

Exercice 1

Liaison optique

La fréquence d'échantillonnage d'un système vidéo est de 106 Mbits/s. Pour un code NRZ, la puissance optique incidente nécessaire pour un taux d'erreur de 10^{-10} est:

$$\begin{aligned} p &= -53 + 10 \log_{10} f && \text{pour une diode PIN} \\ p' &= -67 + 10 \log_{10} f && \text{pour une diode PIIPN} \end{aligned}$$

les puissances étant exprimées en dBm et f en Mbits/s.

- **a** Calculer en dBm et en Watts, p et p' dans le cas envisagé et discuter les résultats obtenus. Etant donnée la fréquence de modulation, il est nécessaire d'utiliser une diode laser. La puissance émise par cette diode étant de 5 mW et son rendement de couplage dans la fibre est de -4 dB. Les connecteurs d'émission et de réception ont une atténuation unitaire de 1 dB. Une marge de 2 dB doit être ménagée pour compenser les dégradations des composants avec le temps.
- **b** En déduire la perte de transmission tolérable. On utilise une fibre d'atténuation 4 dB/km raccordée tous les 600 m (atténuation de l'épissure 0.3 dB).
- **c** Quelle est la distance maximale si on utilise une photodiode PIIPN ?

Exercice 2

Bilan de liaison en transmission par satellite

Le paramètre qui caractérise le mieux une transmission en télécommunication spatiale est le rapport C/N (puissance porteuse/puissance bruit). Nous allons évaluer C/N dans le cas d'une liaison satellite→terre puis terre→satellite, et enfin le bilan global. La formule que l'on utilise pour le calcul des bilans des faisceaux hertziens est :

$$P_r = P_e G_e G_r \left(\frac{l}{4\pi d} \right)^2$$

(La liaison repose deux antennes de gains G_1 et G_2 , distantes de d . P_e est la puissance d'émission de la première antenne. On cherche à exprimer P_r , la puissance reçue sur la seconde antenne)

1 Bilan satellite-Terre

Supposons : $G_r = 60$ dB
 $l = 7,5$ cm ($f_p = 4$ GHz)
 $d = 36000$ km
 $G_e = 16,7$ dB
 $P_e = 6,3$ dBW

Calculer la puissance de la porteuse en dBm et dBW. (dBW= dB par rapport à 1W)

On utilise un amplificateur paramétrique de température de bruit $T_r = 28^\circ\text{K}$, ce qui nous donne pour une température d'antenne $T_a = 30^\circ\text{K}$, une température système:

$$T_s = T_r + T_a = 58^\circ\text{K}$$

La largeur de bande étant 36 Mhz, calculer la puissance de bruit et donc C/N dans le sens descendant.

La puissance de bruit est donnée par la relation $N = kTDF$ où k est la constante de Boltzmann (rappel : $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K), T est la température de bruit et DF la bande de fréquences du système en Hertz.

2 Bilan Terre-satellite

$G_r = 16,7$ dB
 $l = 5$ cm (6 GHz)
 $d = 36000$ km
 $G_e = 60$ dB
 $P_e = 30$ dBW

- Calculer la puissance de la porteuse en dBm et dBW.

Le premier étage du satellite est un amplificateur à diode tunnel dont la température de bruit est égale à 1470°K . La température de la Terre est 300°K .

- Calculer la puissance de bruit et donc C/N dans le sens montant.

3 Bilan total

Pour une bande de fréquences ΔF donnée, le rapport signal sur bruit peut être exprimé par C/N ou par C/T , les deux étant reliés par:

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{2kT \Delta F} = \frac{C}{T} \frac{1}{2k \Delta F}$$

Le rapport C/T pour une liaison globale vaut:

$$\left(\frac{C}{T} \right) = \frac{1}{(T/C)_1 + (T/C)_2}$$

- Quel est le rapport C/N total de la liaison par satellite ?

Corrigé

Exercice 1

Liaison optique

- **a** $p = -32.75 \text{ dBm} = 53 \mu\text{W}$
 $p' = -46.75 \text{ dBm} = 21 \text{ nW}$

La photodiode PIIPN s'impose car elle est bien plus sensible.

