

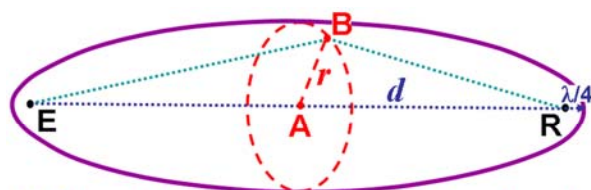
# Comment ça marche ?

## Ellipsoïdes de Fresnel

Par le radio-club F6KRR

*En dehors des "hypermen", peu d'OM ont entendu parler des ellipsoïdes de Fresnel. Nous espérons donc combler un manque avec cet article.*

Considérons la figure 1.



Ellipsoïde de Fresnel d'ordre 1

Figure 1.

Nous avons un ellipsoïde ayant **E** et **R** comme foyers et un cercle de révolution de rayon **A,B**. Celui-ci est maximum lorsque le point **A** se trouve à mi-chemin entre **E** et **R**.

Soit **B** un point de l'ellipse. Les propriétés de celle-ci sont telles qu'en tous ses points, la différence entre les trajets {**E,A,R**} et {**E,B,R**} est une constante (cette propriété est utilisée pour tracer une ellipse avec deux épingles, un fil et un crayon). Cette différence reste constante pour tout l'ellipsoïde.

Soient **E** un émetteur et **R** un récepteur, et considérons deux différents trajets possibles pour une onde, soit en direct de **E** à **R**, soit avec réflexion en un point de l'ellipsoïde. Avec un signal ayant une longueur d'onde  $\lambda$ , on peut déterminer une dimension {**A,B**} telle que la différence de trajet soit égale à  $\lambda/2$ . Cette dimension correspond à un ellipsoïde de Fresnel d'ordre 1. On peut déterminer une autre dimension de {**A,B**} pour avoir une différence de trajet de  $2\lambda/2$ , et un ellipsoïde d'ordre 2. Et ainsi de suite pour un ellipsoïde d'ordre  $n$ . Voir sur la figure 2 les deux premiers ellipsoïdes de Fresnel.

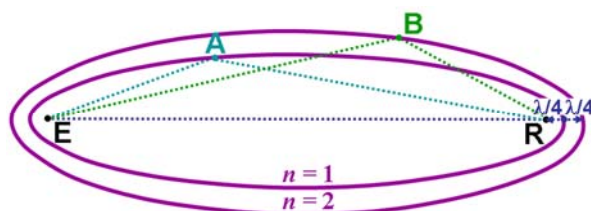


Figure 2.

La différence de longueur entre {**E,B,R**} et {**E,A,R**} est identique à celle entre {**E,A,R**} et {**E,R**}, soit  $\lambda/2$ .

Pour tous les trajets situés à l'intérieur ou entre deux ellipsoïdes, les signaux arrivent plus ou moins déphasés avec le trajet principal. Pour tous ceux situés sur les ellipsoïdes, les signaux arrivent en opposition de phase pour ceux d'ordre impair et en phase pour ceux d'ordre pair. Noter que les dimensions de l'ellipsoïde dépendent uniquement du rapport entre la longueur d'onde de la fréquence de travail et la distance entre émetteur et récepteur, selon la formule :

$$r = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda \cdot d + \frac{\lambda^2}{4}} \text{ Avec :}$$

$r$  = rayon de l'ellipsoïde d'ordre 1,

$d$  = distance entre **E** et **R**.

Pour fixer les ordres de grandeur, avec une distance de 20 km, pour  $F = 10$  GHz,  $r = 12$  m et pour  $F = 144$  MHz,  $r = 102$  m.

### Liaison en visibilité.

Une liaison est dite en visibilité lorsque le signal se propage entre l'émetteur et le récepteur comme s'ils étaient en espace totalement dégagé de plusieurs dizaines de longueurs d'ondes. Pour cela, il faut que les obstacles soient absents du premier ellipsoïde de Fresnel. Mais attention, cela vaut pour les obstacles absorbants. Pour une surface réfléchissante parallèle à l'axe E-R (sol), il convient de tenir compte, non seulement du premier ellipsoïde de Fresnel, mais aussi de la largeur du lobe de rayonnement qui, s'il dépasse l'angle dans lequel s'inscrit l'ellipsoïde, va permettre une réflexion en opposition de phase si la hauteur des antennes est égale au demi-cercle de l'ellipsoïde d'ordre impair. C'est pourquoi, la hauteur des antennes sera de préférence égale au rayon d'un ellipsoïde d'ordre pair.

En pratique, l'ellipsoïde de Fresnel n'est pris en compte que pour des liaisons fixes hyperfréquences (faisceaux hertziens). Pour celles-ci, les distances, les longueurs d'ondes et les largeurs des lobes de rayonnement permettent de respecter physiquement les critères de visibilité.

### Liaisons en visibilité restreinte.

Pour les fréquences UHF et en dessous, le sol se trouve toujours dans l'ellipsoïde de Fresnel. Cela n'a pas une grande importance pour le bilan de liaison, car le maximum d'énergie est transmis près de l'axe de l'ellipsoïde. En V/UHF, la hauteur de l'antenne est suffisante pour dégager suffisamment cet axe. Pour les fréquences HF, la propagation par onde d'espace fait intervenir les réflexions par le sol qui devient suffisamment bon conducteur à ces fréquences. Pour les fréquences MF et en dessous, la propagation se fait par onde de surface.

