

## TD 2

# Multiplexage

### Exercice 1 :

PCM : échantillons de 7 bits avec une fréquence d'échantillonnage de 8000Hz

MIC : échantillons de 8 bits avec une fréquence d'échantillonnage de 8000Hz

Bande passante de la voix : 300Hz – 3400Hz

#### 1.a

$f_{\text{voix}} = 3400\text{Hz}$   $f_{\text{échantillonnage}} = 6800$ , en pratique 8000Hz

$D = 8000\text{Hz} * 7\text{bits} = 56\text{Kbits/sec}$

#### 1.b

$F_{\text{tele}} = 10\text{MHz}$   $f_{\text{échantillonnage}} = 20\text{MHz}$

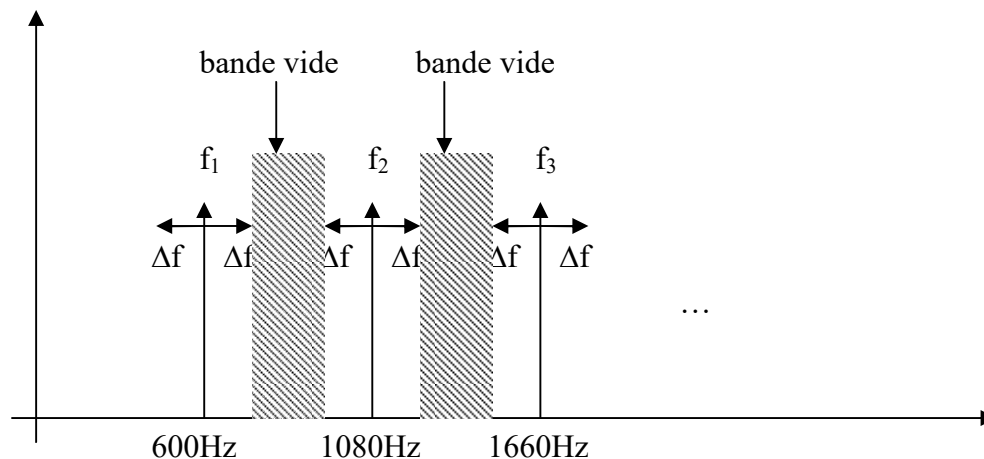
$D = 20\text{MHz} * 20\text{bits} = 400\text{Mbits/sec}$

### Exercice 2 :

#### 2.a

Bande passante du RTC : 300-3400Hz

Exemple de multiplexage en fréquence :



Ici la largeur de bande est doublée pour permettre la communication dans les deux sens (communication bidirectionnelle simultanée ou full duplex).

Bande passante voie 1 : [480 Hz - 720 Hz]

Bande vide [720 Hz - 960 Hz]

Bande passante voie 2 : [960 Hz - 1200 Hz]

...

Bande passante voie 3 : [1440Hz - 1680 Hz]

...

Bande passante voie 4 : [1920Hz - 2160 Hz]

...

Bande passante voie 5 : [2400Hz - 2640 Hz]

...

Bande passante voie 6 : [2880Hz - 3120 Hz]

Ce multiplexage est donc possible sur le RTC compris entre 300Hz et 3400Hz

**2.b**

Débit de la Voie Haute Vitesse :

$$D = W \log_2 (1+S/B)$$

$$D=3100\text{Hz} * \log_2 (1001) = 3100 * \log_{10} 10^3 / \log_2 2 = 3100 * 3 / 0,3 = 31000 \text{ bits/s}$$

Débit de la Voie Basse Vitesse (pour chaque sens):

$$D = W \log_2 (1+S/B)$$

$$D=120\text{Hz} * \log_2 (1001) = 120 * \log_{10} 10^3 / \log_2 2 = 120 * 3 / 0,3 = 1200 \text{ bits/s}$$

**2.c**

Efficacité du multiplexeur :

$$e = \sum_i D_i / D$$

**$D_i$  Débit sur les voix basses vitesse**

**D Débit sur les voix haute vitesse**

$$e = 1200 \text{ bits/sec} * 6 \text{ voies} / 31000 \text{ bits /sec} = 0,23$$

On ne peut utiliser  $\Delta f = 480$  car les sous bandes se chevauchent, d'une part, et qu'il faut une bande vide entre celles-ci pour éviter les interférences.

