

## Chapitre IV : Propagation des ondes hertziennes

### IV.1 Introduction

Le rayonnement ultraviolet du Soleil ionise les atomes de l'air de la haute atmosphère en ions positifs. Ceci diminue la constante diélectrique et l'indice de réfraction du milieu. Les ondes sont absorbées ou réfractées selon leur fréquence et leur angle d'arrivée. Leur réflexion est plus facile pour les fréquences les plus basses et pour un angle d'incidence plus grand. Les fréquences élevées traversent les couches ionisées vers la verticale.

### IV.2 Modes de propagation atmosphérique

#### IV.2.1 Caractéristiques de la basse atmosphère

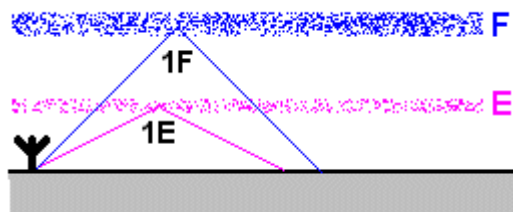
Les couches ionosphériques se répartissent en :

- Couche D (entre 60 et 90 km): existe le jour seulement. Elle réfléchit les ondes longues et absorbe les ondes moyennes.
- Couche E (vers 110 km) : existe de jour et de nuit, sa densité est faible la nuit.
- Couche F (vers 250 km) : se dédouble en été (F1 vers 250 km et F2 vers 400 km), existe de jour comme de nuit, mais avec de grandes variations de densité.

Atteindre les antipodes en un seul bond n'est pas possible. Pour couvrir de grandes distances, plusieurs bonds sont nécessaires, soit sur la couche F soit sur la couche E, soit sur les deux.

#### IV.2.2 Modes simples

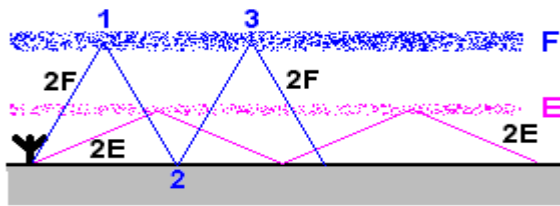
Pour des distances ne dépassant pas 1000 ou 2000 km, il y a de fortes chances pour que la liaison puisse s'effectuer à l'aide d'un seul rebond sur la couche E ou la couche F. On utilisera un mode 1E ou 1F. Parfois les deux modes sont actifs simultanément, ce qui peut provoquer un renforcement du signal ou un affaiblissement selon le moment.



### IV.2.3 Modes multiples

Si le circuit comporte 2 ou plusieurs rebonds sur la même couche E ou F, on a les modes multiples : 2E ou 2F, 3F, 4F...

On considère qu'il faut un mode 7F pour atteindre les antipodes mais il existe d'autres possibilités. Dans le cas du mode 2F, le rebond au sol au point 2 peut introduire des pertes plus ou moins importantes selon qu'il se produit sur une étendue glacée ou sur la mer.

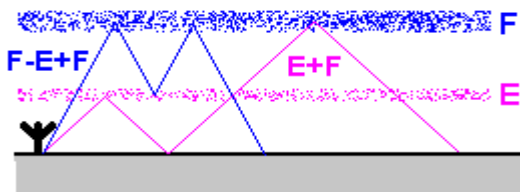


### IV.2.4 Modes mixtes

Lorsque la propagation du signal fait appel à la couche E d'abord puis à la couche F (ou le contraire) on parle de mode mixte :

- mode E+F constitué d'un bond avec réflexion sur la couche E puis d'un bond utilisant la couche F.
- mode F-E+F qui utilise la couche E sur sa face extérieure (d'où le signe "-" devant le "E").

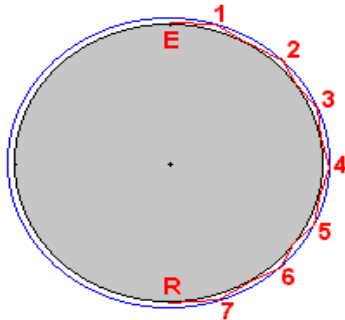
L'espace entre E et F constitue une sorte de guide d'onde. Ce mode a une particularité qui le rend très performant par rapport au mode 2F : l'onde ne subit que 2 fois l'absorption à la traversée de la couche D et de la couche E : à la montée et à la descente.



