Chapitre 3
Réflexion Sur le Sol

1. Réflexion sur le sol avec et sans obstacle

[redacted]. Théorie : On suppose que le sol est plat et que l'émetteur et le récepteur sont à une distance d qui n'est pas trop grande, en 1ère approximation on considère la surface du sol est plane.

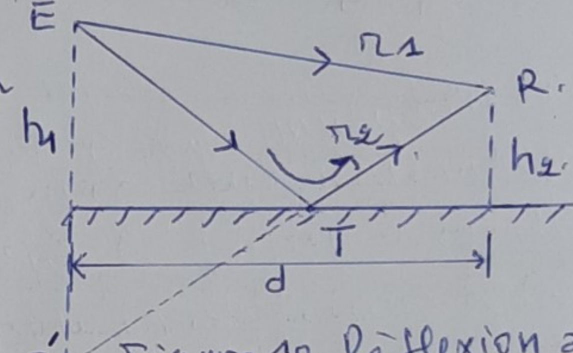

Figure 10. Réflexion au sol sans obstacles.

E' est l'image de E

Nous voulons évaluer le champ qui résulte au point R. i.e. l'interférence entre l'onde directe $\mathcal{E}_0$;

$\mathcal{E}_0 = E_0 e^{j\theta}$,

et l'onde réfléchie $\mathcal{E}_r$

Comme le champ varie en raison inverse de la distance :

$$\frac{|\mathcal{E}_r|}{|\mathcal{E}_0|} = |\rho| \cdot \frac{r_1}{r_2}$$

avec $|\rho|$ le module du coefficient de réflexion en T donné par :

$$\rho = |\rho| e^{j\phi}$$

A cause de la différence de parcours $r_2 - r_1$, le champ réfléchie $\mathcal{E}_r$ est donné par :

$$\mathcal{E}_r = \mathcal{E}_0 |\rho| \frac{r_1}{r_2} e^{j(\phi+\phi')}$$

avec $\phi' = \frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1)$. $\rightarrow$ soit alors

$$\mathcal{E}_{tot} = \mathcal{E}_0 \left[1 + |\rho| \frac{r_1}{r_2} e^{j(\phi+\phi')} \right]$$

Ce champ présente des variations max. pour :

$$\phi + \phi' = 2k\pi \rightarrow \xi_{Max} = \xi_0 \left[1 + |\rho| \cdot \frac{r_1}{r_2} \right].$$

Pour les variations Min $\rightarrow$ $\phi + \phi' = (2k+1)\pi \rightarrow$:

$$\xi_{min} = \xi_0 \left[1 - |\rho| \frac{r_1}{r_2} \right].$$

Il y a donc dans l'espace une variation du champ reçu avec une succession périodique de Max$_s$ et de Min$_s$.

9. . Influence des irrégularités du Sol

En T : $\rho = |\rho| e^{j\phi}$

$TT' = H$.

Au lieu que la réflexion se fait en T, elle s'effectue en T', donc il y aura une différence de parcours $(S'T + TS) \rightarrow$

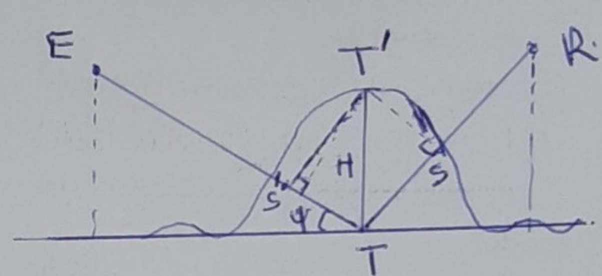

Figure 11. Réflexion sur le Sol avec présence des irrégularités.

différence de phase : $\frac{2\pi}{\lambda}(2TS) = \frac{2\pi}{\lambda}(2 \cdot \sin\psi \cdot H)$

$$= \frac{4\pi H}{\lambda} \sin\psi.$$

La Comparaison des deux quantités $H \sin\psi$ et λ Constitue le critère de Raleigh qui permet d'apprécier le degré de régularité de la Surface réfléchissante.

Si $\frac{H \cdot \sin\psi}{\lambda} = \frac{1}{100} \rightarrow$ ρ n'est presque pas affecté

$= 1/16 \rightarrow 0{,}73\,\rho$.

$= 1/8 \rightarrow 0{,}23\,\rho$.

