

Chapitre 1 : Propagation des ondes Hertziennes

Introduction

Les ondes hertziennes sont des ondes électromagnétiques, de longueur d'onde supérieure à 1mm, qui véhiculent des informations (images, sons, musiques,) sur de grandes distances sans aucun support physique entre l'émetteur et le récepteur. Leurs longueurs d'ondes et fréquences codent toutes sortes d'informations dont la voix et l'image. Dans l'air comme dans le vide, elles passent d'antennes en satellites et sont idéales pour la radio, la télévision et la téléphonie mobile. L'étude de la propagation des ondes se concentre, surtout sur les propriétés et les effets du milieu réel, dans lequel les ondes radio doivent se déplacer, en suivant tout trajet donné entre une antenne émettrice et une antenne réceptrice.

1. Spectre des ondes électromagnétiques

Le spectre des ondes électromagnétiques est divisé en plusieurs groupes suivants les domaines de fréquences ou longueurs d'onde (figure 1)

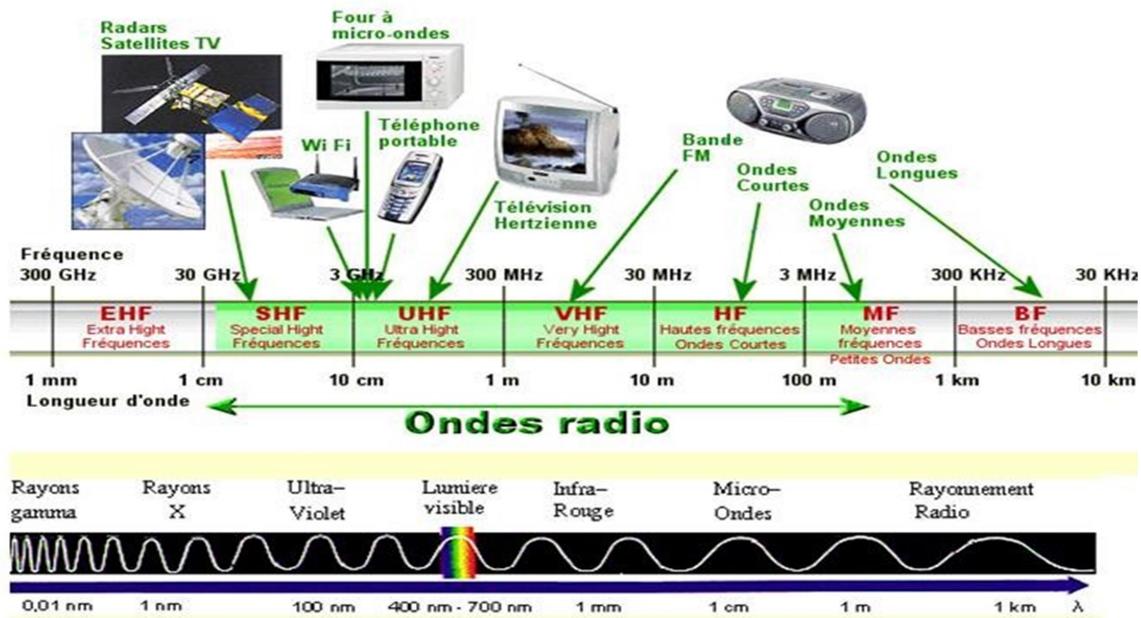


Figure 1 : Le spectre des ondes électromagnétiques

Les ondes hertziennes appartiennent au spectre électromagnétique, elles sont comprise entre [10kHz à 300GHz]. Elles même divisées en sous groupes (VLF, LF, MF, HF, VHF, UHF, SHF, EHF). Voir tableau ci dessous.

Fréquence	Longueur d'onde	Désignation métrique	Désignation courante	Abréviation
10kHz-30kHz	30km à 10km	Ondes myriamétriques	Very Low Frequency	VLF
30kHz-300kHz	10km à 1km	Ondes kilométriques	Low Frequency	LF
300kHz-3MHz	1km à 100m	Ondes hectométriques	Medium Frequency	MF
3MHz-30MHz	100m à 10m	Ondes décamétriques	High Frequencies	HF
30MHz-300MHz	10m à 1m	Ondes métriques	Very High Frequency	VHF
300MHz-3GHz	1m à 10cm	Ondes décimétriques	Ultra High Frequency	UHF
3GHz-30GHz	10cm à 1cm	Ondes centimétriques	Super High Frequency	SHF
30GHz-300GHz	1cm à 1mm	Ondes millimétriques	Extremely High Frequency	EHF

2. Modes de propagation des ondes hertziennes

On peut distinguer trois modes de propagation:

- 1) Onde de sol (à la surface de la terre)
- 2) Onde directe (dans la basse atmosphère)
- 3) Onde d'espace (par réflexion sur la haute atmosphère)

Le signal émis par une antenne peut arriver au récepteur par voie directe ou après réflexion. La réflexion peut se faire sur la terre, sur la mer, mais parfois aussi sur les hautes couches de l'atmosphère qui sont les couches ionisées (ionosphère). Figure 2

