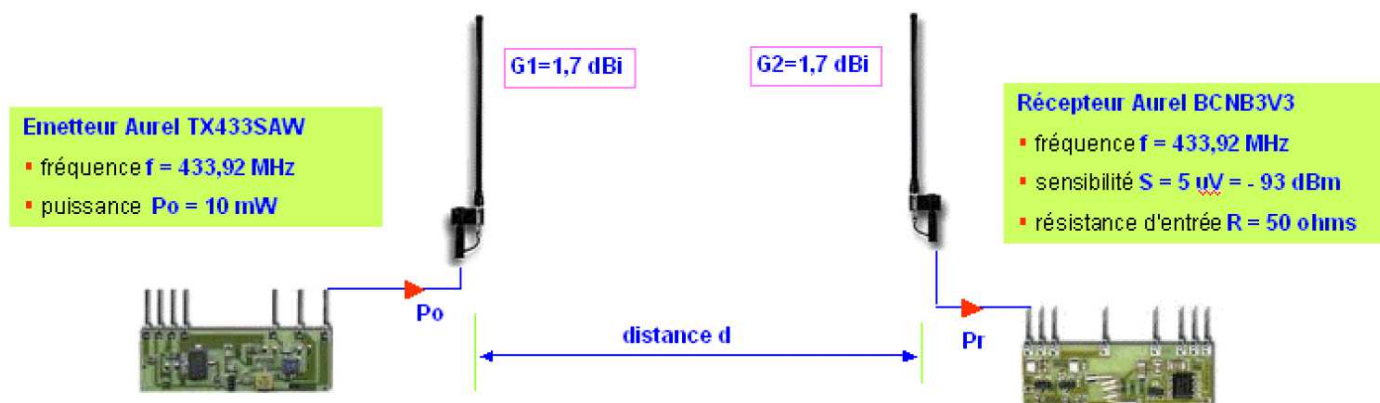


BILAN DE LIAISON

EXERCICE N°1 : Bilan de liaison

Il s'agit d'une liaison par modules Aurel :

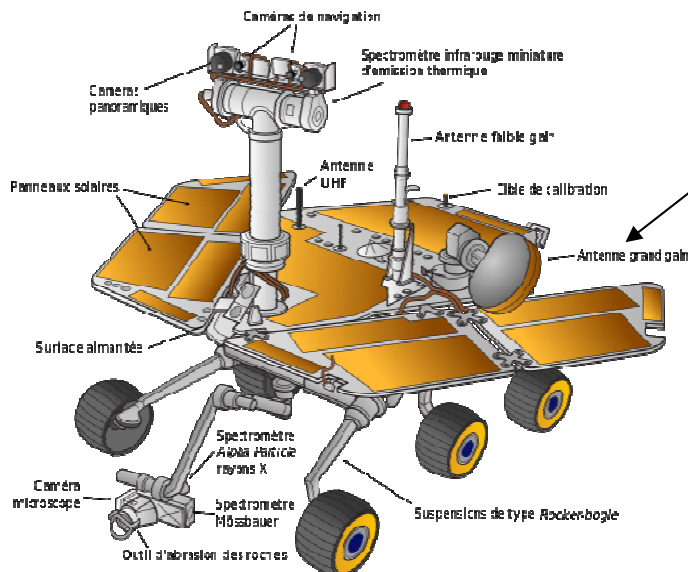


Source : Jean-Philippe MULLER – Lycée Louis Armand Mulhouse

1. En déduire la puissance d'émission P_o en dBm.
2. Calculer la puissance reçue P_r en dBm par le récepteur pour une liaison distante de 1 km.
3. Calculer la distance maximum possible (cas où $P_r = S$).

EXERCICE N°2 : Bilan de liaison

En mission sur Mars de 2003 à 2005, le robot mobile de la Nasa « spirit » possède une antenne de télécommunications (HGA) vers la Terre :



- L'antenne HGA, directive, a un gain de 25 dB
- La liaison vers la terre s'effectue à 8,4 GHz
- L'antenne de réception sur terre possède un gain de 74 dB
- Dans le pire des cas, Mars se trouve à environ **400 Millions de km** de la terre.