Naturellement, les changements de modes de propagations sont progressifs. Ainsi, en VHF, l'onde de surface est encore présente sur la mer. En V/UHF, la réflexion par le sol est encore suffisante pour provoquer des interférences (affaiblissements) à faible distance <sup>(1)</sup>. Ces affaiblissements correspondent à des distances et des hauteurs d'antennes pour lesquelles nous avons des rapports avec la longueur d'onde correspondant aux ellipsoïdes de Fresnel.

Nous avons sur la figure 3 un exemple d'affaiblissement de propagation pour  $F = 1$  GHz.

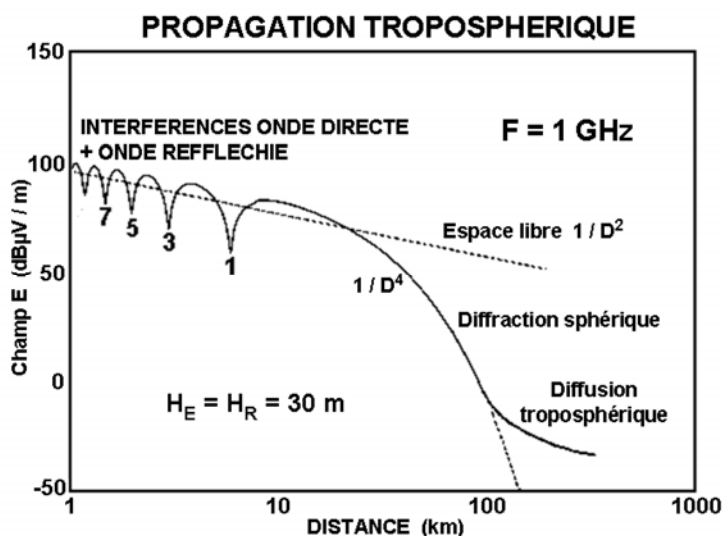


Figure 3.

## Cas de la propagation ionosphérique HF.

En HF, l'antenne étant proche du sol, il y a toujours réflexion. Pour qu'elle soit complète, il est nécessaire de dégager la majeure partie de l'ellipsoïde de Fresnel. Celui-ci a pour foyers l'antenne d'émission et son image dans le sol à une distance double du point de réflexion qui est d'autant plus éloigné que l'angle de départ est faible. Alors les ellipsoïdes de Fresnel coupent le sol et dessinent sur celui-ci des ellipses appelées "zones de Fresnel".

Avec un coefficient de réflexion proche de 1, le gain peut augmenter de 6 dB en polarisation horizontale. Mais on ne peut les obtenir que si le sol est plan et dégagé sur une distance égale au point le plus éloigné de la 1ère zone de Fresnel. Voir sur la figure 4 la distance de réflexion et la distance la plus éloignée de la 1ère zone de Fresnel pour les bandes 30m et 10m ( $\alpha$  est l'angle de départ).

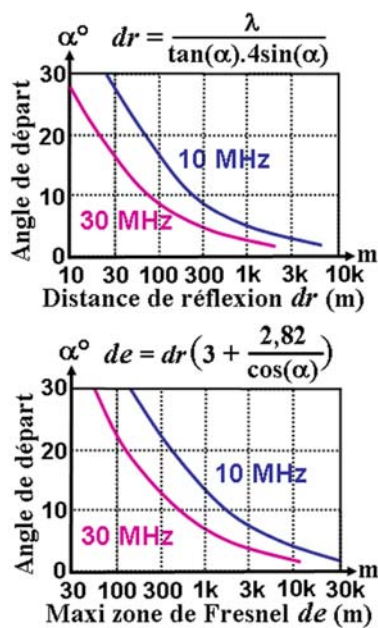


Figure 4.

En pratique, on considère qu'un dégagement sur une distance égale à  $2400\lambda / \alpha^2$  est suffisant. Pour un angle de départ de  $10^\circ$ , cela représente quand même un rayon de 720 m pour la bande 30m et 240 m pour la bande 10m. Donc, si le terrain n'est pas plat, ou s'il est couvert de végétation humide ou de constructions métallisées, surtout au point de réflexion, celle-ci se fera avec une diminution du coefficient de réflexion. A la limite, pour un coefficient proche de zéro, on retrouve les diagrammes et les gains du système antenne en espace libre. Mais attention, il faut que l'antenne soit dégagée d'au moins une demie longueur d'onde au dessus du "fouillis urbain" ou du "fouillis végétal" pour que l'onde directe subisse peu d'absorption.

**La Rubrique "Comment ça marche" est une activité collective du radio-club F6KRK (<http://www.f6krk.org>). Pour une correspondance technique concernant cette rubrique : "f5nb@ref-union.org".**

### Notes.

- (1) Vous avez peut-être constaté en VHF mobile en limite de propagation un retour de niveau alors que l'on s'éloigne du correspondant. C'est parce que l'on vient de subir une interférence entre onde directe et onde réfléchie. Cela se produit surtout si le correspondant a une station fixe avec une antenne élevée (s'il avait une antenne basse, on ne le recevrait plus du tout à cette distance).