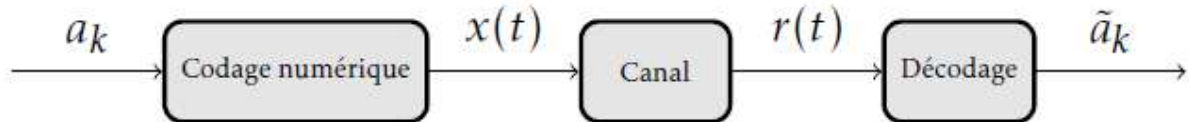


# Codage en ligne

- **Codage en ligne** : Bande de fréquence centrée autour de  $f = 0$



## 1. Schéma de transmission en bande de base

- Symbole  $a_k$  est transmis au temps  $t = kT$ ,  $x(t)$  signal codé injecté à l'entrée du canal physique et  $r(t)$  signal reçu permettant d'estimer  $a_k$

$$x(t) = \sum_k x_k(t) = \sum_k a_k g(t - kT)$$

## 2. Formule du signal codé

- $a_k \rightarrow x_k(t) = a_k g(t - kT)$
- $x(t) = \sum a_k g(t - kT)$
- **Débit brut** : Nombre de symboles par unité de temps
- **Débit binaire** :  $D = \frac{1}{T}$  (Si les  $a_k$  prennent 2 valeurs),  $T$  durée d'existence du symbole
- **DSP (Densité Spectrale de Puissance)** : Représente la répartition de la puissance d'un signal suivant les fréquences.
- **R** : Rapidité de modulation, l'inverse du temps le plus court pendant lequel le signal reste constant.

## Formule de Bennett

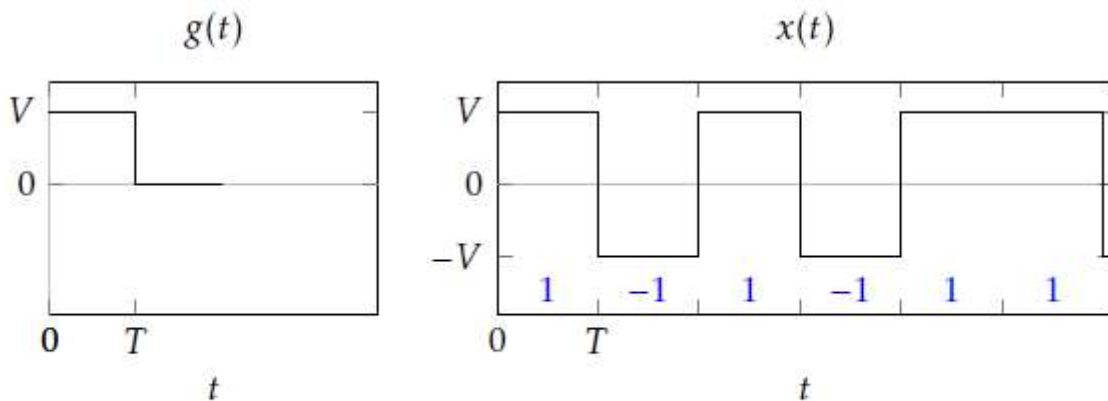
$$S_{gg}(f) \cdot \left[ \frac{\sigma_a^2}{T} + \frac{m_a^2}{T^2} \cdot \Delta_{\frac{1}{T}}(f) + \frac{2}{T} \sum_{n=1}^{+\infty} \Gamma_{aa}(n) \cos(2\pi n f T) \right]$$

$$S_{xx}(f) = S_{gg}(f) \cdot \left[ \frac{\sigma_a^2}{T} + \frac{m_a^2}{T^2} \cdot \Delta_{\frac{1}{T}}(f) \right]$$

- **Conditions pour que le spectre de  $x(t)$  soit auto-porteur de l'horloge** :
  - Le spectre du signal ne doit pas comporter de composante continue,
  - Doit tendre vers 0 quand  $f \rightarrow 0$ ,
  - Doit avoir un support le plus étroit possible,
  - Doit avoir des raies à la fréquence de l'horloge,
  - Doit conserver l'horloge à court terme.

