

# Communications numériques sans fil pour les objets connectés

Enoncé :

[http://www.alexandre-boyer.fr/alex/enseignement/Exercices\\_ISS\\_Communications\\_Numeriques\\_2016-17.pdf](http://www.alexandre-boyer.fr/alex/enseignement/Exercices_ISS_Communications_Numeriques_2016-17.pdf)

## Exercice 2 - Interférences Zigbee

Un réseau Zigbee a été réalisé à l'intérieur d'un bâtiment. Celui-ci doit coexister avec un réseau WiFi IEEE 802.11.b. La réception Zigbee est supposée satisfaisante tant que le Packet Error Rate (PER) est inférieur à 1 %. Dans cet exercice, on considère une installation donnée, où les points d'accès WiFi et Zigbee sont initialement séparés de 5 m. On s'intéresse à l'effet de l'interférence du WiFi sur la réception du Zigbee, notamment la dégradation de la portée radio du Zigbee.



Figure 1 : Distance au point d'accès Zigbee

### Question 1 : Portée radio de Zigbee

On calcule la portée radio du Zigbee, dans un premier temps on ne prend pas en compte les interférences Wifi, puis dans un deuxième temps on s'intéresse à l'influence des interférences Wifi sur la réception du signal Zigbee.

Pour la suite du problème on considère un modèle One Slope pour un environnement dense sur un étage, c'est-à-dire dans la formule pour calculer les pertes de propagation :

$$L_p(dB) = L_{p0}(r_0) + 10 \times N \times \log\left(\frac{r}{r_0}\right), \quad r > r_0$$

Or dans un environnement dense sur un étage et avec  $r_0 = 1m$ , nous avons :

$$L_{p0}(r_0) = 33.3 \text{ dB} \text{ et } N = 4$$

Pour calculer la portée nous avons besoin de calculer les pertes maximales en propagation, nous considérons les deux cas : avec et sans interférences Wifi.

## 1. Sans interférences Wifi :

Pour calculer la portée du signal radio Zigbee, nous devons calculer les pertes maximales de propagations  $L_{pmax}$ . Ensuite, à partir de la formule du modèle One Slope, nous pouvons en déduire la portée, c'est-à-dire la distance maximale d'émission  $r_{max}$  à laquelle la réception des messages Zigbee est toujours possible :

$$r_{max} = 10^{\frac{L_{pmax} - L_{p0}}{10 \times N}}$$

Sans interférence Wifi, nous devons seulement prendre en compte les pertes lors de la transmission du signal radio Zigbee, à partir de l'émission et jusqu'à la réception.

a. On prend en compte uniquement le bruit thermique :

Nous réalisons le bilan de liaison entre l'émetteur et récepteur Zigbee dans le cas où nous prenons en compte uniquement le bruit thermique :

Emetteur	Puissance d'émission (dBm)	0
	Gain antenne émetteur (dB)	0
	Pertes émetteur (dB)	0
	PIRE (dBm)	0
Récepteur	Bande passante (MHz)	2
	Bruit thermique (dBm)	-110.82
	SNR minimum (PER < 1 %) (dB)	2
	Sensibilité récepteur (dBm)	-108.82
	Pertes récepteur (dB)	0
	Gain antenne récepteur (dB)	0
	Puissance minimale en entrée (dBm)	-108.82
Pertes de Propagation maximales		$L_{pmax} = +108.82 \text{ dB}$

Pour calculer le bruit thermique nous utilisons la formule suivante :

$$N = 10 \log(1000 k_B T B) , k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1} , T(27^\circ\text{C}) = 300 \text{ K} \text{ et } B = 2 \text{ MHz}$$

Nous pouvons ensuite calculer la portée :  $r_{max} = 77.3 \text{ m}$

b. On prend en compte le seuil de bruit donné :

Nous réalisons le bilan de liaison entre l'émetteur et récepteur Zigbee dans le cas où nous prenons en compte le seuil de bruit qui comprend diverses sources de bruits :

Emetteur	Puissance d'émission (dBm)	0
	Gain antenne émetteur (dB)	0
	Pertes émetteur (dB)	0
	PIRE (dBm)	0
Récepteur	Bande passante (MHz)	2
	Seuil de Bruit (dBm) (cf énoncé)	-95
	SNR minimum (PER < 1 %) (dB)	2
	Sensibilité récepteur (dBm)	-93
	Pertes récepteur (dB)	0
	Gain antenne récepteur (dB)	0
	Puissance minimale en entrée (dBm)	-93
Pertes de Propagation maximales		$L_{pmax} = +93 \text{ dB}$

Nous pouvons donc calculer la portée :

$$r_{max} = 31.1 \text{ m}$$

## 2. Avec interférences Wifi :

Dans le cas où nous prenons en compte les interférences Wifi, nous considérons le signal Wifi comme une source de bruit, que nous devons tenir compte dans le bilan de liaison entre l'émetteur et le récepteur Zigbee.

