pas confondre avec les codes de transmission (appelés “channel coding”) avec les codes applicatifs (appelés “source coding”) :

- d’embrouillage
- de protection contre les erreurs (détection et auto-correction)
- de compression (LZW, RLE, GZ, etc.)
- de représentation (ASCII, DCB, complément à 2, etc)
- de chiffrement (MC5, PGP, etc.)
- d’authentification
- de hachage (“hash code”)
- etc.

Les techniques de transmission ne suffisent pas à assurer que les communications se déroulent sans aucune erreur. C’est pourquoi des techniques de protection contre les erreurs sont développées.