

# Radiocommunication

Dr. Tidjani Amina

2022/ 2023



## Chapite2:

# Propagation des ondes Hertziennees

# CHAPITE2:PROPAGATION DES ONDES HERTZIENNES

Ce chapitre vise à donner une définition bien explicative sur

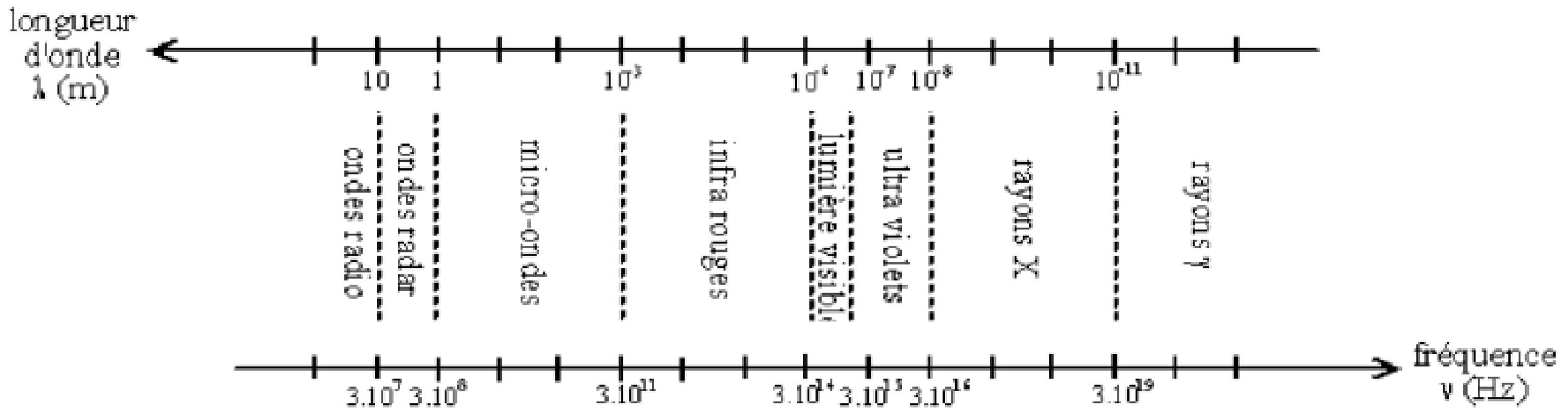
- Le spectre électromagnétique et le spectre des ondes hertziennes,
- Les différents modes de la propagation des ondes hertziennes
- Des notions sur la réfraction atmosphérique
- La propagation dans des milieux inhomogènes et aléatoires

# CHAPITE2:PROPAGATION DES ONDES HERTZIENNES

## II-2. Spectre des ondes Hertziennes

- Les ondes électromagnétiques (OEM) forment une catégorie tout aussi variée, que l'on peut répertorier par **bandes de fréquences** : on parle de « **spectre** » électromagnétique.
- En bref, **le spectre électromagnétique** représente **la répartition** des ondes électromagnétiques en fonction de leur **longueur d'onde**, de leur **fréquence** ou bien encore de leur **énergie** (figure ci-dessous).

# CHAPITE2:PROPAGATION DES ONDES HERTZIENNES



|     | <b>NOM</b>                 | <b>f</b>            | <b><math>\lambda</math></b> |
|-----|----------------------------|---------------------|-----------------------------|
| VLF | VERY LOW<br>FREQUENCIES    | 3 kHz<br>30 kHz     | 100 km<br>10 km             |
| LF  | LOW<br>FREQUENCIES         | 30 kHz<br>300 kHz   | 10 km<br>1 km               |
| MF  | MEDIUM<br>FREQUENCIES      | 300 kHz<br>3000 kHz | 1 km<br>100 m               |
| HF  | HIGHT<br>FREQUENCIES       | 3 MHz<br>30 MHz     | 100 m<br>10 m               |
| VHF | VERY HIGHT<br>FREQUENCIES  | 30 MHz<br>300 MHz   | 10 m<br>1 m                 |
| UHF | ULTRA HIGHT<br>FREQUENCIES | 300 MHz<br>3000 Mhz | 100 cm<br>10 cm             |
| SHF | SUPER HIGHT<br>FREQUENCIES | 3000 MHz<br>30 GHz  | 10 cm<br>1 cm               |
| EHF | EXTREMELY<br>HIGHT FREQ.   | 30 GHz<br>300 GHz   | 10 mm<br>1 mm               |

