# Calcul du budget de la liaison

Matériels de formation pour les formateurs du sans fil





Cette présentation de 60 minutes concerne l'estimation des performances des liaisons sans fil en utilisant des calculs de bilan de liaison. Elle introduit également l'outil de conception de liaison Radio Mobile.

Version I.0 by Antoine, @2010-06-29

Version I.II by Rob, @2010-07-06

Version 1.13 by Carlo, @2011-03-23

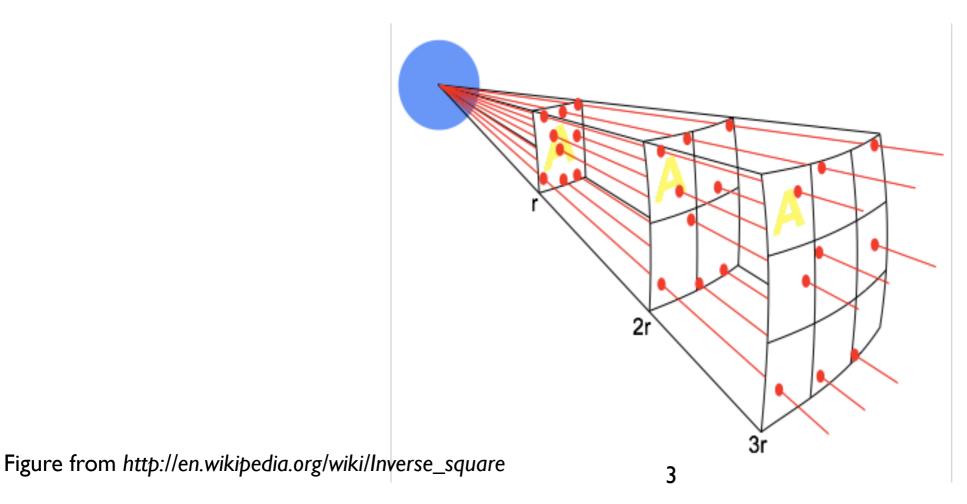
## Objectifs

- Etre en mesure de calculer jusqu'ou on peut aller avec le matériel dont nous disposons
- Comprendre pourquoi nous avons besoin de hauts mâts pour des liaisons longues
- Savoir plus sur un logiciel qui permet d'automatiser le processus de planification des liaisons radio



# Perte en espace libre

- La puissance du signal est diminuée par la propagation géométrique de la surface de l'onde, communément connue sous le nom « affaiblissement en espace libre » (en anglais Free Space Loss).
- La propagation géométrique se produit parce que l'énergie rayonnée par le front d'onde du signal s'expand en fonction de la distance de l'émetteur.



A light bulb analogy will help understand this. If we watch the quantity of light shed over a piece of paper, we will notice that this diminshes as we take it further away from a light bulb. This is a purely geometric phenomenon, it happens even in a vacuum where there is nothing that can absorb the em radiation. that is why it is called free space loss.

# Perte en espace libre (@2.4GHz)

▶ En utilisant les décibels pour exprimer la perte et 2,4 GHz comme fréquence du signal, l'équation de la perte en espace libre se traduit par:

$$L_{fsl} = 100 + 20*log(D)$$

 $\blacktriangleright$  ou  $L_{fsl}$  est exprimée en dB and D is en kilomètres.

4

Le logarithme de cette formule est en base 10.

C'est très facile d'utiliser cette formule simple, car le résultat est: 100 dB (pour 1 km), majoré de 20 dB à chaque fois que vous multipliez la distance par 10 ... (10 km -> 120dB, 100 km de 140dB>, etc ..).

Alors si vous vous souvenez que  $\log (2) = \sim 0.3$ , il suffit d'ajouter 20 \* 0.3 = 6 dB chaque fois que vous doublez la distance, par exemple,

```
Ikm -> 100dB
```