**Exercice 3 :**

$$D = 2W \log_2 V$$

**D débit**

**W bande passante**

**V valence**

**3a**

$$W = 20\text{KHz} - 16\text{KHz} = 4 \text{ KHz}$$

$$V = 1024 \text{ niveau de quantification}$$

$$D = 2 * 4 \text{ KHz} \log_2 1024 = 8\text{KHz} * 10 = 80 \text{ Kbits/sec}$$

**3b**

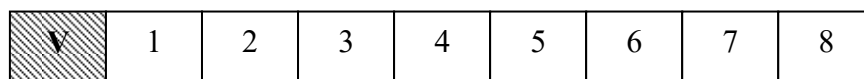
**Multiplexage par caractère avec signalisation dans la bande :**

$$1 \text{ caractère} = 10 \text{ bits} (V = 1024)$$

Signalisation dans la bande, un bit dans chaque IT

$$1 \text{ IT} = 1 \text{ bits de signalisation (dans la bande)} + 10 \text{ bits (caractère)} = 11 \text{ bits}$$

$$1 \text{ IT de verrouillage de même taille} = 11 \text{ bits}$$



11 bits (1 signalisation + 10 caractère)

**3c**

**MIC : fréquence des trames = 8000 Hz**

**Largeur d'une trame en bits**

$$L = 9 * 11 = 99 \text{ bits}$$

**Débit de la voie haute vitesse**

$$D = 99 * 8000 = 792 \text{ Kbits/sec}$$

**3d**

**Efficacité du multiplexage :**

$$e = 80 \text{ bits utiles} / 99 \text{ bits trame} = 80,8 \%$$

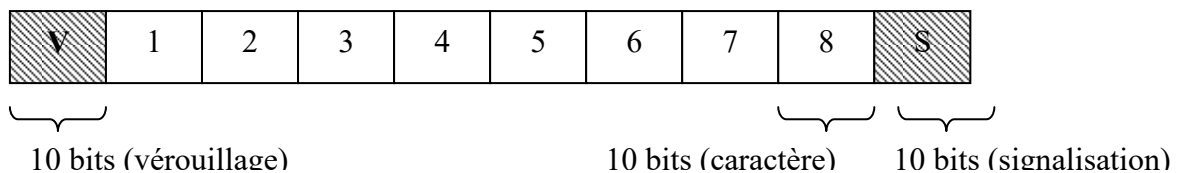
**Multiplexage par caractère avec signalisation hors bande :**

1 caractère = 10 bits (V = 1024)