$= 1/4 \rightarrow 0{,}0072\,\rho$ (Presque pas de réflexion).

9.1. Présence d'obstacle sur le trajet

Par obstacle, on parle de montagne par exemple où l'émetteur et le récepteur ne sont pas en visibilité directe.

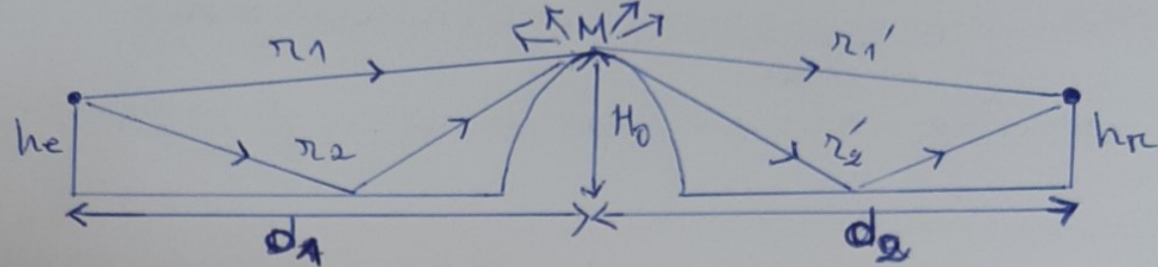

Figure 12. Déflexion sur le sol avec obstacle.

Dans ce cas, on aura deux trajets :

- Le 1er entre l'émetteur et l'obstacle : Ici l'obstacle joue le rôle d'un récepteur. et les pertes de cette liaison sont données par :

$$\alpha_1(dB) = 20 \log \left[1 + \frac{r_1}{r_2} |\rho| \cdot e^{j(\phi+\phi')}\right]$$

où $\phi' = \frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1)$.

- Le 2ème entre l'obstacle et le récepteur : Ici l'obstacle joue le rôle d'un émetteur et les pertes de cette liaison sont données par :

$$\alpha_2(dB) = 20 \log \left[1 + \frac{r_1'}{r_2'} |\rho| \cdot e^{j(\phi+\phi'')}\right]$$

où $\phi'' = \frac{2\pi}{\lambda}(r_2' - r_1')$.

Pertes par diffraction

Au point M du sommet de la montagne, on reçoit une partie d'énergie des ondes électromagnétiques qui sera transmise au récepteur. Dans ce cas, on définit les pertes par diffraction par :

$$A_{d_{dB}} = 20 \log \frac{1}{2\pi H_0} \sqrt{\frac{\lambda (d_1 \cdot d_2)}{d_1 + d_2}}$$

Pertes totales

C'est la somme de toutes les pertes :

$$A_T(dB) = \alpha_1(dB) + \alpha_2(dB) + A_d(dB)$$

3. Critère d'une liaison en visibilité optique et radioélectrique.

3.1. Zone de Fresnel.

Considérons la liaison point à point de la Figure 13. La distance ER caractérise la ligne de visée (L.O.S).

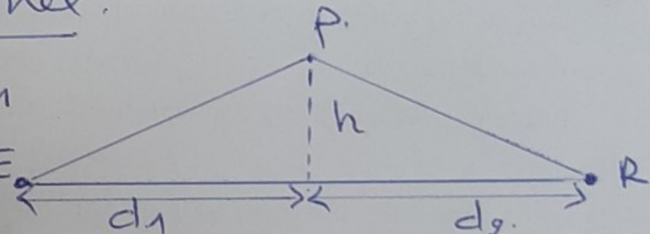

Figure. 13. Géométrie de la zone de Fresnel.

Il y a une diffraction au point P. Le signal EPR se combine alors avec le signal ER au point R

- Le chemin EPR est légèrement plus grand que ER, donc il y a un déphasage au point R dû à la différence de parcours.

