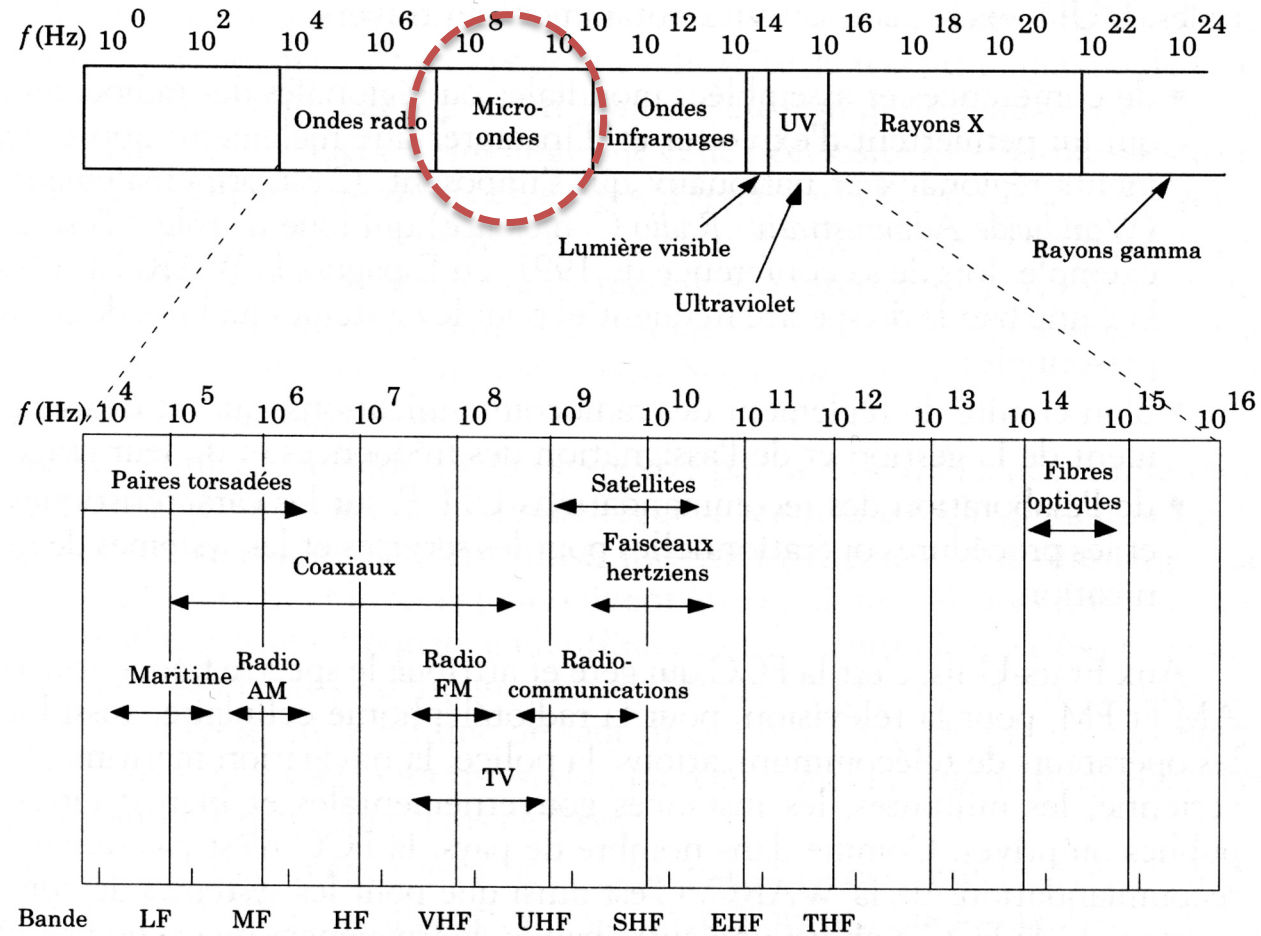


Antennes

Spectre électromagnétique



Caractéristiques des micro-ondes

- Utilisées pour la communication cellulaire, WLAN, BT, Satellites
- Fréquences: 250 MHz – 70 GHz
 - Propagation essentiellement en ligne droite
- Fréquences < 6 GHz
 - Traversent facilement les murs
- Fréquences > 6 GHz
 - Nécessitent une visibilité directe
- Fréquences > 12 GHz
 - Absorption par l'eau (brouillard, pluie)

