

## Chapitre 2 : Techniques de transmission

/home/kouna/d01/adp/bcousin/REPR/Cours/2.fm - 14 Janvier 1998 20:09

### Plan

- . Introduction
- . Phénomènes caractéristiques
- . Les éléments de la transmission
- . La modulation
- . Le codage
- . Conclusion

### 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

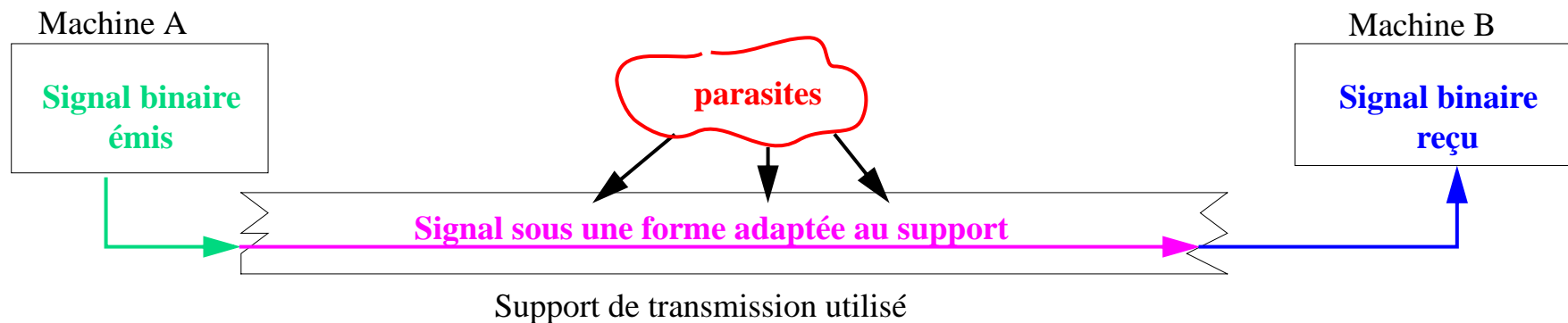
- ❑ Les supports de communication ne sont pas parfaits.
  - les principaux phénomènes : affaiblissement, déphasage, bruits.

- ❑ 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 et phase)
- en bande de base : codes de transmission de données

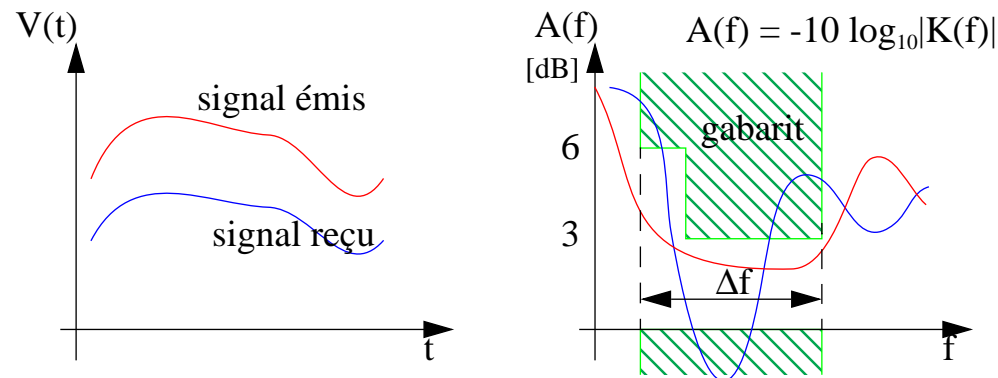


## 2. Phénomènes caractérisant les supports de communication

### 2.1. Affaiblissement

□ Transformation de l'amplitude du signal :  $V e^{2i\Pi ft} \rightarrow |K(f)| \cdot V e^{2i\Pi ft}$

- analyse temporelle et fréquentielle du signal (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 :

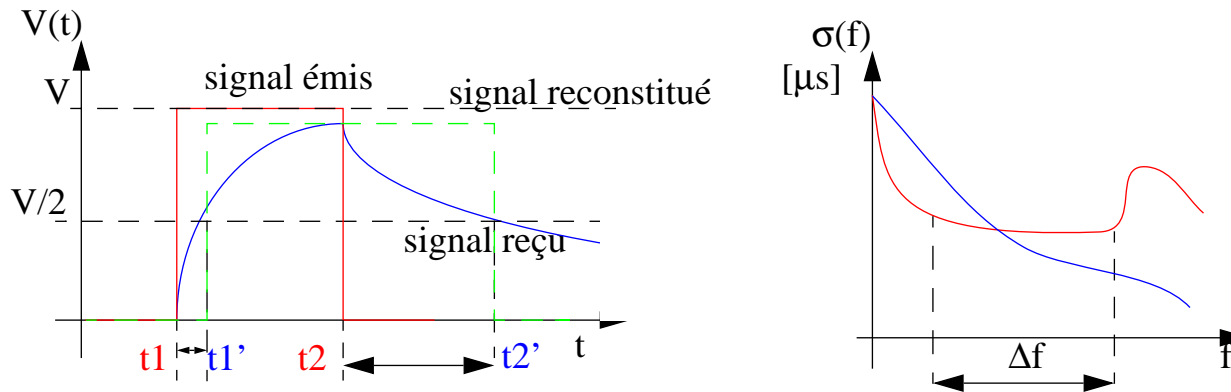
- ex : proportionnel à  $\sqrt{f}$  sur les paires métalliques

- utilisation du support dans la plage de fréquence où l'affaiblissement est constant :

. bande passante du support ( $\Delta f$ ) !

## 2.2. Le déphasage

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



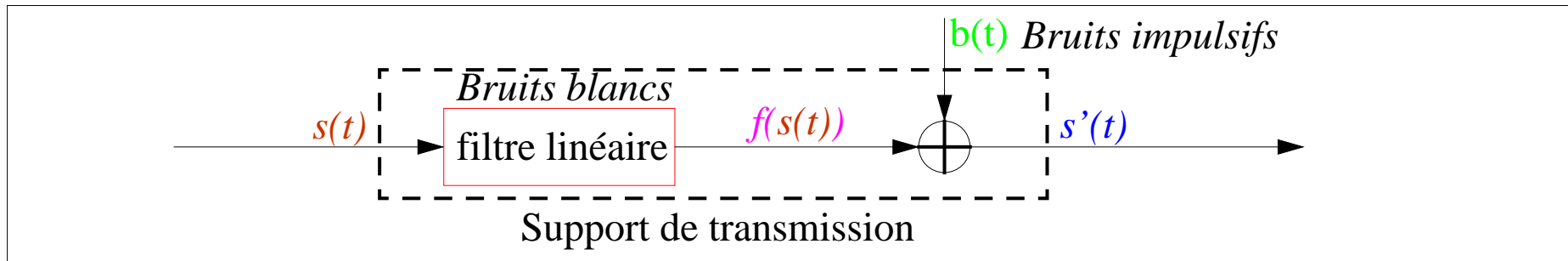
Le déphasage varie en fonction de la fréquence !

