

7.4.3. Hauteur virtuelle et fréquence critique

Lorsque l'onde atteint une couche ionisée elle subit une réfraction, ce phénomène est progressif.

Toutefois on considère le phénomène comme une réflexion (comme en optique) et on définit une **hauteur virtuelle**, qui serait celle où une réflexion donnerait les mêmes effets au sol (même distance).

La hauteur virtuelle peut se mesurer à l'aide d'une sonde (une "ionosonde"). On envoie une série d'impulsions vers le ciel (antenne pointée vers le ciel) et on mesure le temps entre l'émission et la réception de l'onde réfléchie. Cette mesure de temps est convertie en distance, ce qui permet de mesurer la hauteur virtuelle et d'obtenir un diagramme appelé ionogramme.

Un ionogramme se présente comme indiqué ci-contre. On distingue nettement 3 niveaux de réflexions, respectivement sur les couches E, F1 et F2.

On remarque qu'il y a des réflexions entre 2 et 6,9 MHz (environ). Dans ce cas on dit que la **fréquence critique** est de 6,9 MHz.

Si on dépasse la fréquence critique, l'onde n'est plus réfléchie, mais elle passera au travers des couches⁸.

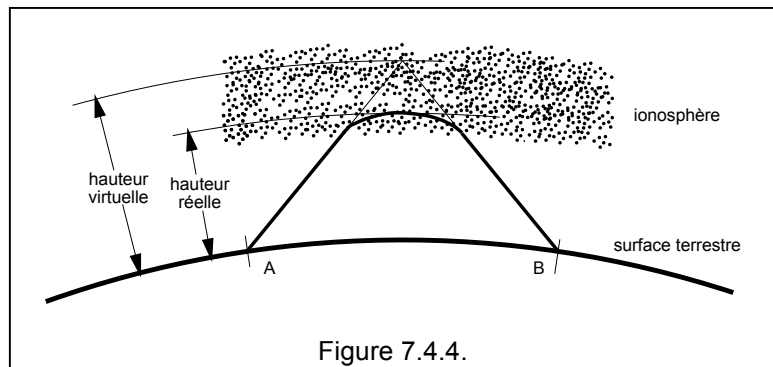


Figure 7.4.4.

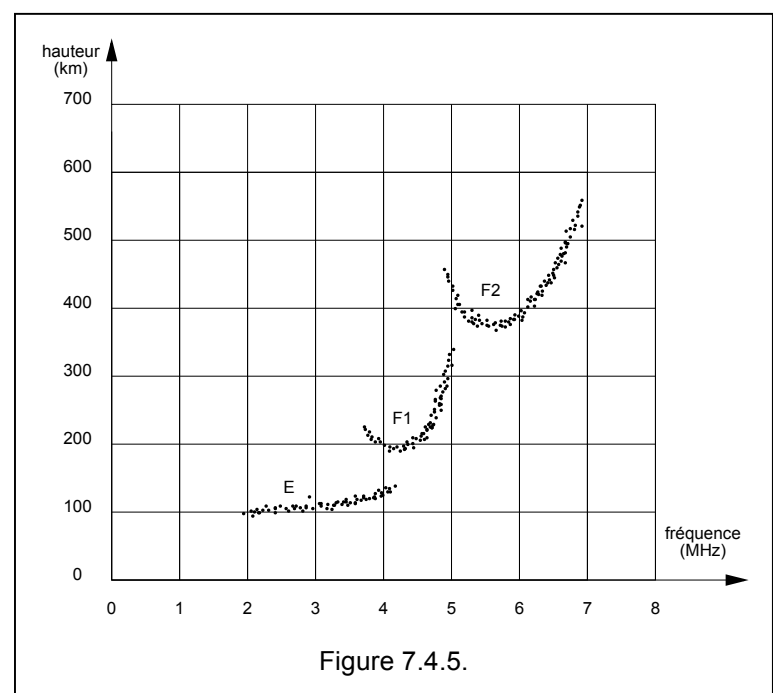


Figure 7.4.5.

⁸ Puisque ces courbes représentent des situations typiques, ce serait donc la catastrophe pour les communications à longue distance au-delà de quelques 8 MHz ! PAS DE PANIQUE ! Ce que nous venons de voir ici est une réflexion pour une onde qui part perpendiculairement à la surface de la terre (l'antenne "pointe" vers le ciel), toutefois, nos antennes ne pointent pas vers le ciel, mais plutôt à l'horizon. Et le § 7.3.4. va nous montrer qu'il est possible d'utiliser des fréquences supérieures pour réaliser des liaisons ionosphériques.