Le problème principale

- Le canal de propagation entre l'émetteur et le récepteur et de loin le problème le plus important qui limite la fiabilité de la transmission dans les systèmes de communication sans fil
- Le canal aérien ne peut pas être contrôlé
- Ses caractéristiques varient dans le temps et dans l'espace

Antennes

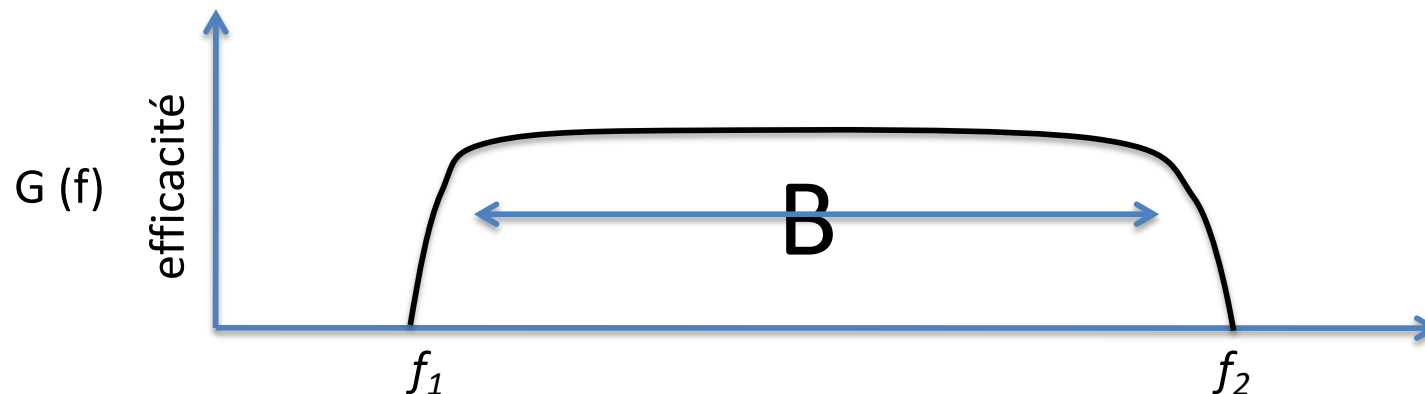
- Les antennes, utilisées dans l'atmosphère terrestre ou le vide, convertissent le signal dans le câble en signal EM (électromagnétique) rayonnant (=se propageant) sans support physique.



- Les antennes sont caractérisées par...