### IV.2.5 Mode 7F pour atteindre les antipodes

La figure ci-contre montre la Terre (rayon moyen 6378km) entourée de sa couche F (à 300km d'altitude), le tout à l'échelle. On voit que l'espace dans lequel se déplacent les ondes est

relativement bas de plafond. L'onde qui quitte l'émetteur E peut atteindre l'antenne de réception R par plusieurs circuits de longueurs identiques. Il y a une sorte de focalisation qui favorise les antipodes. La longueur moyenne d'un bond dans le mode 7F est de l'ordre de 2890km ce qui correspond à un angle de départ compris entre 5 et 10 degrés.



### IV.3 Propagation des ondes radio

Les ondes radio ou ondes hertziennes sont des ondes électromagnétiques qui se propagent de deux façons :

- dans l'espace libre (propagation rayonnée, autour de la Terre par exemple)
- dans des lignes (propagation guidée, dans un câble coaxial ou un guide d'onde)

Le domaine des fréquences des ondes radio s'étend de 9 kHz à 3 000 GHz.

#### IV.3.1 Intérêt de l'étude de la propagation des ondes radio

Il peut être essentiel de comprendre les principes de la propagation des ondes pour pouvoir prédire les chances et les conditions d'établissement d'une liaison radio entre deux points de la surface de la Terre ou entre la Terre et un satellite. Cela permet par exemple:

- le calcul de la puissance minimale d'un émetteur de radiodiffusion afin d'assurer une réception confortable sur une zone déterminée,
- la détermination de la position d'un relais pour la radiotéléphonie mobile,
- l'estimation des chances d'établissement d'une liaison transcontinentale sur ondes courtes,
- l'étude des phénomènes d'interférence entre émetteurs,
- le calcul du champ électromagnétique à proximité d'un équipement d'émission (radar, relais, émetteur de télévision...) pour déterminer les risques encourus par la population se trouvant à proximité.

Une onde radioélectrique se propage de façon différente selon sa fréquence et les caractéristiques du terrain sous-jacent.

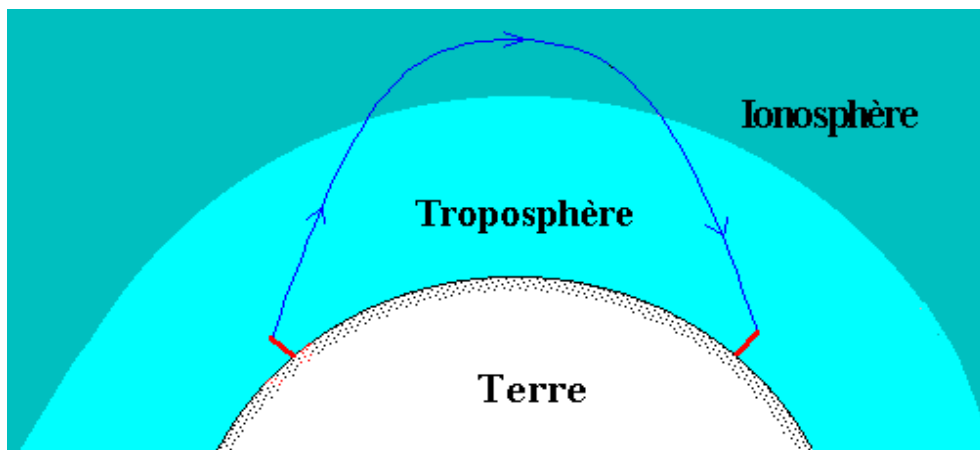
Selon la fréquence, on peut distinguer les différents types de propagation suivants :

#### IV.3.2 Ondes de surface

Aux basses et très basses fréquences (inférieures à 30 MHz) ces ondes ont une grande portée associée à une grande instabilité du signal.