Voici les caractéristiques des deux signaux radio :

	Zigbee	Wifi
Fréquence centrale (MHz)	2405	2412
Bande passante (MHz)	2	22

Ainsi, nous pouvons constater que la bande passante du signal Zigbee est comprise dans celle du signal Wifi, mais seulement  $2/22 = 1/11$  de la puissance du signal Wifi interfère avec celui du Zigbee.

Nous pouvons calculer combien cela correspond en décibel :

La puissance d'émission du signal Wifi est 15-20 dBm, nous pouvons prendre le pire cas, où le signal Wifi peut interférer beaucoup, c'est-à-dire 20 dBm. Nous le convertissons en mW, puis ensuite en dBm.

$$P_w(mW) = \frac{10^{20}}{11} = \frac{100}{11} mW$$

$$P_w(dBm) = 10 \times \log\left(\frac{100}{11}\right) = 9.59 dBm$$

Ensuite, nous pouvons calculer la puissance du signal Wifi qui va interférer ( $N_w$ ) avec le signal Zigbee à une distance  $r_{max} + 5$ .

Nous savons que d'après le modèle One Slope, nous avons la relation suivante :

- $L_{p,wifi}(r) (dB) = L_0 + 10 \times N \times \log(r + 5)$

Puis, nous savons aussi que d'après le bilan de liaison, nous avons une relation entre les pertes de propagation du signal Wifi ( $L_{p,wifi}$ ), la puissance d'émission ( $P_w$ ) et de réception ( $N_w$ ):

- $N_w(r) = P_w - L_{p,wifi}$

Donc nous pouvons en déduire l'expression des interférences Wifi :

$$N_w(r) = P_w - (L_0 + 10 \times N \times \log(r + 5))$$

Nous pouvons maintenant faire le bilan liaison entre l'émetteur et récepteur Zigbee dans le cas où nous prenons en compte les interférences Wifi comme une source de bruit :

Emetteur	Puissance d'émission (dBm)	0
	Gain antenne émetteur (dB)	0
	Pertes émetteur (dB)	0
	PIRE (dBm)	0

Récepteur	Bande passante (MHz)	2
	Bruit thermique (dBm)	$10 \times \log(N + N_w)$
	SNR minimum (PER < 1 %) (dB)	2
	Sensibilité récepteur (dBm)	$10 \times \log(N + N_w) + 2$
	Pertes récepteur (dB)	0
	Gain antenne récepteur (dB)	0
	Puissance minimale en entrée (dBm)	$10 \times \log(N + N_w) + 2$
Pertes de propagation maximales : $L_{pmax} = -(10 \times \log(N + N_w) + 2)$		

Pour additionner le bruit thermique ( $N$ ) et les interférences Wifi ( $N_w$ ), nous devons les convertir en mW :

- $N = 1000 k_B T B = 8.28 \times 10^{-12} \text{ mW}$
- $N_w = 10^{\frac{P_w - (L_0 + 10 \times N \times \log(r+5))}{10}}$

Nous pouvons ensuite les additionner et obtenir les pertes en propagation :

$$L_{pmax} = -(10 \times \log(N + N_w) + 2)$$

D'un autre côté, nous savons que le modèle one slope nous donne la relation suivante :

$$L_{pmax} = L_{p0} + 10 \times N \times \log(r_{max})$$

Nous pouvons donc en résolvant le système d'équation des deux expressions de  $L_p(r)$ , obtenir la portée maximale du signal Zigbee avec interférence du signal Wifi. Dans un souci de simplicité, on résout le système d'équation grâce à Matlab :

```

%% Nettoyage des variables / fenetre de commandes
clear
clc

%% Déclaration des variables connues
N = 8.28e-12;
P_w = 9.59;
L_0 = 33.3;

%% Déclaration des variables symboliques
syms L_p r;

%% Determination des variables symboliques

eqn1 = L_p == -(10*log10(N + 10^((P_w - (L_0 + 10*4*log10(r+5)))/10)) + 2)
eqn2 = L_p == L_0 + 10*4*log10(r)
[~, d] = solve([eqn1,eqn2],[L_p,r])
vpa(d)

```

Et on obtient  $r = 5.27 \text{ m}$

	Portée radio du Zigbee ( $r_{max}$ )
Sans interférence Wifi	avec bruit thermique : $r_{max} = 77.3 \text{ m}$
	avec seuil de bruit : $r_{max} = 31.1 \text{ m}$
Avec interférence Wifi	$r_{max} = 5.27 \text{ m}$

Comme attendu, on remarque bien que la portée du Zigbee sans interférences est supérieure qu'en prenant en compte ces dernières.