<sup>2</sup>km -> 106dB

<sup>4</sup>km -> 112dB

<sup>8</sup>km -> 118dB

<sup>10</sup>km -> 120dB

<sup>20</sup>km -> 126dB

<sup>40</sup>km -> 132dB

<sup>80</sup>km -> 138dB

<sup>100</sup>km -> 140dB

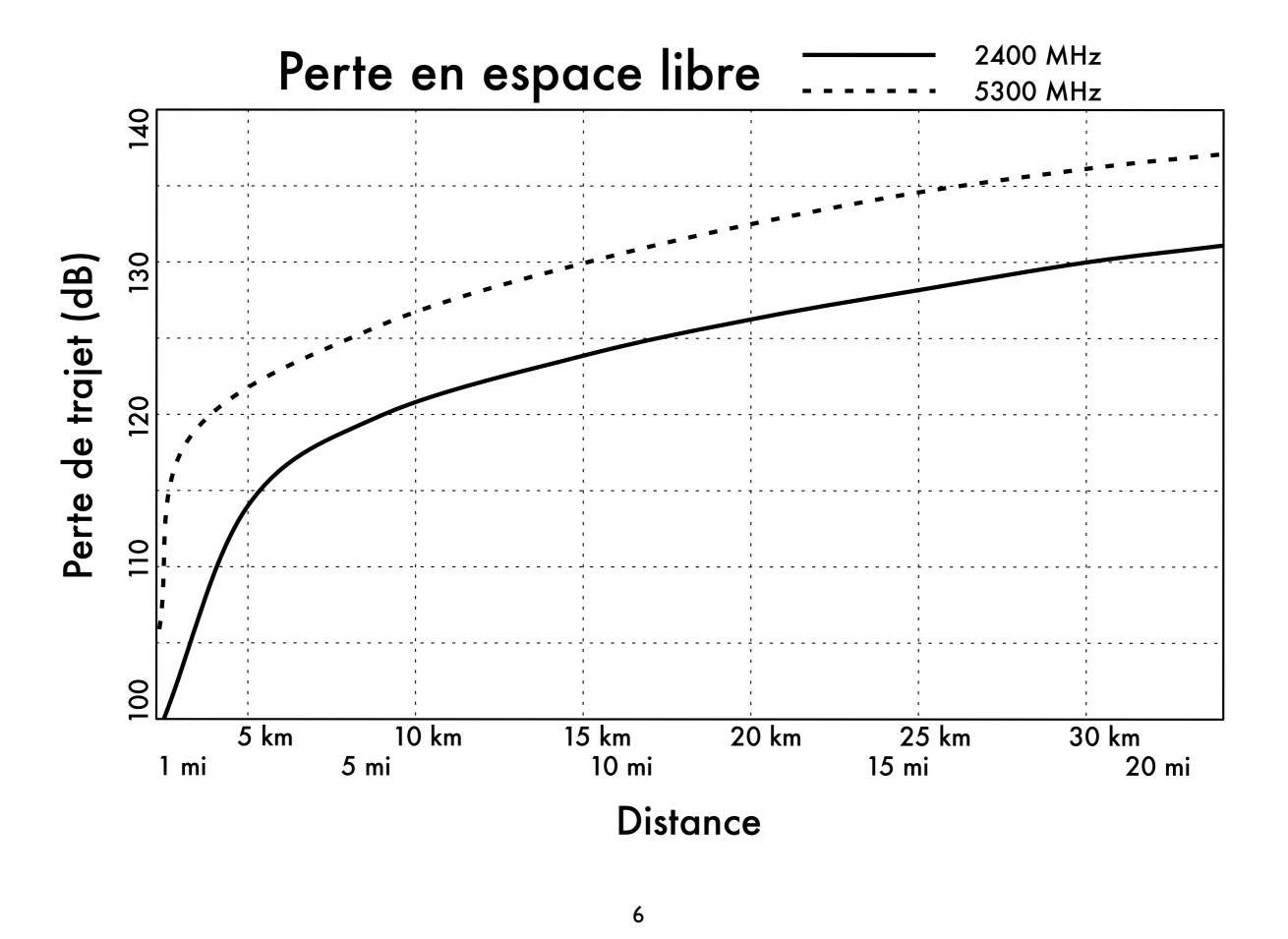
et ainsi de suite ...

# Perte en Espace Libre (pour n'importe quelle fréquence)

L'équation de la perte en espace libre pour n'importe quelle fréquence du signal, se traduit par:

$$L_{fs} = 32,45 + 20*log(D) + 20*log(f)$$

... Où *L<sub>fsI</sub>* est exprimée en dB, **f** en MHz et **D** est en kilomètres



Ce graphique montre la perte de chemin en espace libre pour des distances allant jusqu'à 40 km, à la fois pour 2,4 et 5,3 GHz.

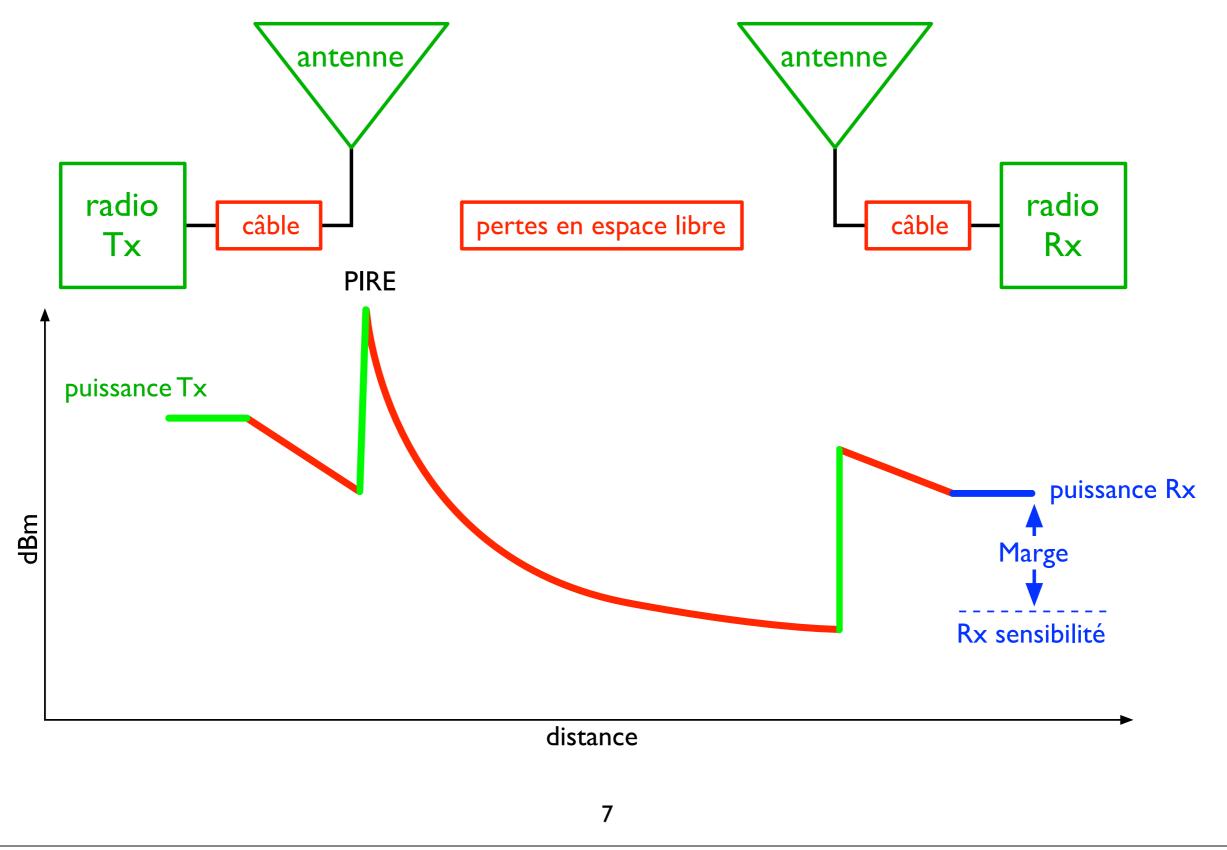
Astuce: si la fréquence utilisée est de l'ordre de 5 GHz (au lieu de 2,4 GHz), vous devez ajouter 6 dB à la perte afin d'obtenir le bon résultat.