➤ **Code NRZ Antipolaire**

- **Antipolaire** : Prends des valeurs symétriques sans la valeur 0
- **Bivalent** : Les symboles peuvent prendre 2 valeurs différentes



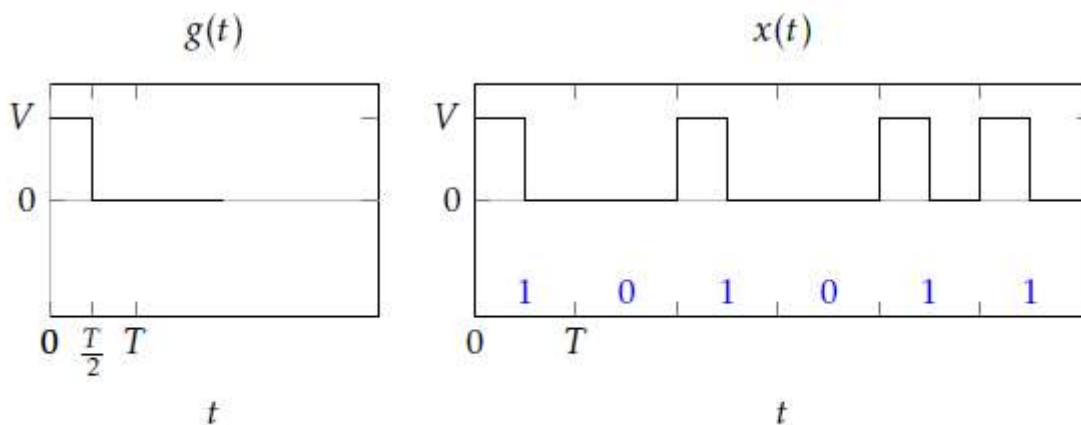
(a) Formant

(b) Signal codé

- $a_k = \pm 1$
- $R = \frac{1}{T}$
- Ne comporte pas de composante continue,
- Perte de synchronisation si une suite de 0 ou de 1

➤ **Code RZ Unipolaire**

- **Unipolaire** : Le signal prend des valeurs positives ou nulles
- **Bivalent** : 0 ou 1



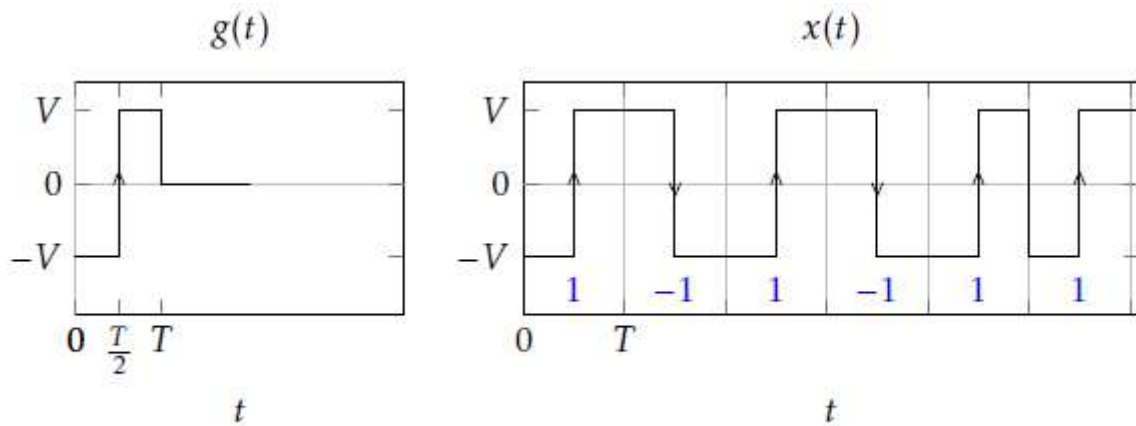
(a) Formant

(b) Signal codé

- $R = \frac{2}{T}$
- A des raies à la fréquence de l'horloge
- Occupation spectrale double par rapport au code NRZ
- Pas de différence entre une absence de communication et la transmission d'une suite de 0