## Question 2 : Interférences Zigbee - WiFi

2. En considérant le schéma ci-dessous, calculez la séparation maximale  $S_{max}$  entre les points d'accès Zigbee et WiFi pour assurer une portée de 20 m du réseau Zigbee. On conserve les mêmes hypothèses que précédemment.



On commence par calculer les pertes du signal Zigbee au niveau du récepteur en se plaçant dans les conditions du modèle One Slope:

$$L_p(r = 20m) = L_0 + 10 * N * \log(20) = 33,3 + 10 * 4 * \log(20) \approx 85,34 \text{ dB}$$

On calcule ensuite le bruit engendré par le signal WiFi :

$$N_{wifi} = P_{wifi} - L_{p_{wifi}}$$

→ On sait que  $P_{wifi}$  est compris entre 15dBm et 20dBm. On choisit donc de se placer dans les conditions les moins favorables, à savoir  $P_{wifi} = 20\text{dBm}$ . Cependant, il ne faut prendre en compte qu'un onzième de cette puissance totale, soit le ratio de la bande passante de Zigbee sur la bande passante du WiFi. On a alors:

$$P_{wifi}(dB) = 10 * \log(10^{20/10}/11) \approx 9,59 \text{ dB}$$

→ Le calcul de  $L_{p_{wifi}}$  se fait lui en tenant compte du modèle One Slope à une distance du récepteur  $s + 20$  comme suit :

$$\begin{aligned} L_{p_{wifi}} &= L_0 + 10 * N * \log(s + 20) \\ &= 33,3 + 10 * 4 * \log(s + 20) \\ &= 33,3 + 40 * \log(s + 20) \end{aligned}$$

→ On obtient :

$$N_{wifi} = 9,59 - [33,3 + 40 * \log(s + 20)] \text{ dB}$$

On reprend le bruit thermique calculé à la question précédente, soit  $N = -110,8 \text{ dBm}$

On ajoute ensuite les deux sources de bruit selon la procédure suivante :

1. On convertit les deux valeurs en mW :

$$\begin{aligned} N &= 10^{(-110,8/10)} \text{ mW} \\ N_{wifi} &= 10^{[9,59 - (33,3 + 40 * \log(s + 20))]/10} \text{ mW} \end{aligned}$$



2. On ajoute les deux valeurs entre elles :

$$N_{Total} = N + N_{Wifi} = 10^{(-11,08)} + 10^{[9,59 - (33,3 + 40 * \log(s+20))]/10} \text{ mW}$$

3. On convertit la valeur obtenue en dB :

$$\begin{aligned} N_{Total} &= 10 * \log(10^{(-11,08)} + 10^{[9,59 - (33,3 + 40 * \log(s+20))]/10}) \text{ dB} \\ &= 10 * (-11,08) * [9,59 - (33,3 + 40 * \log(s+20))]/10 \text{ dB} \\ &= -11,08 * [9,59 - (33,3 + 40 * \log(s+20))] \text{ dB} \end{aligned}$$

On réalise ensuite un bilan des pertes sur le système:

Emetteur	Puissance d'émission (dBm)	9,59
	Gain antenne émetteur (dB)	0
	Pertes émetteur (dB)	0
	PIRE (dBm)	9,59
Récepteur	Bande passante (MHz)	2
	Seuil du bruit thermique (dBm)	$N_{Total}$
	SNR minimum (PER < 1 %) (dB)	2
	Sensibilité récepteur (dBm)	$N_{Total} + 2$
	Pertes récepteur (dB)	0
	Gain antenne récepteur (dB)	0
	Puissance minimale en entrée (dBm)	$N_{Total} + 2$
Pertes de Propagation maximales ( $L_{pmax}$ ) (dB)		$-(N_{Total} + 2)$

On en déduit que  $L_p = -(N_{Total} + 2) = 85,34 \text{ dB}$ , soit :

$$-[-11,08 * [9,59 - (33,3 + 40 * \log(s+20))] + 2] = 85,34$$

$$11,08 * [9,59 - (33,3 + 40 * \log(s+20))] = 87,34$$

$$9,59 - (33,3 + 40 * \log(s+20)) = 87,34/11,08$$

$$33,3 + 40 * \log(s+20) = 9,59 - 87,34/11,08$$

$$40 * \log(s+20) = 9,59 - 87,34/11,08 - 33,3$$

$$\log(s+20) = (9,59 - 87,34/11,08 - 33,3)/40$$

$$s+20 = 10^{(9,59 - 87,34/11,08 - 33,3)/40}$$

$$s = 10^{(9,59 - 87,34/11,08 - 33,3)/40} - 20$$

$$s \approx -19,84 \text{ m}$$

On en conclut donc que la distance maximale entre l'émetteur Zigbee et l'émetteur WiFi doit être d'environ 19,84m pour assurer une portée de 20m du réseau Zigbee.