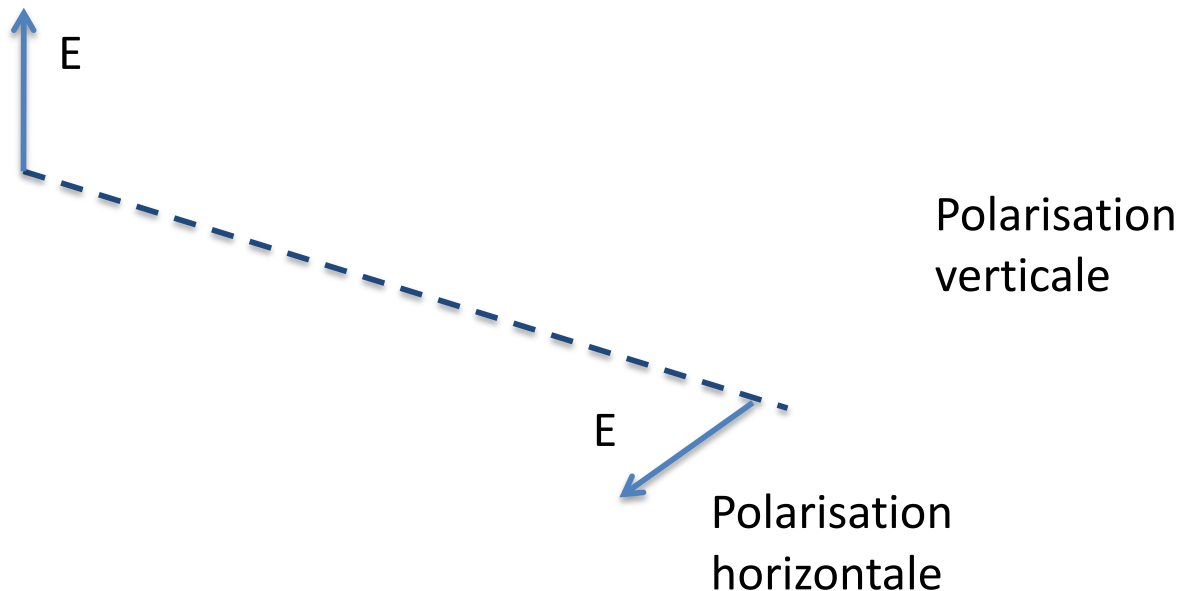
La largeur de bande B

- Il s'agit de la plage de fréquences dans laquelle l'antenne reste « efficace ».
- L'efficacité est définie comme le rapport entre la puissance rayonnée par l'antenne et la puissance injectée à son entrée. = gain $G(f)$.



La polarisation

- Il s'agit de la direction du champ électrique de l'onde rayonnée (pol. verticale, horizontale, ou circulaire) ... les obstacles modifient la polarisation



Densité de puissance rayonnée

- C'est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée et la surface que cette puissance traverse.
- Dans la cas d'une antenne omnidirectionnelle, la densité de puissance à une distance r est le rapport entre la puissance transmise (P_{TX}) et la surface d'une sphère imaginaire de rayon r .