➤ **Code Manchester Biphase**

- **Bivalent** : -1 ou 1



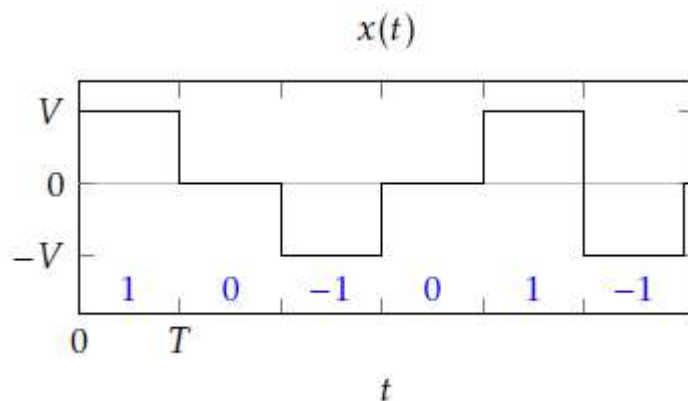
(a) Formant

(b) Signal codé

- $R = \frac{2}{T}$
- Ne comporte pas de composante continue,
- Tend vers 0 quand  $f \rightarrow 0$
- Conserve l'horloge à court terme
- Occupation spectrale double au codage NRZ

➤ **Code AMI (Alternate Mark Inversion)**

- **Trivalent bipolaire**
- $a_k = 0$  transmis par une absence de signal,  $a = 1$  est codé par un signal positif ou négatif.

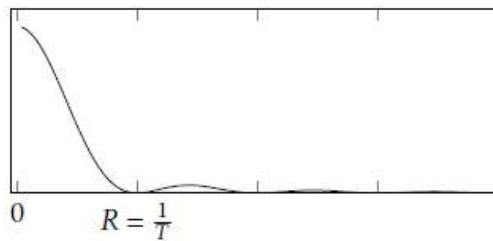


- Utilise le même formant que le code NRZ
- $a_k \in \{-1, 0, 1\}$ , les symboles ne sont pas indépendants,
- $R = \frac{1}{T}$
- Ne comporte pas de composante continue
- Tend vers 0 quand  $f \rightarrow 0$
- A un support le plus étroit possible

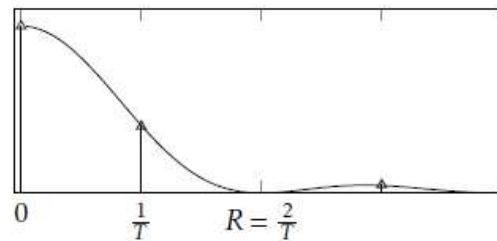
➤ **Code 2B1Q**

- $D = \frac{1}{T} \log_2(M)$
- Le code 2B1Q est un code NRZ de valence 4,
- A chaque doublet de bits, on associe un symbole quaternaire :  $a_k \in \{-3, -1, 1, 3\}$
- L'augmentation de la valence permet une augmentation du débit à R (Occupation spectrale) constante,
- Plus sensible au bruit !

