

# Cours de Télécommunication (Transmission BdB)

Ayoub Bouchama

April 24, 2023

## Contents

<b>1</b>	<b>Modulation numérique en bande de Base et notion d'efficacité spectrale</b>	<b>2</b>
1.1	Principe . . . . .	2
1.2	Mapping . . . . .	2
1.3	Densité spectrale de puissance . . . . .	3
1.3.1	NRZ à 2 niveaux . . . . .	3
1.3.2	Signal biphase ou manchester . . . . .	3
1.4	Bande occupée par le signal transmis 'B' . . . . .	4
1.5	Efficacité spectrale . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Interférences entre symboles et critère de Nyquist</b>	<b>4</b>
2.1	Schéma de la chaîne de transmission . . . . .	4
2.2	Réponse impulsionnelle globale . . . . .	5
2.3	Critère de Nyquist . . . . .	5
2.4	Condition sur canal pou respecter le critère de Nyquist . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Impact du bruit dans la chaine de transmission et notion d'efficacité en puissance</b>	<b>5</b>
3.1	Filtre adapté . . . . .	5
3.2	Décision . . . . .	6
3.2.1	Cas Binaire . . . . .	6
3.2.2	Cas 4-aire . . . . .	6
3.3	Taux d'erreur symbole (TES) . . . . .	7
3.3.1	Cas Binaire . . . . .	7
3.3.2	Cas 4-aire . . . . .	7
3.4	Taux d'erreur binaire (TEB) . . . . .	8
3.5	Efficacité en puissance . . . . .	8

## List of Figures

1	Quelques exemples du mapping . . . . .	2
2	Signal NRZ à deux niveaux . . . . .	3
3	Signal biphase ou manchester . . . . .	3
4	La bande B . . . . .	4
5	Shema de la chaine de transmission . . . . .	4
6	Critère de Nyquist sans canal . . . . .	5
7	Filtre adapté . . . . .	5
8	Décision dans le cas binaire . . . . .	6
9	Décision dans le cas 4-aire . . . . .	6
10	TES dans le cas binaire . . . . .	7
11	TES dans le cas 4-aire . . . . .	7
12	TEB . . . . .	8
13	Relation entre TEB et l'efficacité en puissance . . . . .	8

# 1 Modulation numérique en bande de Base et notion d'efficacité spectrale

## 1.1 Principe

Le principe de la modulation en bande base :

- Découper la séquence binaire en bloc de  $n$  bits
- \*\*\*\*\*  $n = 1$  si par exemple le signal est constitué des bits  $[0\ 1]$  \*\*\*\*\*
- \*\*\*\*\*  $n = 2$  si par exemple le signal est constitué des bits  $[00\ 01\ 10\ 11]$  \*\*\*\*\*
- Associer un symbole M-aire à chaque bloc (  $M = 2^n$  )
- $R_b = 1/T_b$
- $R_s = 1/T_s$
- $T_s = n * T_b$
- $R_s = R_b/n$
- $R_s = R_b/\log_2(M)$
- $N_s = T_s/T_c$

## 1.2 Mapping

Le mapping consiste à correspondre à chaque bits un symbole et de tracer le filtre de mise en forme  $h$ .