1. Calculer la puissance d'émission en dBm de l'antenne HGA pour une puissance de réception de -147 dBm.
2. En déduire la puissance d'émission en watt.
3. Calculer le diamètre de l'antenne HGA en utilisant la formule suivante : $G_{dB} = 18 + 20 \text{ Log } (F_{GHz} \times d_m)$

Exercice 1:

$$L_r = \left(\frac{4\pi df}{c} \right)^2$$

1) $P_e = P_o = 10 \text{ mW}$

$$P_o (\text{dBm}) = 10 \log(10) = 10 \cdot 1 = 10 \text{ dBm}$$

2) $L_r = \left(\frac{4\pi \cdot 1 \cdot 10^8 \cdot 433,92 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^8} \right)^2 = \left(\frac{4 \cdot 433,2 \pi}{3} \right)^2 = 330,37 \text{ MW}$

$$L_r (\text{dB}) = 10 \log(330,37 \cdot 10^6) = 85,2 \text{ dB}$$

$$P_n = 10 + 1,7 + 1,7 - 85,2 = -71,8 \text{ dBm}$$

3) $P_n = 13,4 - L_r = -93 \text{ dBm}$

$$\Rightarrow L_r = 93 + 13,4 = 106,4 \text{ dB}$$

$$L_r = 10^{10,64} = 43,65 \cdot 10^9$$

$$\Rightarrow d = \frac{\sqrt{43,65 \cdot 10^9} \cdot 3 \cdot 10^8}{4\pi \cdot 433,92 \cdot 10^6} = 11494,6 \text{ m} \approx 11,5 \text{ km}$$

Exercice 2:

$$1) L_T = \left(\frac{4\pi \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 8,4 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^8} \right)^2 = \left(\frac{8,4 \cdot 16\pi \cdot 10^{12}}{3} \right)^2 \\ = (44,8\pi \cdot 10^{12})^2 = 1,98 \cdot 10^{28}$$

$$L_T(\text{dB}) = 10 \log(1,98 \cdot 10^{28}) \approx 283 \text{ dB}$$

$$P_n = 25 + 74 + P_e - 283 = -147 \text{ dBm}$$

$$\Rightarrow P_e = -147 + 283 - 25 - 74 = 37 \text{ dBm}$$

$$2) P_e(\text{W}) = 10^{3,7} \cdot 10^{-3} = 10^{0,7} \approx 5,01 \text{ W}$$

$$3) G_{\text{dB}} = 18 + 20 \log(f \cdot d) \Rightarrow d = \frac{10^{\frac{G_{\text{dB}} - 18}{20}}}{f \text{ GHz}}$$

$$\Rightarrow d = \frac{10^{\frac{25 - 18}{20}}}{8,4} = \frac{10^{7/20}}{8,4} \approx 0,267 \text{ m} \\ \approx 26,7 \text{ cm}$$

EXERCICE N°3 : Bilan de liaison satelliteSatellite :

PIRE = 60dBm

Fréquence d'émission : 12GHz

Distance de la terre = 38000km

Pertes :

Atmosphériques : 0,5dB

Pertes diverses : 5,5dB

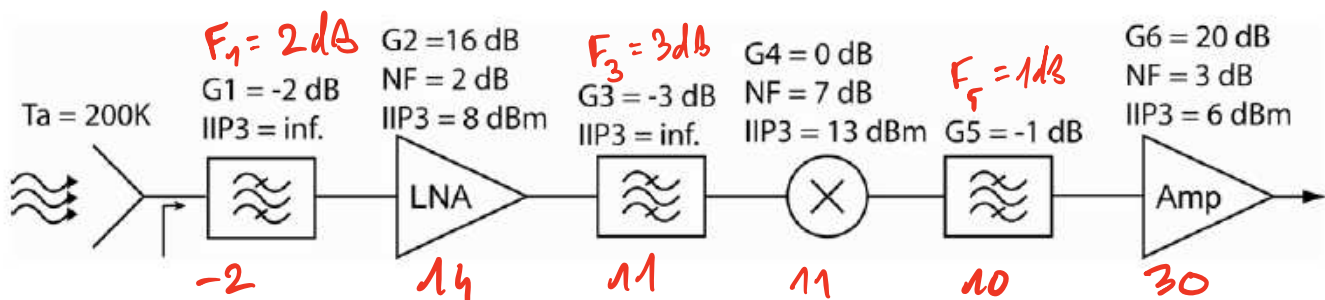
Récepteur :