1 IT = 10 bits (caractère) = 11 bits

Signalisation hors la bande, une IT de signalisation

1 IT de verrouillage de même taille = 10 bits



**3e**

**Largeur d'une trame en bits**

$$L = 10 * 10 = 100 \text{ bits}$$

**Débit de la voie haute vitesse**

$$D = 100 * 8000 = 792 \text{ Kbits/sec}$$

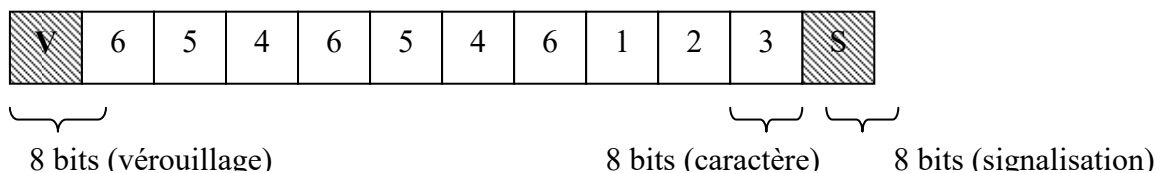
**Efficacité du multiplexage :**

$$e = 80 \text{ bits utiles} / 100 \text{ bits trame} = 100 \%$$

**Exercice 4 :**

**4a**

**Multiplexage avec synchronisation hors bande sur le débit le plus faible :**



$$L = 12 * 8 = 96 \text{ bits}$$

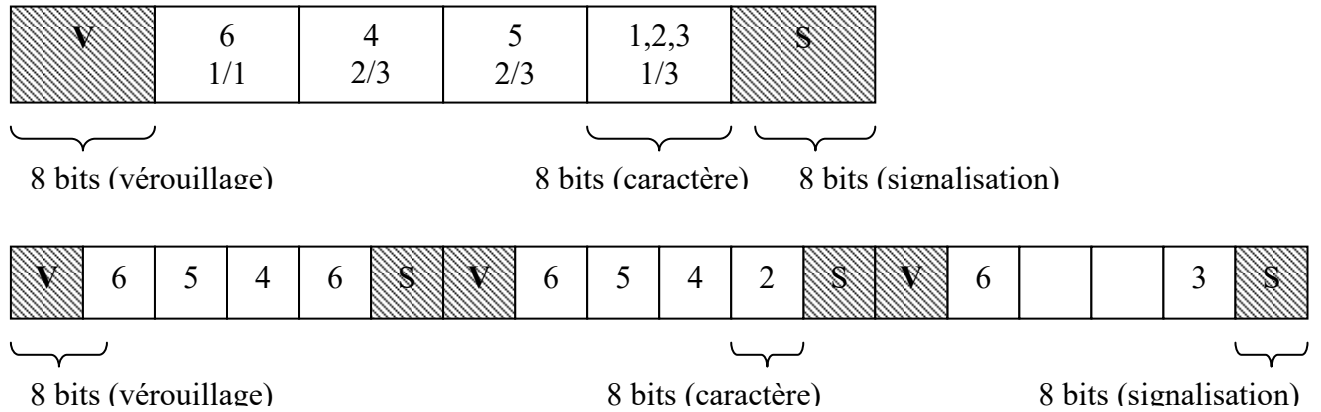
$$F_{\text{Trame}} = 100 / 8 = 12,5 \text{ Hz}$$

$$D = L * F_{\text{Trame}} = 96 * 12,5 = 1200 \text{ bits/s}$$

$$e = \text{informations utiles} / L = 80 / 96 = 0,83$$

**Multiplexage avec synchronisation hors bande sur le débit le plus fort :**

**1000 (Somme des débits des BV) / 300 (débit de la plus rapide BV) = 4 IT par trames**



$$L = 6 \text{ (nombre d'IT par trame)} * 8 \text{ (8 bits / caractère)} = 48 \text{ bits}$$

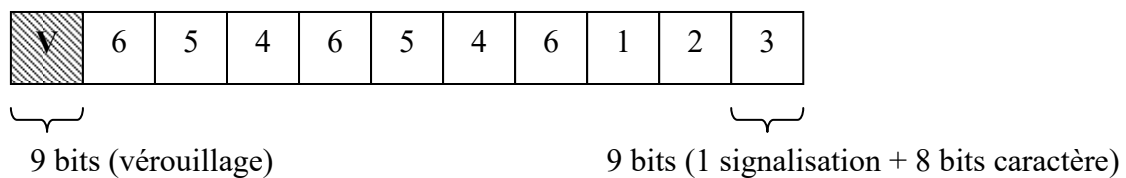
$$F_{\text{Trame}} = 300 / 8 = 37,5 \text{ Hz}$$