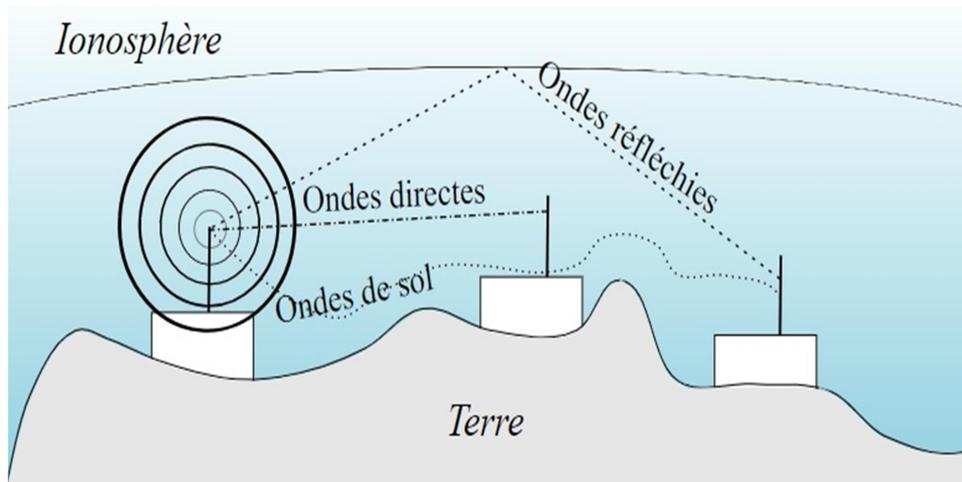


Figure 2: Modes de Propagation par une onde directe et par une onde réfléchie d'un point à un autre de la terre

Lorsque les antennes d'émission et de réception sont situées au voisinage de la terre, différents phénomènes vont modifier le trajet des ondes : la présence de la terre, la variation de la densité de l'atmosphère et la présence des couches ionisées dans la haute atmosphère. Donc deux milieux doivent être pris en considération : *le sol* et *l'atmosphère*. Il est nécessaire de connaître les propriétés de ces deux milieux pour étudier cette propagation.

3. Influence du milieu

3.1. Le sol

Le sol intervient par son relief ou obstacles naturels (montagnes, forêts..) et artificiels (bâtiments élevés), sa conductibilité et sa constante diélectrique. Il atténue les ondes qui se propagent à sa proximité, réfléchit les rayonnements qui le frappent avec une certaine incidence, diffracte les ondes au-delà de l'horizon optique.

Le sol est donc caractérisé par sa conductivité σ et sa constante diélectrique ε , les deux quantités pouvant varier très sensiblement selon que l'on est sur mer ou sur terre. Quand une onde plane se propage au-dessus du sol, une partie de l'énergie pénètre dans celui-ci et la profondeur de pénétration dépend de ε , σ et de la fréquence f ; l'onde qui se propage est alors atténuée et s'accompagne d'une onde circulant dans le sol. Le sol peut être donc considéré comme un milieu dissipatif ou on définit une constante diélectrique complexe qui sera notée η :

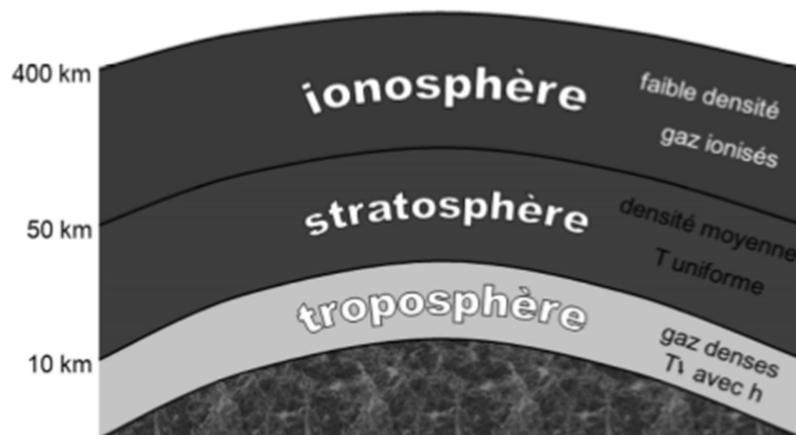
$$\eta = \varepsilon - j \frac{\sigma}{\omega} \quad (1.1)$$

Exemple : l'eau de mer va se comporter comme un conducteur donc il va réfléchir les ondes.

- En basses fréquences, le sol est un bon conducteur et l'onde se propage par conduction dans le sol. Cette conduction est liée à la nature du sol. On parle d'onde de sol.
- En hautes fréquences, le sol se comporte comme un diélectrique.

3.2. L'atmosphère

L'atmosphère qui se compose de la *troposphère*, de la *stratosphère* et de l'*ionosphère*, intervient par la variation de sa constante diélectrique (variation de l'indice de réfraction de l'air (n) en fonction de l'altitude (h) et de la densité d'ionisation de ses régions les plus élevées. Elle intervient par l'atténuation consécutive à l'absorption par les gaz et la vapeur d'eau ou même par la pluie.



