A) CANAL DISPERSIF.

On considère des voies de données, au débit de 100 kbit/s, à transmettre sur un canal dispersif. Ce canal présente un temps de dispersion $T_{disp} = 1\,\mu s$ et un temps de cohérence $T_{coh} = 10\,ms$.

On réalise un multiplex OFDM de N porteuses orthogonales, de fréquences $f = f_0 + n\Delta f$ pour $n = 1, 2, ..., N$ et $f_0 = 1\,GHz$. Les porteuses sont modulées MAQ-4.

1. Quelles sont les conditions d'orthogonalités des porteuses ?

Voir cours $f_0 = k / T_s$

2. Quel est l'étalement Doppler du canal ? Quelle est la largeur de sa bande de cohérence?

$B_{dop} \sim 1/T_{coh} = 100\,Hz$ $B_{coh} \sim 1/T_{disp} = 1\,MHz$

On décide de prendre des symboles d'une durée $T_s = 10 \cdot T_{disp}$ et un écartement en fréquence $\Delta f = 1/T_s$ pour un multiplex de 50 porteuses en cosinus.

3. Quel est le nombre maximal de voies de données qu'on peut transmettre avec ce système ?

MAQ-4 permet 2 bits par symbole et N porteuses modulées MAQ-4 permettent $2N$ bits par symbole soit ici 100 bit/symb.

$T_s = 10x10^{-6} = 10\,\mu s \Rightarrow D_s = 100\,kbit/s \Rightarrow D_b = 100 D_s = 10\,Mbit/s$

Soit ici 100 voies de données.

4. Quelle est la largeur de bande utile ?

$$\Delta f = 1/T_s = 1/(10x10^{-6}) = 100\,kHz \Rightarrow B_{tot} \simeq 5\,MHz$$

5. Si l'on veut faire de la diversité en fréquence quel est l'espacement minimal entre deux porteuses transportant la même information?

écart $> B_{coh} \sim 1/T_{disp} = 1\,MHz$

On choisit de faire de la diversité dans le temps mettant un seul codeur linéaire en bloc, codeur de Golay (23,12,7), et un entrelacement des bits codés.

6. Quel est le nombre maximal de voies de données qu'on peut transmettre avec ce système ?

Le rendement du codeur est de 12/23 on divise donc le nombre de voies par deux, soit 52 voies.

7. Quel est l'écart temporel nécessaire entre deux bits d'un même mot de code pour réaliser la diversité entre ces bits ? écart $> T_{coh} \sim 1/B_{dop} = 10\,ms$

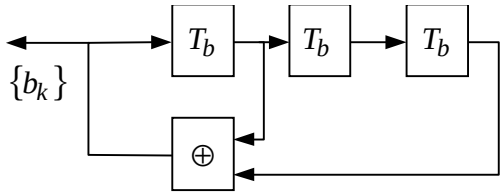
Le débit étant conservé cela correspond à 100000 bits.

8. Quelle doit être la dimension de l'entrelaceur ? 100000x23
9. Quel est le nombre d'erreurs que peut corriger le codeur ? $(d_{\min} - 1)/2 = 3$
10. Quelle est la structure complète (du signal reçu aux voies restituées) du récepteur optimal cohérent ?

Filtre adapté pour chaque voie porteuse/MAQ-4 détection des bits, multiplexage des voies de porteuses, désembrouillage, décodage, démultiplexage de voies de données.

B) GENERATEUR PSEUDO ALEATOIRE.

On considère le générateur pseudo aléatoire donné par le schéma ci-contre, il engendre une séquence maximale $\{b_k\}$ de longueur 2^3-1.



1. Donner la suite $\{b_k\}$ en binaire $\{0,1\}$.

….11101001110100….