Le diagramme de rayonnement

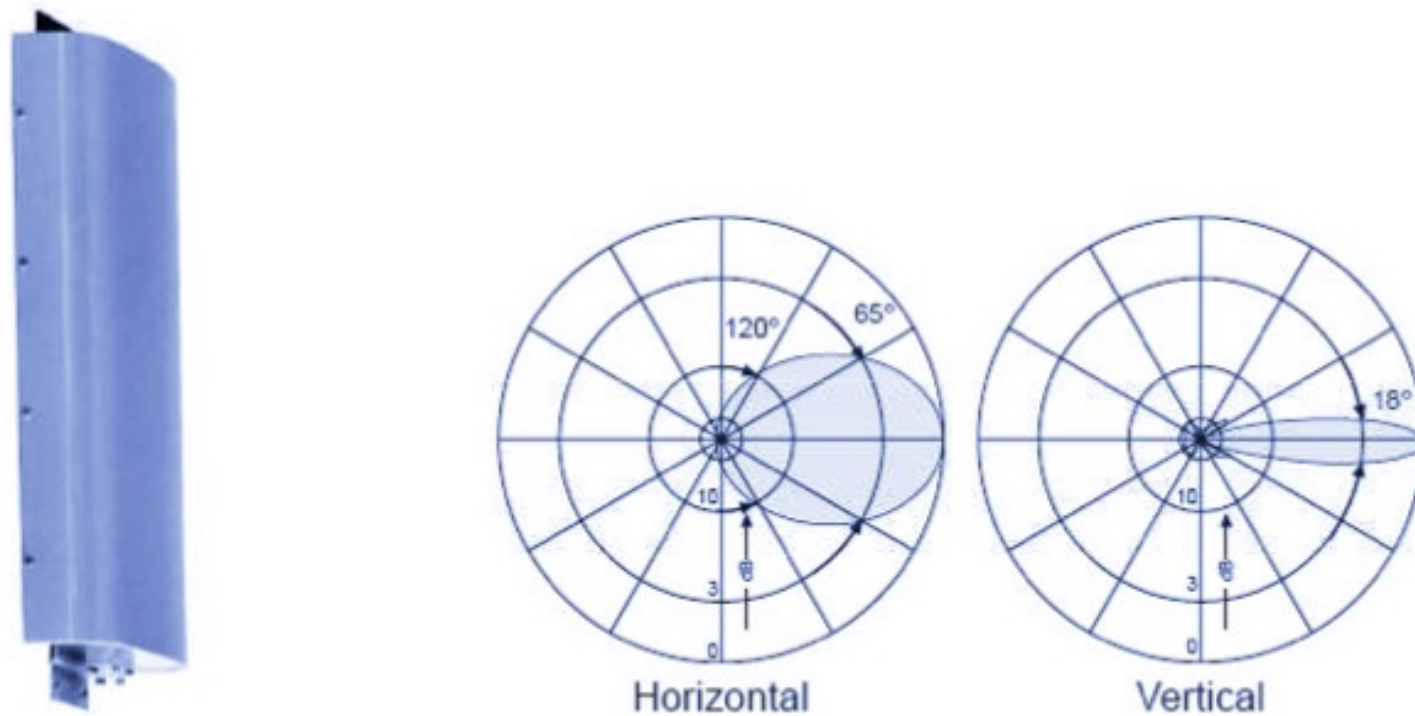
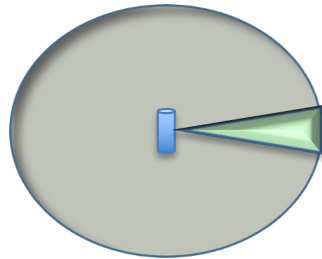


Figure 2.6 An example of an antenna and its radiation pattern.
[<http://www.kathrein.de/de/mca/techninfos/download/BasicAntenna.pdf>]

Gain d'une antenne



- les antennes émettent avec des puissances qui dépendent de la direction
- Le gain $G(\alpha, \theta)$ en [dBi] est le rapport entre la puissance irradiée dans une direction (α, θ) donnée et la puissance émise par une antenne fictive, ponctuelle et **isotropique** (qui rayonne la même puissance dans toutes les directions).
- Pour les mesures, la référence est souvent un dipôle calibré et le gain de l'antenne $G_{\text{ref. dipôle}}$ est alors donné en dBd
- Souvent, le seul gain donné est le Gain maximum (G en dBi)

Aire effective d'un antenne

- C'est l'aire fonctionnelle (pas réelle) qu'une antenne présente à une onde électromagnétique qu'elle reçoit

$$A_{eff} = \frac{\lambda^2 g}{4\pi}$$

où λ est la longueur d'onde [m] et g est le gain de l'antenne ($g = 10^{G/10}$)

Relation entre vitesse, fréquence et longueur d'onde

- La longueur d'onde et la fréquence sont liées par

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

- Où c est la vitesse de la lumière [m/s] et f est la fréquence [Hz]

EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power)

- EIRP est la puissance totale (en W, mW, ... ou en dBm) qui serait émise par une antenne de Gain maximal G_{\max} (en dBi) si elle transmettait avec la puissance maximal dans toutes les directions.
- $EIRP = P_{Tx} + G_{\max}$ [dBm]
- Où P_{Tx} est la puissance en [dBm] transmise par l'antenne et G_{\max} est le gain d'antenne [dBi]

Exercice

- Quel est le Gain d'une antenne parabolique avec un rayon de 60 cm sachant que l'aire équivalente est 0.56 de l'aire réelle? Considérez une fréquence de 12 GHz.