Si quelqu'un le demande, la formule complète pour n'importe quelle fréquence est la suivante:

$$L_{fsl} = 32,45 + 20*log(d) + 20*log(f)$$

(Fréquence f en MHz, la distance d en km, le résultat en dB)

# Puissance dans un système sans fil



Ce graphique indique la quantité relative des gains et pertes ainsi que la puissance absolue à chaque point d'une liaison sans fil.

L'émetteur produit une certaine quantité de puissance. Une petite quantité est perdue dans l'atténuation entre l'émetteur et l'antenne. L'antenne concentre ensuite la puissance, en fournissant un gain. À ce stade, la puissance est à sa valeur maximale possible pour la liaison. Cette puissance est appelée PIRE: Puissance Isotrope Rayonnée Effective (EIRP: Effective Isotropic Radiated Power)

Ensuite, il ya les pertes en espace libre et celles de l'environnement, qui augmentent avec la distance entre les extrémités de la liaison. L'antenne de réception fournit des gains supplémentaires. Ensuite, il ya une petite quantité de pertes entre l'antenne de réception et la réception radio.

Si le montant de l'énergie reçue à l'extrémité est supérieure à la sensibilité de réception de la radio, par une certaine marge M, alors la liaison est possible. La valeur de M déterminera la fiabilité de la liaison, un bon point de départ est de disposer d'une marge d'au moins 10 dB. Pour les liens critiques, il est préférable de viser une marge de 20 dB.

# Budget de la liaison

- La performance de toute liaison de communication dépend de la qualité de l'équipement utilisé.
- Le budget de la liaison est un moyen de quantifier la **performance** de la liaison.
- La puissance reçue dans une liaison 802. Il est déterminée par trois facteurs: la puissance d'émission, le gain d'antenne de transmission, et le gain d'antenne de réception.
- Si cette puissance, moins la **perte en espace libre** du chemin de liaison, est supérieure au niveau **minimum du signal reçu** de la radio de réception, alors une liaison est possible.
- La différence entre le niveau minimum du signal reçu et la puissance réelle reçue est appelée la *marge de liaison*.
- La marge de la liaison doit être positive, et devrait être maximisée (doit être d'au moins 10 dB ou plus pour des liaisons fiables).

8

Ne pas confondre le budget de liaison avec le coût d'obtention du matériel! Nous ne traitons pas avec de l'argent ici, mais avec le dB.

Le bilan de la liaison reflète l'impact des différentes variables dans la puissance ultime qui atteint le récepteur.

Gardez à l'esprit que la sensibilité du récepteur est fortement dépendante de la vitesse de transmission: plus haut sera le taux de transmission, plus grande sera la puissance requise du récepteur pour des performances acceptables.

Si l'on ne peut pas obtenir une marge acceptable à un taux de transmission donné, il serait nécessaire de travailler à un taux de transmission inférieur.

La perte en espace libre s'applique quand il ya un chemin complètement dégagé entre l'émetteur et le récepteur, avec dégagement d'au moins 60% de la première zone de Fresnel.

L'obstruction partielle de la Ière zone de Fresnel ou la présence de murs ou autres objets causera des pertes supplémentaires à ajouter à la perte d'espace libre lors du calcul de l'atténuation en chemin.







<u> </u>								
			SYST	TEM INFORMA	TION			
Processor S	pecs			Atheros MIPS 4KC, 180MHz				
Memory Information				16MB SDRAM, 4MB Flash				
Networking Interface				1 X 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45) Ethernet Interface				
			REGULATORY /	COMPLIANCE	INFORMAT	ION		
Wireless Ap	provals		2	FCC Part 15.247, IC RS210, CE				
RoHS Compliance								YES
Í			- 102					
			ADIO OPERATII	NG FREQUENC	Y 2412-246			
TX SPECIFICATIONS			-	1	RX SPECIFICATIONS			
	DataRate	TX Power	Tolerance	1		DataRate	Sensitivity	Tolerance
802.11b	1Mbps	20 dBm	+/-1dB		802.11b	1Mbps	-95 dBm	+/-1dB
	2Mbps	20 dBm	+/-1dB			2Mbps	-94 dBm	+/-1dB
	5.5Mbps	20 dBm	+/-1dB			5.5Mbps	-93 dBm	+/-1dB
	11Mbps	20 dBm	+/-1dB			11Mbps	-90 dBm	+/-1dB
		123	22		i i		46	25 25
_	6Mbps	20 dBm	+/-1dB		802.11g OFDM	6Mbps	-92 dBm	+/-1dB
802.11g OFDM	9Mbps	20 dBm	+/-1dB			9Mbps	-91 dBm	+/-1dB
	12Mbps	20 dBm	+/-1dB			12Mbps	-89 dBm	+/-1dB
	18Mbps	20 dBm	+/-1dB			18Mbps	-88 dBm	+/-1dB
	24Mbps	20 dBm	+/-1dB			24Mbps	-84 dBm	+/-1dB
	36Mbps	18 dBm	+/-1dB			36Mbps	-81 dBm	+/-1dB
	48Mbps	16 dBm	+/-1dB			48Mbps	-75 dBm	+/-1dB
	54Mbps	15 dBm	+/-1dB			54Mbps	-72 dBm	+/-1dB

