

# Communications Numériques

## TD 1 - Bits, symboles et débits

### Exercice 1.1

Soit le signal binaire suivant : 110100011010011011111010.

- Proposer un code de Gray pour  $M = 4$  symboles et donner la séquence M-aire associée au signal binaire.
- Même question pour  $M = 8$  symboles.
- Si  $D_b = 12$  Kbit/s, que vaut le débit symbole pour les 2 cas précédents ?

### Solution :

Question 3 : Pour  $M = 4$ ,  $D_s = \frac{12}{2} = 6$  bauds ; pour  $M = 8$ ,  $D_s = \frac{12}{3} = 4$  bauds

### Exercice 1.2

Un modem utilise un signal de 1024 symboles avec un débit symbole de 4000 bauds :

- Combien de bits y a-t-il par symbole ? Que vaut le débit d'information en bits/s ?

### Solution :

Il y a 10 bits par symbole.  $D_b = D_s \times \log_2 M = 4000 \times 10 = 40$  Kbits/s

### Exercice 1.3

Une liaison transmet des données en mode paquets à raison de 100 bits en 2,2 ms (un paquet correspond à 100 bits).

- Quel est le débit d'information ?

### Solution :

$$D_b = \frac{100}{2.2 \times 10^{-3}} = 45.45 \text{ Kbits/s}$$

### Exercice 1.4

Un système de transmission utilise un signal à 4 bits par symbole. Quel sera le débit symbole si le débit d'informations vaut 9600 bits/s ?

**Solution :**

$$D_s = \frac{D_b}{m} = \frac{9600}{4} = 2400 \text{ bauds ;}$$

**Exercice 1.5**

On effectue la mesure de la durée d'un symbole pour un système de transmission donné. On trouve 2,5 ms. La spécification de ce système fait état d'un nombre de bits d'information par symbole égal à 6.

— En déduire le débit symbole et le débit d'information.

**Solution :**

$$D_s = \frac{1}{T_s} = \frac{1}{2,5 \times 10^{-3}} = 400 \text{ bauds ; } m = 6 \text{ et } D_b = D_s \times m = 400 \times 6 = 2400 \text{ bits/s}$$

**Exercice 1.6**

Un modem exploite un débit d'information de 56 Kbits/s, utilisant 128 niveaux d'amplitudes différentes. Donner le débit symbole correspondant.

**Solution :**

$$m = \log_2(128) = 7 ; D_s = \frac{D_b}{m} = \frac{56000}{7} = 8000 \text{ bauds}$$

**Exercice 1.7**

Une liaison radio doit transmettre un signal vocal à 4800bits/s mais ne peut dépasser un débit symbole de 1200 bauds. Définir le nombre de symboles nécessaire.

**Solution :**

$D_s \leq 1200 ; \frac{D_b}{m} \leq 1200 ; m \geq \frac{D_b}{1200} = \frac{4800}{1200} = 4 ;$  Donc  $m \geq 4$  On prendra  $m = 4$  et  $M = 2^4 = 16$  symboles.

**Exercice 1.8**

On propose l'association suivante entre symboles  $M$ -aire représentant des phases et des séquences binaires de 3 bits :

$$\begin{aligned} 000 &\leftrightarrow 0 \\ 001 &\leftrightarrow \pi/4 \\ 010 &\leftrightarrow \pi/2 \\ 011 &\leftrightarrow 3\pi/4 \\ 110 &\leftrightarrow \pi \\ 100 &\leftrightarrow 5\pi/4 \\ 101 &\leftrightarrow 3\pi/2 \\ 111 &\leftrightarrow -\pi/4 \end{aligned}$$

- Est-ce un codage de Gray ?
- Si non, proposer un codage de Gray possible.

**Solution :**

— non ce n'est pas un codage de Gray

000	$\leftrightarrow$	0
001	$\leftrightarrow$	$\pi/4$
011	$\leftrightarrow$	$\pi/2$
010	$\leftrightarrow$	$3\pi/4$
110	$\leftrightarrow$	$\pi$
111	$\leftrightarrow$	$5\pi/4$
101	$\leftrightarrow$	$3\pi/2$
100	$\leftrightarrow$	$-\pi/4$

**Exercice 1.9**

Dans un système de transmission numérique de voix téléphonique, le débit de la voix numérisée est de 32 Kbits/s. La bande de canal allouée pour la transmission de cette voix est de 24KHz.

Avec quel débit symbole  $D_s$  doit-on transmettre le signal si le filtre de mise en forme du signal occupe une bande égale à  $1.5D_s$ ?

Quelle est la taille de l'alphabet des symboles nécessaire pour la modulation de la voix numérisée ?

**Solution :**

$1.5D_s \leq 24000$  ;  $D_s \leq \frac{24000}{1.5} = 16000$ bauds.  $D_s = \frac{D_b}{m}$  ;  $m = \frac{D_b}{D_s}$  ;  $m \geq \frac{32000}{16000} = 2$  ; On choisit  $M = 4$  symboles

**Exercice 1.10**

Une source numérique peut-être créé à partir d'une source analogique par échantillonnage et numérisation du signal. Si la voix téléphonique est limitée à 4 KHz, estimer le débit binaire d'information après un convertisseur analogique/numérique à 8 bits.

**Solution :**

$W_{max} = 4\text{KHz}$  ;  $f_e \geq 2W_{max} = 8\text{KHz}$ . On a 8 bits/échantillon donc le débit d'information est  $8 \times 8 = 64\text{Kbits/s}$

**Exercice 1.11**

Une liaison de télécommunications utilise 4 niveaux d'amplitudes transmis à une vitesse de 9600 bauds.