Diamètre de l'antenne : 0,7m

Efficacité : 60%

Gain : 36,7dB

Température de bruit du récepteur : 700K

Débit : 40Mbits/sCalculer le rapport signal sur bruit E_b/N_0 minimum permettant d'assurer la liaison.**EXERCICE N°4 : Facteur de bruit de quadripôles en cascade****[Hervé BOEGLÉN]**Soit la chaîne de réception suivante ayant une bande passante $B = 5\text{MHz}$:Calculer le facteur de bruit de la chaîne ainsi que la puissance de bruit en sortie. On pourra utiliser les deux méthodes suivantes pour le calcul du facteur de bruit ($T_0 = 290^\circ\text{K}$) :

$$F = F_1 + \frac{(F_2 - 1)}{G_{e1}} + \frac{(F_3 - 1)}{G_{e1}G_{e2}} + \dots$$

$$T_{eq} = T_1 + \frac{T_2}{G_{e1}} + \frac{T_3}{G_{e1}G_{e2}} + \dots$$

EXERCICE N°5 : Comment améliorer la sensibilité d'un récepteur ?**[C. SEGUINOT – Notes de cours de SYSTEMES MICRO-ONDES TELECOM LILLE1]**

On utilise un récepteur de télévision analogique (TV) de bonne qualité (qualifié par la suite de récepteur de base) dont les caractéristiques se résument à un facteur de bruit de 3dB. La bande passante du système est de 5 MHz et le rapport signal à bruit doit rester supérieur à 30 dB pour assurer une bonne qualité de réception. La température du bruit de l'antenne est égale à T_0 (290°K). La puissance reçue en sortie d'antenne est égale à -66 dBm si l'antenne est placée sur le toit. Le fait de placer l'antenne à l'intérieur diminue la puissance reçue de 12 dB. On étudie ci-dessous différentes associations (antenne, ampli LNA, câble, récepteur). L'objectif de cet exercice est de définir les règles d'ingénierie des systèmes de radiocommunication permettant d'améliorer la réception et de mettre en évidence les erreurs à éviter. Dans ce but, on évaluera toujours la sensibilité en sortie de l'antenne afin de comparer entre elles les solutions considérées.

On étudiera les cas suivants :

Cas 1 : Antenne placée directement sur le récepteur à l'intérieur. On néglige les pertes liées au câble.

Exercice 3 :

$$\frac{E_k}{n_0} = \frac{P_n}{n_0 \cdot R_f}$$

$$A_f = 40 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

↑ rythme binaire

$$L_T = \left(\frac{4\pi \cdot 38 \cdot 10^6 \cdot 12 \cdot 10^5}{3 \cdot 10^8} \right)^2 = \left(\frac{4 \cdot 38 \cdot 12 \cdot 10^4 \cdot \pi}{3} \right)^2 = (16 \cdot 38 \pi \cdot 10^4)^2$$

$$= (6,08 \pi \cdot 10^6)^2 \approx 365 \cdot 10^{12}$$

$$L_n(\text{dB}) = 10 \log(365 \cdot 10^{12}) \approx 145,62 \text{ dB}$$

$$205,62 \text{ dB}$$

$$P_n = \text{PIRE} + G_n - \text{pertes} = 60 + 36,7 - 0,5 - 5,5 - 145,62$$

$$= -54,92 \text{ dBW} - 114,82 \text{ dB}$$

$$P_n(\text{W}) = 10^{-5,492} \approx 3,22 \text{ W} \cdot 10^{-12}$$

$$10^{-11,492} \approx 3,22 \text{ W} \cdot 10^{-12}$$

$$\boxed{\begin{matrix} 1 & 1 & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix}}$$

$$n_0 = \frac{P_m}{B} \text{ avec } B = 1 \Rightarrow n_0 = P_n = k \cdot T \cdot B$$

$$n_0 = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 700 = 9,66 \cdot 10^{-21} \text{ W/Hz}$$

$$\frac{E_b}{n_0} = \frac{3,22 \cdot 10^{-12}}{9,66 \cdot 10^{-21} \cdot 40 \cdot 10^6} = 8,33 \cdot 10^{12}$$

$$10 \log(8,33) = 9,21$$

PIRE (Puissance Irradiée Rayonnée Équivalente)

$$P_n |_{dBW} = 60 + 36,7 - 6 - L_r$$

↓
?

