GROUPE DES ECOLES DES TELECOMMUNICATIONS
INSTITUT NATIONAL DES TELECOMMUNICATIONS

CONTROLE DE CONNAISSANCES N° 1

MODULE : COMMUNICATIONS NUMERIQUES	CODE : CN21
DUREE : 1 H 30	DATE : 18 / 12 / 06
AVEC DOCUMENTS	COORDINATEUR : R. LAMBERTI

SUJET

Modulation Orthogonale. On considère une source binaire, au débit $D_b = 16\text{Mbit/s}$. Les données binaires $\{b_l\}$ sont i.i.d à valeurs $b_l \in \{\pm 1\}$ de probabilité $\Pr\{b_l = +1\} = 1/2$.

On transmet ces données par une modulation à 16 états répartis sur quatre MAQ-4 dont les porteuses sont orthogonales de fréquences $f_n = f_0 + nf_d$, $n \in \{1,2,3,4\}$. $f_0 = 10\text{GHz}$.

Le signal émis est $x(t)$, tel que sur la durée kT_s, d_{pk} et d_{qk} sont les bits en phase et quadrature de la porteuse émise de fréquence f_{n_k}. (une seule porteuse est émise à chaque symbole)

$$x(t) = \sum_k \left(d_{pk}\sqrt{2}\cos\left(2\pi\left(f_0 + n_k f_d\right)t\right) - d_{qk}\sqrt{2}\sin\left(2\pi\left(f_0 + n_k f_d\right)t\right)\right)\cdot g(t - kT_s) \ .$$

1. Comment répartir les bits sur les MAQ-4 ? Quel est le débit symbole D_s ? Combien un symbole peut-il prendre de formes (Valence *M*) ?

2. Quelle est l'expression $x_n(t)$ d'une des MAQ-4 ? Quel est son équivalent BdB $\alpha_{x_n}(t)$ par rapport à la fréquence f_0 ?

3. Donner l'équivalent BdB $\alpha_x(t)$ de cette modulation, $\alpha_x(t) = \sum_k d_k(t)\cdot g(t - kT_s)$ avec $g(t) = A\cdot\Pi_{T_s}(t)$. Préciser les *M* formes $a_i(t)$ possibles d'un symbole en équivalent BdB.

4. Quelle est la condition d'orthogonalité entre les porteuses ?

5. Quel est la DSP d'une des MAQ-4 ? Quelle est la DSP de la modulation ? (pas de calcul) .

6. Représenter la constellation d'une MAQ-4. Décrivez la constellation de la modulation, combien y a-t-il de directions orthogonales ? Peut-on faire un codage de Gray ?

7. Calculer les énergies moyennes par symbole E_s et par bit E_b en fonction de A et T_s pour $f_d = 1/T_s$. Quelle est alors la distance minimale entre les formes ?

8. Quelle serait la structure schématique du récepteur optimal au minimum de probabilité d'erreur en canal à BABG (pas de calcul) ?

9. Ce système vérifie-t-il le critère de Nyquist (justifier rapidement) ?

10. En utilisant la borne de l'union, déterminez le majorant de la probabilité d'erreur symbole résiduelle pour ce récepteur, avec un bruit centré de DSP $N_0/2$?
