

**Séries d'exercices – Série 2**

**Exercice 1 : Modulation numérique d'amplitude**

Soit un système de modulation numérique, à  $M = 4$  états, et dont les signaux en sortie s'expriment de la manière suivante :

$$s_m(t) = A_m \varphi_1(t) \quad \text{pour } m = 0, 1, \dots, M - 1 \quad \text{et } t \in [0, T_s[$$

où  $A_m = \frac{1}{2}(2m + 1 - M)$  et  $T_s$  désigne la durée symbole. De plus,  $\varphi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \cos(2\pi f_c t)$  est une fonction d'une base orthonormée, et  $f_c$  est la fréquence porteuse.

- 1) De quel type de modulation s'agit-il ? Justifier votre réponse?
- 2) Tracer la structure du modulateur pour cette technique de modulation?
- 3) Trouver le nombre de bits  $K$  contenu dans un symbole pour cette technique de modulation?
- 4) Déterminer les expressions des quatre signaux possibles en sortie de la modulation en fonction de  $\varphi_1(t)$ ?
- 5) Tracer la constellation pour cette technique de modulation en spécifiant les zones de décision?
- 6) Calculer l'énergie moyenne par symbole  $E_s$ ? En déduire l'énergie moyenne par bit  $E_b$ ?

**Exercice 2 : Modulation numérique de phase**

Soit un système de modulation numérique, à  $M = 8$  états, et dont les signaux en sortie s'expriment de la manière suivante :

$$s_m(t) = 2 \cdot \cos(\varphi_m) \varphi_1(t) - 2 \cdot \sin(\varphi_m) \varphi_2(t) \quad \text{pour } m = 0, 1, \dots, M - 1 \quad \text{et } t \in [0, T_s[$$

Où  $\varphi_m = 2\pi \frac{m}{M}$ . Les fonctions  $\varphi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \cos(2\pi f_c t)$ , et  $\varphi_2(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \sin(2\pi f_c t)$ , qui dépendent de la durée symbole  $T_s$ , et de la fréquence porteuse  $f_c$ , forment une base orthonormée.

- 1) De quel type de modulation s'agit-il ? Justifier votre réponse ?
- 2) Quel est l'avantage de ce type de modulation par rapport à la modulation d'amplitude MDA (ou ASK)?
- 3) Trouver le nombre de bits  $K$  contenu dans un symbole pour cette modulation ?
- 4) Déterminer les expressions des huit signaux possibles en sortie de la modulation en fonction de  $\varphi_1(t)$  et  $\varphi_2(t)$ ?
- 5) Tracer la constellation pour ce système de modulation ? Calculer l'énergie moyenne par symbole ?

- 6) Indiquer les zones de décision sur la constellation de ce système de modulation ?
- 7) On veut transmettre des données à un débit binaire  $D_b = 10 \text{ Mbits/s}$  en utilisant ce système de modulation.
  - a) Calculer le débit symbole  $D_s$  ? En déduire la durée symbole  $T_s$  ?
  - b) Trouver la puissance moyenne par symbole nécessaire pour réaliser cette transmission ?

**Exercice 3 : Modulation d'amplitude en quadrature et modulation de phase**

Considérons les deux techniques de modulation numérique, à 16 états, MAQ-16 et MDP-16. La distance séparant deux symboles adjacents de la constellation MAQ-16 est  $a$ . Les points de la constellation MDP-16 sont situés sur un cercle de rayon  $x$ .

- 1) Calculer le nombre de bits par symbole pour les deux techniques de modulation?
- 2) Proposer un codage de Gray pour chacune des modulations et tracer sa constellation?
- 3) Déterminer l'expression de l'énergie par symbole et celle de l'énergie par bit pour les deux techniques de modulation?
- 4) Trouver la relation entre  $a$  et  $x$  pour que l'énergie par symbole MAQ-16 soit la même que l'énergie par symbole MDP-16?