- Le chemin direct et le chemin de réflexion (diffraction) sont donnés par:

$$ER = d_1 + d_2 \quad \text{et} \quad EPR = \sqrt{d_1^2+h^2} + \sqrt{d_2^2+h^2}$$

Alors la différence de marche est donnée par:

$$\Delta = \sqrt{d_1^2+h^2} + \sqrt{d_2^2+h^2} - d_1 - d_2$$

si $h << d_1$ et $h << d_2$ (ce qui est le cas dans la plupart des cas pratiques) $\Rightarrow$ dans ce cas on peut appliquer l'approximation binomiale:

$$\sqrt{d_1^2+h^2} \simeq d_1 \left[1 + \left(\frac{h^2}{2d_1^2}\right)\right]$$

On aura alors:

$$\Delta = \frac{h^2}{2d_1} + \frac{h^2}{2d_2} \Rightarrow \Delta = \frac{h^2}{2}\left(\frac{d_1+d_2}{d_1 d_2}\right)$$

La différence de phase est obtenue par:

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta \Rightarrow \phi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{h^2}{2}\left(\frac{d_1+d_2}{d_1 \cdot d_2}\right)$$

Le paramètre de diffraction de Fresnel-Kirchhoff est souvent utilisé pour raccourcir la notation dans les analyses de zone de Fresnel et est défini comme.

$$\nu = h\sqrt{\frac{2(d_1+d_2)}{\lambda d_1 d_2}}$$

Si le point de diffraction est en dessous de la ligne de visée (LOS), alors h est négatif et ν est négatif aussi. Quand le point de diffraction est localisé sur le LOS, h et ν sont égales à zéro. Si le blocage correspond

à l'horizon, alors le cas " h et $v=0$ " correspond à la distance maximum à l'horizon optique.
Les cas où $\Delta = n\lambda_2$, avec n entier, peuvent être trouvés en posant $\phi = n\pi \Rightarrow$

$$n\lambda = h^2\left(\frac{d_1+d_2}{d_1 d_2}\right)$$

Les points destructifs de réflexion/diffraction peuvent être alors définis en définissant un terme h_n tel que:

$$h_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1+d_2}}$$

La réflexion/diffraction aux points h_n pour n impair va causer une interférence destructive. Du moment que la différence entre les chemins est de l'ordre de λ, le signal de réflexion/diffraction sera aussi fort que le signal direct et et provoquera l'annulation.
La séquence pour h_n définit une séquence d'ellipsoïdes avec les antennes d'émission et de réception comme points focaux.

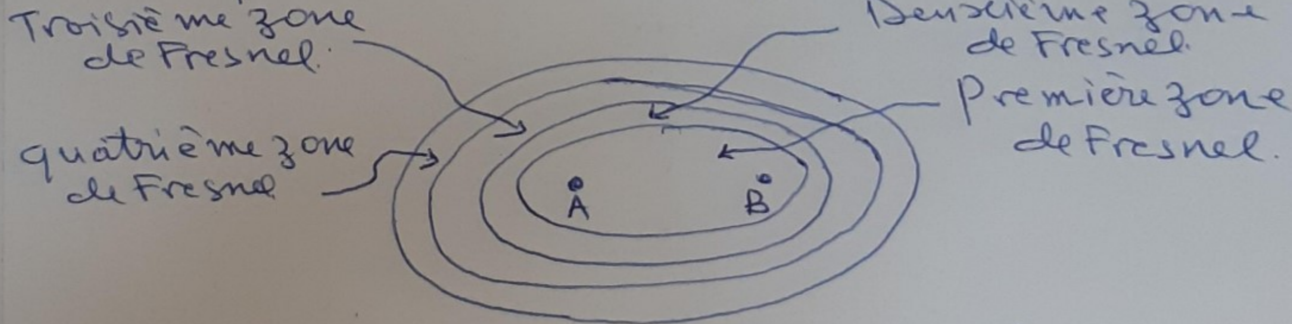

Figure 14. Zones de Fresnel entre un émetteur et un récepteur.

La diffraction ou la réflexion aux frontières des zones de Fresnel impaires causera des interférentes destructives. La figure 14 montre le diagramme des zones de Fresnel défini par une liaison point à point. Noter que ce diagramme est bidimensionnel, alors que les zones de Fresnel réelles sont des ellipsoïdes tridimensionnelles. D'après l'analyse précédente, il est clair que les réflecteurs / diffracteurs dans le champ de vision ne doivent pas être proches de la limite de zone de Fresnel impair pour éviter une perte de signal. Il est égalem-ent important que la première zone de Fres-nel ne soit pas obstruée, car cela peut sérieusement dégrader l'énergie disponible du signal. Si la 1ère zone de Fresnel n'est pas dégagée, les pertes en espace libre ne s'applique pas et un terme d'ajustement doit être inclus dans les équations. Pour la plupart des applications, il suffit d'avoir 60% de la 1ère zone de Fresnel dégagée. Le critère de 60% de la 1ère zone dégagée s'applique.