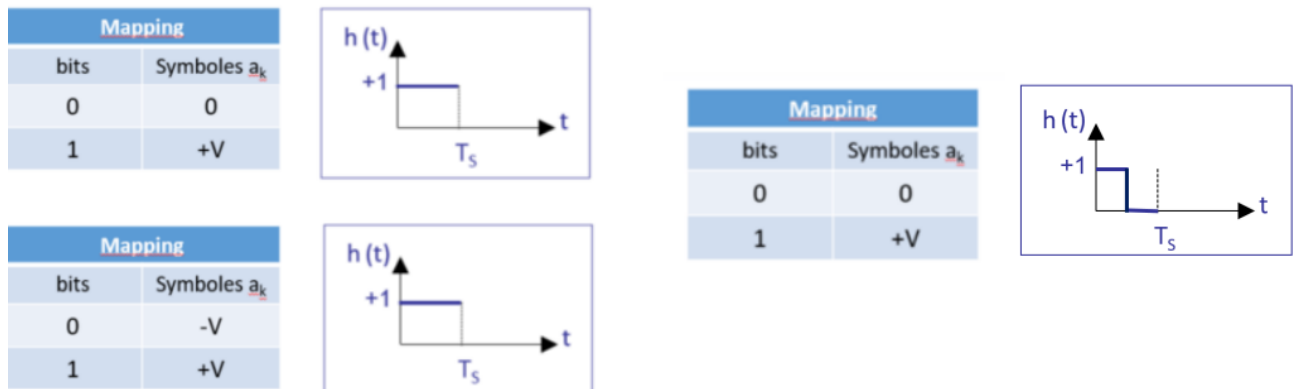


Figure 1: Quelques exemples du mapping

### 1.3 Densité spectrale de puissance

#### 1.3.1 NRZ à 2 niveaux

La densité spectrale d'un signal NRZ à deux niveaux est :

$$S_x(f) = T_s * [\sin(\pi * f * T_s) / (\pi * f * T_s)]^2 = T_s * \text{sinc}(\pi * f * T_s)^2$$

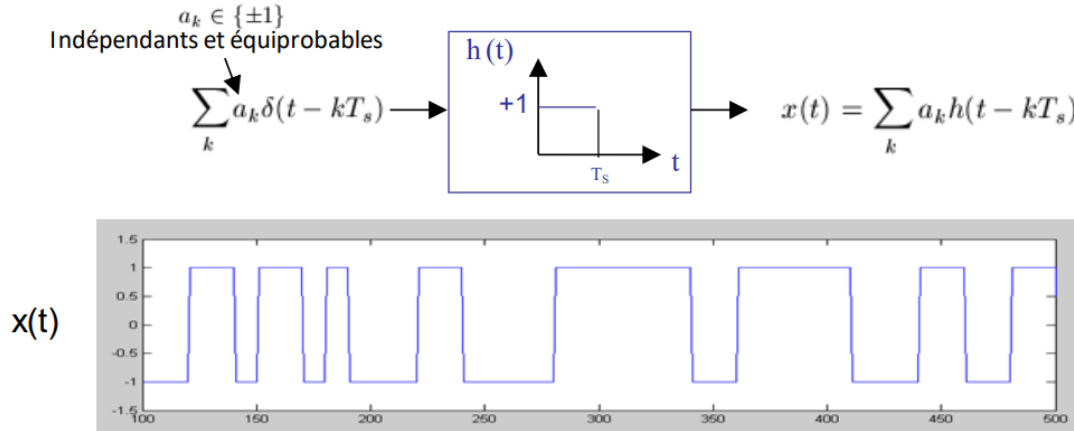


Figure 2: Signal NRZ à deux niveaux

#### 1.3.2 Signal biphase ou manchester

La densité spectrale d'un signal biphase ou manchester est :