2. Quel est le polynôme générateur de cette séquence ? $1+x+x^3$
3. Donner la table logique du OU exclusif « $\oplus$ » en binaire $\{0,1\}$ et la table de la multiplication « $\times$ » en binaire $\{+1,-1\}$. trivial
4. On remplace $\oplus$ par $\times$. Quelle est la suite $\{b_k\}$ en binaire $\{+1,-1\}$. …–1–1–1+1–1+1+1...
5. Quelle est la fonction d'autocorrélation de cette suite binaire NRZ $\{+1,-1\}$.

–1–1+7–1–1–1–1–1–1+7–1..... périodique de période 7. Forme triangle.

6. Quel est la DSP de cette suite en binaire NRZ $\{+1,-1\}$? (expliquer le calcul)

Sinus cardinal au carré échantillonné à $D_b/7$.

7. Il existe une deuxième séquence maximale de longueur 2^3-1. Donner cette suite binaire $\{+1,-1\}$ qu'on appellera $\{d_k\}$.

…–1–1–1+1+1–1+1–1–1–1...

8. Quelle est la fonction d'autocorrélation de cette suite $\{d_k\}$. La même que b_k.
9. Quelle est l'intercorrélation des suites $\{b_k\}$ et $\{d_k\}$.

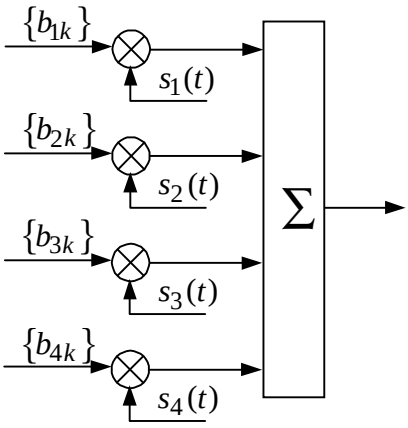
....+3+3–5–1–1+3–1+3+3–5–1–1..... périodique de période 7. Forme triangle.

10. Peut-on utiliser ces suites pour faire du multiplexage de voies.

Non car les séquences ne sont pas orthogonales.

C) ETALEMENT.

On fait un multiplex de 4 voies de données ($i = 1,2,3,4$) de même débit $D_i = D_b = 1$ Mbit/s .
Les voies de données sont binaires $\in \{\pm 1\}$ i.i.d équiprobables et indépendantes entre elles.
Chaque voie est étalée spectralement en multipliant chaque bit par la séquence $s_i(t)$ de chips NRZ, ($s_1(t) = ++++$ pour la voie 1, $s_2(t) = +-+-$,
$s_3(t) = ++--$, $s_4(t) = +---+$ pour la voie 4),
puis les voies sont additionnées.



1. Quel est le débit symbole en sortie du modulateur ?
Avec un symbole = 4 Chips : $D_s = D_b = D_{chip} / 4$

2. Quelle est l'énergie moyenne émise par symbole ?
Un symbole est formé de la superposition de quatre formes $s_i(t)$ (chacune de quatre chips NRZ) de même énergie $E_i = A^2 T_b$.
Les formes $s_i(t)$ sont orthogonales.
Chaque forme est modulée ± 1 ce qui fait $2^4 = 16$ possibilités équiprobables.

$$E_s = \mathrm{E}\left\{\int_0^{T_b}\left|\sum_{i=1}^{4} b_i s_i(t)\right|^2 dt\right\} = \mathrm{E}\left\{\int_0^{T_b}\sum_{i=1}^{4} b_i^2 |s_i(t)|^2 dt\right\} = \frac{1}{16}\sum_{j=1}^{16}\left\{\int_0^{T_b}\sum_{i=1}^{4}|s_i(t)|^2 dt\right\} = 4A^2T_b$$

La transmission se fait sur un canal idéal BABG.

3. Quelle est la réponse impulsionnelle du filtre adapté de la voie *i* ?
$g^*(-t)$: Forme NRZ pour le chip et multiplication par la séquence $s_i(t)$ appropriée.

4. Ce filtre vérifie-t-il les conditions de Nyquist de non IES ?
(à justifier mathématiquement) oui voir cours (aspect temporel) (ici $H(1/2) \neq H(0)/2$)