# CHAPITE2:PROPAGATION DES ONDES HERTZIENNES

## II-3. Modes de propagation des ondes hertziennes

La propagation des ondes radio entre une antenne émettrice et une antenne réceptrice peut être effectuée de plusieurs façons suivant sa **fréquence** : au moyen de la surface terrestre (ondes de sol), de réflexions naturelles ou artificielles (ondes réfractées), et directe.

# CHAPITE2:PROPAGATION DES ONDES HERTZIENNES

D'émission



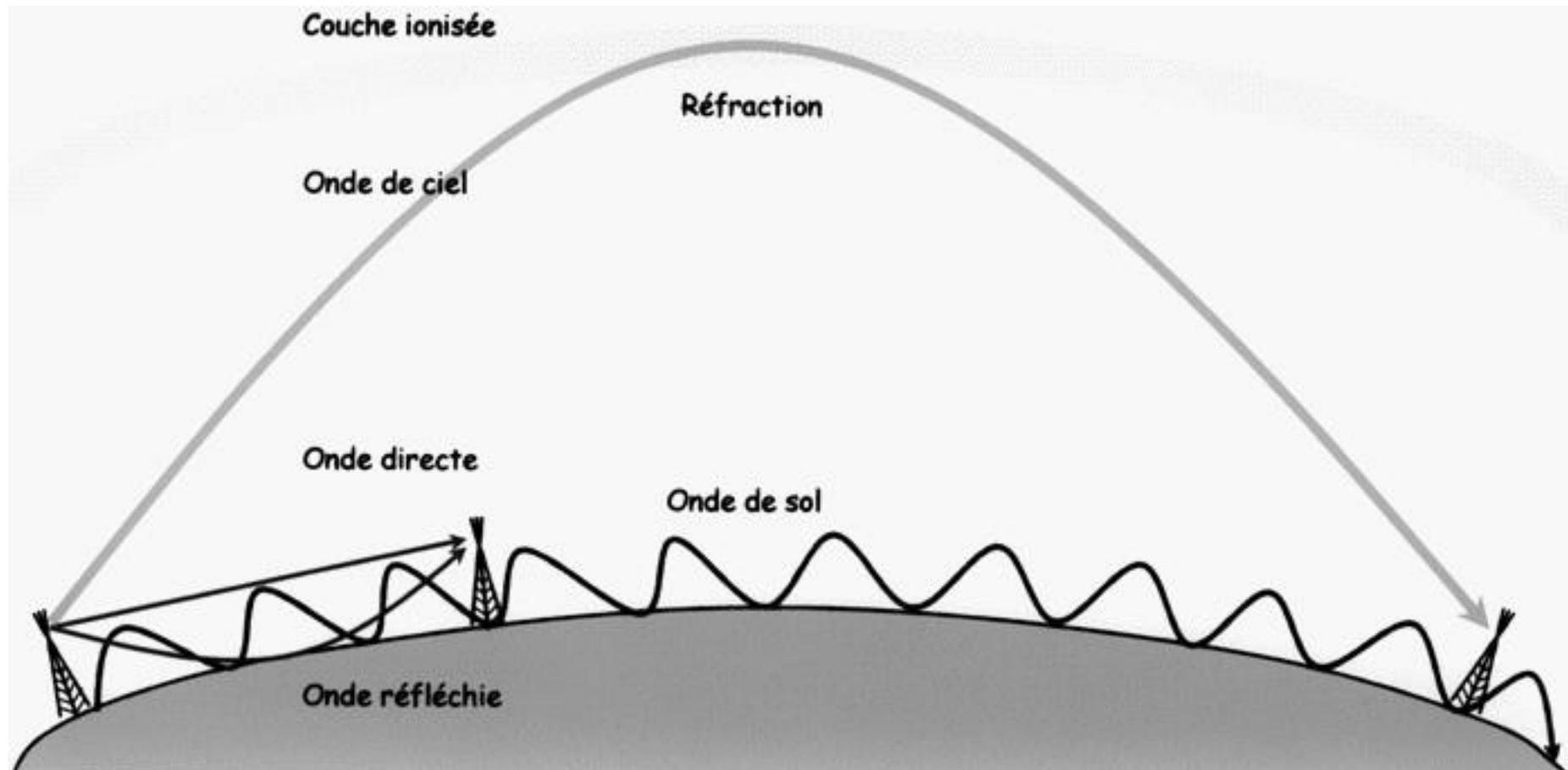
- Propagation en vue directe
- Propagation par onde de sol (superficielle)
- Propagation troposphérique
- Propagation ionosphérique