9

Voici un exemple de fiche de données technique d'un fabricant montrant la puissance de transmission et la sensibilité de réception à diverses modulations et des débits de données. Une fiche technique est nécessaire pour tout travail sérieux en plein air, et certaines fiches sont plus complètes que d'autres. Évitez les fabricants qui ne publient pas les spécifications détaillées de leurs équipements.

Notez que le RSL minimum dépend de taux, et le taux d'1 Mbps est utilisé pour une portée maximale. La puissance de transmission TX est généralement dépendante du taux, mais les fabricants l'indiquent rarement.

Avec la chute du signal reçu, les appareils vont automatiquement réduire leur vitesse pour essayer de maintenir une liaison stable.

# Example de calcul du budget de la liaison

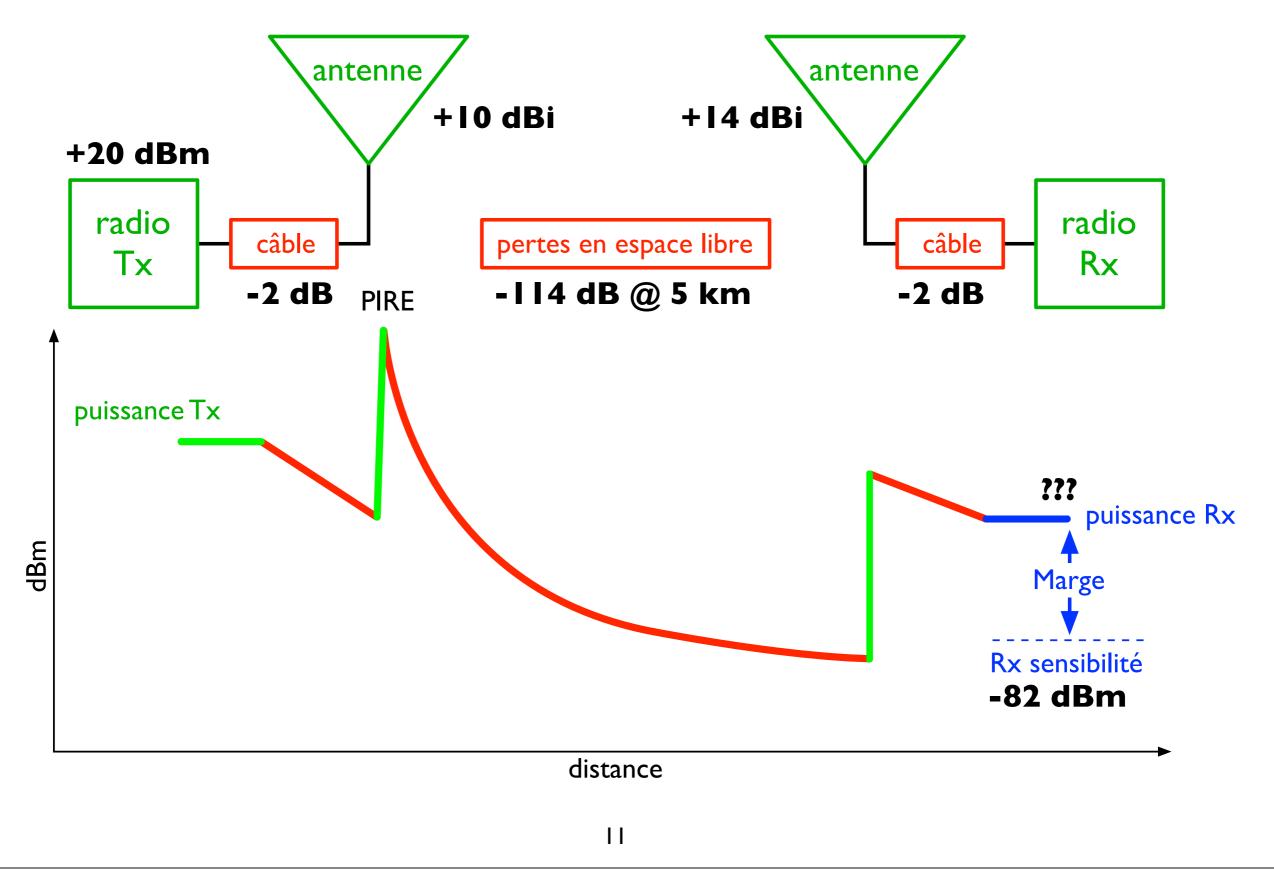
Estimons la faisabilité d'une liaison de **5 km**, avec un point d'accès et un poste de radio client.