Link Budget : équation de base

- Equation de Friis

$$\frac{p_r}{p_t} = g_t g_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

- p_r et p_t sont les puissances reçue et transmise, g_t et g_r sont les gains des antennes émettrice et réceptrice, λ est la longueur d'onde et d est la séparation entre les antennes
- Valable seulement pour en vue direct (espace libre, ou Line of Sight = LOS)

Link Budget : équation de base

- Equation de Friis en dBm, dBi, et dB (majuscules)

$$P_r = P_t + G_t + G_r + 10 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

- Le dernier terme est le « Line Of Sight free space loss » ou perte en espace libre

Différents environnements

- La formule de Friis ne peut pas être utilisée tel quel dans les cas où il y a des obstacles ou des environnements complexes
- Des modifications sont ont été introduites se basant sur des résultats empiriques et théoriques
- Les mesures montrent que l'exposant de « d » (voir prochain slide) peut être entre 1.9 et 5 en dépendant des conditions de propagation.

Link Budget

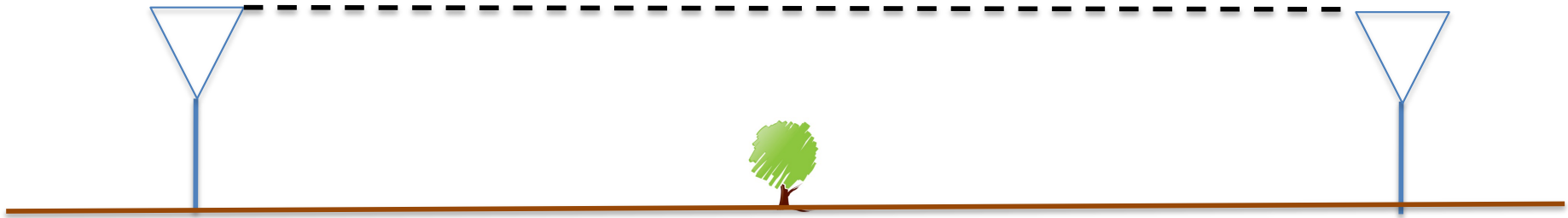
- Equation de Friis en dBm, dBi, et dB (majuscules)

$$P_r = P_t + G_t + G_r + 10 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 - 10 \log_{10} (d^\gamma)$$

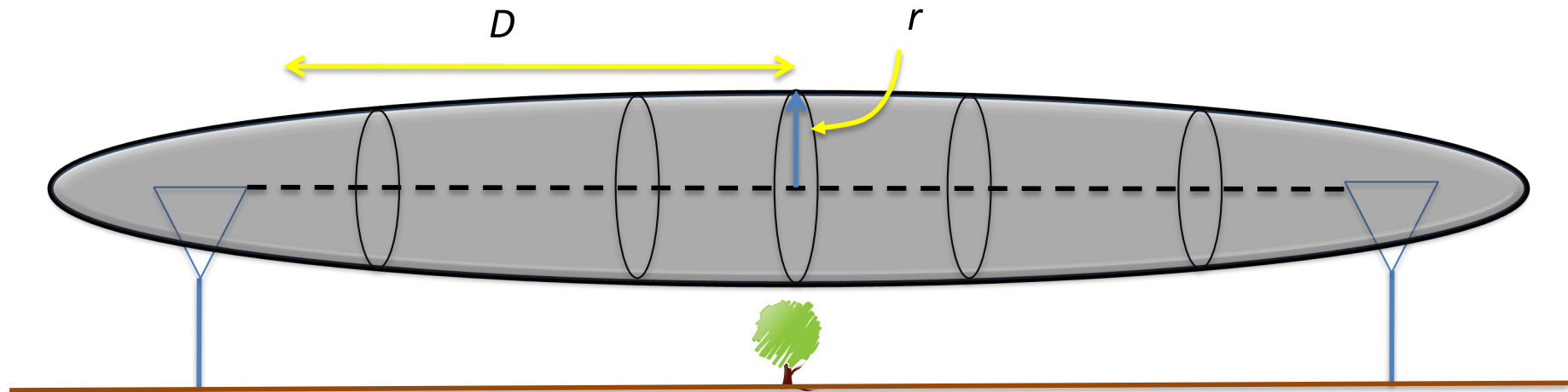
Conditions d'utilisation de la formule de Friis