Réception



# CHAPITE2:PROPAGATION DES ONDES HERTZIENNES

## II-3. Modes de propagation des ondes hertziennes



# CHAPITE2:PROPAGATION DES ONDES HERTZIENNES

## II-3. Modes de propagation des ondes hertziennes

### **Propagation en vue directe :**

- Les antennes de l'émetteur et le récepteur sont en vue directe, sans obstacles,
- Les ondes se propagent quasiment en ligne droite.
- La propagation en vue directe concerne toutes les fréquences du spectre.
- Exemples : Toutes les communications à courte distance, les communications entre avions et centre de contrôle.

# CHAPITE2:PROPAGATION DES ONDES HERTZIENNES

## II-3. Modes de propagation des ondes hertziennes

### **Propagation par onde de sol (superficielle) :**

- Les antennes de l'émetteur et du récepteur sont situées au niveau du sol, les ondes suivent la courbure de la terre.
- La propagation par onde de sol concerne les fréquences du spectre radioélectrique inférieur à 2.000 kHz.
- Exemples: Les émissions en Grandes Ondes jusqu'à 2.000 km et les émissions en Petites Ondes jusqu'à 300 km.

# CHAPITE2:PROPAGATION DES ONDES HERTZIENNES

## II-3. Modes de propagation des ondes hertziennes

### **Propagation par onde du sol :**

- Les ondes de surface sont des ondes qui se propagent le long du sol. Une partie de **l'énergie** de l'onde est **absorbée** par le sol.
- de la Terre et leurs portées (à puissance émise constante) dépendent essentiellement de trois paramètres :
  - de la nature du sol, en particulier de sa conductivité,
  - de la fréquence,
  - de la puissance émise.

# CHAPITE2:PROPAGATION DES ONDES HERTZIENNES

## II-3. Modes de propagation des ondes hertziennes

### **Propagation troposphérique :**

- les antennes de l'émetteur et du récepteur sont situées au voisinage de la terre ou en altitude, les ondes se propagent dans les couches basses de l'atmosphère et sont légèrement courbées vers le bas « l'indice de réfraction des ondes en dépend »; «la densité de l'air diminue progressivement, et l'humidité change »
- Exemple: La réception de la radio FM et de la télévision à distance moyenne de l'émetteur (30-200 km)

# CHAPITE2:PROPAGATION DES ONDES HERTZIENNES

## II-3. Modes de propagation des ondes hertziennes

### **Propagation ionosphérique :**

- La propagation ionosphérique permet des communications radio à grande distance.
- Les couches ionisées de l'atmosphère, entre 80 et 500 km d'altitude, réfléchissent les ondes et les renvoient sur terre ou sur mer.
- Les ondes se réfléchissent sur les couches ionisées situées l'une vers 100 km d'altitude (couche E), l'autre entre 200 et 350 km (couche F).