Le point d'accès est connecté à une antenne de **I0 dBi**, avec une puissance d'émission de **20 dBm** et une sensibilité de réception de **-89 dBm**.

Le client est connecté à une antenne de **14 dBi**, avec une puissance d'émission de **15 dBm** et une sensibilité de réception de **-82 dBm**.

Les câbles dans les deux systèmes sont courtes, avec une perte de **2 dB** de chaque côté à la fréquence de 2,4 GHz de fonctionnement.

#### Laison AP au Client



Voici le graphique de la diapositive précédente, avec des valeurs pour l'AP et le client.

## Budget de la liaison: Laison AP au Client

```
20 dBm (Puissance TX AP)
+ 10 dBi (gain d'antenne AP)
- 2 dB (pertes câble AP)
+ 14 dBi (gain d'antenne Client)
- 2 dB (pertes de câble Client)

40 dB de gain totale
-114 dB (perte en espace libre à 5 km)

-73 dBm (niveau de signal reçu attendu)
--82 dBm (sensibilité du client)

8 dB (marge de liaison)
```

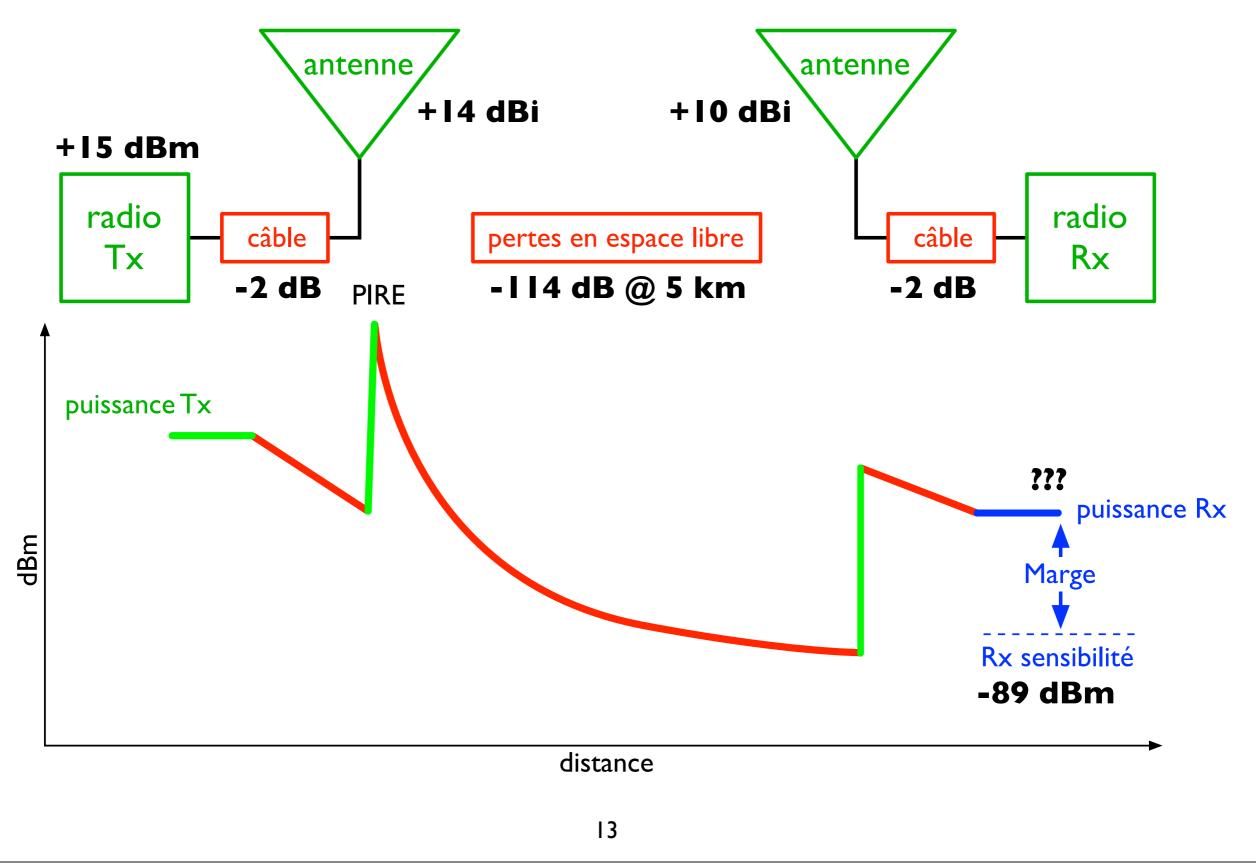
12

La liaison AP au Client est possible, mais en dessous de 10 dB. Cette liaison pourrait être améliorée.

Rappelez-vous que la perte en espace libre est différente de celle du bilan de liaison. Le FLS se réfère à la perte due à la propagation géométrique du signal dans l'espace libre, alors que le calcul du budget de liaison prend en compte le FLS pour déterminer si une liaison est possible.

Demandez aux participants comment la marge de la liaison peut être améliorée. Commentez sur les réponses. Ils peuvent suggérer l'utilisation des antennes à gain élevé, des câbles plus courtes/de meilleure qualité, plus de puissance TX, une meilleure réception, ou des amplificateurs. Vous pouvez faire remarquer que l'utilisation d'amplificateurs n'est pas une solution optimale pour des raisons différentes: ils sont chers, cause plus d'interférences, consomment plus de puissance, créent une asymétrie dans la puissance TX/RX (sauf s'ils sont utilisés sur les deux extrémités d'une liaison), quand les antennes travaillent dans les deux directions, l'amplificateur est un autre point de faillite, etc.