7.4.4. Angle de radiation, angle critique et distance du bond

La mesure de la hauteur des couches nécessite une antenne qui rayonne vers le ciel, toutefois, pour établir des communications on utilise des antennes polarisées verticalement ou horizontalement et au-delà de la fréquence critique et pour un certain angle il peut y avoir également des réfractions.

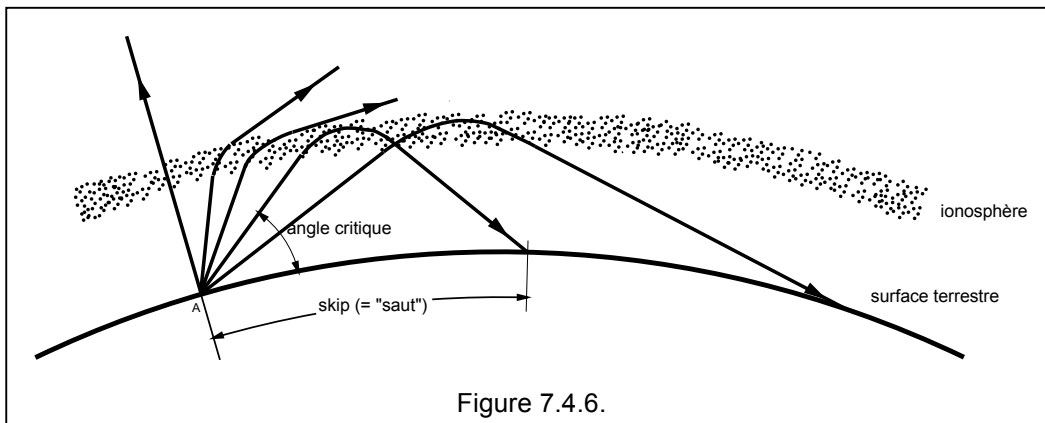


Figure 7.4.6.

Le plus grand angle de radiation qui permet à l'onde de revenir vers la terre, pour des conditions ionosphériques données, est appelé **angle critique**⁹.

⁹ On comprend dès lors l'importance du choix de l'antenne. Il est évident que si la plus grande partie de l'énergie rayonnée est dirigée vers le ciel, cette énergie va passer au travers des couches ionisées et ne sera jamais réfléchi vers la terre. Il faudra donc, dans la mesure du possible, que l'antenne fournisse la plus grande partie de son énergie dans un angle inférieur (ou égal) à l'angle critique. D'où l'importance de l'angle de départ et de l'angle d'ouverture (dans le sens vertical) des antennes. Quelques exemples :

<p>a) un dipôle pour la bande 80 m, même s'il est monté à 18 m du sol (ce qui pour une station d'amateur semble "élevé"), n'est en réalité qu'à 0,2 λ. Cette antenne envoie pratiquement toute son énergie dans un angle qui va de +30° à +150°, elle "tire" donc plus vers le ciel que vers l'horizon.</p>	<p>b) une antenne yagi 3 éléments pour la bande 20m, installée sur un pylône de 18 m du sol et avec un sol "moyen" se trouve à un peu moins de 1 λ du sol. Cette antenne possède un angle de départ de l'ordre de 15° et un angle d'ouverture de 16°. Cette antenne n'envoie qu'une très faible partie de sa puissance au zénith.</p>	<p>c) un quart d'onde (quelle que soit la bande ...), avec un sol "moyen" est caractérisé par un angle de départ de 26° et un angle d'ouverture est de 44°. La puissance qui est envoyée vers le ciel est pratiquement nulle.</p>	<p>d) et avec une 5/8 d'onde ... l'angle de départ est de 16°, l'angle d'ouverture est de 26°. Toutefois, on voit apparaître un second lobe.</p>

Toutes ces modélisations ont été faites avec EZNEC, un sol "réel" selon le modèle "MININEC".