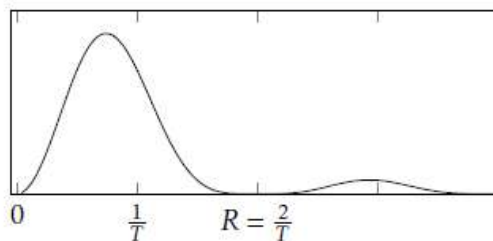
## Spectres des signaux codés



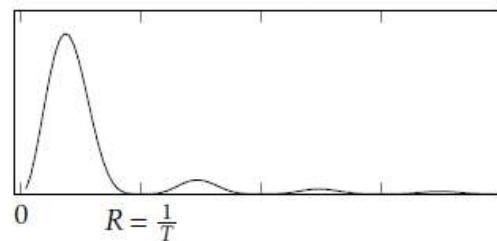
(a) Code NRZ



(b) Code RZ unipolaire

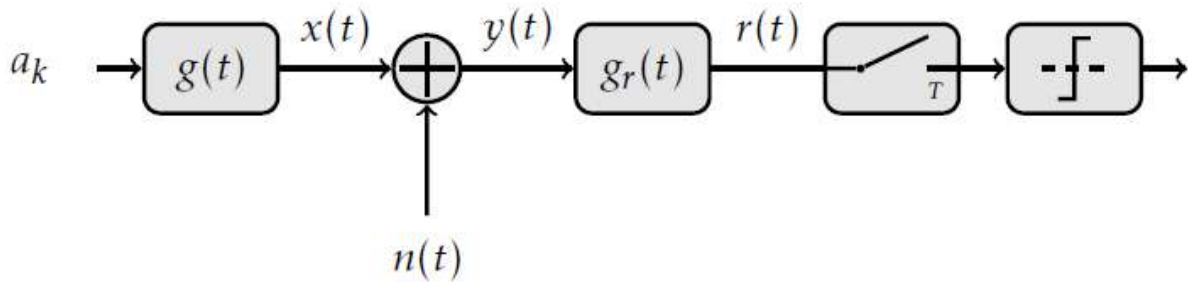


(c) Code biphase



(d) Code AMI

**Communication Numérique**  
**Fiche de révision**



**3. Transmission sur canal idéal**

- Le filtre de réception  $g_r(t)$  permet de limiter l'impact du bruit sur la probabilité d'erreur
- L'échantillonnage du signal  $r(t)$  permet d'estimer les  $a_k$ , symboles transmis
  
- Le bruit filtré, échantillonné est la réalisation d'une variable gaussienne centrée de variance  $\sigma^2$ . La probabilité d'erreur dépendra de  $\sigma$  et de  $h(t_0)$ .
  
- **Filtre adapté :**
  - Filtre de réception (de réponse impulsionnelle  $g_r(\tau)$ ) qui minimise la probabilité d'erreur est :  $g_r(\tau) = Kg(t_0 - \tau)$
  - $Pe = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{N_0}}$  (Dans le cas  $a_k \pm 1$ )
  - $E_b$  : Energie moyenne par bit,  $N_0/2$  : DSP bilatérale du bruit.
  - **Codage RZ**
    - $g(t) = V$  avec  $t \in [0, T/2]$
    - $g_r(\tau) = Ag(t_0 - \tau)$
  
- **IES : Interférence entre symboles**
- **Pour annuler l'IES**,  $h(t)$ , la réponse impulsionnelle du canal doit, pour un certain  $t_0$  (un instant d'échantillonnage) :
  - $h(t_0) \neq 0$
  - $h(t_0 + pT) = 0$  (Pour un entier  $p$  non nul)
  - Ainsi les oscillations causées par les transitions précédentes s'annulent à l'instant  $r(nT + t_0)$  d'échantillonnage permettant la décision du symbole  $a_n$ .

**Critère de Nyquist**

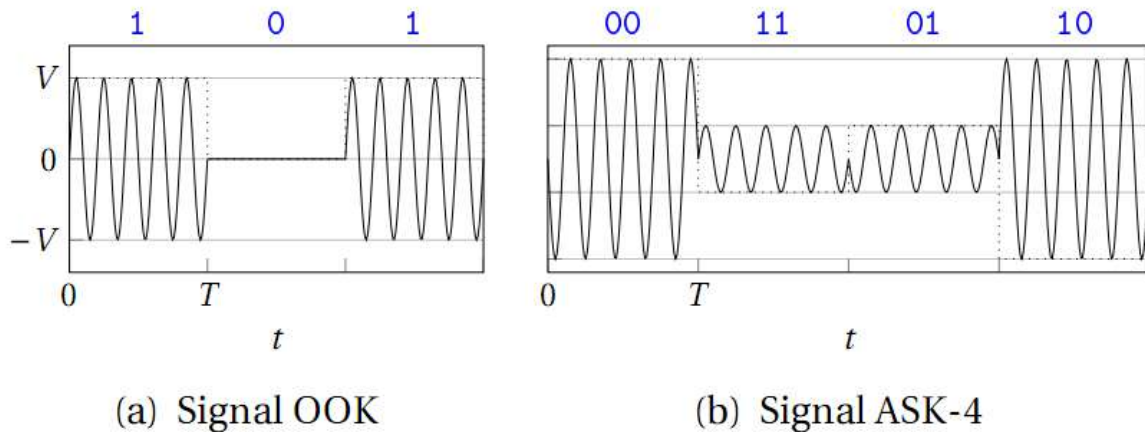
- Si le canal est un filtre passe-bas **idéal** de fréquence de coupure  $fc = \frac{1}{2T}$ , critère respecté car il est à **bande minimale**.
- Le filtre en cosinus surélevé ( $fc = \frac{1}{T}$ ) respecte ce critère
- La bande de fréquence nécessaire à la transmission d'un signal codé en bande de base est la moitié du débit symbole.