38000 km

1264 m

↓
?

$$L_r = \left(\frac{4\pi df}{c} \right)^2 = 3,648 \cdot 10^{20}$$

$$L_r |_{dB} = 10 \log_{10}(3,648 \cdot 10^{20}) = 205,6 \text{ dB}$$

$$P_n |_{dBW} = -114,9 \text{ dBW}$$

$$E_b/n_0 ?$$

[E_{q.6.}]

$$E_b/n_0 = \frac{P_n}{N_0 \cdot R_b}$$

$$E_b/n_0 |_{dB} = P_n - N_0 - R_b$$

$$E_{f/N_0} = -114,9 - 10 \log N_0 - 10 \log (40 \cdot 10^6)$$

$$N_0 = k \cdot T = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 700$$

$$\approx 9,66 \cdot 10^{-21}$$

$$N_0 / \text{dB} = 10 \log (9,66 \cdot 10^{-21}) = -200,2 \text{ dBW/Hz}$$

$$R_f / \text{dB} = 10 \log (40 \cdot 10^6) \approx 76,0 \text{ dB}$$

$$E_{f/N_0} = -114,9 + 200,2 - 76 = 9,3$$

Exercice 4: $T_0 = 290 \text{ K}$ $G = 20 \text{ dB}$

$$F = 2 + \frac{10^{0,2} - 1}{10^{-0,2}} + \frac{10^{0,3} - 1}{10^{1,4}} + \frac{10^{0,4} - 1}{10^{1,1}} + \frac{10^{0,1} - 1}{10^{1,1}} + \frac{10^{0,3} - 1}{10}$$
$$= 2,45$$

$$F_{\text{dB}} = 10 \log(2,45) \simeq 4,76 \text{ dB}$$

$$T = (F_{\text{eq}} - 1) T_0 = (4,76 - 1) 290 = 1089,56 \text{ K} \quad ?$$
$$(4,76 - 1) 200 = 751,62 \text{ K} \quad ?$$

Exercice 5:

$$P_{\text{min}} = -47 \text{ dBm}$$

$$S_n = F \cdot P_n \quad S_n = dA = F + P_n$$

Par la suite, l’antenne est placée sur le toit. On fera les associations suivantes :

- Cas 2 : Antenne + câble de 16 dB de pertes + récepteur
- Cas 3 : Antenne + câble de 16 dB de pertes + ampli LNA avec G=10 dB et F=5 dB + récepteur
- Cas 4 : Antenne + câble de 16 dB de pertes + ampli LNA avec G=24 dB et F=5 dB + récepteur
- Cas 5 : Antenne + ampli LNA avec G=10 dB et F=5 dB + câble de 16 dB de pertes + récepteur
- Cas 6 : Antenne + ampli LNA avec G=24 dB et F=5 dB + câble de 16 dB de pertes + récepteur

$$P_n = -66 \text{ dBm}$$

$$\text{intr} -12 \text{ dB}$$

Remplissez le tableau suivant :

Cas	Données Gains et Facteur de bruit									
	Résultats		Sensibilité	Preque	Etage 1		Etage 2		Etage 3	
	FT(dB)	GT(dB)	(dBm)	(dBm)	F1(dB)	G1(dB)	F2(dB)	G2(dB)	F3(dB)	G3(dB)
1	3	0	-74 >	-78	3	0	16	16	16	16
2	13	-16	-68 >	-66	16	-16	3	0	16	16
3	21,13	-6	-55,87 >	-66	16	-16	5	10	3	0
4	21,01	8	-55,99 >	-66	16	-16	5	24	3	0
5	10,42	-6	-66,58 <	-66	5	10	16	-16	3	0
6	5,41	8	-71,59 <	-66	5	24	16	-16	3	0

faissable

EXERCICE N°6 : Installation Wifi

Une société souhaite installer un réseau Wifi IEEE 802.11a/b/g/n dans ses locaux situés au premier étage d’un immeuble (cf Fig. 1). Cet étage se présente sous la forme d’une plateforme avec aucun mur intérieur.