$$S_x(f) = T_s * [\sin(\pi * f * T_s / 2) / (\pi * f * T_s / 2)]^2$$

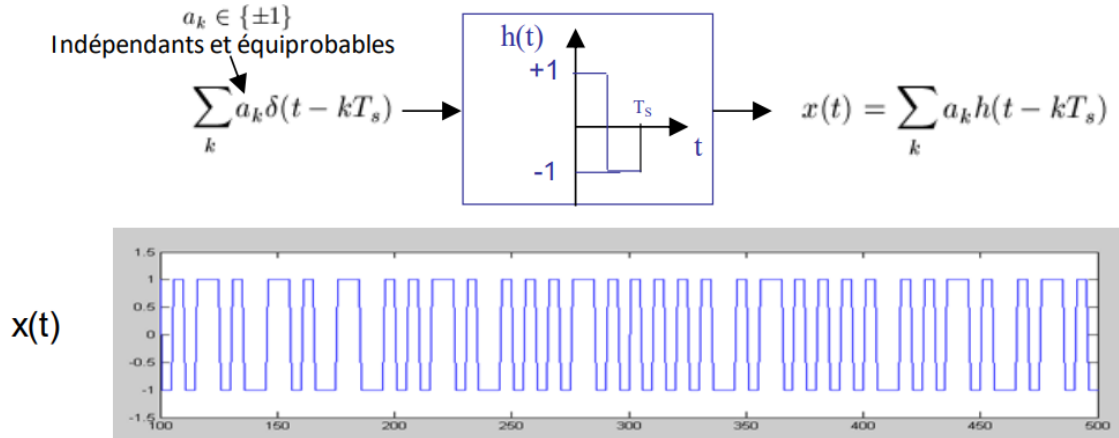


Figure 3: Signal biphase ou manchester

## 1.4 Bande occupée par le signal transmis 'B'

Definition 1 : Bande de fréquence B concentrant x% de l'énergie du signal (valeurs typiques : 95 à 99)

$$\frac{\int_0^B S_x(f)df}{\int_0^\infty S_x(f)df} = \frac{x}{100}$$

Definition 2 : Bande de fréquence B au delà de laquelle l'atténuation minimale est de x dB (valeurs typiques : 20 à 30 dB)

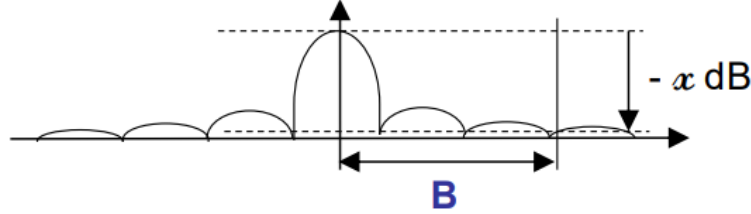


Figure 4: La bande B

## 1.5 Efficacité spectrale

L'efficacité spectrale est la bande B nécessaire pour passer le débit  $R_b$  souhaité et on a :

$$B = k * R_s \text{ et } R_s = \frac{R_b}{\log 2(M)}$$

Donc :

$$\eta = \frac{R_b}{B} = \frac{\log 2(M)}{k}$$

## 2 Interférences entre symboles et critère de Nyquist

### 2.1 Schéma de la chaîne de transmission

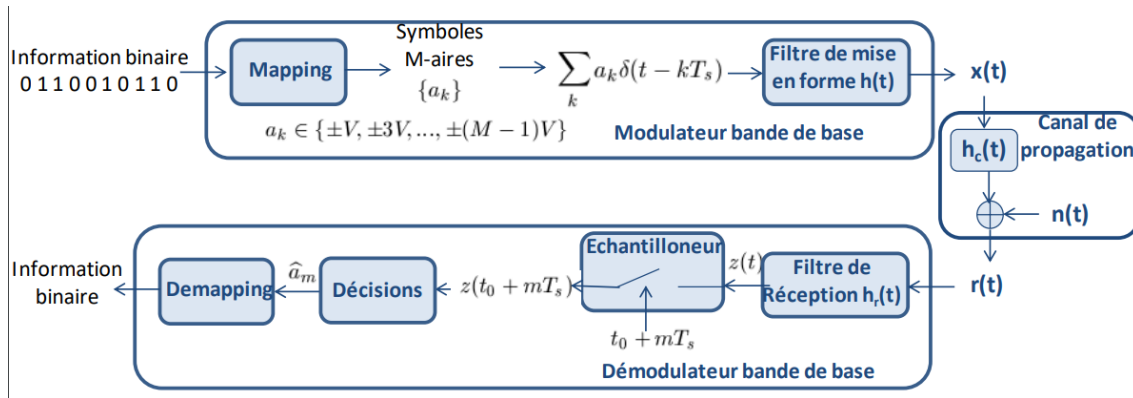


Figure 5: Shema de la chaine de transmission

## 2.2 Réponse impulsionnelle globale

L'expression de la reponse impulsionnelle globale est :

$$g(t) = h(t) * h_c(t) * h_r(t)$$

$h(t)$  : Reponse impulsionnelle du filtre de mise en forme

$h_c(t)$  : Reponse impulsionnelle du canal de propagation

$h_r(t)$  : Reponse impulsionnelle du filtre de reception

## 2.3 Critère de Nyquist

Le critère de Nyquist consiste à vérifier 2 conditions :