# Direction opposée: Client à AP



Ceci montre le calcul à effectuer, mais dans la direction opposée.

### Budget de liaison: Liaison Client a AP

```
15 dBm (Puissance TX AP)
+ 14 dBi (gain d'antenne AP)
- 2 dB (pertes câble AP)
+ 10 dBi (gain d'antenne Client)
- 2 dB (pertes de câble Client)

35 dB de gain totale
-114 dB (perte en espace libre à 5 km)

-78 dBm (niveau de signal reçu attendu)
--89 dBm (sensibilité du client)

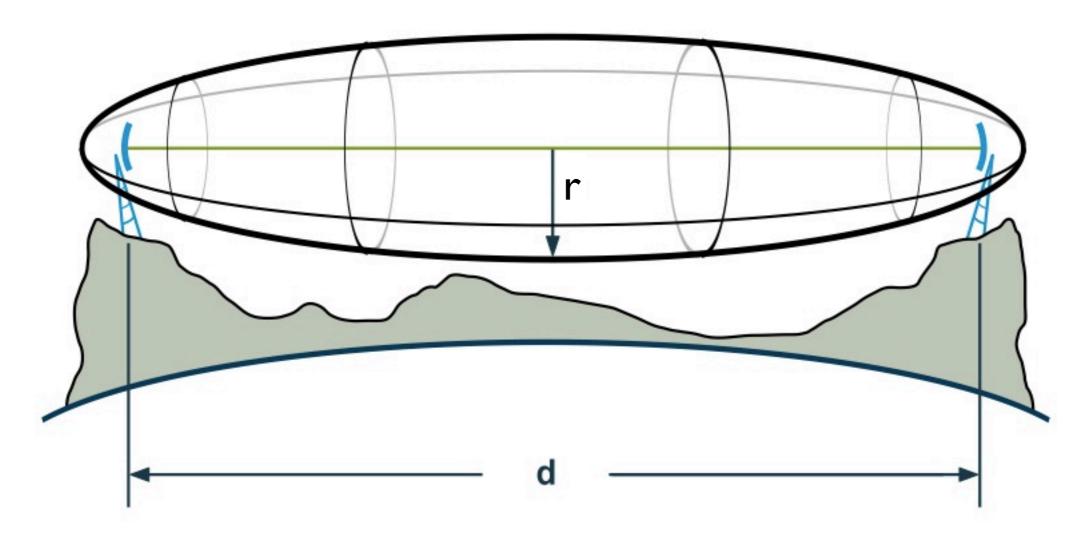
10 dB (marge de liaison)
```

La liaison Client a AP est meilleure, à 10 dB, même si la puissance d'émission est plus faible. Cette liaison est possible, mais elle pourrait encore être améliorée en utilisant des antennes à gain élevé, les radios les plus sensibles, ou des émetteurs plus puissants.

#### Zone de Fresnel

- La première zone de Fresnel est un volume de forme ellipsoïdale autour de la ligne de mire (LOS) du chemin entre l'émetteur et le récepteur.
- La zone de Fresnel est importante pour l'intégrité de la liaison RF, car elle définit un volume autour de la LOS qui doit être libre de tout obstacle afin que la puissance maximale puisse parvenir à l'antenne de réception.
- Les objets dans la zone de Fresnel comme les arbres, les collines et les bâtiments peuvent bloquer le signal principal loin du récepteur.

# Ligne de mire et Zones de Fresnel



Une ligne de mire dégagée **n'est pas égale** à une zone de Fresnel dégagée.

16

Il suffit de tracer une ligne entre deux points, et si rien n'est sur le chemin, nous avons une ligne de vue optique.

Mais les ondes radio ne sont pas limitées à une ligne parfaitement droite. Elles occupent un volume dans l'espace. La théorie de la zone de Fresnel décrit comment une onde se propageant peut provoquer des interférences avec elle-même. Si la première zone de Fresnel est partiellement bloquée par un obstacle, le signal arrivant à l'extrémité serait diminué.

#### Zone de Fresnel

Le rayon de la première zone de Fresnel à un point donné entre l'émetteur et le récepteur peut être calculé comme suit:

```
r = 17.31 * sqrt((d1*d2)/(f*d))
```

- ▶ où r est le rayon de la zone en mètres, d l et d2 sont des distances de l'obstacle aux extrémités de la liaison exprimées en mètres, d est la distance totale de la liaison en mètres, et f est la fréquence en MHz.
- Notez que cela vous donne le rayon de la zone, pas la hauteur au dessus du sol. Pour calculer la hauteur au-dessus du sol, vous devez soustraire le résultat d'une ligne tracée directement entre les sommets des deux tours.