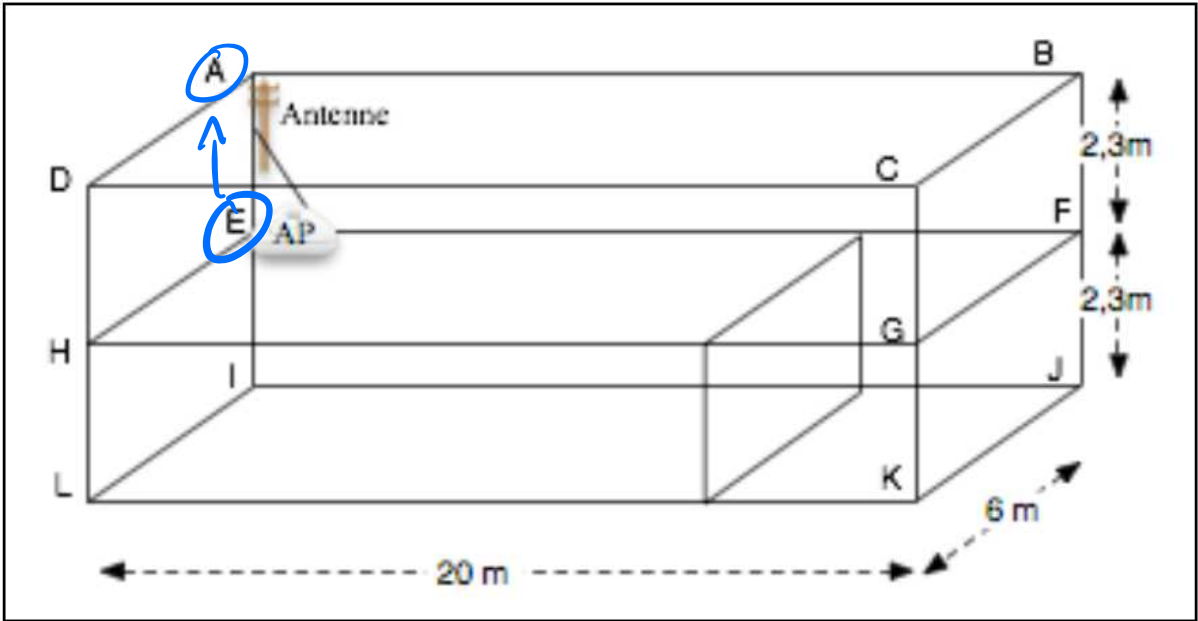


Figure 1 - plan du bâtiment

Partie 1 : on ne considère être qu’au premier étage.

On dispose d’un seul point d’accès (AP) installé au point E, dont l’antenne est déportée au point A. On souhaite évaluer si ce point d’accès pourra assurer la couverture de l’étage.

Les transmissions se font à la fréquence porteuse f0 égale à 5,8 GHz. Les utilisateurs possèdent des portables équipés de cartes WLAN avec des antennes de gain GP de 2,2 dBi. Le point d’accès à une antenne de gain GAP de 10 dBi. La puissance

Exercice:

d'émetteur PAP est de 200 mW au niveau du point d'accès. La puissance d'émetteur PP au niveau des portables est de 100 mW.

L'affaiblissement A_b est celui que l'on observe typiquement dans un bâtiment :

$$A_b \text{ (dB)} = 20 \log_{10}(f_0) + \gamma \log_{10}(d) + A_{\text{sol}}(n) + A_{\text{mur}}(n) - 28$$

avec $A_{\text{sol}}(n)$: perte liée à la traversée de n étages dans un bâtiment

$A_{\text{mur}}(n)$: perte liée à la traversée de n cloisons dans un bâtiment

γ : exposant d'affaiblissement

f_0 : fréquence en MHz

L'ITU P1238 suggère de prendre pour un canal à 5,8 GHz une pénétration de 4 dB par cloison et 6dB par étage et un exposant d'affaiblissement γ de 31.

Dans tout l'exercice, on utilisera par ailleurs une marge de sécurité de 10 dB (fading).