$g(t_0) \neq 0$  et  $g(t_0 + pT_s) = 0$  for  $p \in \mathbb{Z}^*$

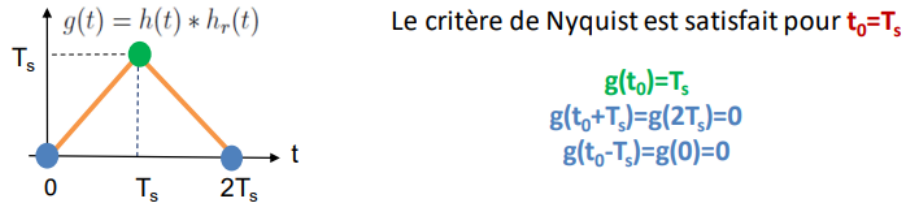


Figure 6: Critère de Nyquist sans canal

## 2.4 Condition sur canal pou respecter le critère de Nyquist

Si  $B_W > F_{max}$ , un canal AWGN à bande limitée  $B_W$  permet de continuer à respecter le critère de Nyquist.

Mais, comme  $F_{max} = kR_s$ , alors  $R_s < \frac{B_w}{k}$  pour continuer de respecter le critère de Nyquist.

## 3 Impact du bruit dans la chaine de transmission et notion d'efficacité en puissance

### 3.1 Filtre adapté

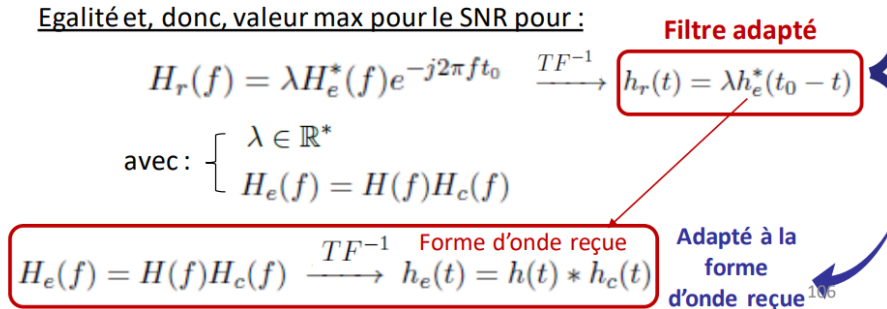


Figure 7: Filtre adapté

## 3.2 Décision

### 3.2.1 Cas Binaire

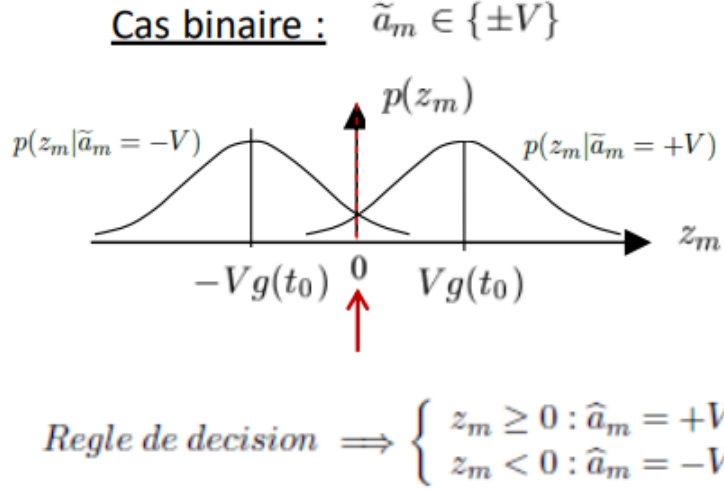


Figure 8: Décision dans le cas binaire

### 3.2.2 Cas 4-aire

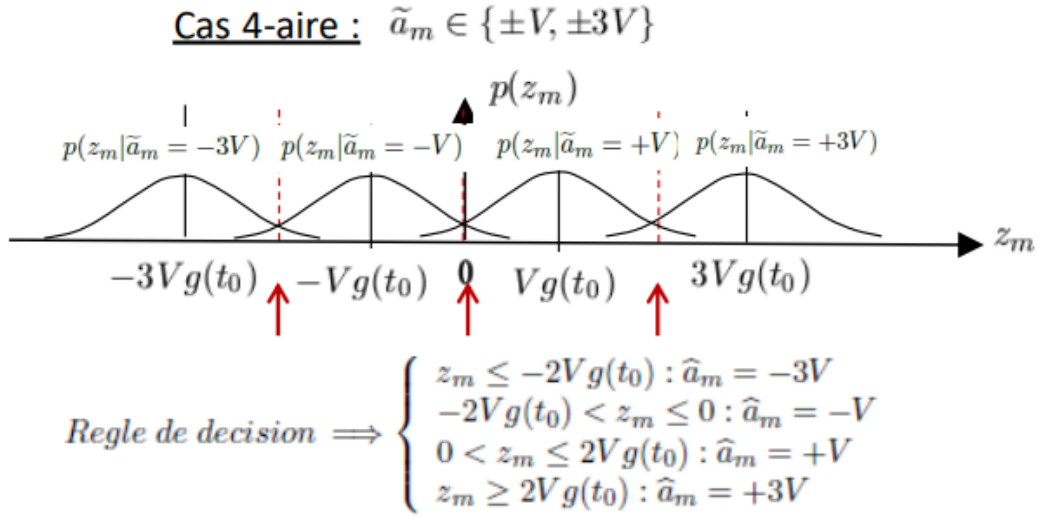


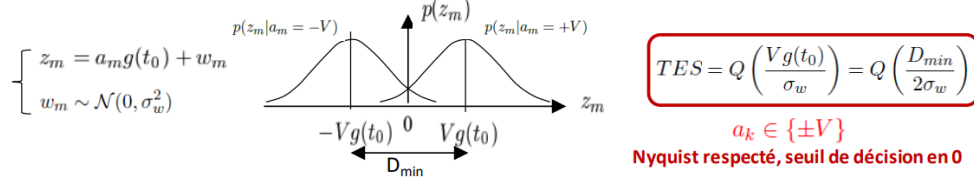
Figure 9: Décision dans le cas 4-aire