- temps de propagation de groupe  $\sigma(f) = 1/2\Pi \cdot d\Phi(f)/df$
- rend difficile la détection 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 : liaison 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.

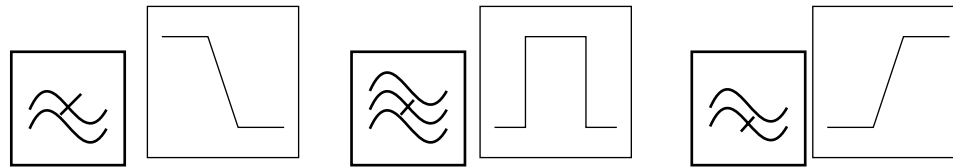
- où le gain est non nul ! (gain = 1/affaiblissement)
- malheureusement en général le gain n'est jamais nul !!

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

- $10 \log_{10}(P_s/P_b) \leq n \text{ dB}$ ,
- où  $P_s$  est la puissance du signal et  $P_b$  est la puissance du bruit.

□ Trois principaux types de filtres :

- filtres **passé-bas**,
- filtres **passé-bande**
- et filtres **passé-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,
- et  $P_s/P_b$  est obtenu à l'aide du rapport signal sur bruit exprimé en décibel.

### 3. Principaux éléments intervenant dans la transmission

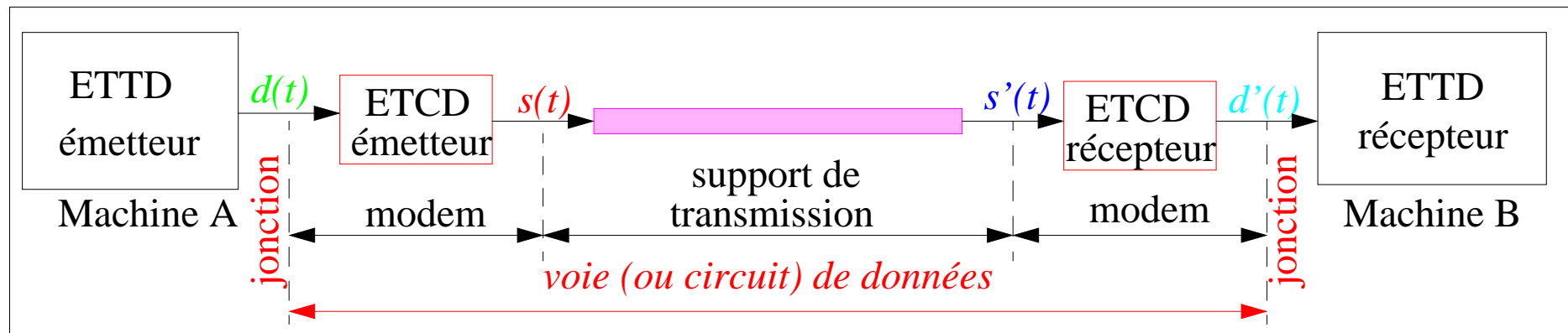
□ l'ETCD (équipement terminal de communication de données)

- 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



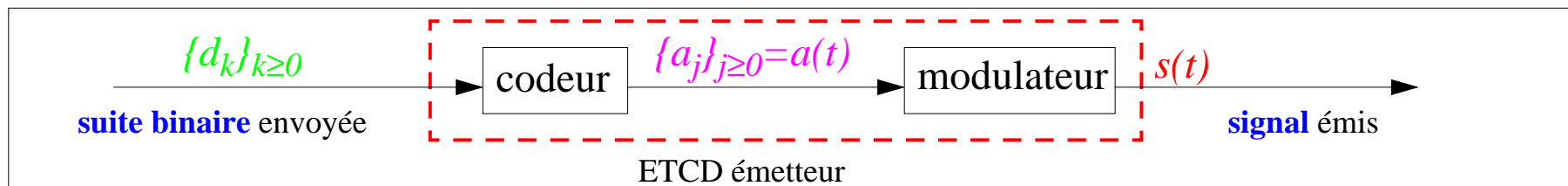


### 3.1. Fonctions de l'ETCD

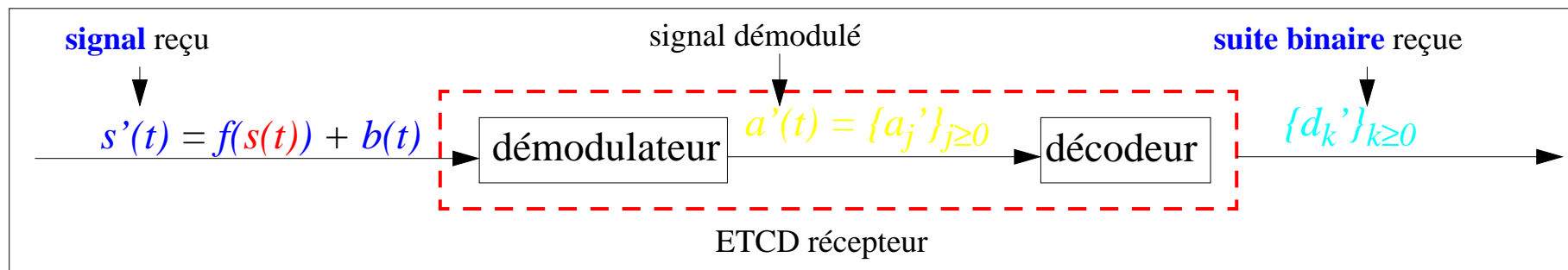
□ Deux transformations fondamentales sont définies :

- 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 la 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

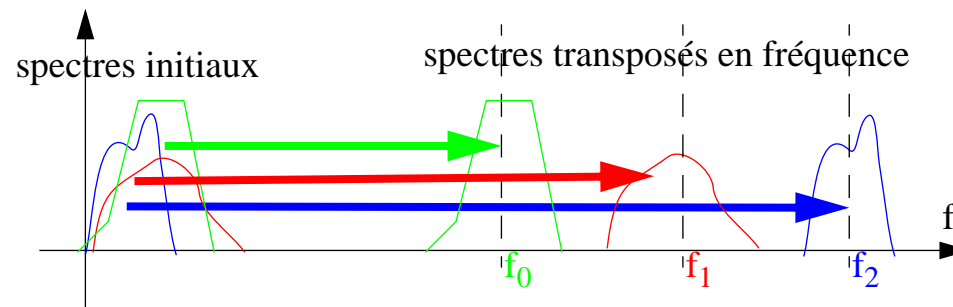
-  $s(t) = A \cos(2 \pi f t - \Phi)$ .