Les courbes de performance des cartes WiFi utilisées dans les terminaux portables sont fournies en Fig. 2 :

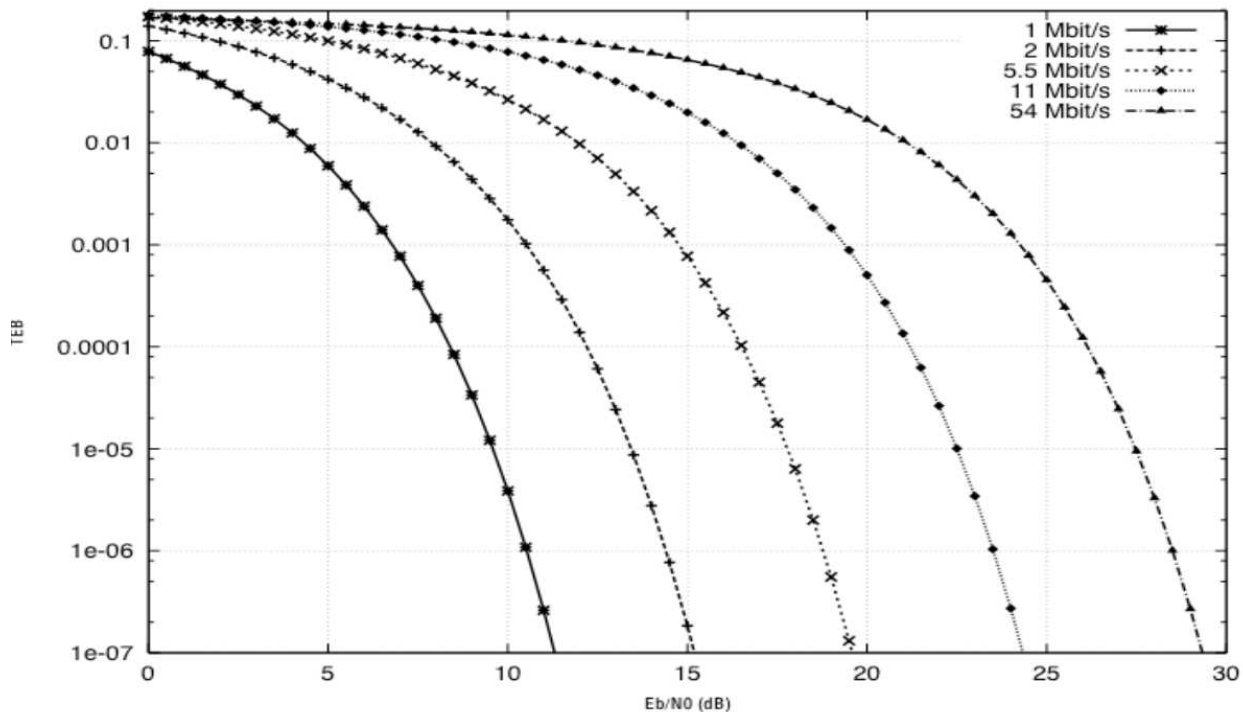


Figure 2 - Performances des cartes WiFi en fonction du débit binaire de transmission.

1. En considérant ces courbes de performance, indiquer quel est le rapport $(E_b/N_0)_{\text{dB}}$ nécessaire si l'on souhaite fournir un débit R_b de 54 Mbit/s avec un TEB inférieur à 10^{-5} ?
2. Calculer la sensibilité S d'un récepteur dans le cas où son facteur de bruit F_r est de 5 dB.
3. En déduire (par un bilan de liaison) la distance maximum du point d'accès vers un portable pour un débit R_b de 54 Mbit/s. Dans ce cas $S = P_r$.
4. Ce débit pourra-t-il être fourni sur l'ensemble de l'étage ?

Partie 2 :

La société s'agrandit et achète l'étage du dessous. Une cloison existe au niveau du rez-de-chaussée et elle se situe à 6 m du mur (GFKJ) sur la figure 1.

5. Un AP suffit-il pour couvrir toute la zone à 54 Mbit/s (débit dans le pire des cas) ? Dans quelle zone ce débit ne sera pas atteint ? Justifier en vous aidant d'un bilan de liaison.