### 3.3 Taux d'erreur symbole (TES)

#### 3.3.1 Cas Binaire

→ Cas binaire :  $a_m \in \{\pm V\}$ , équiprobables et indépendants

→ **Nyquist respecté** et seuil de décision en 0



→ **Nyquist respecté**, seuil de décision en 0 et **filtrage adapté**

$TES_{min}$  en fonction de  $\frac{E_b}{N_0}$  (SNR par bit à l'entrée du récepteur) ?

Filtrage adapté :  $H_r(f) = \lambda H_e^*(f) e^{-j2\pi f t_0}$  ou  $H_e(f) = \frac{1}{\lambda} H_r^*(f) e^{-j2\pi f t_0}$

$$\Rightarrow G(f) = H(f) H_c(f) H_r(f) = H_e(f) H_r(f) = \lambda |H_e(f)|^2 e^{-j2\pi f t_0} = \frac{1}{\lambda} |H_r(f)|^2 e^{-j2\pi f t_0}$$

$$TES_{min} = Q\left(\sqrt{2 \frac{E_b}{N_0}}\right)$$

$a_k \in \{\pm V\}$   
**Nyquist respecté, seuil de décision en 0**  
**Filtrage adapté**

Figure 10: TES dans le cas binaire

#### 3.3.2 Cas 4-aire

→ Cas M-aire :  $a_m \in \{\pm V, \pm 3V, \dots, \pm(M-1)V\}$ , équiprobables et indépendants