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

Trois types 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 temporelle :



□ 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 transforme 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, et  $R_T(t)$  étant la fonction rectangulaire sur l'intervalle  $[0, T]$  définit ainsi :

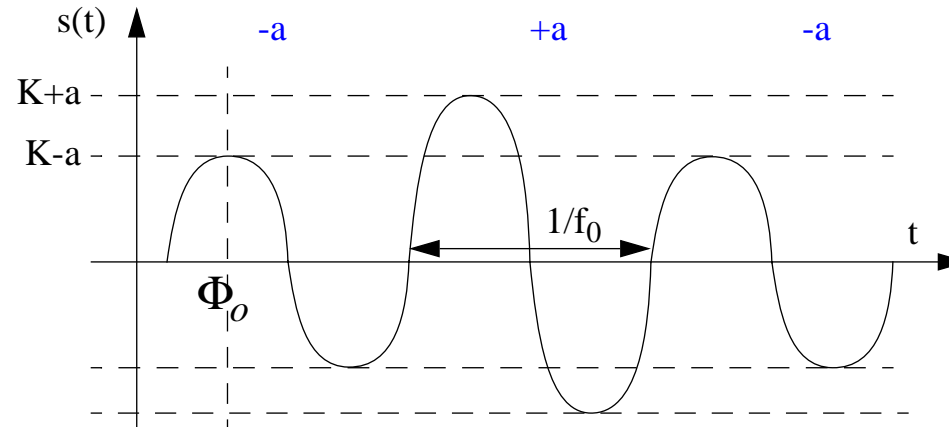
$$R(t) = \begin{cases} 1, & t \in [0, T] \\ 0, & t \notin [0, T] \end{cases}$$

□ On parle de **transmission numérique** lorsque une fonction discrète (suite binaire) est transformée en fonction continue et réciproquement.

## 4.1. Modulation d'amplitude

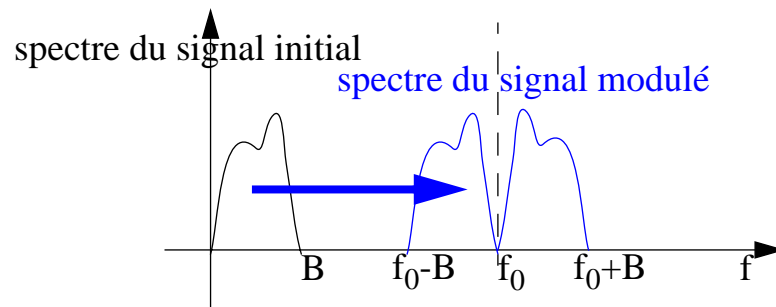
Signal :  $s(t) = A(t) \cos(2 \pi f_0 t - \Phi_0)$

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

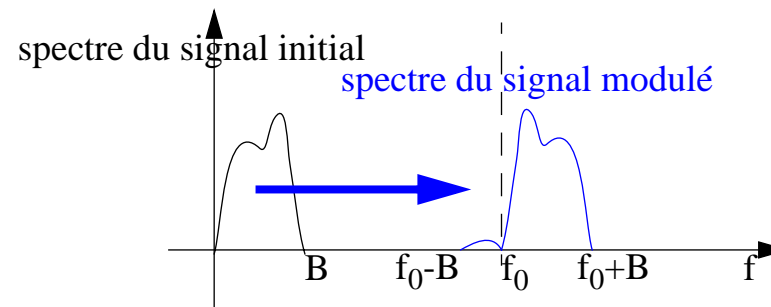


Technique électroniquement simple mais sensible au bruit.

Modulation en double bande



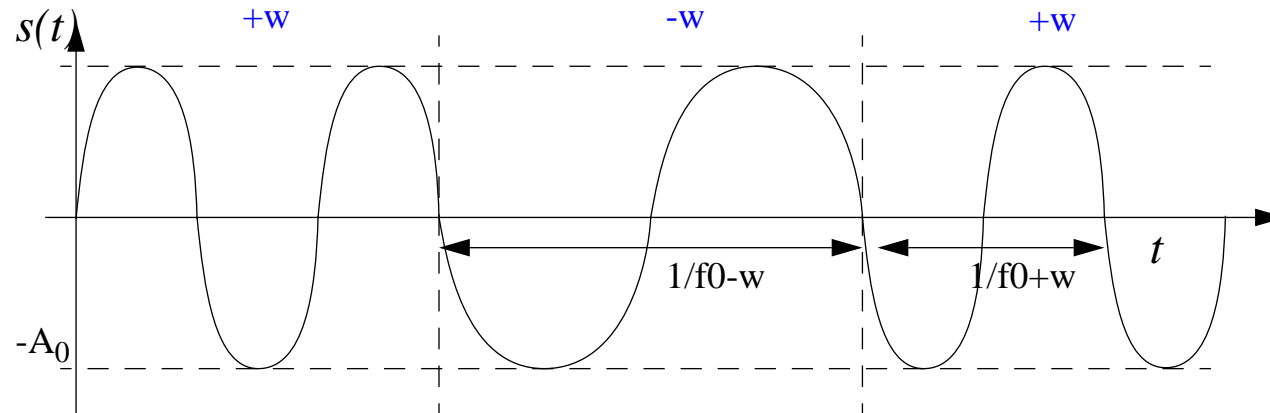
BLU : Bande latérale unique



## 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  $a(t) \in \{-w, +w\}$ ... ou  $a(t) \in [-w, +w]$  !



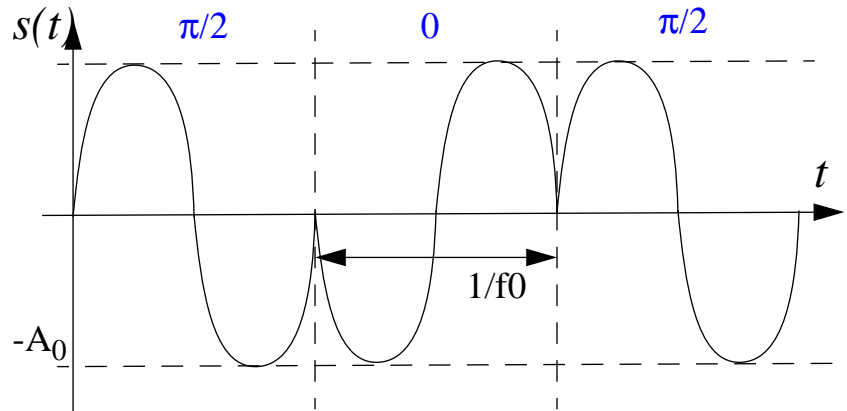
Difficulté à maintenir la phase.

