

Plan

- Affaiblissement en espace libre ;
- Calcul du «*Link Budget*» ;
- L'antenne ;
- Modulation et codage vs SNR ;
- Exemple de calcul ;
- Zone de Fresnel.

Affaiblissement en espace libre, «Free Space Loss»

D'après Wikipedia

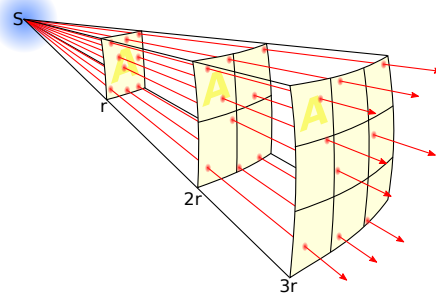
En physique, une loi en **carré inverse** est une loi physique postulant qu'une quantité physique (énergie, force, ou autre) est inversement proportionnelle au carré de la distance de l'origine de cette quantité physique.

L'intensité est inversement proportionnelle au carré de la distance :

$$\text{Intensité} \propto \frac{1}{\text{distance}^2}$$

Affaiblissement en espace libre : la puissance du signal est diminuée par la répartition géométrique du «front d'onde».

On parle de FSL, «*Free Space Loss*» ou de FSPL, «*Free Space Path Loss*».



La puissance du signal se répartit sur le front d'onde, dont la surface augmente en même temps que la distance depuis la source augmente. C'est pourquoi la densité de cette puissance diminue (les lignes de flux issues de la source, en rouge sur le schéma, ont une densité moindre si la distance augmente).

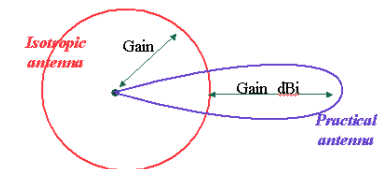
«Link Budget» ou bilan de liaison

- La performance d'un lien de communication dépend de la qualité du matériel utilisé.
- Le «*Link Budget*» permet de quantifier les performances d'un lien.
- La puissance reçue dépend de 3 facteurs :
 - ◇ la puissance transmise ;
 - ◇ le gain de l'antenne d'émission ;
 - ◇ le gain de l'antenne de réception ;
- Si la puissance moins l'atténuation en espace libre du chemin est supérieure au niveau minimal de réception du signal de la radio du récepteur alors une liaison est possible ;
- la différence entre le minimum de niveau du signal reçu et la puissance reçue est appelée le «*link margin*», «marge de liaison».
- le «*link margin*» doit être positif and doit être maximisé, c-à-d supérieur à au moins 10dB pour une communication fiable.

L'antenne et la transmission effective

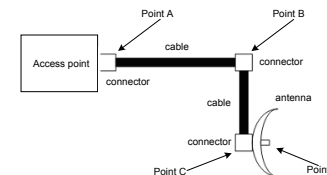
Une antenne isotrope est une *antenne théorique* qui rayonne de manière uniforme dans toutes les directions, c-à-d suivant une sphère et son gain est égal à l'unité.

Une antenne quelconque émet *plus dans une direction*, c-à-d qu'elle a un gain par rapport à l'antenne isotrope dans cette direction (exprimé en dBi).



La puissance émise au niveau du transmetteur

L'«EIRP», «*effective isotropically radiated power*», ou PIRE, «puissance isotrope rayonnée équivalente» :



où P_T est la puissance de transmission, L_C est la perte, «*loss*», dans les câbles et connecteurs et G_a est le gain de l'antenne.

La mesure de puissance : le «dBm»

$$\text{dBm} = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{Puissance}}{1\text{mW}} \right)$$

Cette puissance est exprimée en référence à une puissance de 1mW.

Access Point	Point A	Point B	Point C	Point D
100 mW	-3 dB	-3 dB	-3 dB	+12 dBi
= 100 mW	+2	+2	+2	(x2 x2 x2 x2)
= 100 mW	+2	+2	+2	x16
= 50 mW	+2	+2	+2	x16
= 25 mW		+2	+2	x16
= 12.5 mW				x16
= 200 mW				

Affaiblissement en espace libre, «Free Space Path Loss»

$$FSPL_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi df}{c} \right)^2 \quad \text{où } d \text{ est la distance en mètre,}$$

$$f \text{ est la fréquence en Hertz et } c, \text{ la vitesse de la lumière.}$$

$$FSPL_{dB} = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{c} \right)^2$$

$$\text{Ce qui donne : } FSPL_{dB} = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) - 147,55$$

Et si on exprime

▷ f en MHz

▷ d en km ,

cela donne la formule suivante :

$$FSPL_{dB} = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32,45$$

D'où la table suivante :