# CHAPITE2:PROPAGATION DES ONDES HERTZIENNES

## II-3. Modes de propagation des ondes hertziennes

### **Propagation ionosphérique :**

- Par une succession de réflexions sur l'ionosphère et sur la terre ou la mer, les ondes peuvent parcourir des distances jusqu'à 40.000 km.
- Exemple : La radiodiffusion en ondes courtes, qui couvre de grands pays (Afrique, Amérique du Sud, Australie, ...), des continents entiers ou l'ensemble du Globe, Le trafic radio aéronautique, maritime.

# CHAPITE2:PROPAGATION DES ONDES HERTZIENNES

## II-3. Modes de propagation des ondes Hertziennes

- L'atmosphère qui nous entoure est généralement divisée en cinq couches.
- Du point de vue des ondes électromagnétiques et de leurs propriétés électriques, la mésosphère et la thermosphère sont regroupées sous le nom d'*ionosphère*.
- Les énergies solaires (ultraviolets, rayon  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ ) ionisent les molécules d'air de cette couche, cette ionisation étant plus importante le jour que la nuit.

# CHAPITE2:PROPAGATION DES ONDES HERTZIENNES

## II-4. Réfraction atmosphérique

La réfraction atmosphérique est un phénomène de déviation des rayons lumineux (ondes radio) au cours de la traversée de notre atmosphère à cause des caractères non homogènes de ce milieu.

L'indice de réfraction d'un milieu ionisé dépend de la fréquence mais aussi de la densité électronique du milieu. La formule suivant permet de le calculer :

$$n = \sqrt{1 - \frac{N \cdot 10^{-9} \cdot e^2}{\pi \cdot m \cdot f^2}}$$

# CHAPITE2:PROPAGATION DES ONDES HERTZIENNES

## II-4. Réfraction atmosphérique

- Où  $N$  représente la densité volumique d'électron en  $e.m^{-3}$  (*coulomb/mètre cube*)
- $f$  correspond à la fréquence en  $kHz$
- $e$  et  $m$  représentent la charge et la masse d'un électron ( $1,6 . 10^{-19} C$  et  $9,11 . 10^{-31}kg$ ).

# CHAPITE2:PROPAGATION DES ONDES HERTZIENNES

## II-5. Propagation dans des milieux inhomogènes et aléatoires

(Statistique des ondes incohérentes...)

Dans la théorie de l'électromagnétisme, un milieu quelconque linéaire est un milieu pour lequel l'indice de réfraction  $n$  est une variable de l'espace  $r = (x, y, z)$ . La réponse de ce système soumis à une OEM aura un caractère déterministe. Dans un milieu diffusant l'indice de réfraction peut se décrire comme une variable aléatoire.

# CHAPITE2:PROPAGATION DES ONDES HERTZIENNES

## II-5. Propagation dans des milieux inhomogènes et aléatoires (Statistique des ondes incohérentes...)

Dans une approche statistique, on peut décomposer l'indice de réfraction  $n(r)$  en deux termes qui sont l'indice moyenné sur un ensemble de réalisation  $\langle n \rangle (r)$  et l'indice  $\delta n(r)$

fluctuant , donc :

$$n(r) = \langle n \rangle (r) + \delta n(r)$$

# CHAPITE2:PROPAGATION DES ONDES HERTZIENNES

II-5. Propagation dans des milieux inhomogènes et aléatoires (Statistique des ondes incohérentes...)

La fluctuation  $\delta n$  varie entre chaque réalisation de système. Par conséquent, un champ électrique qui se propage dans ce milieu aléatoire possède aussi un caractère aléatoire et se décompose de la même façon :

$$E(r) = \langle E \rangle(r) + \delta E(r)$$