# Modulation

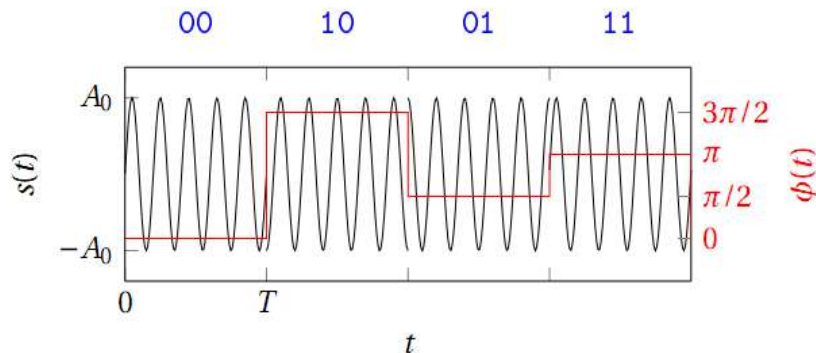
- Multiplexage direct : Bande de fréquence partagé pour plusieurs transmissions
- Multiplexage inverse : Différent canaux utilisés par la même transmission
- L'occupation spectrale du signal modulé est double du signal modulant.
  
- Modulation numérique : l'état de la porteuse reste constant durant  $T$ , la durée de transmission d'un symbole et peut prendre un nombre fini  $M$  de valeur.
- La valence  $M$  et la rapidité de modulation  $R = 1/T$  déterminent le débit binaire  
 $D = R \log_2(M)$

## Modulations numériques :

- ASK : Amplitude Shift Keying est la modulation numérique d'amplitude. Si 0 et 1 alors OOK (On/Off keying)

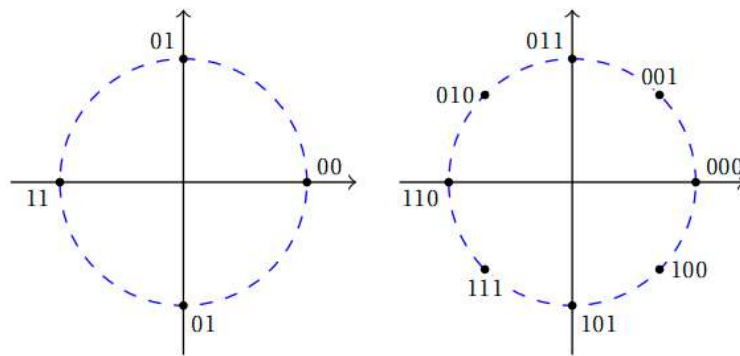


- PSK : Phase Shift Keying  
 $M=2 \rightarrow$  BPSK  
 $M=4 \rightarrow$  QPSK



**Communication Numérique**  
**Fiche de révision**

- Lors d'une modulation numérique en phase / amplitude, l'état de la porteuse reste constant durant  $T$  et est caractérisé par un couple d'amplitude phase.
- La constellation est la représentation dans le plan complexe des  $M$  états de la porteuse.