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 :

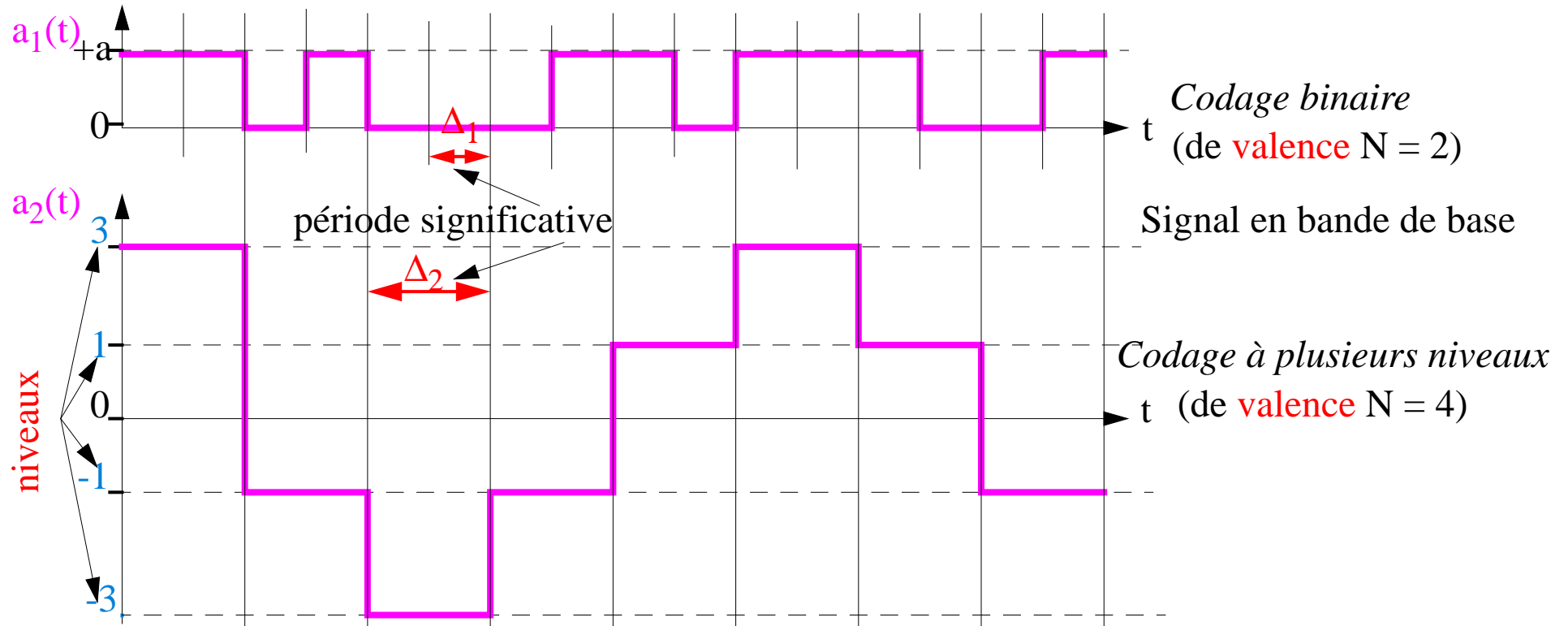
| codage MAQ | $A_0$ | $A_1$ |
|------------|-------|-------|
| $\Phi_0$   | 00    | 01    |
| $\Phi_1$   | 10    | 11    |

## 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.
    - $\{a_k\}_{k \geq 0} \rightarrow a(t)$

Exemples :

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





## 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 (élément de modulation émis en bande de base) 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 minimale des transitions
- résistance au bruit
  - . espacement des niveaux
- complexité du codage
  - . coût et vitesse de codage
- dépendance à la polarité
  - . facilité d'installation
- équilibrage des symboles
  - . mesure approximative de l'influence du codage sur des bits successifs
  - . Running Digital Sequence :  $RDS(\{a_k\}) = \sum_k a_k$  .
  - .  $\Delta RDS(\{a_k\}) = \max(\{RDS(\{a_j\}) \text{ tel que } \{a_j\} \text{ sous-suite valide de } \{a_k\}\})$  .

### 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 :

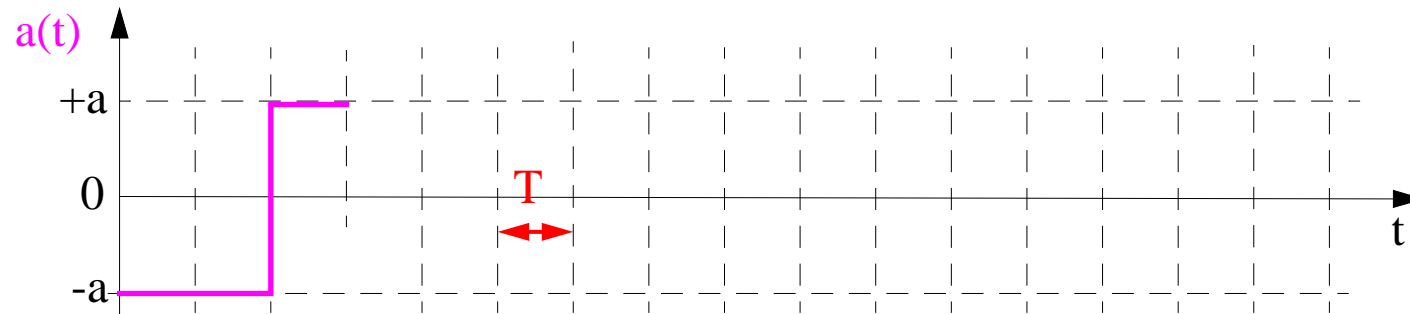
- code **nB/mB**
- code **nB/mT**

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

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

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



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

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

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

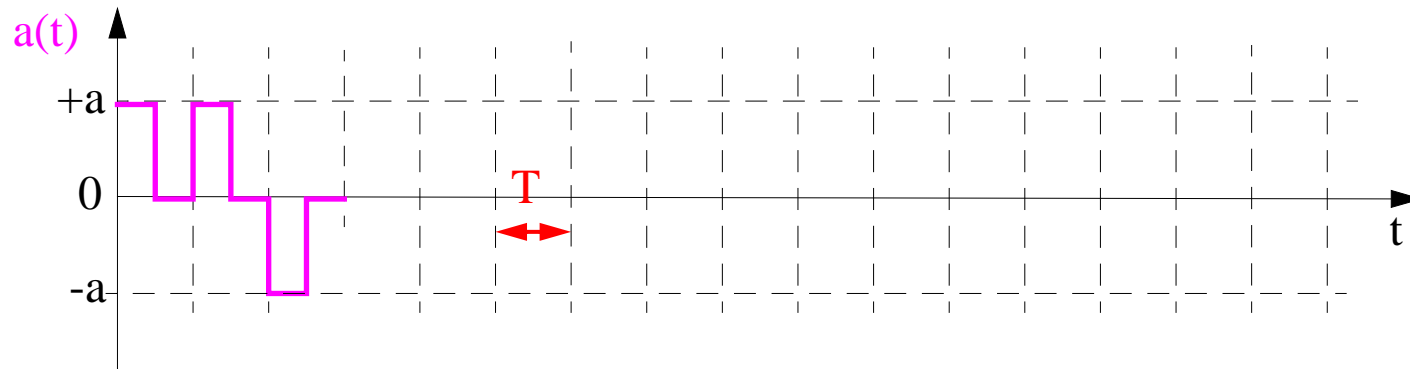
$$\text{spectre : } X(f) = T \cdot (a \cdot \sin(\Pi ft) / \Pi ft)^2$$