→ **Nyquist respecté** et seuil de décision en 0

$$TES = 2 \left( \frac{M-1}{M} \right) Q\left(\frac{Vg(t_0)}{\sigma_w}\right)$$

→ **Nyquist respecté**, seuil de décision en 0 et **filtrage adapté**

$$TES_{min} = 2 \left( \frac{M-1}{M} \right) Q\left(\sqrt{\frac{6 \log_2(M) E_b}{M^2 - 1 N_0}}\right)$$

$$a_m \in \{\pm V, \pm 3V, \dots, \pm(M-1)V\}$$

Obtenu pour une modulation **M-PAM** (Bande de base), dans un **canal de Nyquist**, avec **filtrage adapté**.

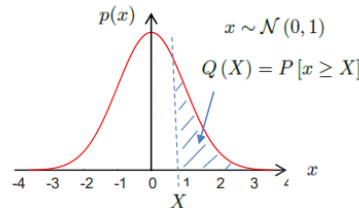


Figure 11: TES dans le cas 4-aire

### 3.4 Taux d'erreur binaire (TEB)

Le taux d'erreur binaire TEB dépend du taux d'erreur symbole TES par la relation :

$$TEB = \frac{TES}{\log_2(M)}$$

$$(TEB = \frac{\text{Nbre de bits erronés}}{\text{Nbre de bits transmis}} \approx \frac{\text{Nbre symboles erronés}}{\text{Nbre symboles transmis} \times \text{Nbre bits codés par symbole}})_{122}$$

Figure 12: TEB

### 3.5 Efficacité en puissance

L'efficacité en puissance est SNR par bit nécessaire à l'entrée du récepteur pour atteindre le TEB souhaité.

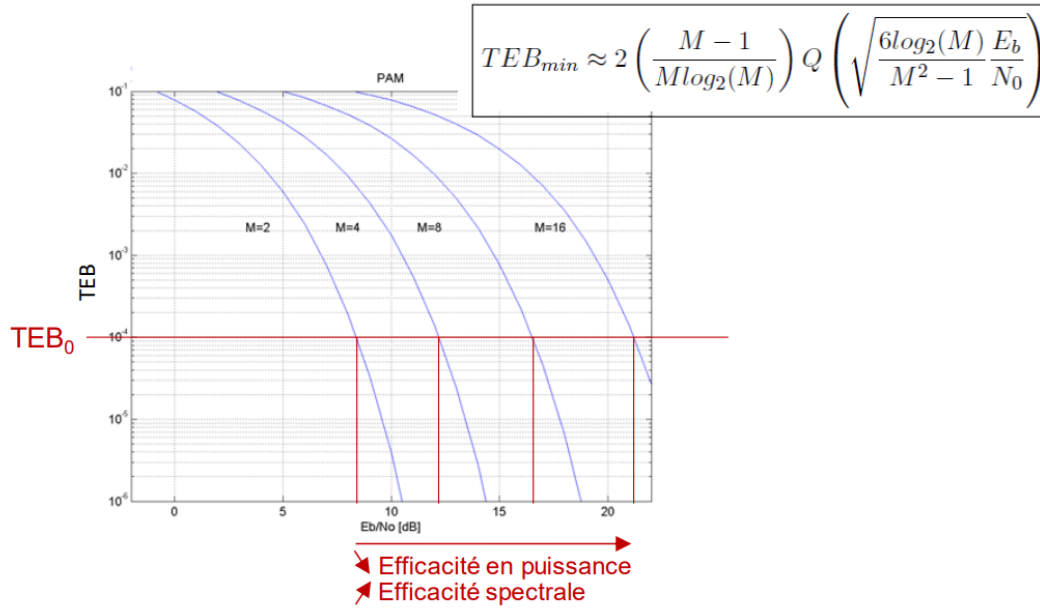


Figure 13: Relation entre TEB et l'efficacité en puissance