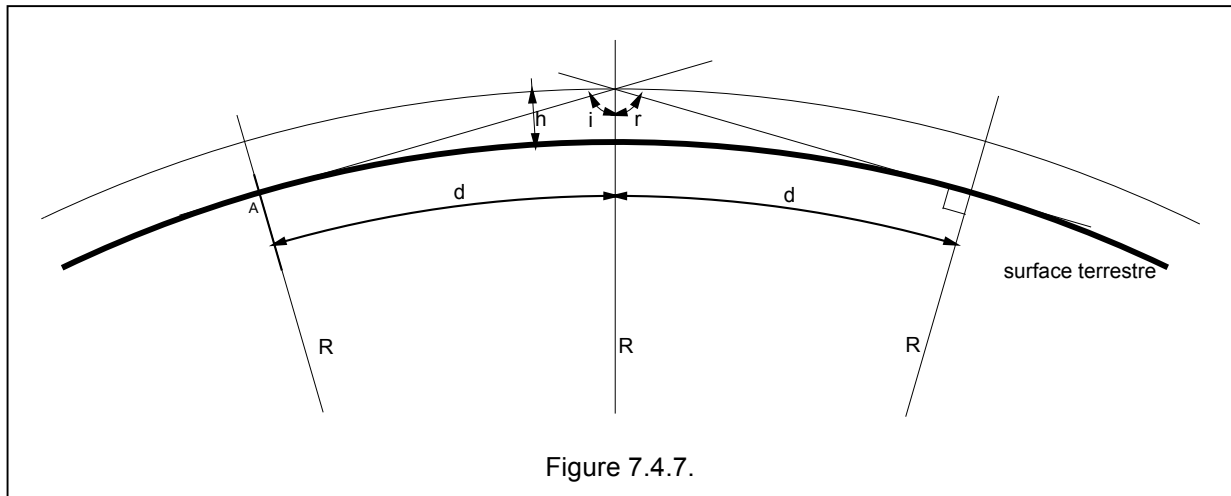


Figure 7.4.7.

Il est possible de calculer la distance maximum que l'on peut réaliser en cas de réflexion sur les couches ionisées en connaissant la hauteur de la couche. Pour cette évaluation, on supposera que la hauteur de l'antenne est faible (par rapport à hauteur de la couche ionisée), que la réflexion se fait de façon parfaite en un point (comme s'il s'agissait d'un miroir...), que l'antenne est pointée à l'horizontale (c.-à-d. que son angle de départ est voisin de 0°). Dans ce cas, la résolution du triangle permet de calculer:

$$D_{\max} = 2 d = 2 R \text{ arc cos } (R / R + h)$$

avec R = rayon de la terre soit 6371 km.

Lorsqu'on fait ce calcul il faut bien sûr mettre la calculatrice en mode "radian", en effet le calcul de la distance consiste à calculer la longueur de la circonférence intercepté par un certain angle !

Faisons une rapide évaluation pour les couches E, F1 et F2 :

- réflexion sur la couche E à une hauteur de 100 km D ≈ 2200. km
- réflexion sur la couche F1 à une hauteur de 224 km D ≈ 3300 km
- réflexion sur la couche F2 à une hauteur de 320 km D ≈ 4000 km

Il s'agit bien sûr "d'une évaluation" de la distance du bond.

7.4.5. Zone de silence

Si on considère la combinaison de la propagation de sol et la propagation ionosphérique, il y a une zone où la distance est telle qu'elle soit supérieure à la portée par onde de sol et inférieure à la distance où se produit la réception de l'onde réfléchi par l'ionosphère. Cette zone s'appelle **zone de silence**.

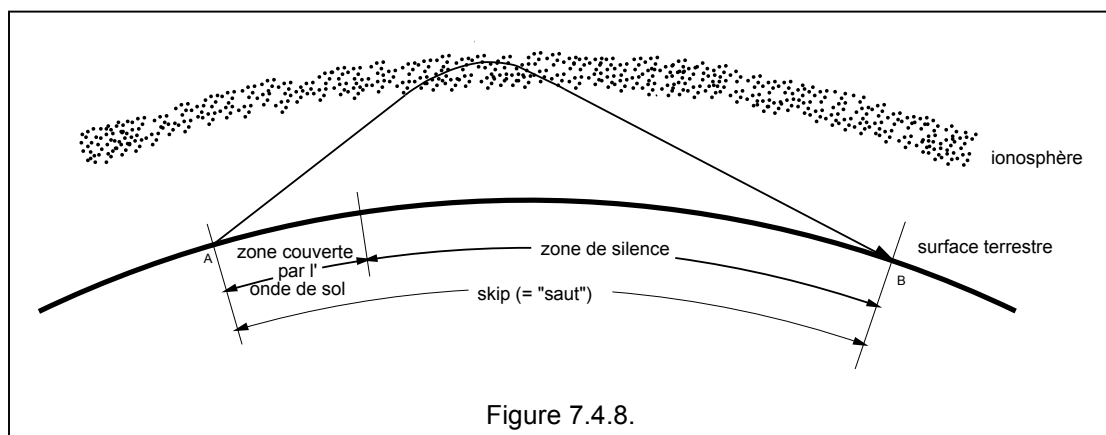
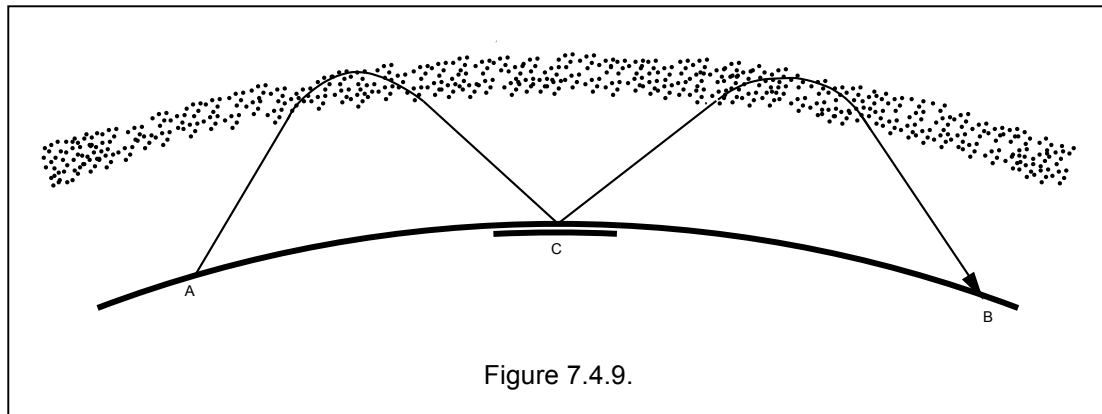