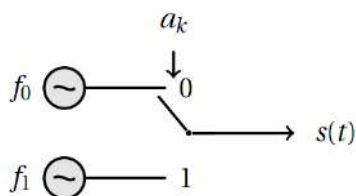


**Figure:** Constellations des PSK de valence  $M = 4$  (a) et  $M = 8$  (b).

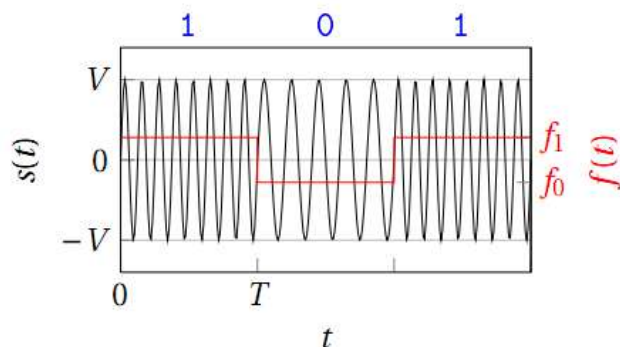


**Figure: Constellation de l'ASK-4**

- FSK : Frequency shift Keying



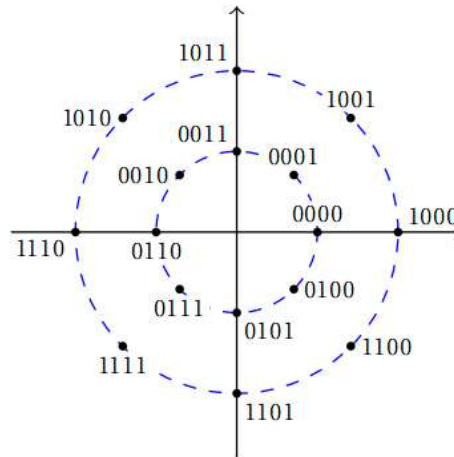
**Figure:** Schéma de modulation FSK



**Figure:** Signal FSK

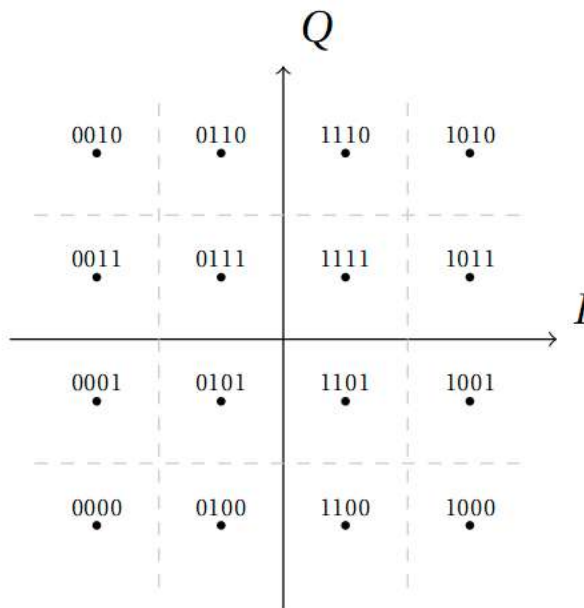
**Communication Numérique**  
**Fiche de révision**

Modélisation conjointe des deux paramètres de la porteuse.



**Figure:** Exemple de constellation d'une modulation  $\phi/A$ .

La modulation en quadrature est la modulation conjointe en amplitude de deux porteuses qui sont en quadrature. Elle est équivalente à une modulation conjointe phase/amplitude.



**Figure:** Constellation de la QAM 16

- L'augmentation de la rapidité de modulation (ie du débit symbole) est susceptible d'engendrer une interférence entre symbole
- Le critère de Nyquist indique que la bande de fréquence minimale du canal doit être égale à la Rapidité de modulation  $1/T$
- Augmenter la valence augmente  $P_e$  (Probabilité d'erreur)
- Sur une constellation, plus les points sont proches, plus  $P_e$  est importante
- A valence égale, la PSK est plus sensible que la QAM.



## Rattrapage 2012

- Deux phénomènes produisant dans le canal physique produisant des erreurs binaires

Le bruit et l'atténuation

- Différence entre débit symbole et débit binaire + Lien entre les 2

Débit binaire = Nombre de bits par symboles \* Débit symbole

- Principal avantage du code RZ sur le code NRZ

Le débit symbole est 2 fois plus élevé, donc modulation plus rapide. Et le portage de l'horloge.

- Limitation du débit imposée par le canal physique lors de l'utilisation d'un code en bande de base bivalent ?

Le débit est limité par la bande de fréquence que l'on peut utiliser

- Représenter schématiquement la DSP

Voir cours 1 slide 28

- Principale différence entre une modulation numérique et une modulation analogique

Modulation numérique : Le nombre de symboles est fini et l'horloge est cadencée

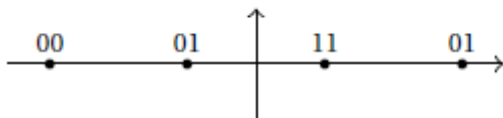
- Dans le cas d'une modulation, quels sont les paramètres déterminant la bande de fréquence occupée par le signal ?

La fréquence de la porteuse et l'occupation.

- QAM-16, rapidité de modulation de 5KBauds, débit de la transmission ?

$$D = R \cdot \log_2(M) = 5 * 10^3 * \log_2(2^4)$$

- Représenter la constellation d'une modulation ASK-4



- Quel paramètre permet de modifier le débit pour une modulation QAM donc la rapidité de modulation est fixée ?

On change la valence. Mais l'écart entre 2 symboles différents diminue, on augmente le risque d'erreurs.