$$D = L * F_{\text{Trame}} = 48 * 37,5 = 1800 \text{ bits/sec}$$

$$e = \text{informations utiles} / 3L = 80 / 144 = 0,56$$

**4b**

**Multiplexage avec synchronisation dans la bande sur le débit le plus faible :**



$$L = 11 * 9 = 99 \text{ bits}$$

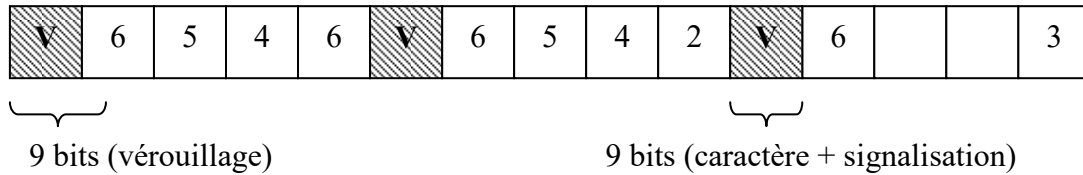
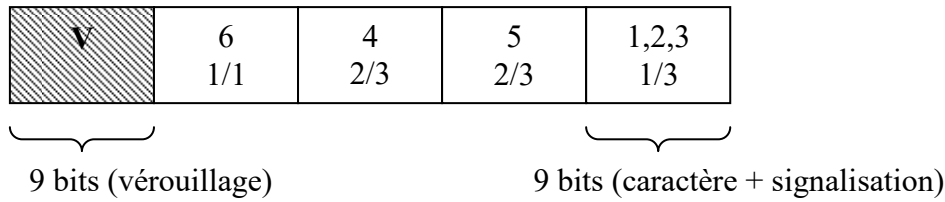
$$F_{\text{Trame}} = 100 / 8 \text{ bits} = 12,5 \text{ Hz}$$

$$D_{\text{HV}} = (11 \text{ IT} * 9 \text{ bits}) * 12,5 \text{ Hz} = 1237 \text{ bit/s}$$

$$e = \text{informations utiles} / L = 80 / 99 = 80,8\%$$

**Multiplexage avec synchronisation dans la bande sur le débit le plus fort :**

**1000 (Somme des débits des BV) / 300 (débit de la plus rapide BV) = 4 IT par trames**



$L = 5 \text{ (nombre d'IT par trame)} * 9 \text{ (8 bits / caractère)} = 45 \text{ bits}$   
 $F_{\text{Trame}} = 300 / 8 = 37,5 \text{ Hz}$   
 $D = L * F_{\text{Trame}} = 45 * 37,5 = 1687,5 \text{ bits/sec}$

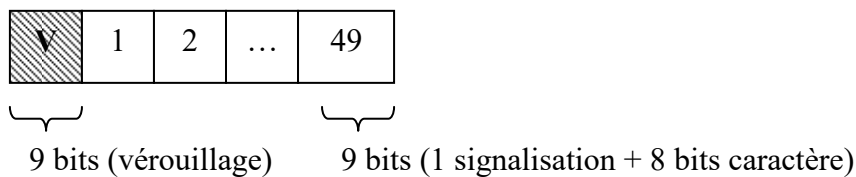
**4c**  
 $e = \text{informations utiles} / 3L = 80 / 135 = 0,59$

**4d**

$F_{\text{Trame}} = 300 / 8 = 37,5 \text{ Hz}$   
 1 IT signalisation hors bande tous les  $1/37,5 \text{ s}$   
 Pour une voie le caractère de signalisation apparaît tout les 7 (6 BV + 1 HV) \*  $1/37,5 \text{ sec}$ , soit toutes les 187 ms.

