

Chapitre III

Réflexion sur le sol

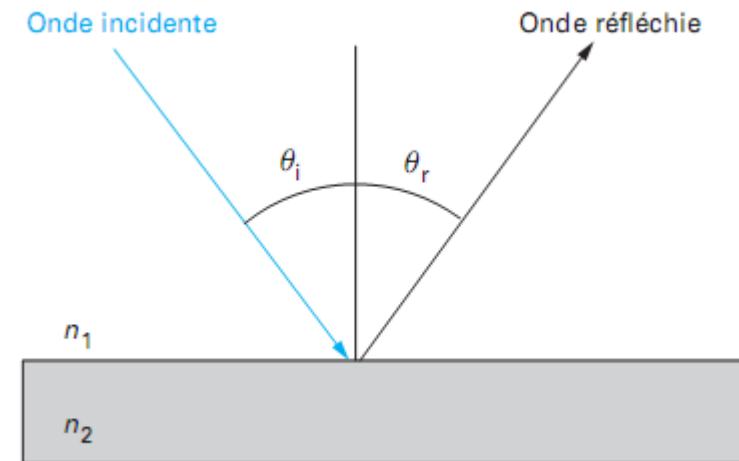
- Réflexion sur le sol avec et sans obstacle
- Influence des irrégularités du sol
- Définition et critères d'une liaison en visibilité optique et radioélectrique

Réflexion sur le sol

On a réflexion lorsque l'onde rencontre une surface dont les dimensions sont grandes et les irrégularités petites par rapport à la longueur d'onde. Le champ réfléchi est lié au champ incident. On distingue **la réflexion spéculaire** et **la réflexion diffuse**.

Réflexion spéculaire

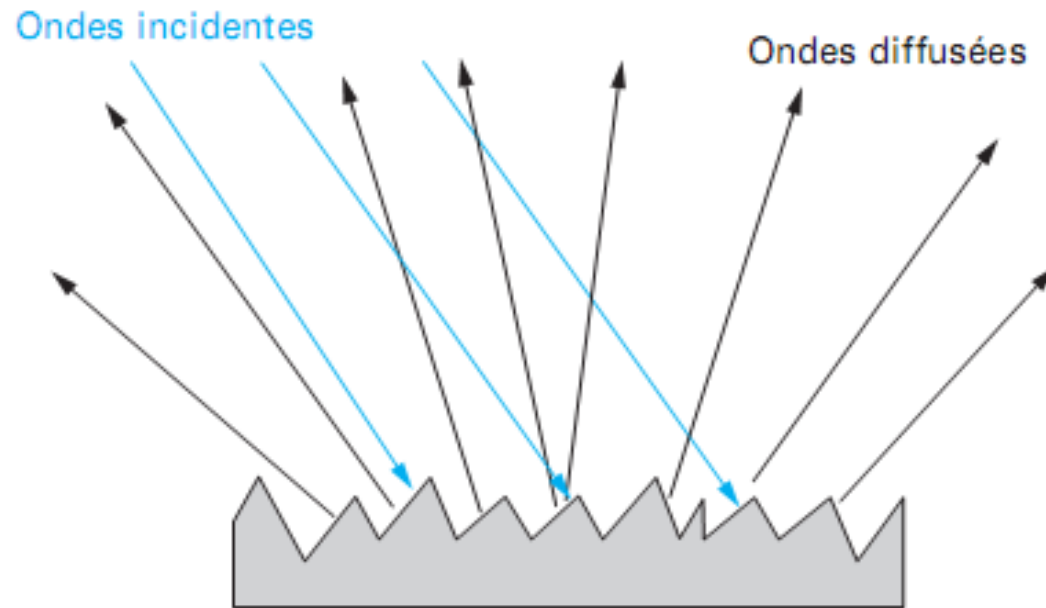
La réflexion spéculaire, phénomène commun à toutes les fréquences, **est celle due à une surface homogène parfaitement plane**. Elle est due à des **obstacles** tels que le sol, les façades d'immeubles et les surfaces planes. L'affaiblissement de propagation induit par de telles réflexions et dépend des caractéristiques diélectriques de la surface réfléchissante (conductivité , permittivité relative)



(a) réflexion spéculaire

Réflexion diffuse

La réflexion diffuse est due aux réflexions par des surfaces qui ne sont **pas planes mais rugueuses** ; les surfaces **présentant des inégalités de hauteur en différents points**. Il en résulte qu'une onde incidente **n'est plus réfléchi**e dans une direction unique mais diffusée dans de **multiples directions**.