### 5.5. Code RZ (Return to Zero)

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

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

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

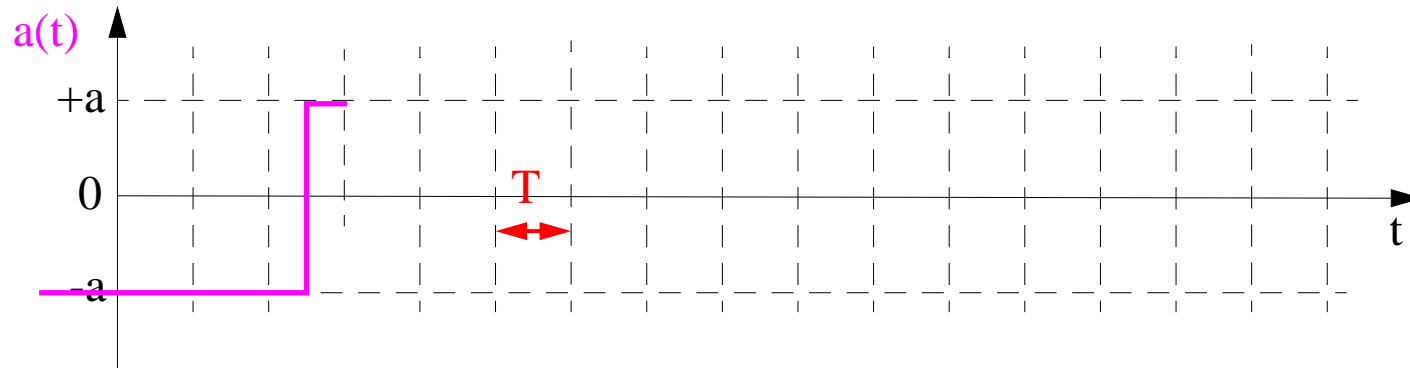
→ codage 1B/2T

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

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

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.

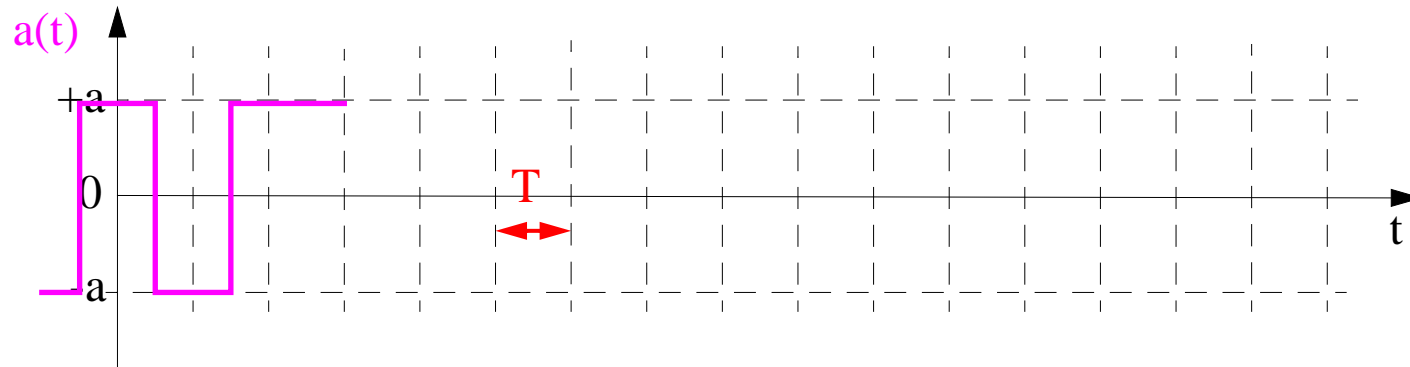
$$\Delta RDS(NRZI) = \infty$$

### 5.7. Code de Miller (modified FM, DM : Delay modulation)

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

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

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

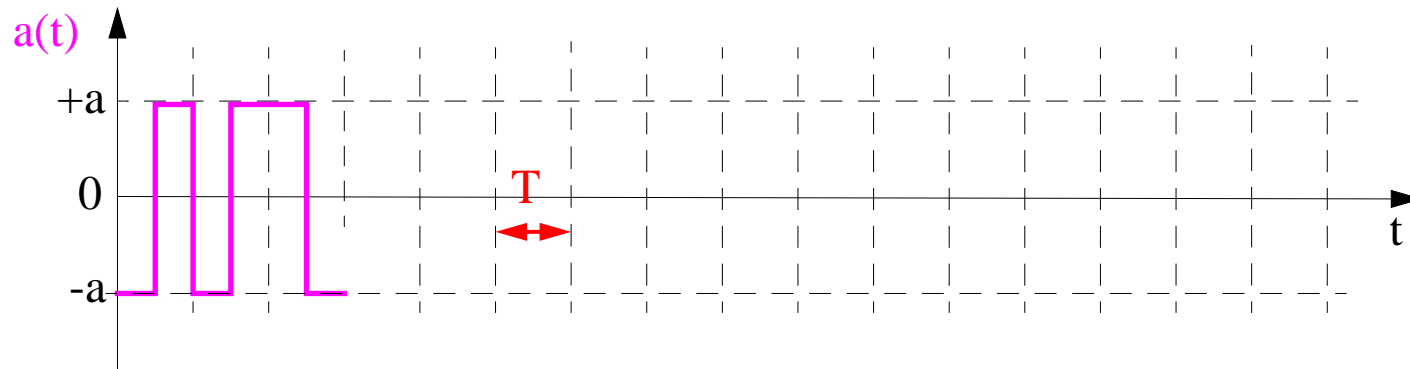
On peut le construire à partir du code biphasé en supprimant une transition sur deux.

### 5.8. Code Biphase (Manchester, biphas\_L(evel))

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

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 biphase*

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

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

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

→ codage 1B/2B.

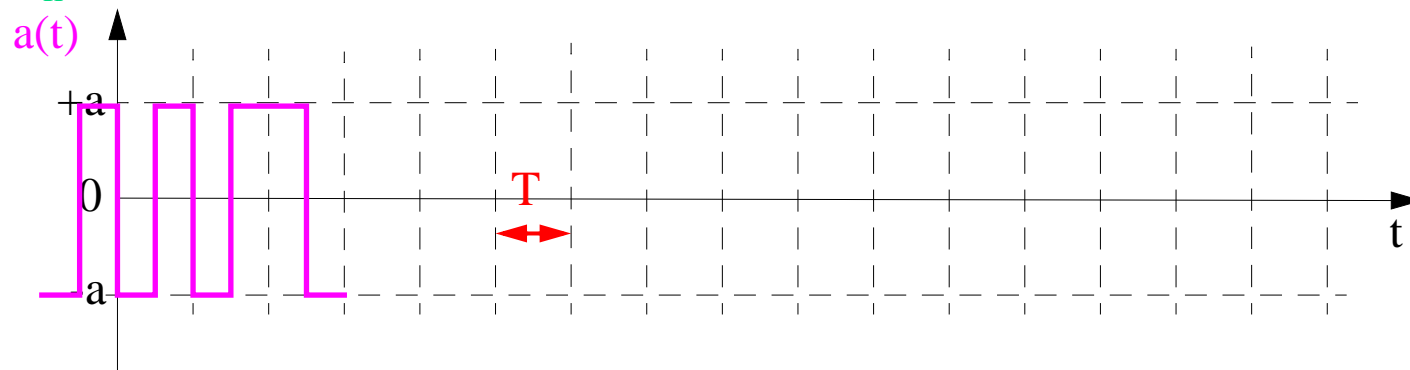


5.9. Code **Biphase différentiel** (Manchester différentiel, FSK : frequency shift keying, FM : frequency modulation, biphasse\_M(ark) ou biphasse\_S(pace))