- Quel est le débit source ?
- Le filtre de mis en forme utilisé occupe une bande de  $1.6 \times D_s$ .Quelle doit être la bande passante minimale du canal ?

**Solution :**

$$D_b = D_s \times m; m = \log_2 4 = 2; D_b = 9600 \times 2 = 19,2 \text{ Kbits/s}$$

**Exercice 1.12**

Une liaison téléphonique utilise un canal de transmission de 3.1 KHz de bande passante, constante sur toute la bande. On souhaite travailler à un débit de 28.8 Kbits/s. Quelle doit être la dimension minimale de la constellation nécessaire ?

**Solution :**

## TD 2 - Transmission en bande de base. Codes en lignes

### Exercice 2.1

Les modulations numériques linéaires sont caractérisées par la relation :

$$s(t) = \sum_k a_k h(t - kT_s)$$

Soit l'alphabet des symboles  $\mathcal{M} = \{-3, -1, +1, +3\}$  et  $h(t) = \text{rect}\left(\frac{t - \frac{T_s}{2}}{T_s}\right)$ .

- Représenter les signaux pour les suites de symboles suivantes :
  - $(a_0 = 1; a_1 = -3; a_2 = -1; a_3 = 3)$  et  $(a_0 = 3; a_1 = -1; a_2 = -3; a_3 = 1)$
- Exprimez la relation entre le débit d'information (débit binaire) et le débit symbole.
- Représenter la constellation des signaux.
- Quelle est la distance minimale entre symboles de la constellation

### Exercice 2.2

On veut représenter un signal analogique  $v(t)$  à l'aide de la modulation par impulsions d'amplitudes (MIA), en utilisant un code en ligne NRZ polaire. Le signal MIA doit être transmis dans un canal dont la largeur de bande est strictement limitée à 4 KHz. Pour ce faire on utilise un quantificateur uniforme à 16 niveaux de quantification et un filtre de mise en forme du signal de bande  $0.8 \times D_s$ , où  $D_s$  est le débit des symboles.

- Sachant que le code en ligne est un NRZ polaire quelle relation proposez vous entre le débit symbole  $D_s$  et le débit binaire  $D_b$ .
- Déterminez le débit binaire  $D_b$  maximal du signal MIA pour pouvoir le transmettre dans la bande du canal.
- Reprendre les deux questions mais cette fois avec un code en ligne à 4 niveaux d'amplitude.

### Solution :

- $D_s = D_b$
- $0.8 \times D_s \leq 4000$  ;  $0.8 \times D_b \leq 4000$ ;  $D_b \leq \frac{4000}{0.8} = 5\text{Kbits/s}$ . Débit maximal est 5 Kbits/s.
- $D_s = \frac{D_b}{\log_2(4)}$
- $0.8 \times D_s \leq 4000$  ;  $0.8 \times \frac{D_b}{2} \leq 4000$ ;  $D_b \leq \frac{8000}{0.8} = 10\text{Kbits/s}$ .

## TD 3 - Transmission en bande transposée

### Exercice 3.1

Une modulation d'amplitude unidimensionnelle (*ASK*) à 8 états transite à 2400 bauds. Quelle est la bande passante nécessaire dans le cas d'un filtre de mise en forme idéal (fonction de transfert constante dans la bande passante du canal) et dans le cas d'un filtre de bande passante égale à  $1.5 \times D_s$  ?

#### Solution :

2400 Hz et  $1.5 \times 2400 = 3600$  Hz

### Exercice 3.2

Tracez la constellation d'une modulation ASK lorsque le signal MIA en bande de base modulant la porteuse est :

- Un signal quaternaire unipolaire
- Un signal quaternaire polaire

### Exercice 3.3

On souhaite effectuer une transmission à 64 kbits/s à l'aide d'une liaison équipée de modems fonctionnant selon une modulation ASK 8-aire avec des filtres de mise en forme dont la bande spectrale est  $1.33 \times D_s$ . Calculez la bande passante du canal nécessaire.

#### Solution :

$B_c$  est la bande de canal nécessaire.  $B_c = 1.33 \times D_s = 1.33 \times \frac{D_b}{\log_2 8} = 1.33 \times \frac{64000}{\log_2 8} = 28\,373,33$  Hz

### Exercice 3.4

Un système de télévision numérique utilise un signal vidéo de bande passante 5 MHz. Ce signal est échantillonné à raison de 13,5 millions d'échantillons par seconde et chaque échantillon est quantifié sur 8 bits. Ce signal numérisé est transmis par un réseau câblé à l'aide d'une 64-QAM précédée d'un filtre de mise en forme de bande passante  $1.5 \times D_s$ . Quelle est la bande passante du canal nécessaire pour une transmission sans distorsions ?

#### Solution :

$D_b = 13.5 \times 10^6 \times 8 = 108$  Mbits/s ;  $D_s = \frac{D_b}{m} = \frac{108 \times 10^6}{6} = 18 \times 10^6$  sym/s ;  $W$  = bande du signal =  $1.5 \times D_s = 1.5 \times 18 \times 10^6 = 27$  MHz.

### Exercice 3.5

Quelle est la bande passante de canal minimale requise pour transmettre un flux de données à 256 kbits/s si on fait appel à :

- une transmission en bande de base par un signal quaternaire polaire ?
- une BPSK ?
- une QPSK ?
- une 64-QAM ?