- Pour utiliser la formule de LOS, il faut que la transmission directe soit dominante
- Les conditions sont:
 1. ligne de mire
 2. Une première zone de Fresnel dégagée à 80% (60% est aussi acceptable dans beaucoup de cas)

Ligne de mire



Surface de Fresnel



$$r = 17.32 \sqrt{\frac{D}{4f}}$$

Exercice

- Une station terrestre transmet 200 Watts vers un satellite géostationnaire qui se trouve à 36×10^3 km de hauteur. Si la fréquence d'opération est de 4 GHz, et si les gains des antennes sont 45 dBi et 44 dBi, calculez la puissance reçue par le satellite. On suppose LOS.

Exercice

- Si la sensibilité d'un récepteur est de -100 dBm à 1.8 GHz, quelle est la puissance minimale que l'on doit transmettre depuis une antenne qui se trouve à 3 km de distance si l'on suppose des conditions de LOS et espace libre. Le gain de l'antenne émettrice est 1.6 dBi et celui de l'antenne réceptrice est 0 dBi.

Exercice pour la prochaines fois

- Supposez LOS dans l'espace libre:
 - Ecrivez une expression pour la puissance reçue en fonction de la distance si l'émetteur transmet 10 dBm et la fréquence est 2,4 GHz. Le gain de l'antenne émettrice est 2,5 dBi et celui de l'antenne réceptrice est 0 dB.
 - Ecrivez une expression pour la puissance reçue en fonction de la fréquence si l'émetteur transmet 10 dBm et la distance est 50 m. Le gain de l'antenne émettrice est 2,5 dBi et celui de l'antenne réceptrice est 0 dBi.

Exercice pour la prochaines fois

- Décrivez en quelques mots les trois effets suivants et les mesures utilisées pour lutter contre les dégradations qu'ils produisent
 - Shadow fading
 - Rayleigh fading
 - Multipath

Exercice pour la prochaines fois

- Considérez une antenne de base située à 150 m d'un récepteur. Les premiers 100 m de propagation se font dans l'espace libre et les derniers 50 dans un environnement urbain.

Faites un plot des pertes en dB entre l'antenne de base et le récepteur en fonction du log de la distance.

Atténuation dans un environnement urban. Commençons avec free space

- Nous avons vu que l'atténuation pour l'espace libre est

$$A = 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

- Elle peut être écrite de la manière suivante:

$$A = 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi df}{c} \right)^2$$

Toujours free space

- L'expression du slide précédent peut être écrite comme suit

$$A = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{f_c} \right) + 20 \log_{10} (f) + 20 \log_{10} (d)$$

- Si on exprime f_c en MHz et d en km, on obtient

$$A = \underbrace{32.44}_{A_0} + \underbrace{20}_{\beta_0} \log_{10} (f [MHz]) + \underbrace{20}_{\alpha_0} \log_{10} (d [km])$$