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

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 biphasse*

Identique au code Manchester + indépendance de la polarité

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

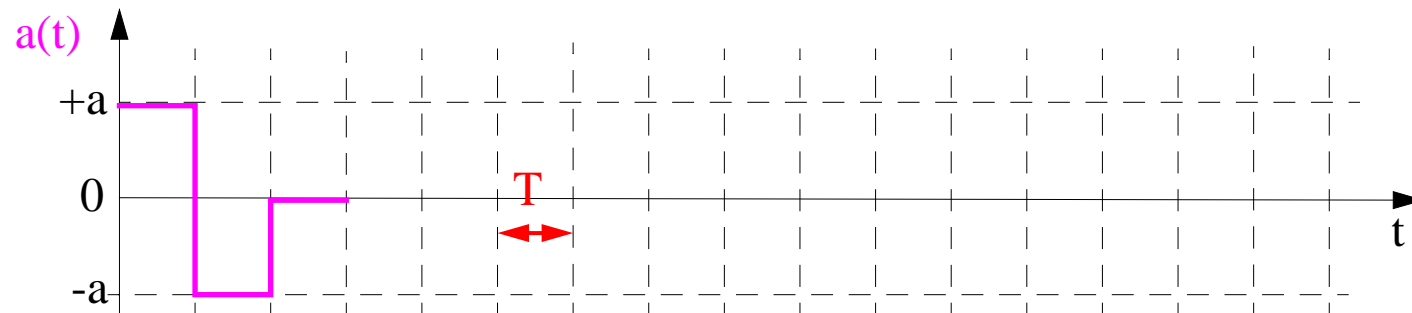
### 5.10. Code Bipolaire simple (AMI : Alternate Mark Inversion)

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

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

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*

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. 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(-sous)-suite est indépendamment codée en alternance

Spectre très étroit, code complexe qui ne résout pas le problème lié aux longues suites de 0.

## 5.12. Code Bipolaire Haute Densité d'ordre $n$ (BHD $n$ )

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

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

Suite consécutive de  $n+1$  bits à 0 :

(a) suite de  $n$  zéros suivis d'un bit de viol :  $[000\dots00] \rightarrow [000\dots0V]$

(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 :  $[000\dots00] \rightarrow [B00\dots0V]$

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.

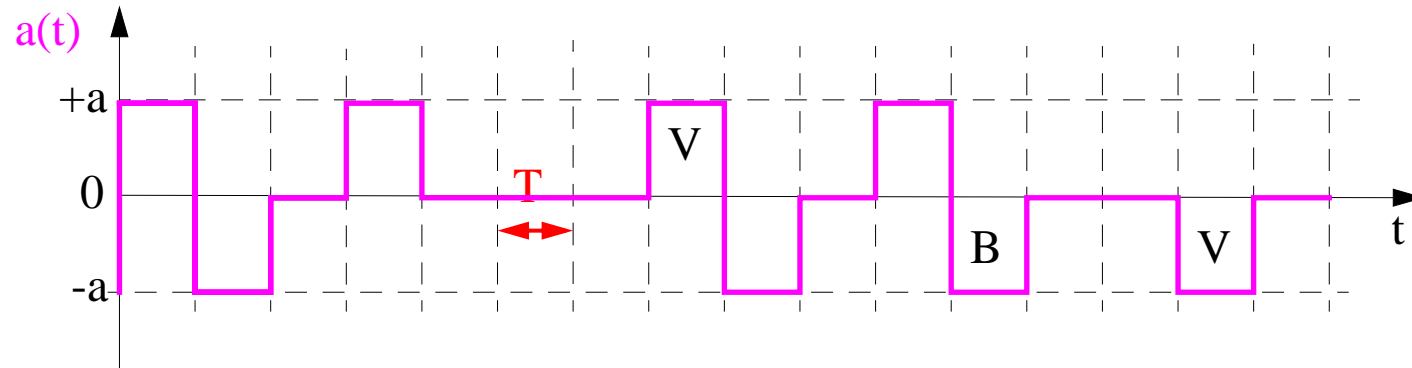
- . Le premier bit est implicitement et conventionnellement précédé d'un bit de viol.
- . Dans une très longue suite de zéros tous les blocs successifs (sauf parfois le premier) sont codés dans la forme (b).

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

Exemple :

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

suite binaire initiale



*Codage BHD3*

### 5.13. 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 :  $2^k \leq L^n$

Les 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, biphasé  $\in$  1B/2B

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

Ces codes servent à éliminer les suites binaires impropres à la transmission.

Comme 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, biphasé, 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”) :

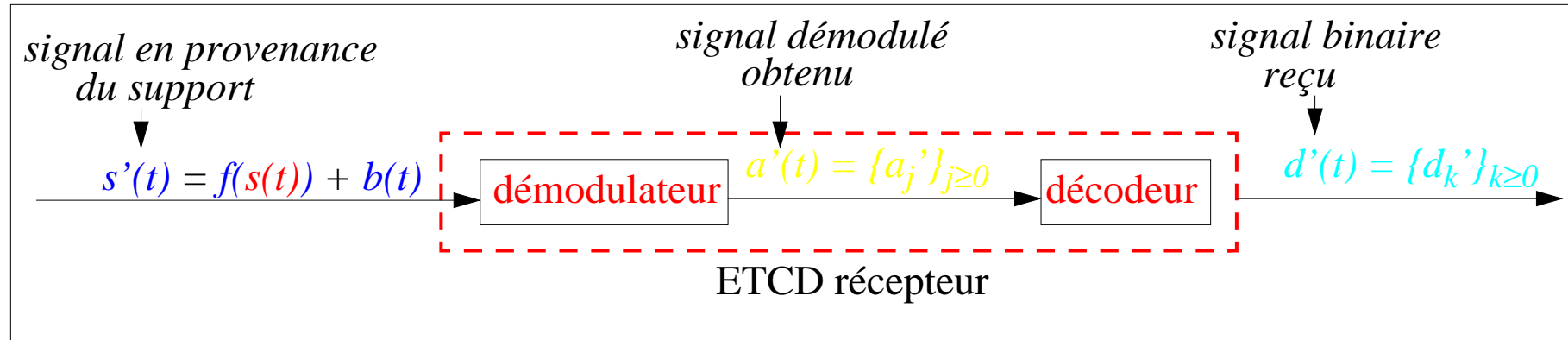
- d’embrouillage
- de protection contre les erreurs (détection et auto-corrrection)
- de compression (LZW, RLE, GZ, etc.)
- de représentation (ASCII, DCB, complément à 2, etc.)
- de chiffrement (MC5, PGP, etc.)
- d’authentification
- de hachage (“hash code”)
- etc.