- a) La troposphère :** c'est la couche qui est en contact avec le sol ; elle s'étend jusqu'à 10 km d'altitude et est le siège des phénomènes météorologiques faisant intervenir l'eau: pluie, nuages, vents, brouillard. Elle est limitée en altitude par une surface fictive, appelée tropopause. Son altitude varie de 7km à 14 km selon le temps qu'il fait.

Elle peut être considérée comme un milieu diélectrique pur, sauf aux ondes les plus courtes (ondes centimétriques et millimétriques) pour lesquelles elle peut être absorbante. Dans ce milieu la température, l'humidité et la pression varient de façon sensible en fonction du temps et du lieu et entraînent des variations de l'indice de réfraction de l'air.

➤ **Atmosphère de référence ;**

Le C.C.I.R. (comité consultatif international des radiocommunications) a décidé de définir une atmosphère fondamentale de référence, pour laquelle l'indice de réfraction est donné par : $n=1+289.10^{-6}\exp(-0.136h)$.

✚ **Distance maximale optique**

L'horizon radio, c'est à dire la distance maximale d_{max} à laquelle une antenne de hauteur h_r située au niveau du sol pourra recevoir le signal émis par une antenne située à une hauteur h_e (figure 3), est donné par la formule approchée :

$$d_{max} = \sqrt{2Rhe} + \sqrt{2Rhr} \quad (1.2)$$

R=rayon de la terre.

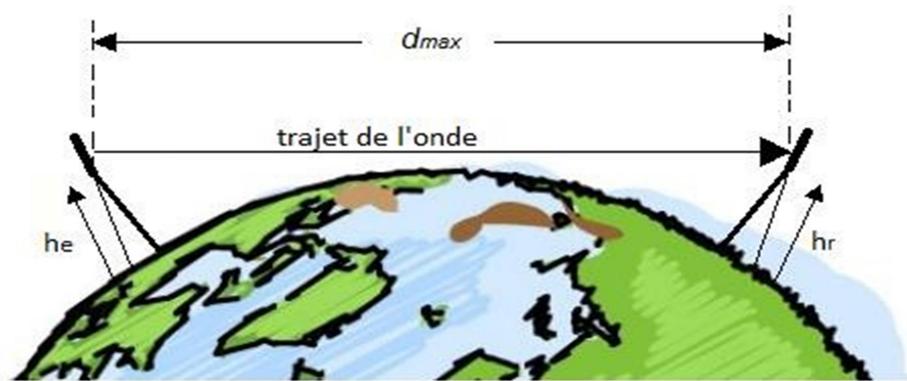


Figure 3: Portée d'une transmission troposphérique

b) **La stratosphère** : elle s'étend de 10km à 40km d'altitude; elle intervient peu dans la propagation des ondes. Elle se situe entre la tropopause et la stratopause, comme la troposphère, elle est moins ionisée que les autres couches pendant la journée et elle disparaît la nuit. Elle contient la majeure partie de la couche d'ozone.

✚ Dans cette couche la température est constante et les ondes se propagent dans les mêmes conditions du vide.

c) **L'ionosphère** : elle s'étend de 40km à 1000km d'altitude; elle est exposée au rayonnement solaire ainsi qu'aux rayons cosmiques et aux météorites qui provoquent l'ionisation des molécules, c'est à dire l'arrachement des électrons des couches extérieures de la molécule. Les particules chargées négativement (électrons) et positivement (ions) ont tendance à se regrouper en couches ionisées qui vont jouer un

rôle très important dans la propagation des ondes, principalement des ondes HF. Elle permet aux ondes radio de parcourir des distances plus grandes, par réflexion sur les couches ionisées. Donc les couches ionisées vont se comporter comme un véritable miroir sur les ondes radio : il se produit un mécanisme de réflexion.

L'ionosphère est constituée de quatre sous- couches.

Description et rôle de chaque couche « ionosphère »

Les particules ionisées (électrons libres et ions,) se concentrent en quatre couches :

- La couche D, de 10km d'épaisseur, est située à 70 km d'altitude. Elle est moins ionisée que les autres couches pendant la journée et elle disparaît pendant la nuit. La couche D, peu ionisée, est donc incapable de réfléchir les ondes radio sauf les ondes longues. Pour les ondes de fréquence plus élevées, elle se comporte comme une couche absorbante.

-La couche E, de 25km d'épaisseur, est située à environ 100km, s'atténue la nuit. Cette couche réfléchit les ondes moyennes mais absorbe un peu les ondes HF.

-La couche F1, de 20km d'épaisseur, est située à 180 km pendant la journée mais s'élève et rejoint la couche F2 pendant la nuit. Cette couche réfléchit les ondes courtes de fréquence pas trop élevée mais absorbe partiellement les autres.

-La couche F2, d'une épaisseur atteignant 200 km, se situe entre 250km et 400km pendant la journée mais se trouve vers 300km pendant la nuit. C'est la couche la plus élevée et la plus ionisée et c'est celle qui joue le rôle le plus important dans les communications radio.

La couche F2 est la couche de réflexion principale pour les ondes courtes.