

INTRODUCTION AUX TELECOMMUNICATIONS

Première année télécommunications et réseaux

2022 – 2023

TD4

Transmissions sur fréquence porteuse

I. EXERCICE 1 : COMPARAISON DE SYSTÈMES DE TRANSMISSION SUR FRÉQUENCE PORTEUSE

On considère les trois systèmes de transmission définis dans le tableau suivant ("SRRCF" signifie "Square Root Raised Cosine Filter" ou filtre en racine de cosinus surélevé en français, α en est le paramètre de roll off) :

Modulation :	16-QAM	16-PSK	16-ASK
Filtre d'émission :	SRRCF, $\alpha = 0,5$	SRRCF, $\alpha = 0,5$	SRRCF, $\alpha = 0,5$
Filtre de réception :	SRRCF, $\alpha = 0,5$	SRRCF, $\alpha = 0,5$	SRRCF, $\alpha = 0,5$
Débit binaire :	32 kbps	32 kbps	32 kbps
TEB :	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}

- 1) Dans les trois systèmes proposés, la transmission se fait-elle en bande de base ou sur fréquence porteuse ?
- 2) Donner le schéma des modulateurs pour les trois systèmes de transmission considérés.
- 3) Donner l'ordre de la modulation dans les trois systèmes de transmission considérés. A quoi correspond il ?
- 4) Tracer les constellations des trois modulations considérées.
- 5) Déterminer le débit symbole transmis (R_s) dans les trois cas.
- 6) Calculer les efficacités spectrales des trois systèmes de transmission proposés. Pouvait-on s'attendre à un tel résultat ?
- 7) En modifiant la valeur du roll off, déterminer quelle est la borne maximale en termes d'efficacité spectrale pour les trois systèmes de transmission proposés.
- 8) Le canal de propagation à traverser est supposé AWGN sur une bande de 15 kHz.
 - a) Tracer la fonction de transfert du canal de propagation.
 - b) Sera-t-il possible de réaliser chaque transmission en trouvant, au niveau du récepteur, des instants optimaux d'échantillonnage (sans interférence entre symboles) ? Expliquer votre réponse.
- 9) La figure 1 donne les courbes de TEB obtenus en fonction du rapport signal à bruit par bit à l'entrée du récepteur, (E_b/N_0) en dB, pour les trois modulations considérées.
 - a) En déduire les E_b/N_0 nécessaires pour satisfaire à la spécification du TEB.
 - b) Quel est le système le plus efficace en terme de puissance ? Justifier votre réponse.

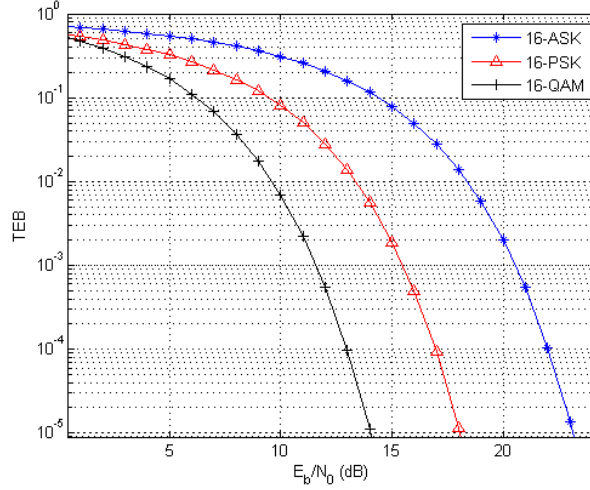


Fig. 1. Comparaison des TEB pour les modulations ASK, PSK et QAM pour $M = 16$

II. EXERCICE 2 : PERFORMANCE D'UNE MODULATION BPSK

Soit un signal émis modulé en BPSK (Binary Phase Shift Keying). Ce signal est affecté par un bruit blanc gaussien de densité spectrale de puissance $N_0/2 \forall f \in \mathbb{R}$. On appelle $H(f)$ et $H_r(f)$ les fonctions de transfert des filtres d'émission et de réception. On suppose que la fonction de transfert du canal $C(f)$ est telle que $C(f) = 1 \forall f \in \mathbb{R}$.

- 1) Donner le schéma de l'émetteur permettant de générer un signal modulé en BPSK. Tracer la constellation de la modulation.
- 2) Donner l'expression du signal modulé ainsi que celle de son enveloppe complexe.
- 3) A partir du schéma de la chaîne passe-bas équivalente à la chaîne de transmission BPSK,
 - a) Pour $G(f) = H(f)H_r(f)$ donné par :

$$G(f) = \begin{cases} T_s \cos^2\left(\pi f \frac{T_s}{2}\right) & \text{pour } |f| \leq \frac{1}{T_s} \\ 0 & \text{ailleurs.} \end{cases} \quad (1)$$

- i) Montrer que $G(f)$ satisfait le critère de Nyquist.
 - ii) Quel est le choix optimal de $H(f)$ et $H_r(f)$ qui minimise le taux d'erreur symbole (TES) ?
 - iii) En considérant que le choix optimal a été effectué pour $H(f)$ et $H_r(f)$, exprimer le TEB de cette chaîne de transmission en fonction de E_b/N_0 . On supposera les symboles émis équiprobables et indépendants.
- b) Lorsqu'on utilise les filtres d'émission $H(f)$ et de réception $H_r(f)$ donnés par :

$$H(f) = \begin{cases} T_s \cos^2\left(\pi f \frac{T_s}{2}\right) & \text{pour } |f| \leq \frac{1}{T_s} \\ 0 & \text{ailleurs.} \end{cases} \quad (2)$$

$$H_r(f) = \begin{cases} 1 & \text{pour } |f| \leq \frac{1}{T_s} \\ 0 & \text{ailleurs.} \end{cases} \quad (3)$$

- i) Montrer que $G(f) = H(f)H_r(f)$ satisfait le critère de Nyquist.
 - ii) Expliquer pourquoi le taux d'erreur binaire doit être supérieur à $Q\left(\sqrt{2\frac{E_b}{N_0}}\right)$.
 - iii) Calculer le TEB de cette nouvelle chaîne de transmission en fonction de E_b/N_0 .
 - iv) AN : Evaluer les TEBs obtenus aux questions a) et b) pour un E_b/N_0 de 10 dB.