

Tous documents autorisés / 35 min

Le barème sur 10 points est donné à titre indicatif.

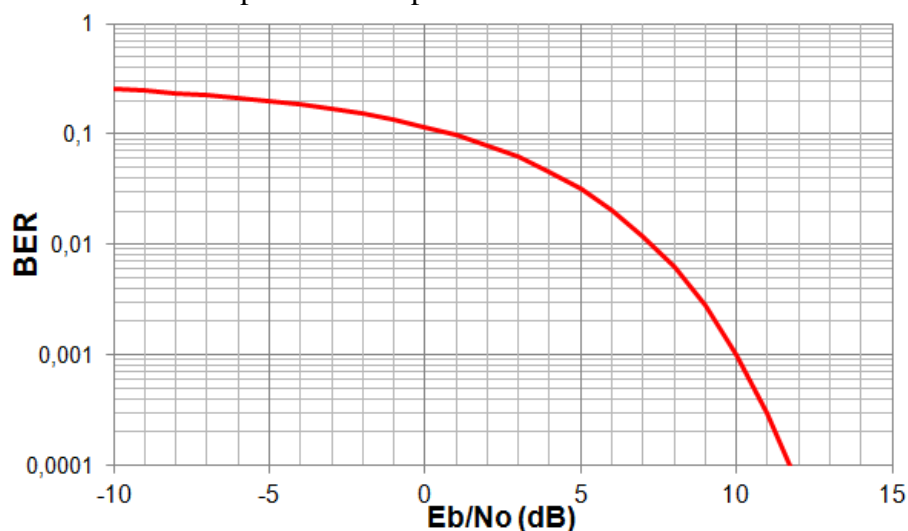
*Il sera tenu compte des justifications apportées à chaque réponse, ainsi que de la présentation.*

On dispose d'un circuit émetteur-récepteur Bluetooth 3.0, intégrant le front-end RF et le processeur de base, que l'on souhaite dédier à une application audio temps réel (exemple : casque sans fil). Ce standard est dédié aux applications bas débit, faible portée, faible consommation, et faible coût.

Les caractéristiques radio du circuit sont les suivantes :

- Bande de fréquence : bande ISM, 2400 - 2483.5 MHz
- Sous-canaux : 79 canaux de 1 MHz de bande passante
- Modulation : 8-PSK différentiel (8DPSK)
- Technique d'accès multiple : saut de fréquence adaptatif
- Débit binaire maximal : 3 Mbits/s
- Puissance d'émission : Classe 2 (4 dBm)
- Sensibilité (puissance minimale en entrée du récepteur) : -85 dBm (BER =  $10^{-3}$ )
- Noise figure : 10 dB

On souhaite vérifier la cohérence des performances annoncées par le constructeur. Pour cela, on se place dans l'hypothèse d'un canal AWGN. Ci-dessous, la relation théorique entre le taux d'erreur binaire (BER) et le rapport signal à bruit par bit ( $E_b/N_0$ ) dans un canal AWGN est reproduite graphiquement pour ce type de modulation. On souhaite assurer un taux d'erreur binaire inférieur à  $10^{-3}$ . On se placera à température ambiante.



1. Est-ce qu'une technique de type retransmission automatique est-elle envisageable pour lutter efficacement contre les erreurs introduites par les interférences ? Est-ce que la technique de saut de fréquence permet de lutter contre les interférences ? (2 pts)

*Non car application temps réel.*

*Oui, contre les interférences produites par tous les autres systèmes utilisant cette bande de fréquence ISM (les autres dispositifs Bluetooth présent à proximité, mais aussi les dispositifs utilisant le WiFi).*

2. En supposant un canal passe-bas idéal, quel serait le débit de moment maximal pouvant être transmis dans ce canal ? (1 pt)

$$\text{débit de moment max } M = 2 * B = 2 \text{ MBds}$$

3. Quelle est la valence de cette modulation ? Quel est le véritable débit de symbole ? (1 pt)

$$m = 8 \rightarrow 3 \text{ bits par symbole} \rightarrow \text{débit de symbole } M = D/3 = 1 \text{ MBds}$$

4. En supposant un canal passe-bas idéal, quelle est la valeur minimale du rapport signal à bruit (SNR) pour assurer une capacité suffisante sans introduire d'erreur de transmission ? (2 pts)

*Pour faire passer un débit binaire de 3 Mbits/s, la capacité C doit être d'au moins 3 Mbits/s.*

$$C = B * \log_2(1 + S/N) \rightarrow S/N = 2^{(C/B)} - 1 = 2^{(3/1)} - 1 = 7 \rightarrow 8.5 \text{ dB.}$$

5. En considérant les performances véritables du système dans un canal bruité du type AWGN, déterminez le rapport signal à bruit SNR minimal à assurer pour respecter la contrainte de qualité ? (2 pts)

$$Eb/No > 10 \text{ dB} \rightarrow SNR > Eb/No + 10 \log_{10}(D/B) = 10 + 10 \log_{10}(3/1) = 14.8 \text{ dB}$$

6. En supposant que l'antenne de réception a un gain de 0 dB, calculez le seuil de sensibilité en entrée du récepteur. Conclure vis-à-vis des données constructeur. (2 pts)

*En supposant que l'antenne n'a pas de gain, le seuil de sensibilité est donné par :*

$$P_{min} = 10 \log(kTB) + NF + SNR_{min} = -174 + 10 \log_{10}(10^6) + 10 + 14.8 = -89.2 \text{ dBm}$$

*Cette valeur est un peu en dessous de celle donnée par le constructeur. Sans doute certaines hypothèses sur les pertes, gains, noise figure ne sont pas assez précises.*