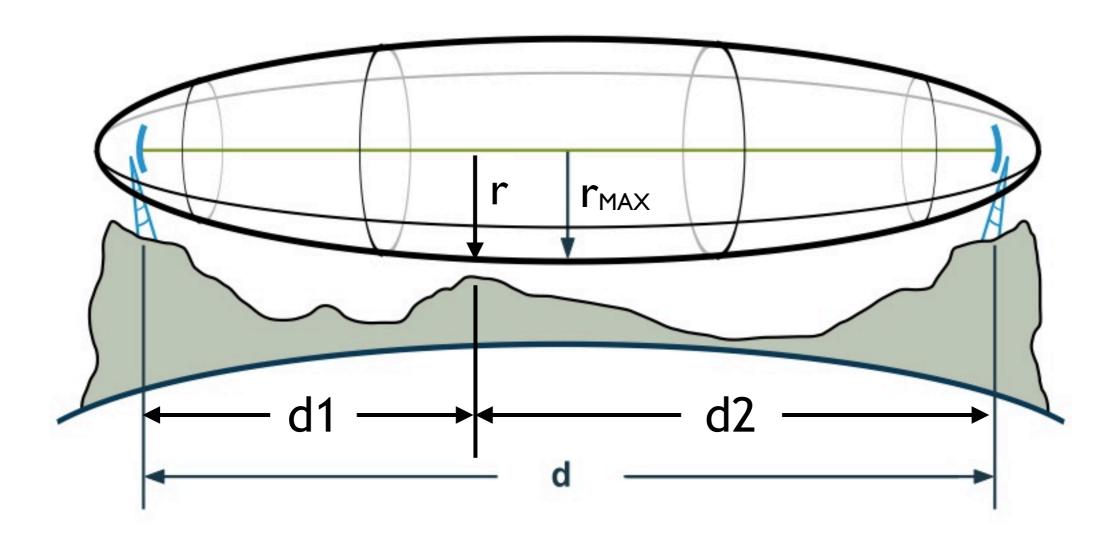
17

Pour une liaison acceptable, il n'est pas strictement nécessaire de dégager l'ensemble de la première zone de Fresnel.

La pratique d'ingénierie standard est de dégager 60 à 70% de la première zone de Fresnel, la perte résultant sur le dégagement de 100% est négligeable.

Il ya un nombre infini de zones de Fresnel qui entourent le premier, mais nous ne sommes pas concernés par elles car le dégagement de la deuxième zone de Fresnel va réduire la quantité d'énergie pour atteindre le récepteur. Donc, nous nous efforçons de garantir seulement 70% de la première zone de Fresnel pour une performance optimale.

# Ligne de mire et Zones de Fresnel



$$r = 17.31 * sqrt((d1 * d2) / (f * d))$$

18

Il suffit de tracer une ligne entre deux points, et si rien n'est sur le chemin, nous avons de ligne de vue optique.

Mais les ondes radio ne sont pas limitées à une ligne parfaitement droite. Elles occupent un volume dans l'espace. La théorie de Fresnel zone décrit comment une onde se propageant peut provoquer des interférences avec elle-même. Si la première zone de Fresnel est partiellement bloquée par un obstacle, le signal arrivant à l'extrémité serait diminué.

# Clearance of the Fresnel Zone and earth curvature

Ce tableau montre la hauteur au-dessus du sol nécessaires à l'apurement de 70% de la première zone de Fresnel pour des distances différentes lien à 2,4 GHz.

Notez que la courbure de la Terre joue un petit rôle à de courtes distances, mais devient plus important que la distance augmente.

Distance (km)	Ist zone (m)	70% (m)	Earth curvature (m)	Required height (m)
I	5.5	3.9	0.0	3.9
5	12.4	8.7	0.4	9.1
10	17.5	12.2	1.5	13.7
15	21.4	15.0	3.3	18.3
20	24.7	17.3	5.9	23.2
25	27.7	19.4	9.2	28.6
30	30.3	21.2	13.3	34.5

#### Zone de Fresnel

- Considérant l'importance de la zone de Fresnel, il est important de quantifier le degré auquel il peut être bloqué.
- ▶ En règle générale, 20% 40% Fresnel Zone blocage présente peu ou pas d'ingérence dans le lien.
- Il vaut mieux se tromper du côté conservateur permet pas de blocage de plus de 20% de la zone de Fresnel.

20

Les moyens d'améliorer le jeu: plus d'antennes, répéteurs, plus fréq., Plan d'amélioration de la marge, de déplacer le lien pour éviter l'obstacle, etc.

Keep in mind that the calculations shown refer to normal propagation conditions, which happen most of the time. For critical links, it is also necessary to consider **abnormal** propagation conditions in which radio waves will have a different trajectory, and higher antenna height will be required.

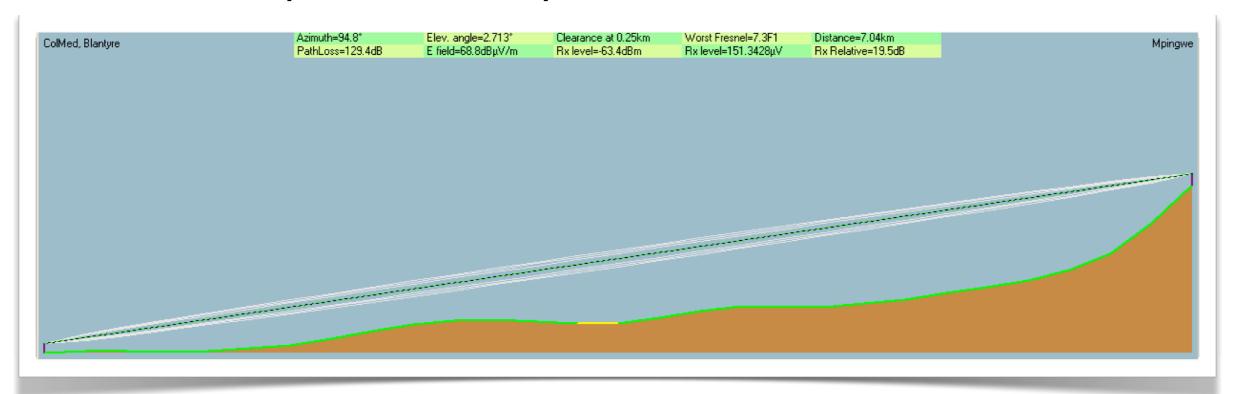
#### Radio Mobile

- Radio Mobile est un outil gratuit pour aider à la conception et la simulation des systèmes sans fil.
- On peut calculer automatiquement le budget de puissance d'une liaison radio, le calcul du dégagement de la zone de Fresnel. Il peut utiliser des cartes numériques, les Systèmes d'information géographique (GIS: Geographical Information Systems), ou toute autre carte numérique, y compris les cartes fournies par vous-même.
- ▶ Fonctionne sur Windows 95, 98, ME, NT, 2000 et XP.