**Exercice 5 :**

**5a**  
Signalisation dans la bande.



**5b**

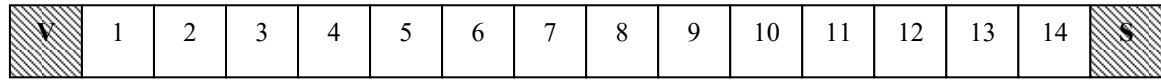
$L = 9\text{bits} * (49 \text{ voies} + 1 \text{ synchronisation}) = 450\text{bits}$   
 $F_{\text{Trame}} = 4800 / 450 = 10,67 \text{ Hz}$   
 $\text{Débit}_{\text{BV}} = F_{\text{Trame}} * 11 \text{ (8 bits + 1 start + 2 stop)} = 117,33 \text{ bits/s}$

**5c**

$e = \text{informations utiles} / L = 49*8 / 450 = 0,871$

**Exercice 6 :**

**6a**



$$L = 16 \text{ bits}$$

$$D = 16 \text{ bits} * 600 \text{ bits/sec}$$

$$F_{\text{Trame}} = 600\text{Hz} (600 \text{ bits /sec})$$

**6a**

Signalisation : 14 voies BV + 1 voies HV = 15 voies

Caractère de signalisation : 8 bits

Caractère de signalisation complet : 15 \* 8 trame = 120 trames

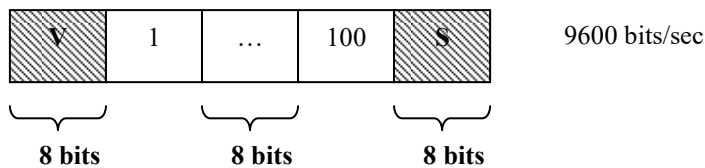
$$A = 120 \text{ trames} * 1/600 = 200\text{ms}$$

**Exercice 7 :**

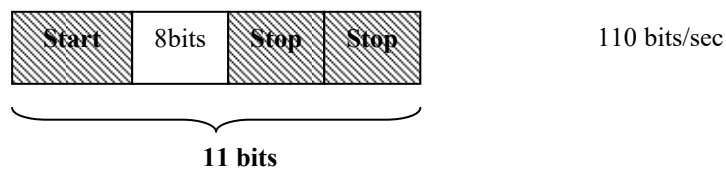
**7a**

On considère un multiplexage par caractère avec signalisation hors bande :

Trame sur la voie haute vitesse :



Trame sur la voie basse vitesse :



**7b**

Calcul de l'efficacité du multiplexage :

Efficacité théorique :

$$L_{\text{HV}} = 102$$

$$e = 100 \text{ caractère utiles} / L_{\text{HV}} = 100 / 102.$$

Mais

On dispose de deux débits, le débit sur la voie haute vitesse (9600 bit par seconde) et le débit sur les voies basse vitesse (110 bits/sec), il faut donc vérifier si ces débits sont compatibles, c'est-à-dire si la voie haute vitesse a un débit suffisant pour que le multiplexeur distribue les trames au débit des voies basses vitesse.

$$F_{BV} = 110\text{bits/sec} / 11\text{bit} = 10 \text{ Hz}$$

$$F_{HV} = 9600\text{bits/sec} / 102 * 8 = 11,76 \text{ Hz}$$

La voie haute vitesse a une fréquence d'envoi de trame légèrement supérieure à la fréquence des voies basses vitesse. Par conséquent, un certain nombre de trame ne contiendront pas d'information utile (trame vide), ce qui diminue l'efficacité effective de ce multiplexage.

Efficacité effective :

On commence par calculer le débit utile sur les voies basses vitesses.

Débit util sur les voies basse vitesse:

$$D_{\text{util}_{BV}} = 110 \text{ bits} * 8/11 = 80\text{b/s}$$

$$e = D_{\text{util}_{BV}} * \text{nombre de voies} / \text{débits total}_{HV}$$

$$e = 80\text{bits/sec} * 100\text{voies} / 9600\text{bits/sec} = 0,833$$

**7c**

$$\text{nb trames /sec} = 9600\text{bits/sec} / (102 \text{ caractères} * 8 \text{ bits}) = 11,76 \text{ trames /sec}$$

$$\theta = 1 / 11,76 = 85\text{ms}$$