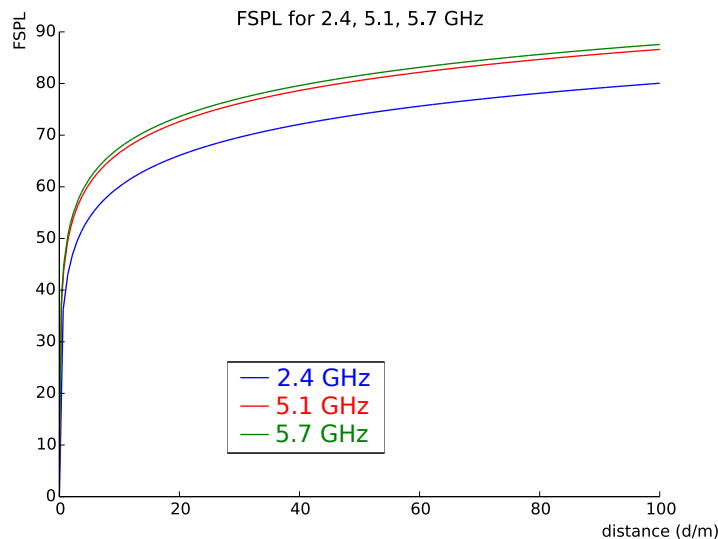
Distance	Fréquences		
	900MHz	2.4GHz	5.8GHz
1km	91.53	100.05	107.72
2km	97.56	106.07	113.74
3km	101.08	109.60	117.26
4km	103.58	112.10	119.76
5km	105.51	114.03	121.70
10km	111.53	120.05	127.72
20km	117.56	126.07	133.74
30km	121.08	129.60	137.26
40km	123.58	132.10	139.76
50km	125.51	134.03	141.70

On remarquera que pour la fréquence du WiFi de 2485MHz, on obtient la formule simplifiée :

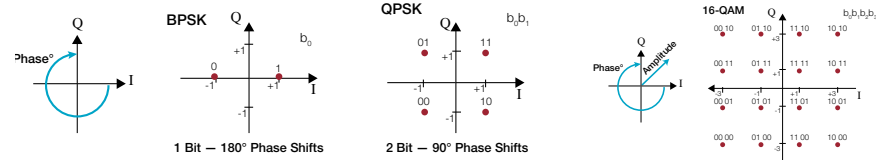
$$FSPL_{dB} = 100 + 20 \log_{10}(d), \text{ avec une distance exprimée en km.}$$

Affaiblissement en espace libre, «Free Space Path Loss»

Pour les fréquences les plus utilisées



Modulation et qualité du lien de transmission



Le rapport Signal/Bruit, «SNR»

La technique de modulation détermine :

- le débit et la capacité du canal de communication ;
- la fiabilité du système :
 - ◊ compromis entre le débit et la distance ;
 - ◊ plus la technique de modulation est efficace plus le SNR doit être élevé ;
 - ◊ 64-QAM demande un SNR plus élevé alors que BPSK se suffit d'un SNR moins élevé car il est plus résistant au bruit présent sur le canal de communication.

Le codage ou «coding»

Correction d'erreurs : x bits sont convertis en y bits :

Data Bits	Coded Bits	Coding Rate	Efficiency	Reliability
1	2	1/2	Less	More
2	3	2/3		
3	4	3/4		
5	6	5/6	More	Less

On définit alors le SNR nécessaire au récepteur pour atteindre un niveau de fiabilité en terme de «BER», «Bit Error Rate» acceptable :

$$SNR = \text{Puissance reçue} - \text{Bruit du canal de communication}$$

Modulation & Codage	Débit (Mbps)	SNR (dB)
BPSK 1/2	6	8
BPSK 3/4	9	9
QPSK 1/2	12	11
QPSK 3/4	18	13
16-QAM 1/2	24	16
16-QAM 3/4	36	20
64-QAM 2/3	48	24
64-QAM 3/4	54	25

«Link budget» : un exemple

- ▷ fréquence de travail : 2,4GHz ;
- ▷ distance entre le point d'accès et la radio du client : 5km ;
- ▷ le point d'accès est connecté à une antenne :
 - ◊ gain : 10dBi ;
 - ◊ puissance d'émission : 20dBm ;
 - ◊ sensibilité de réception : -89dBm ;
- ▷ le client est connecté à une antenne :
 - ◊ gain : 14dBi ;
 - ◊ puissance d'émission : 15dBm ;
 - ◊ sensibilité de réception : -82dBm ;
- ▷ les câbles de connexion à l'antenne sont courts des deux côtés avec une perte de 2dB.

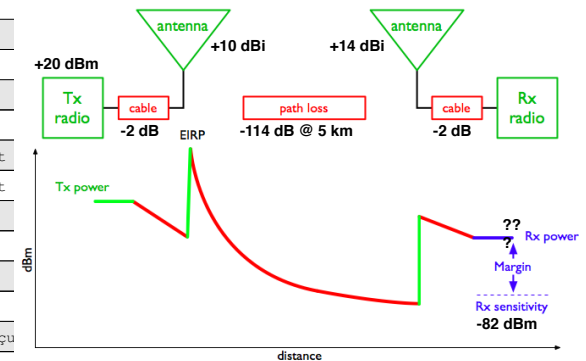
AP vers le client

Link Budget	Description
20dBm	TX Power AP
+10dBi	Antenna Gain AP
-2dB	Cable Losses AP
+14dBi	Antenna Gain Client
-2dB	Cable Losses Client