- **b**

puissance du laser:	5 mW	7 dBm	
couplage fibre			-4 dB
connecteurs			2 * -1 dB
marge			-2 dB
total			-1 dBm
diode PIN	seuil -32.75 dBm		
budget			-31.75 dB
diode PIIPN	seuil -46.75 dBm		
budget			-45.75 dB
- **c** On peut donc perdre -45.75 dB dans la transmission
 pertes: 4 dB/km, soit 2.4 dB/600 m
 avec épissure: 2.7 dB/600 m
 On peut mettre 17 rouleaux de 600m et donc 16 épissures ($17*2.4+16*0.3=45.6 \text{ dB}$)
 La longueur est donc 10.2 km.

Exercice 2

Bilan satellite-Terre

dBW= dB par rapport à 1W.

Pour la puissance de la porteuse:

$10 \log P_e$	6.3 dBW	
$10 \log (\lambda/4\pi d)^2$	-195.61 dB	
$10 \log (G_e)$	16.7 dB	
$10 \log (G_r)$	60 dB	
$10 \log P_r$	-112.61 dBW	-82.61 dBm

Pour la puissance du bruit:

$N=2 \text{ kT } \Delta F$ (cste de Boltzmann*température*bande de fréquence)

$\Delta F=36 \text{ Mhz} = 3.6 \cdot 10^7 \text{ Hz} = 75.5 \text{ dB}$

$T=58^\circ\text{K}$ 17.7 dB

$k=1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ -228.6 dBJ

2 3 dB

$N = -132.4 \text{ dBW}$ remarque: $2 \text{ kT } \Delta F = [\text{J.K}^{-1}] [\text{K}] [\text{s}^{-1}] = [\text{J}][\text{s}^{-1}] = [\text{W}]$

donc bilan total en sens descendant: $C/N = -112.61 + 132.4 = 19.79 \text{ dB}$

Bilan Terre-satellite

Même raisonnement.

Pour la puissance de la porteuse:

$10 \log P_e$	30 dBW	
$10 \log (\lambda/4\pi d)^2$	-199.13 dB	
$10 \log (G_e)$	60 dB	
$10 \log (G_r)$	16.7 dB	
$10 \log P_r$	-92.4 dBW	-62.4 dBm

Pour la puissance du bruit:

$\Delta F=36 \text{ Mhz} = 3.6 \cdot 10^7 \text{ Hz} = 75.5 \text{ dB}$

$T=1770^\circ\text{K}$ 32.5 dB

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \quad -228.6 \text{ dBJ} \\ 2 \quad + 3 \text{ dB}$$

$$N = -117.6 \text{ dBW}$$

donc bilan total en sens montant: $C/N = -92.4 + 120.6 = 25.2 \text{ dB}$

Bilan total

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{2kT \Delta F} = \frac{C}{T} \frac{1}{2k \Delta F}$$

$$(C/T) \text{ (dB)} = (C/N) \text{ (dB)} + (2k \Delta F) \text{ (dB)}$$

$$(C/T)_{\text{descendant}} = 19.8 + (-225.6 + 75.5) = -130.3 \text{ dBW/}^\circ\text{K} = -100.3 \text{ dBm/}^\circ\text{K}$$

$$(C/T)_{\text{montant}} = 25.2 + (-225.6 + 75.5) = -124.9 \text{ dBW/}^\circ\text{K} = -94.9 \text{ dBm/}^\circ\text{K}$$

$$\text{d'où } (T/C)_d = 1.07 \cdot 10^{13} \text{ }^\circ\text{K/W}$$

$$(T/C)_m = 3.09 \cdot 10^{12} \text{ }^\circ\text{K/W}$$

$$(T/C)_d + (T/C)_m = 1.38 \cdot 10^{13}$$

$$(C/T)_{\text{total}} = 7.2 \cdot 10^{-14} = -131.4 \text{ dBW/}^\circ\text{K} = -101.4 \text{ dBm/}^\circ\text{K}$$

$$(C/N)_{\text{total}} = -131.4 + 228.6 - 75.5 = 21.7 \text{ dB}$$

Le rapport C/N total dépend surtout du trajet descendant et donc des conditions de réception de la station terrienne. Pour maximiser C/N, on fait travailler l'étage de puissance du satellite près de son point de saturation.