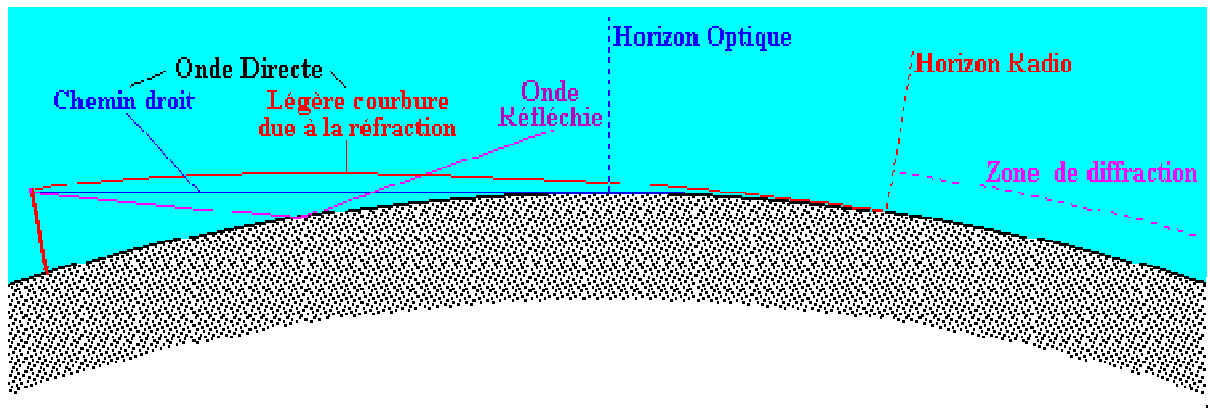
#### IV.3.3 Ondes ionosphériques

Aux fréquences entre 3 MHz et 30 MHz la propagation se fait par réflexion sur les couches ionisées qui entourent la terre (Ionosphère). Il en résulte de très grandes portées, mais associées à une certaine instabilité du signal (évanouissements) en raison des variations du milieu en fonction du temps.



#### IV.3.4 Ondes Spatiales

A des fréquences supérieures à 30 MHz, la propagation se fait à travers les couches basses de l'atmosphère terrestre (Troposphère).



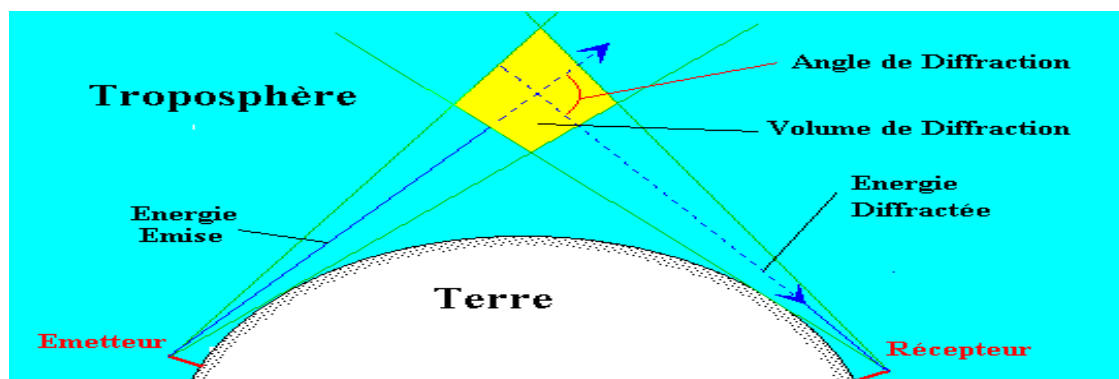
On distingue trois types d'ondes spatiales :

- onde directe, qui relie directement l'émetteur au récepteur,
- onde réfléchie, qui va de l'émetteur au récepteur à travers une réflexion sur les terrains sous-jacents,
- onde de trajet multiple, qui atteint le récepteur après avoir subi des réflexions sur les couches limites de la troposphère.

L'onde spatiale est généralement instable (du fait des variations des caractéristiques du milieu dans le temps), sauf à être limitée à la vision optique directe entre l'émetteur et le récepteur. Elle peut subir des évanouissements (interférences destructives).

#### IV.3.5 Ondes de dispersion troposphérique

La propagation des ondes de dispersion troposphérique se fait par les réflexions causées par les discontinuités dues aux variations turbulentes des constantes physiques de la Troposphère.



A ce mécanisme de propagation sont associées des pertes élevées et des possibilités d'évanouissements importants.