□ 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.





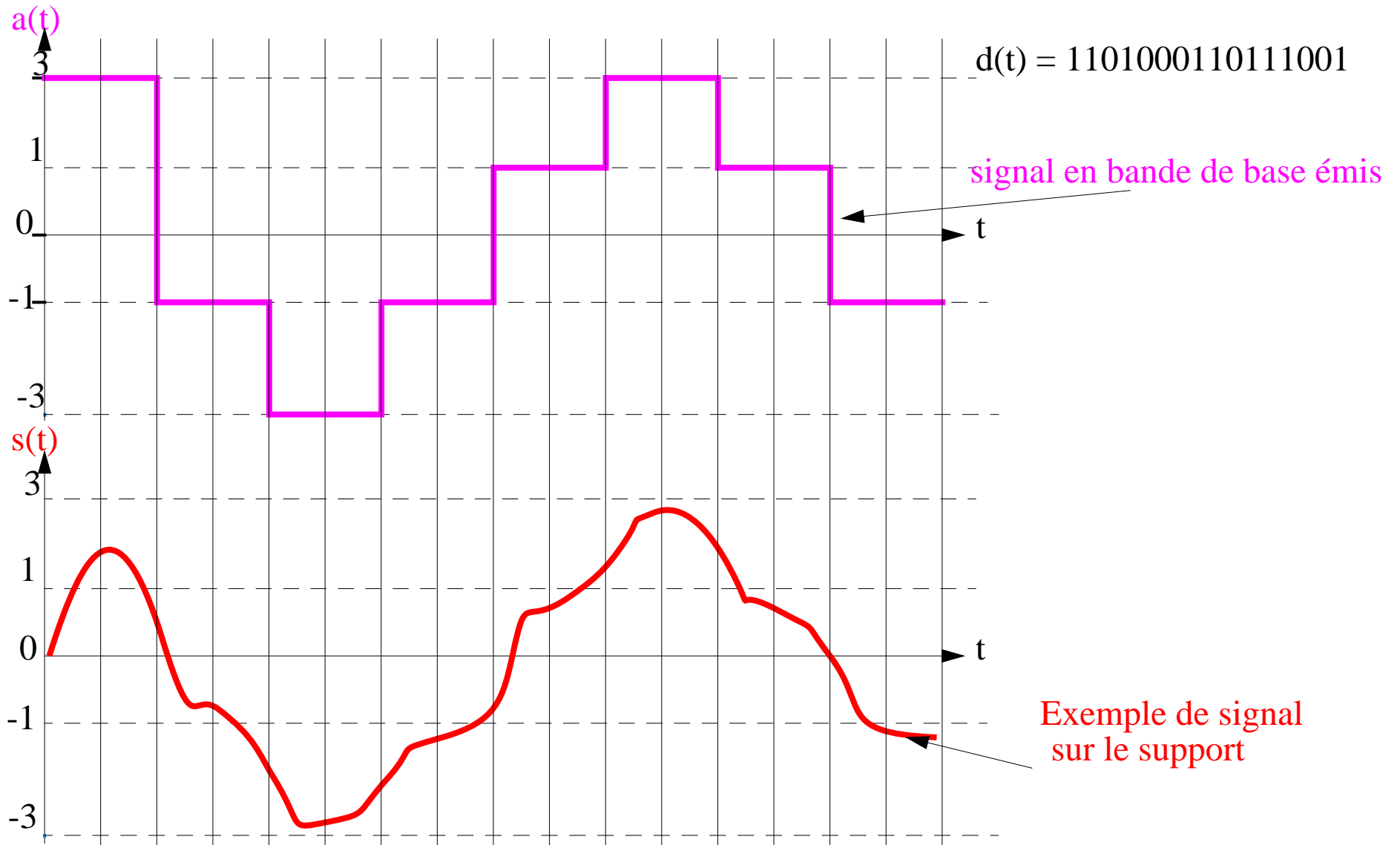
## 7. La réception

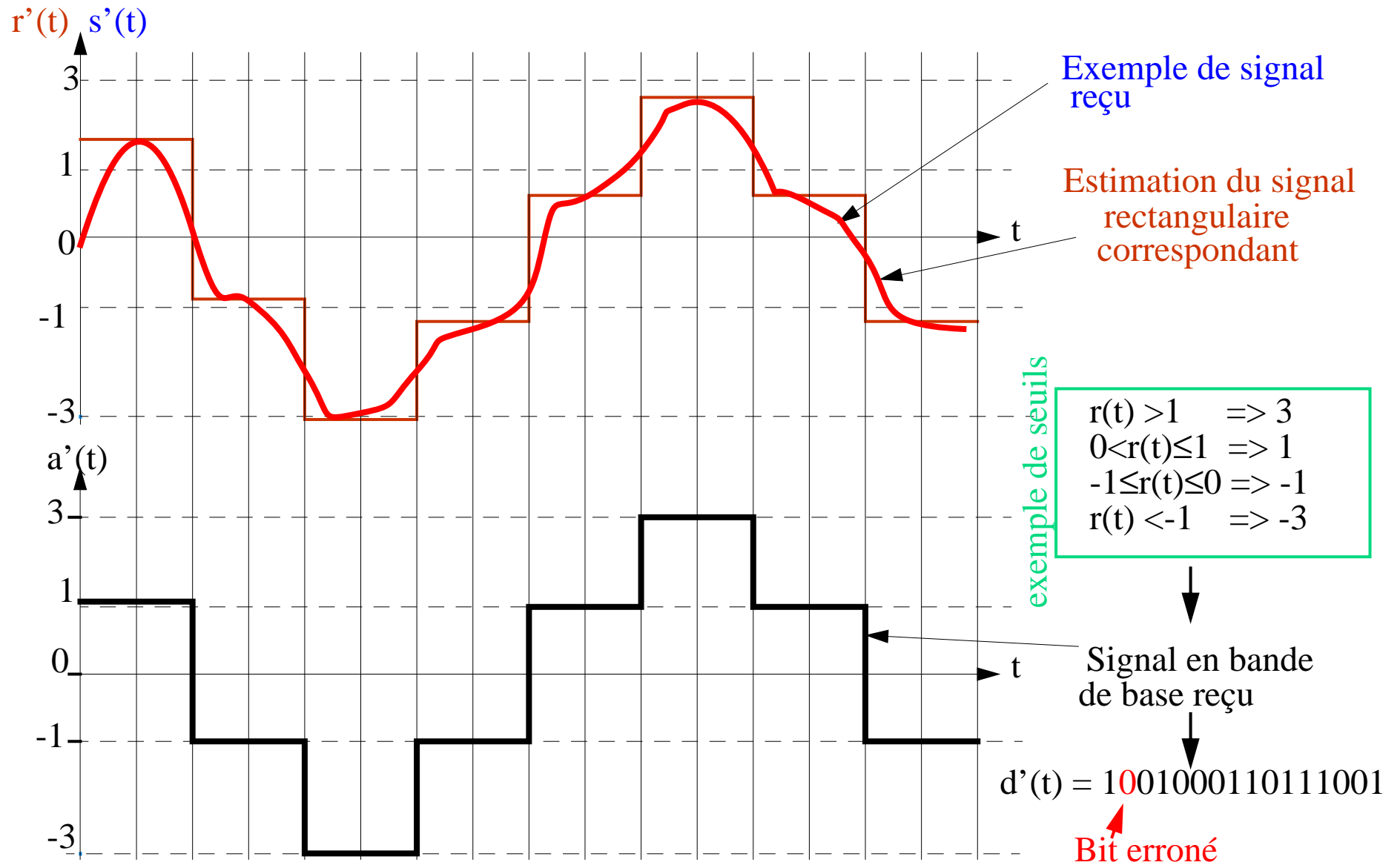


□ Le **démodulateur** réalise la transformation du signal reçu du support en un signal sous forme “rectangulaire”. Il s’aide notamment d’un **échantillonneur** et d’une horloge qui permettent de déterminer les intervalles significatifs.

□ A l’aide d’un **décideur**, le **décodeur** interprète le signal issu du démodulateur et en déduit la suite binaire correspondante.

### 7.1. Exemple de transformation en réception





## 8. Différents types de transmissions

□ Deux principaux types de transmission :

- transmission **numérique** (ou en **bande de base**)
- transmission **analogique** (ou par **transposition en fréquence**)

### 8.1. Transmission numérique

□ Uniquement sur des supports ne nécessitant pas de transposition en fréquence

- Utilisée sur des supports à grande bande passante
- Ou des distances limitées (de l'ordre de qq km)
- □ Le modem est réduit à un simple codeur (“**modem en bande de base**” ou **codec**)
  - . → le modem est peu coûteux

### 8.2. Transmission analogique

- □ Bonne protection contre le bruit
- □ Possibilité de multiplexage fréquentiel
  - . → Optimisation de l'utilisation du support
- □ Généralement ces modems sont plus coûteux et moins flexibles

### 8.3. Les combinaisons nature de l'information/type de transmission

- ❑ **transmission analogique d'informations analogiques** : émission de la parole sur le réseau téléphonique, du son sur les ondes radio, d'images de télévision sur le réseau de télédiffusion,...
- ❑ **transmission analogique d'informations numériques** : transmission de données informatiques sur des lignes téléphoniques, par satellite,...
- ❑ **transmission numérique d'informations numériques** : transmission de données informatiques en bande de base sur fibres optiques,...
- ❑ **transmission numérique d'informations analogiques** : transmission de la parole, du son ou d'images en bande de base,...