Pour un environnement urbain

- L'expression a la même forme que celle pour l'espace libre

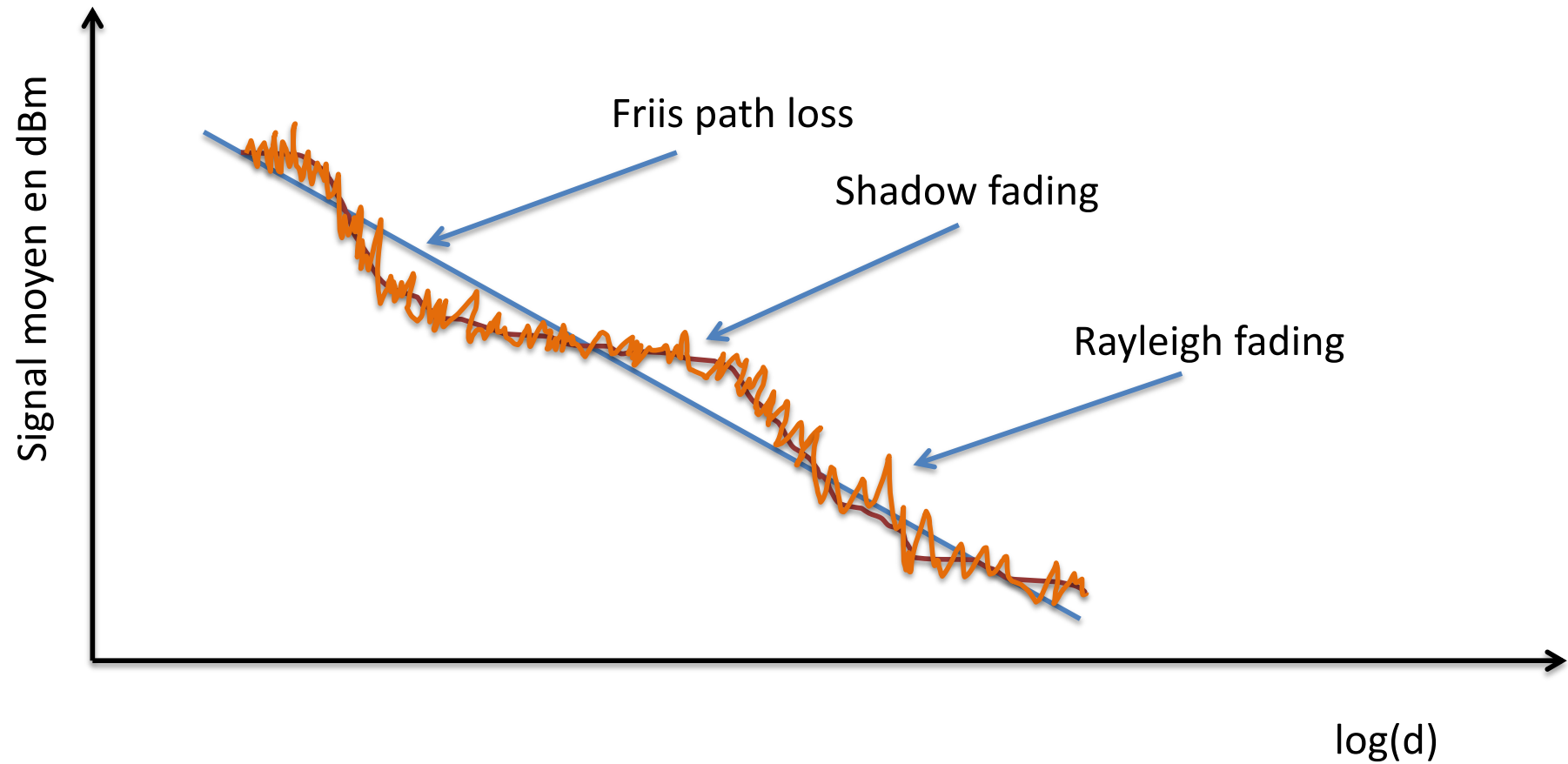
$$A = A_o + \beta \log_{10} (f [MHz]) + \alpha \log_{10} (d [km])$$

- Dans un environnement urbain, α et β sont différents de 20 et A_o est trouvé pour avoir continuité dans la fonction d'atténuation
- On peut utiliser les valeurs $\alpha = 40$ et $\beta = 30$

Mesures de pertes

- Lorsqu'on mesure le path loss ou pertes, on observe la superposition de trois effets:
 - les pertes de Friis (avec des coefficients qui dépendent du type d'environnement)
 - Le shadow fading
 - Le Rayleigh fading

Illustration des trois effets



Mesures typiques