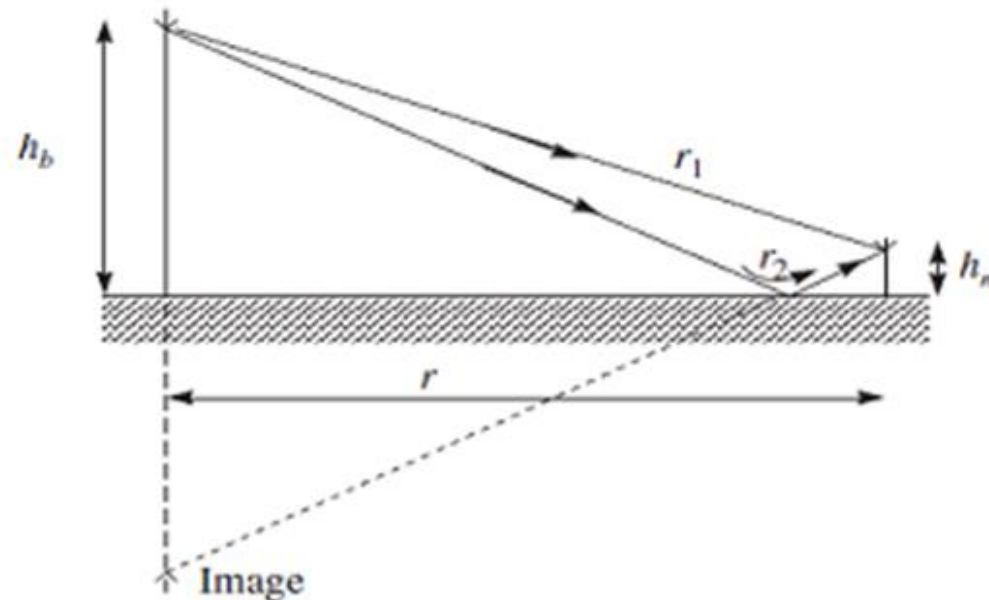


(b) réflexion diffuse

Etude d'une liaison sans obstacle

Nous considérons ce schéma de transmission des ondes électromagnétiques entre un émetteur vers un récepteur.

les antennes de base et de station mobile sont situées au-dessus d'un **sol réfléchissant plat** (terre plane), respectivement aux **hauteurs h_b** et **h_m** , sorte que la propagation s'effectue à la fois via un **trajet direct** entre les antennes et une **réflexion depuis le sol**. Ces deux chemins s'**additionnent** au niveau du récepteur avec une **différence de phase** liée à la différence de longueur entre les deux chemins.



Etude d'une liaison sans obstacle

- une façon simple d'analyser la situation est d'utiliser la théorie de l'image qui considère le **rayon réfléchi** comme issu **d'une image** de l'émetteur dans le sol, comme si le sol était un miroir. Il est alors facile de voir que les longueurs de trajet des rayons directs et réfléchis (r_1 et r_2 , respectivement) sont données par :

$$r_1 = \sqrt{(h_b - h_m)^2 + r^2}$$

$$r_2 = \sqrt{(h_b + h_m)^2 + r^2}$$

$$(r_2 - r_1) = r \left[\sqrt{\left(\frac{h_b + h_m}{r}\right)^2 + 1} - \sqrt{\left(\frac{h_b - h_m}{r}\right)^2 + 1} \right]$$

Etude d'une liaison sans obstacle

- En supposant que les hauteurs d'antenne sont petites par rapport à la longueur totale du trajet, l'approximation suivante s'applique à partir du théorème binomial:

$$(r_2 - r_1) \approx \frac{2h_m h_b}{r}$$

- La longueur du trajet étant grande par rapport aux hauteurs d'antenne, les amplitudes d'arrivée des ondes sont identiques à l'exception de la perte de réflexion, R . L'amplitude globale du résultat (intensité de champ électrique ou magnétique) est alors :

$$A_{\text{total}} = A_{\text{direct}} + A_{\text{reflected}} = A_{\text{direct}} \left| 1 + R e^{-j\Delta\varphi} \right|$$

A_{direct} le champ en espace libre au niveau du récepteur,

R le coefficient de réflexion,

$\Delta\varphi$ la différence de phase entre les deux trajets.