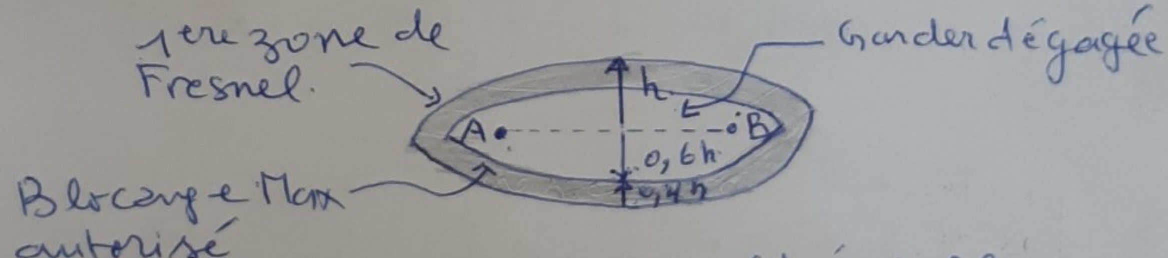

Figure 15. Géométrie du blocage de la 1ère zone de Fresnel.

au rayon de l'ellipsoïde. Comme le montre la figure 15. Au point 0,6 h, le paramètre de diffraction de Fresnel-Kirchhoff est $v = -0,8$ (v est négatif puisque le blocage est en dessous de LOS, c'est-à-dire que LOS est non obstruée) et la perte par diffraction résultante sera 0 dB.

Exemple

Considérons un système de communication point à point, avec $d = 1$ Km et $f = 28$ GHz. S'il y a un bâtiment présent, à 300m d'une extrémité de la liaison, à quelle distance doit-il être (en élévation ou en hauteur) du LOS (ligne de visée) pour ne pas gêner la transmission? (Autrement dit, trouvez 60% du premier rayon de la zone de Fresnel à 300m.).

Solution:

Les paramètres pour déterminer le rayon de la 1ère zone de Fresnel à 300m sont:

$$d_1 = 300\,m, \quad d_2 = 700\,m.$$

$$\lambda = 0,107\,m.$$

Alors,

$$h_n = \sqrt{\frac{n \lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} = \sqrt{n \cdot 2,247}$$

Pour $n = 1$ (1ère zone de Fresnel) $\rightarrow h_1 = \sqrt{2,247} \simeq 1,5\,m$.

$\rightarrow 60\% (h_1) = 0,6 \times 1,5 = 0,9\,m = 90$ Cm.

Alors, le toit doit être au moins 0,9 m en dessous de la ligne de visée (LOS) pour garder.

la première zone de Fresnel dégagée à 60%.
Il est également important que le toit ne soit pas près de l'une des limites de la zone de Fresnel impaire pour éviter les interférences destructives des réflexions.

4. Hauteur d'une antenne pour avoir la visibilité optique et radioélectrique.

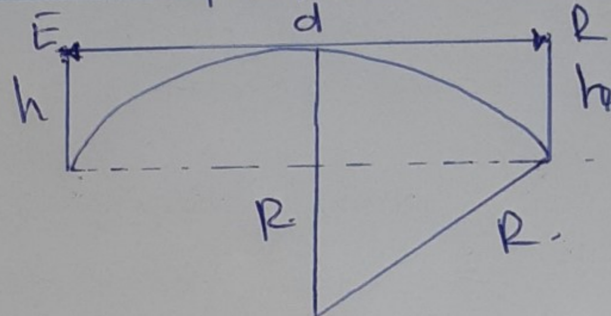

Figure 16. Hauteur optique et radioélectrique de l'antenne.

- La hauteur h des antennes pour avoir la visibilité optique :

$$R^2 = (d/2)^2 + (R-h)^2 = (d/2)^2 + R^2 + h^2 - 2Rh$$

Pour $h << R$ ($h^2 \simeq 0$), alors

$$h_{optique} = \frac{d^2}{8R}$$

avec R le rayon de la terre.

- La hauteur pour avoir la visibilité radioélectrique : $h_{radio} = \frac{d^2}{8R} + \frac{1}{2}\sqrt{\lambda d}$

avec $\frac{1}{2}\sqrt{\lambda d}$ le rayon du 1er ellipsoïde de Fresnel à mi-distance entre l'émetteur et le récepteur.