

Université Paris 5 / UFR de Mathématiques et Informatique
L3 MIA
Systèmes Numériques de Communication

Examen 2e session (1h30) - 27 juin 2005

Téléphones interdits. Tous documents autorisés. Calculatrices inutiles

Il est attendu la plus grande rigueur dans la rédaction des réponses, qui devront être à la fois claires, courtes, précises et justifiées. Les trois parties peuvent être abordées dans l'ordre qui vous conviendra, mais les réponses à chaque partie ne devront pas être dispersées dans la copie. Vous trouverez en annexe des compléments éventuellement utiles pour les exercices.

1 Questions de cours (1,5 + 1,5 + 1 + 1 + 1 = 6 points)

- 1) Qu'est-ce que l'interférence entre symboles (IES) ? Lors de la transmission d'un message avec un codage NRZ à impulsions rectangulaires sur un câble métallique, pourquoi y a-t-il de l'IES ?
- 2) Dans une fibre optique, qu'est-ce que la dispersion intermodale ? Pourquoi est-elle plus faible pour les fibres à gradient d'indice que pour celles à saut d'indice ?
- 3) Dans le cas d'une modulation d'amplitude à deux porteuses en quadrature (MAQ), pourquoi la probabilité d'erreur est-elle plus faible pour les symboles de l'extérieur de la constellation que pour les symboles de l'intérieur ?
- 4) En radio-communications, quelle difficulté supplémentaire pour la transmission la mobilité introduit-elle par rapport à une liaison radio fixe ?
- 5) Pourquoi le GSM utilise-t-il une modulation de type MDP4 ?



Gaël Mahé, Université Paris 5 / UFR math-info, 2005.
La diffusion de ce document est régie par une [Licence Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

2 Exercices

2.1 Modulation (7 points)

On considère une modulation de type OFDM (*orthogonal frequency division multiplexing*), sur 3 porteuses p_1 , p_2 et p_3 émises simultanément. Chaque symbole émis, de durée T , a pour expression :

$$S_{ijk}(t) = (a_i \cdot p_1(t) + b_j \cdot p_2(t) + c_k \cdot p_3(t))h(t)$$

où :

- $p_n(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} \cos(2\pi f_n t) \quad \forall n = 1, 2, 3$
- i, j et $k \in \{0, 1\}$, $a_0 = b_0 = c_0 = 0$ et $a_1 = b_1 = c_1 = A$, avec A un réel positif
- h représente la fonction porte, qui vaut 1 entre 0 et T , et 0 en dehors de cet intervalle

Les fréquences porteuses sont espacées de $\Delta f = 1/T$: $f_2 = f_1 + \Delta f$ et $f_3 = f_2 + \Delta f$. Les trois porteuses sont dites orthogonales, c'est-à-dire que le produit scalaire de deux porteuses vaut :

$$\langle p_m | p_n \rangle = \int_0^T p_m(t)p_n(t)dt = \delta_{m,n}, \quad \forall m, n \in \{1, 2, 3\}$$

où $\delta_{m,n}$ est le symbole de Kronecker, qui vaut 1 si $m = n$ ou 0 sinon.

1) Combien de bits porte chaque symbole ? Dessiner la constellation des symboles dans l'espace, chaque axe correspondant à une porteuse (*i.e.* il y a un axe pour a_i , un pour b_j et un pour c_k). Quelle est la plus petite distance entre 2 symboles ? Combien un symbole a-t-il de voisins à cette distance ? En considérant un codage de Gray, indiquer sur chaque symbole le mot binaire correspondant.

2) Un symbole S_{ijk} est transmis sur un canal de communication, selon le schéma de la figure 1. Quel traitement appliquer au symbole sur chaque voie de réception pour obtenir a_i sur la 1ère voie de réception, b_j sur la 2e et c_k sur la 3e ?

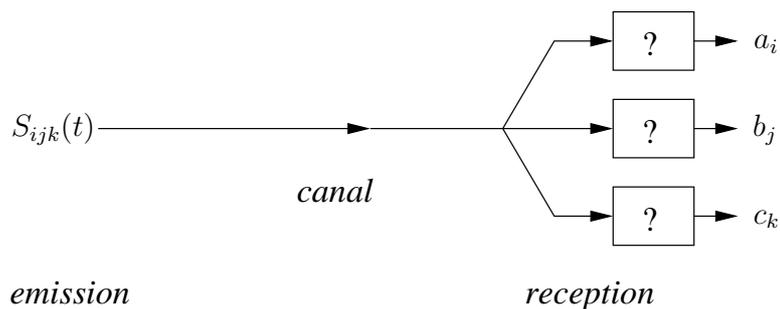


FIG. 1 –

3) Cette modulation est la superposition de 3 modulations d'amplitude à impulsions de base rectangulaires, de fréquences porteuses respectives f_1 , f_2 et f_3 (voir annexe). Dessiner sur la même figure les lobes principaux des spectres de ces 3 modulations (avec des couleurs ou des types de trait différents). Quel est l'avantage par rapport à un multiplex fréquentiel classique où on aurait attribué un canal fréquentiel à chaque porteuse ?

2.2 Codage en blocs (7 points)

Soit un code en bloc linéaire $\mathcal{C}(7, 3)$ de matrice génératrice G donnée par :

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

- 1) Quel est le rendement de ce code ?
- 2) Construire l'ensemble des mots de code. Quel est la distance minimale de ce code ? En déduire les pouvoirs de détection et de correction.
- 3) On reçoit le mot 1111100. Décoder selon la distance minimale (*i.e.* en recherchant le mot de code le plus proche du mot reçu).
- 4) Supposons que l'on reçoive un mot r tel que le décodage donne un mot de code c à distance 2 de r . Peut-on se satisfaire de ce décodage ?

3 Annexe

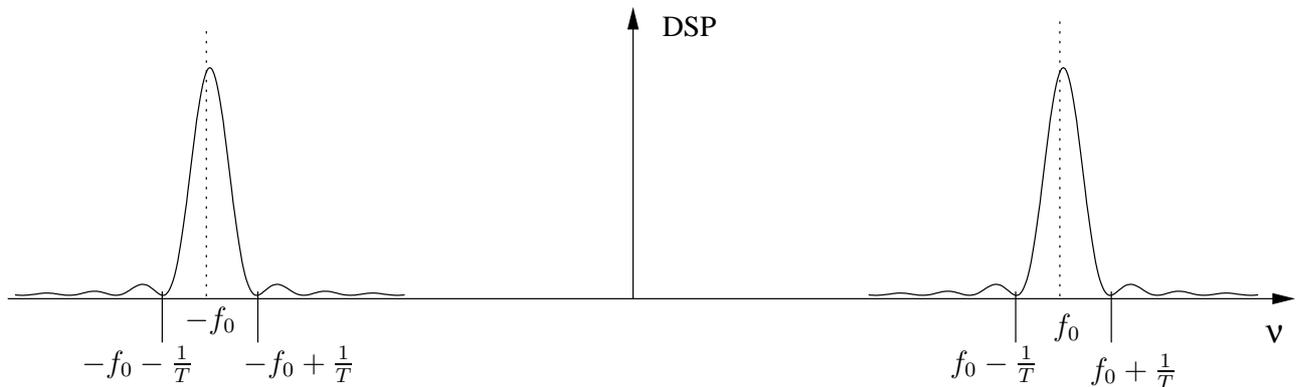


FIG. 2 – Densité spectrale de puissance d'une modulation d'amplitude à impulsions de base rectangulaires, de fréquence porteuse f_0 et de durée symbole T .