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (r_2 - r_1) = \frac{4\pi}{\lambda} \frac{h_m h_b}{r}$$

Etude d'une liaison sans obstacle

- Le trajet direct est lui-même sujet à une perte d'espace libre, il peut donc être exprimé en termes de puissance transmise sous la forme :

$$P_{\text{direct}} = P_T \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2$$

$$\frac{P_r}{P_{\text{direct}}} = \left(\frac{A_{\text{total}}}{A_{\text{direct}}} \right)^2 = \left| 1 + R \exp \left(jk \frac{2h_m h_b}{r} \right) \right|^2$$

$$\frac{P_r}{P_T} = \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \left| 1 + R \exp \left(jk \frac{2h_m h_b}{r} \right) \right|^2$$

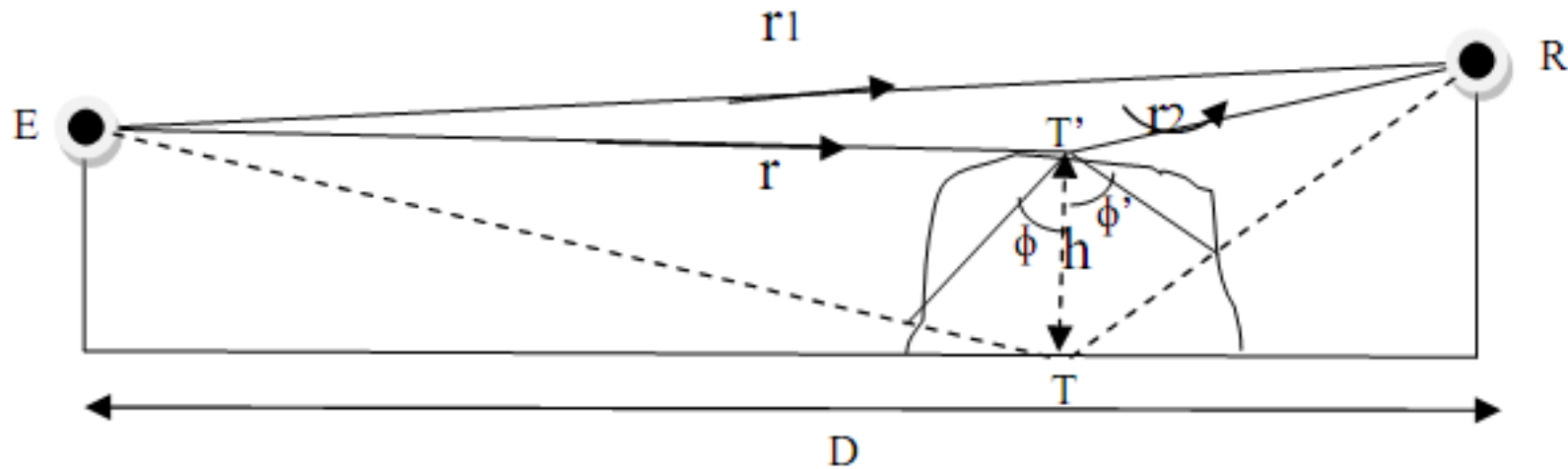
$$\frac{P_r}{P_T} \approx \left(\frac{\lambda}{4\pi r} k \frac{2h_m h_b}{r} \right)^2 \approx \frac{h_m^2 h_b^2}{r^4}$$

Expressing this in decibels,

$$L_{\text{PEL}} = 40 \log r - 20 \log h_m - 20 \log h_b$$

Etude d'une liaison avec irrégularités au sol

on parle de maisons, d'arbres et de vague dans le cas de la mer.



Réflexion sur le sol avec présence des irrégularités

Dans ce cas la réflexion s'effectuera au pont **T'**, on doit ajouter aux expressions précédentes un déphasage supplémentaire dû à la régularité de hauteur h tel que :

$$\Delta\varphi = \frac{2.\pi}{\lambda} .h(\sin \Phi + \sin \Phi')$$

Dans le ca où les deux angles sont égaux (obstacle au milieu) :