## 9. Numérisation

- Le processus de **numérisation** se décompose en trois étapes :
  - l'**échantillonnage** : passage d'un espace de temps continu à un espace de temps discret,
  - la **quantification** : passage d'un espace de valeurs continu à un espace de valeurs discret,
  - le **codage** : chaque niveau quantifié de valeurs est codé sur un nombre déterminé de bits.
  
- La technique de base la plus connue est le **MIC** (Modulation par Impulsion et Codage) à 256 niveaux de quantification, ou en anglais PCM (Pulse Coding Modulation).

## 10. Optimisation de la transmission

❑ Deux types de matériel : les **multiplexeurs** et les **concentrateurs**.

❑ Objectif : regrouper les informations en provenance de voies basse vitesse (**voies BV**) sur un unique circuit à plus fort débit appelé la voie haute vitesse (**voie HV**), ou encore **circuit composite**.

### 10.1. Les multiplexeurs

❑ Deux techniques de multiplexage :

❑ Partage du circuit composite (par une méthode statique invariable dans le temps) en plusieurs canaux acheminant chacun les données d'une voie BV.

→ **multiplexeur fréquentiel** et **multiplexeur temporel** (par caractère ou par bit).

❑ Allocation dynamique du circuit composite à une voie BV uniquement lorsque celle-ci transmet réellement.

→ **multiplexeur statistique** (ou dynamique) et **concentrateur**.

## 10.2. Caractéristiques des multiplexeurs

□ Les principaux critères d'évaluation des performances d'un multiplexeur sont :

- son **efficacité**,
- son **aptitude à mélanger les messages de données de type différent** (codes, débits, modes de transmission synchrone/asynchrone,...),
- le **transfert de voies**,
- la **transmission des signalisations** dans la bande ou hors bande (par canal sémaphore).



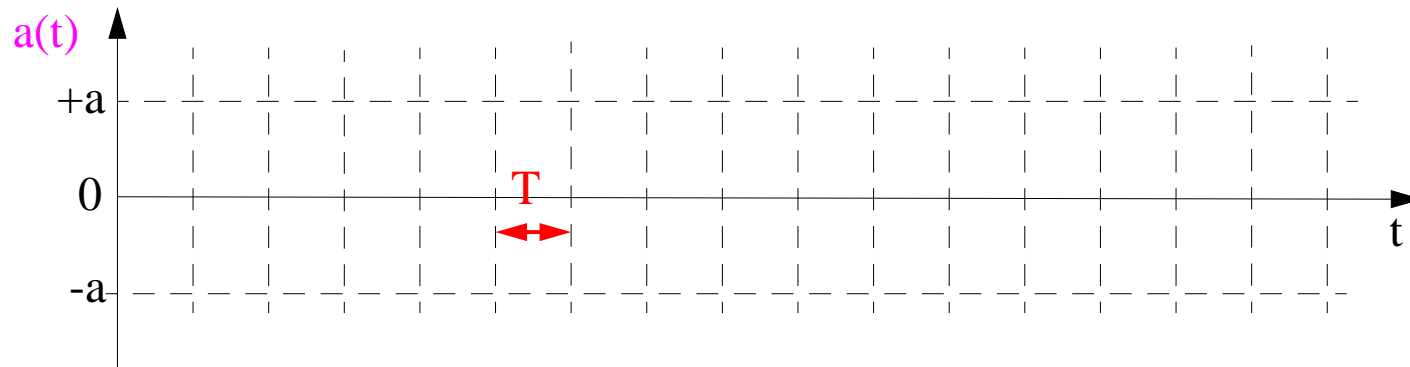
### 10.3. Code CMI (Coded Mark Impulsion)

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

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 CMI*

Code synthétise code bipolaire pour 1 et biphasé pour 0

$\Delta RDS(CMI) =$

•