

Communications numériques sans fil pour les objets connectés - Exercices

Novembre 2016

Alexandre Boyer

alexandre.boyer@insa-toulouse.fr - www.alexandre-boyer.fr



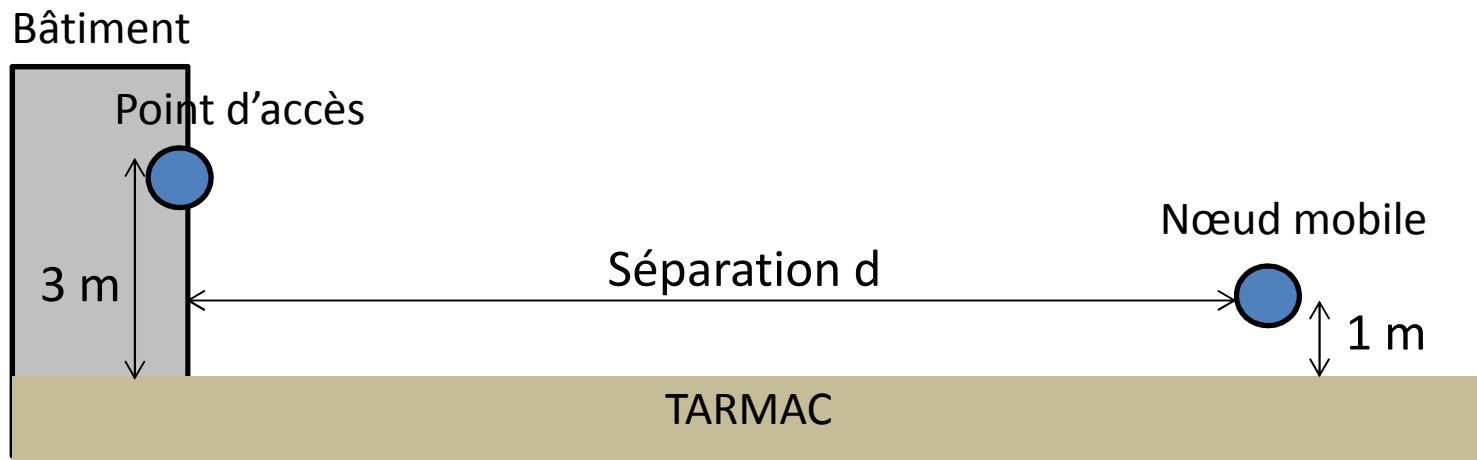
Exercice 1 – Zigbee en extérieur



On souhaite réaliser un réseau Zigbee en extérieur, pour une application sur un tarmac d'aéroport. On dispose pour cela de différents modules radio Zigbee et on souhaite comparer les performances radio de chaque module.

Afin de simplifier l'analyse, on considère le réseau suivant :

- ✓ Un point d'accès placé sur un mur extérieur à 3 mètres du sol
- ✓ Un nœud mobile placé à 1 mètre du sol
- ✓ Le tarmac est supposé homogène, plat, sans obstacles. La permittivité électrique relative et la conductivité du sol sont supposées égales à 4 et 0.001 S/m respectivement.



Exercice 1 – Zigbee en extérieur



Caractéristiques des 3 modules radio Zigbee données par le constructeur :

| | Module A | Module B | Module C |
|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Modulation | OQPSK 868 MHz | OQPSK 2.4 GHz | OQPSK 2.4 GHz |
| Puissance d'émission | 0 dBm | 0dBm | 10 dBm |
| Seuil de réception | -92 dBm | -92 dBm | -100 dBm |
| Gain antenne émission/réception | 0 dB | 0 dB | 0 dB |