$$\Delta\varphi := \frac{4.\pi}{\lambda} .h.\sin \Phi$$

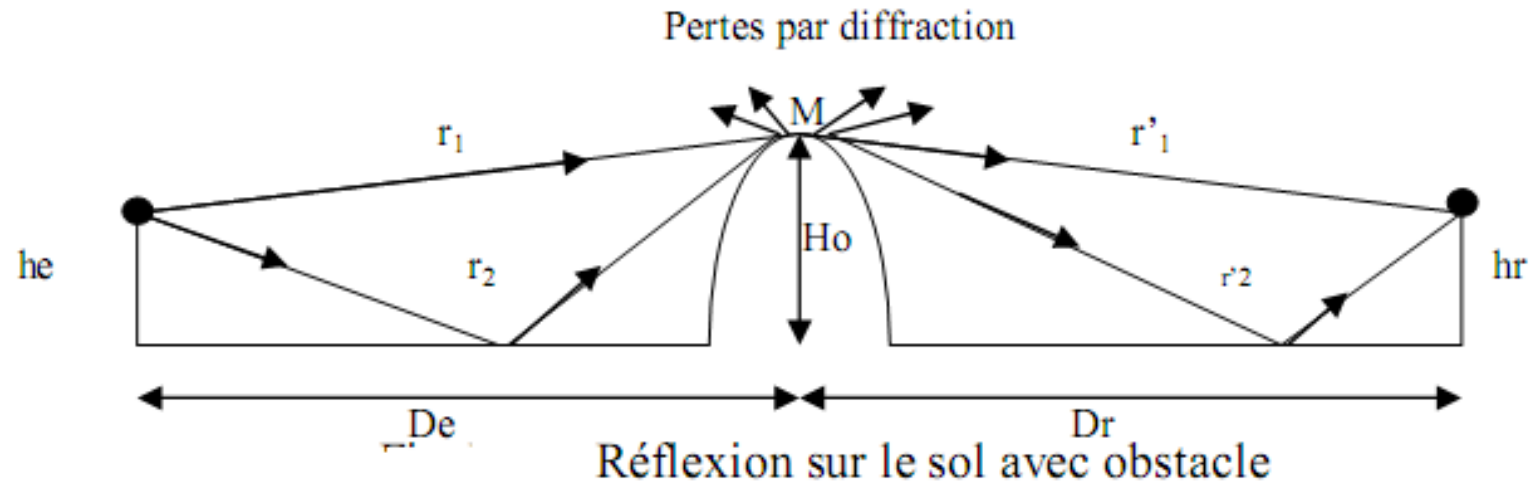
Etude d'une liaison avec irrégularités au sol

Si le déphasage $\Delta\varphi$ reste faible, les deux rayons sont en phase et la surface peut être considérée comme parfaitement plane (elle est dite spéculaire).

Si le déphasage est égal à π , les deux ondes sont en opposition de phase et s'annulent. Il n'y a plus d'énergie dans la direction de réflexion, toute l'énergie est diffusée dans d'autres directions.

Etude d'une liaison avec obstacle

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



Dans ce cas on aura deux trajets :

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

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

Où $\varphi' = -k(r_2 - r_1)$

Etude d'une liaison avec obstacle

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

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

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 :

$$Ad(dB) = 20 \log \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot H_0} \sqrt{\frac{\lambda \cdot (De \cdot Dr)}{De + Dr}}$$

λ : La longueur d'onde

Etude d'une liaison avec obstacle

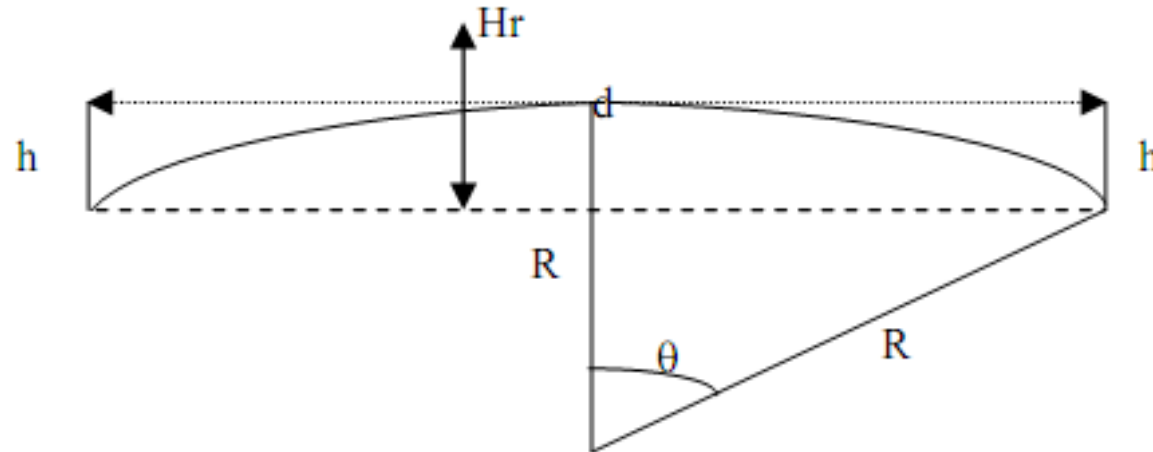
Pertes totales

C'est la somme de toutes les pertes :

$$A_T(\text{dB}) = \alpha_1(\text{dB}) + \alpha_2(\text{dB}) + A_d(\text{dB})$$

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

Soit le schéma suivant :



Hauteur optique et radioélectrique de l'antenne

La hauteur de l'antenne pour avoir la visibilité optique :

$$R^2 = (d/2)^2 + (R - h)^2 = (d/2)^2 + R^2 + h^2 - 2.R.h \text{ avec } h \ll R (h^2 \approx 0)$$

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

La hauteur de l'antenne pour avoir la visibilité radioélectrique :

$$\text{Alors } h_{\text{radio}} = \frac{d^2}{8.R} + \frac{1}{2} \sqrt{\lambda.d}$$