Figure 7.4.8.

7.4.6. Réflexions multiples

On peut bien sûr avoir une propagation avec une seule réflexion sur la couche E, ce type de propagation est désigné par **1E**, ou une propagation avec une seule réflexion en sporadique E est désigné par **1Es**.

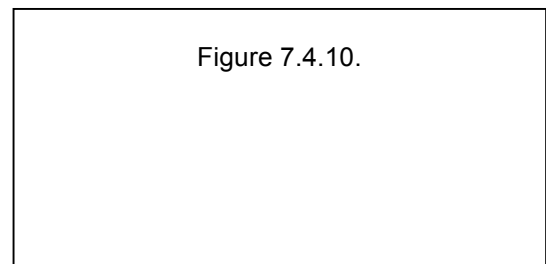


On peut aussi avoir des modes multiples, on peut, par exemple, avoir une propagation avec une deux réflexions sur la couche E, on désigne cette propagation par **2E**. Pour que ce phénomène puisse se produire il faut une réflexion au point C, donc un milieu réfléchissant tel qu'une grande étendue d'eau (mer, océan, grand lac, ...).

Une propagation avec trois réflexions sur la couche F par **3F**.

On peut aussi avoir la combinaison d'une réflexion sur la couche F suivit d'une réflexion sur la couche E, on parle alors de **1F1E**. Ceci s'explique simplement parce qu'à l'endroit de la première réflexion il n'y a pas de couche E, tandis qu'à l'endroit de la deuxième réflexion cette couche existe. De la même manière, la combinaison d'une réflexion sur la couche F suivit d'une réflexion sur la couche Es, elle même suivie d'une réflexion sur la couche F se désigne par **F(Es)F**, etc.

La figure ci-contre représente différentes situations typiques.



7.4.7. Fading

Le fading ou l'évanouissement est un terme utilisé pour décrire des variations du signal reçu. Le fading peut être occasionné par un phénomène naturel tel que des variations des hauteurs des couches ionisées ou des variations d'absorption.

Le fading peut aussi être occasionné par l'homme, par exemple, le passage d'un avion (dans le voisinage de l'antenne de réception) peut créer un signal qui varie rapidement.

7.4.7.1. Trajets multiples ou "multipath" :

La cause la plus commune de fading est la propagation selon des trajets multiples. A l'émission l'onde emprunte plusieurs chemins pour arriver au récepteur. Comme les trajets sont différents, les amplitudes et les phases sont également différentes. A la réception les différentes composantes reçues peuvent s'annuler ou se renforcer, d'où le fading.

Ce phénomène se rencontre en HF, l'onde émise peut par exemple être partiellement réfléchiée par une couche de l'ionosphère et partiellement par une autre couche.

Le phénomène peut aussi se rencontrer en VHF-UHF et plus particulièrement en "mobile", le signal reçu peut provenir de plusieurs source différentes (voir plus loin) on appelle cela alors du "flutter".

Figure 7.4.11.

7.4.7.2. Fading sélectif

On parle de fading sélectif lorsque le phénomène affecte une fréquence particulière