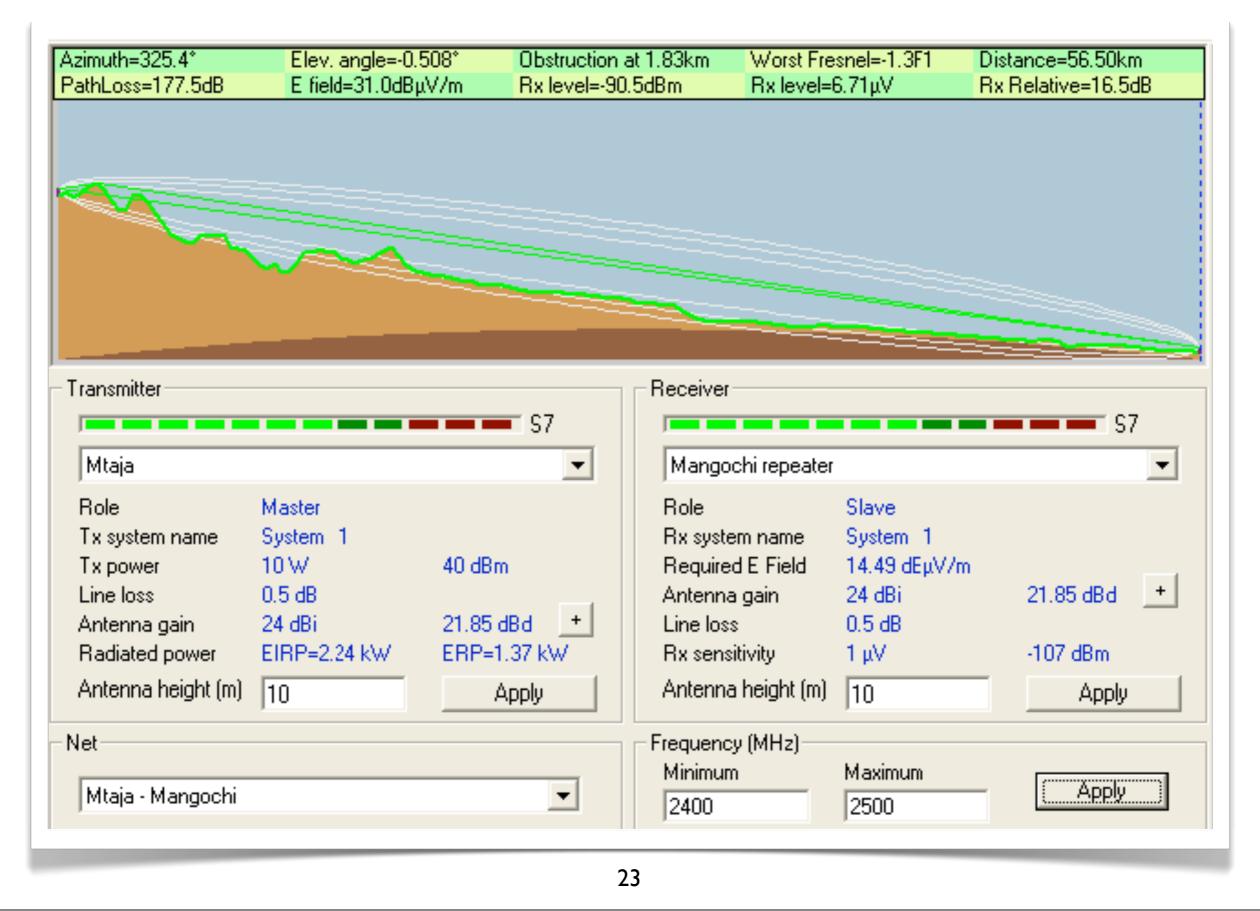
http://www.cplus.org/rmw/english1.html

#### Radio Mobile

- Utilise un modèle d'elevation numérique de terrain pour le calcul de la couverture, en indiquant la puissance du signal reçu en des points différents le long du chemin.
- Radio Mobile construit automatiquement un profil entre deux points de la carte numérique montrant la zone de couverture et la lere zone de Fresnel.
- Différentes hauteurs d'antenne peuvent être tentées pour réaliser une performance optimale.



#### Radio Mobile



En plus de la terre vue en coupe transversale, Radio Mobile fournit tous les numéros difficiles relatives à la performance de votre lien: recevez devrait signal, qualité de la liaison, PIRE, etc.

Ce lien particulier, ne peut travailler en raison d'obstacles dans le chemin.

## Merci pour votre attention

Pour plus de détails sur les sujets abordés dans cette leçon, veuillez, s'il vous plaît, vous référer au livre « Réseaux sans fil dans les Pays en Développement », disponible en téléchargement gratuit dans de nombreuses langues sur http://wndw.net/



Voir le chapitre 4 du livre pour des informations plus détaillées sur le matériel couvert dans cette présentation.