40dB	gain total
-114dB	FSPL pour 5km

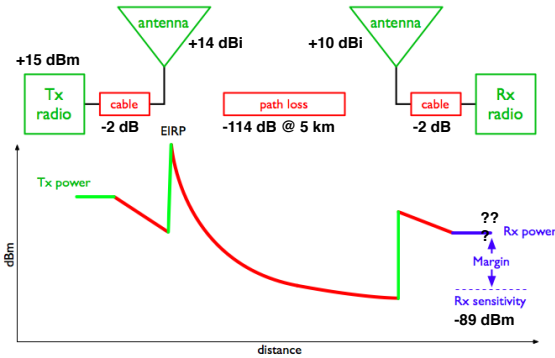
-73dBm	niveau de signal reçu
-82dBm	sensibilité du client

8dB	link margin



«Link budget» : un exemple – suite

- ▷ fréquence de travail : 2,4GHz ;
- ▷ distance entre le point d'accès et la radio du client : 5km ;
- ▷ le point d'accès est connecté à une antenne :
 - ◊ gain : 10dBi ;
 - ◊ puissance d'émission : 20dBm ;
 - ◊ sensibilité de réception : -89dBm ;
- ▷ le client est connecté à une antenne :
 - ◊ gain : 14dBi ;
 - ◊ puissance d'émission : 15dBm ;
 - ◊ sensibilité de réception : -82dBm ;
- ▷ les câbles de connexion à l'antenne sont courts des deux côtés avec une perte de 2dB.



Client vers l'AP :

Link Budget	Description
15dBm	TX Power Client
+14dBi	Antenna Gain Client
-2dB	Cable Losses Client
+10dBi	Antenna Gain AP
-2dB	Cable Losses AP

35dB	gain total
-114dB	FSPL pour 5km

-78dBm	niveau de signal reçu
-89dBm	sensibilité de l'AP

10dBm	link margin

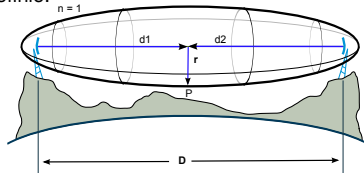
La «zone de Fresnel» et l'atténuation du signal

La «zone de Fresnel» est une zone ellipsoïdale autour de la «ligne de vue» ou «Line-Of-Sight» :

- de diamètre plus large de au centre qu'au bord ;
- plus grande est la distance entre les antennes, plus grande est la zone dans son centre ;

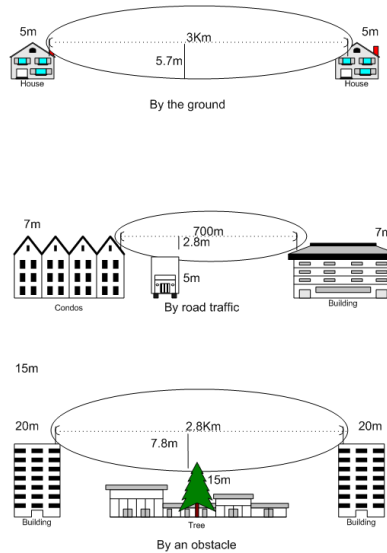
L'atténuation du signal dépend de :

- ▷ la ligne de vue : le fait que l'on voie une antenne depuis l'autre ;
- ▷ la présence d'obstacle dans la zone ellipsoïdale définie.



Exemple : à 2,4GHz sur une distance de 10km, la zone de Fresnel a un rayon de 17,6m.

On considère que 20 à 40% d'obstruction de la zone n'introduit pas d'interférence.



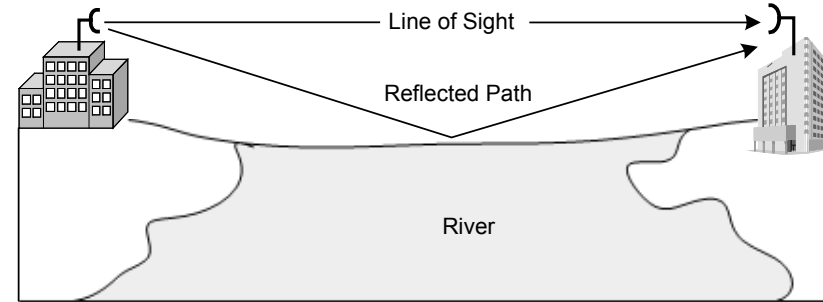
Autres atténuations et améliorations

Suivant la nature des obstacles à traverser, la perte est plus ou moins importante :

- ▷ arbres : 10 à 20dB ;
- ▷ murs : de 10 à 15dB ;
- ▷ sols : de 12 à 27dB (du sol en bois à celui en béton armé) ;

Mais...

Les obstacles peuvent **améliorer** le signal reçu :



On se sert des multiples chemins, «multipath» pour améliorer la réception du signal à l'aide de plusieurs antennes, «diversity».