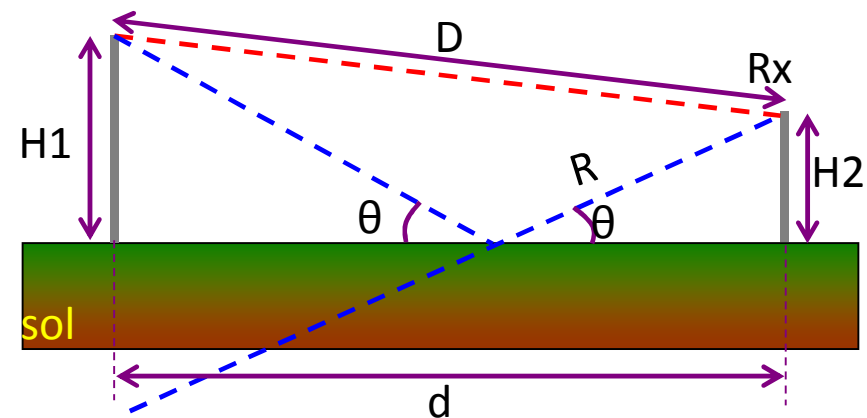
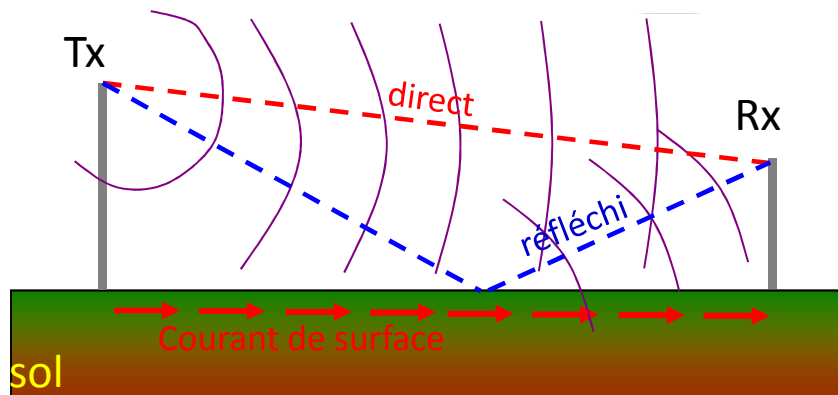
1. Pour chacun de ces 3 modules, on cherche à déterminer la portée radio maximale. Pour cela, on utilisera le modèle de propagation en espace libre et le modèle à 2 rayons (voir slides suivantes).
2. Parmi les paramètres suivants, on souhaite déterminer ceux qui influent le plus sur la portée : hauteur des antennes émettrices et réceptrices, fréquence, polarisation des antennes.

Exercice 1 – Zigbee en extérieur



Espace ouvert avec sol conducteur – modèle à deux rayons

- ✓ La formule de Friis ne permet pas de prendre en compte l'effet du sol, à l'origine d'une réflexion des ondes électromagnétiques.
- ✓ Le modèle à 2 rayons permet de calculer plus précisément le champ électromagnétique reçu dans le cas d'un sol partiellement conducteur, homogène, lisse et sans obstacles.
- ✓ Le signal reçu est la somme de la contribution de l'onde se propageant sur le trajet direct et de l'onde réfléchi par le sol.



Perte de propagation L_p :

$$L_P = \frac{P_{Rx}}{P_{Tx}} \approx \left| \frac{e^{-j\beta D}}{2\beta D} \times \left(G_{Tx} + G_{Rx} \times (\Gamma + (1-\Gamma)A) e^{-j\phi} \right) \right|^2$$

Exercice 1 – Zigbee en extérieur



Espace ouvert avec sol conducteur – modèle à deux rayons

- ✓ G_{TX} , G_{RX} : gain des antennes d'émission et de réception
- ✓ Γ : coefficient de réflexion du sol
- ✓ A : contribution des ondes de surface
- ✓ Φ : déphasage du rayon réfléchi par rapport au rayon direct.
- ✓ β : constante de phase

$$\theta = \arctan\left(\frac{H_1 + H_2}{d}\right)$$

$$D = \sqrt{d^2 + (H_1 - H_2)^2}$$

$$R = \sqrt{d^2 + (H_1 + H_2)^2}$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f}{c}, c = 3.10^8 \text{ m/s dans l'air}$$

$$A = \frac{-1}{1 + j\beta d(X + \sin \theta)^2}$$



$$\phi = \beta \times (R - D)$$

Exercice 1 – Zigbee en extérieur



Espace ouvert avec sol conducteur – modèle à deux rayons

✓ Calcul du coefficient de réflexion :

$$\Gamma(\theta) = \frac{\sin \theta - X}{\sin \theta + X}$$

➤ Pour une polarisation d'antenne verticale :

$$X = \frac{\sqrt{\epsilon_g - \cos^2 \theta}}{\epsilon_g}$$

➤ Pour une polarisation d'antenne horizontale :

$$X = \sqrt{\epsilon_g - \cos^2 \theta}$$

➤ Constante diélectrique du sol :

$$\epsilon_g = \epsilon_r - j \frac{\sigma}{\epsilon_0 2\pi f}$$

- Avec :
- ϵ_r : permittivité diélectrique relative du sol
 - $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$
 - σ : conductivité du sol (S/m)

Exercice 2 – Interférences Zigbee – WiFi



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.

1. Calculez la portée radio du Zigbee en présence ou non d'interférences WiFi. On considèrera un modèle de propagation du type One Slope pour un environnement dense sur un étage.



Exercice 2 – Interférences Zigbee – WiFi



Caractéristiques radio

| | Zigbee | WiFi |
|------------------------|----------|-------------|
| Fréquence centrale | 2405 MHz | 2412 MHz |
| Bande passante | 2 MHz | 22 MHz |
| Puissance d'émission | 0 dBm | 15 – 20 dBm |
| Seuil de bruit | -95 dBm | N/A |
| SNR minimum (PER < 1%) | 2 dB | N/A |

Exercice 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.

