



FEUILLE DES SUJETS DU CONCOURS DE DOCTORAT  
AU TITRE DE L'ANNEE UNIVERSITAIRE 2022/2023

Filière	Télécommunications
Spécialité	Télécommunications
Epreuve	Communication numérique et codage
Variante	02

**Exercice 1 (6 points):** On considère une source binaire, au débit  $D_b$ . Les données binaires  $\{b_k\}$  sont à valeurs  $b_k \in \{\pm 1\}$  de probabilité  $P_r\{b_k = +1\} = p$ . On transmet ces données par une modulation à 8 états de phase, le signal émis s'écrit :  $x(t) = \sum_k \sqrt{2} \cos(2\pi f_0 t + \phi_k) \cdot g(t - kT_s)$ .  
Avec  $g(t) = A \cdot \Pi_{T_s}(t)$  et  $\phi_k \in \{k \cdot \frac{\pi}{4}\}$ ,  $k = 0, 2, 3, \dots, 7$ .

- 1- Donner l'équivalent band de base de cette modulation. Quelles sont les formes d'un symbole ?
- 2- Calculer l'énergie moyenne par symbole ( $E_s$ ) et énergie moyenne par bit ( $E_b$ ) en fonction de  $A$  et  $T_s$ .
- 3- Dessiner la constellation de cette modulation (préciser les axes, les amplitudes, et le codage de Gray des points).
- 4- Exprimer la distance minimale entre les points en fonction de  $E_b$ .

**Exercice 2 (6 points):**

1. Soit une source à  $M$  symboles équiprobables. Si on utilise des mots de code à longueur fixe pour chaque symbole, quel est le minimum de bits ( $N$ ) qu'on doit utiliser ?
2. Soit un nombre entier  $X \leq 63$ , quel est le minimum de questions dont la réponse est par (oui / non) à poser pour déterminer la valeur de  $X$ .
3. Expliquez dans une seule phrase le principe du codage à longueur variable.
4. Quels sont les paramètres déterminant les performances d'un code à longueur variable.
5. Etant donnée  $H(S)$  l'entropie de la source et  $\bar{L}$  la longueur moyenne du code, expliquez en deux phrases la double inégalité suivante :  $H(S) \leq \bar{L} < H(S) + 1$ .
6. Soit le dictionnaire initial simplifié constitué de 4 symboles : A, B, C, et D :

a) Utilisez l'algorithme LZW pour coder le message : A B C A B C A B C A B C A B C

Indice	0	1	2	3
Entrée	A	B	C	D

b) Utilisez l'algorithme LZW pour décoder le message codé : 0 1 4 6 5 1

### Exercice 3 (8 points):

On considère une transmission NRZ M-aire en bande de base sur un canal bruité (densité spectrale du bruit  $N_0/2$ ). L'objectif est de transmettre avec un débit binaire  $D$  maximal et une probabilité d'erreur binaire  $P_{eb} < 10^{-4}$ . La relation entre le débit binaire  $D$  et le rapport  $E_b/N_0$  est donnée par :

$$\log_{10} D = 7 - \frac{1}{10} \left( \frac{E_b}{N_0} \right)_{dB}$$

- 1- Pour chaque valeur de  $M$ , quelle est la valeur minimale de  $E_b/N_0$  assurant  $P_{eb} < 10^{-4}$  ? Quelle valeur de  $M$  permet le débit maximal ? on donne  $P_{es} = P_{eb} \cdot \log_2 M$ .
- 2- Le canal est maintenant à une bande passante  $B = 400 \text{ kHz}$ . Pour annuler l'interférence entre symboles (IES), on utilise des impulsions en cosinus surélevé avec un facteur de retombée  $\alpha = 0.6$ .
  - a- Quelle est la rapidité de modulation  $R$  maximale ?
  - b- Pour  $M = 2, 4$  et  $8$ , quels sont les débits correspondants respectifs  $D_{max2}$ ,  $D_{max4}$  et  $D_{max8}$  ? Calculer les valeurs correspondantes de  $(E_b/N_0)_{dB}$ .
- 3- En tenant compte maintenant de deux contraintes ( $P_{eb}$  et bande passante), quelle valeur de  $M$  permet le débit maximal ?

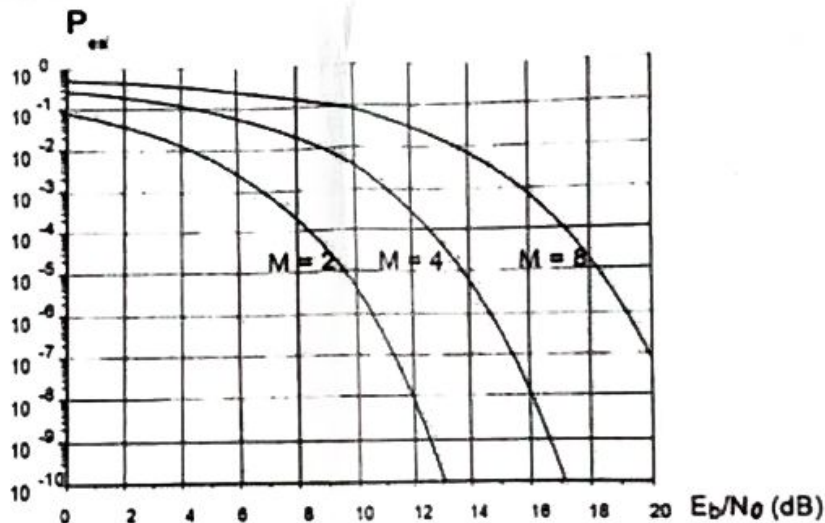


Figure 1. Probabilité d'erreur par symbole pour un code NRZ à symboles M-aires.