



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DE MOHAMED BOUDIAF – M'SILA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

Cours : Télécommunications & Applications

Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Télécommunications
Spécialité : L2 Télécommunications

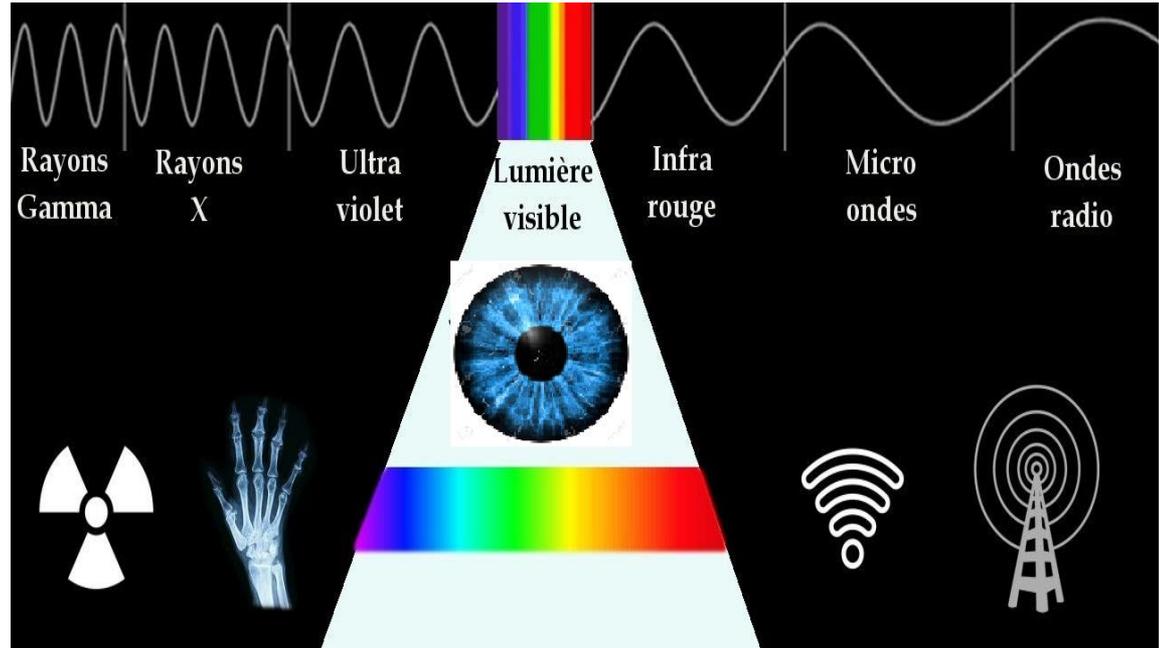
Année universitaire 2023/2024

Chapitre 1: Introduction aux Applications des Télécommunications

- ✓ Spectre électromagnétiques et télécommunications;
- ✓ Classification des systèmes des télécommunications;
- ✓ Le marché des télécommunications : état actuel et tendances futures.

Spectre électromagnétique

- Le spectre électromagnétique décrit tous les types de lumière, y compris ceux que l'œil humain ne peut pas voir;
- La majeure partie de la lumière dans l'univers est invisible par nos yeux;
- La lumière que nous pouvons voir, composée des couleurs individuelles de l'arc-en-ciel, ne représente qu'une très petite partie du spectre électromagnétique;
- Les autres types de lumière comprennent les ondes radio, les micro-ondes, le rayonnement infrarouge, les rayons ultraviolets, les rayons X et les rayons gamma, qui sont toutes imperceptibles à l'œil humain;
- Toute la lumière, ou rayonnement électromagnétique, voyage dans l'espace à 186 000 miles (300 000 kilomètres) par seconde - la vitesse de la lumière



Spectre électromagnétique

Nom de la bande	Plage de fréquences	Longueur d'onde	Applications
Extremely Low Frequency (ELF)	3-30 Hz	10,000-100,000 km	Communication Sous-marine.
Super Low Frequency (SLF)	30-300 Hz	1,000-10,000 km	Les militaires américains, russes et indiens ont construit d'énormes émetteurs radio utilisant les fréquences SLF pour communiquer avec leurs sous-marins.
Ultra Low Frequency (ULF), Voice Frequency (VF)	300-3000 Hz	100-1,000 km	Les communications robustes à faible débit de données sous l'eau, sous la terre et en milieu urbain, Communications téléphoniques.
Very Low Frequency (VLF)	3-30 kHz	10-100 km	Les balises de navigation ; Communications marines.
Low Frequency (LF)	30-300 kHz	1-10 km	Radiodiffusion en Modulation AM, Communications marines.
Medium Frequency (MF)	300-3000 kHz	100-1,000 m	Aviation, Radiodiffusion en modulation AM.
High Frequency (HF)	3-30 MHz	10-100 m	Radio à ondes courtes, les liaisons radio intercontinentales ou maritimes, Communications longue distance avion/navire
Very High Frequency (VHF)	30-300 MHz	1-10 m	Radiodiffusion FM, la télévision, la radionavigation ;
Ultra High Frequency (UHF)	300-3000 MHz	10-100 cm	Télévision, Téléphone Mobile, GPS, Téléphone cellulaire.
Super High Frequency (SHF)	3-30 GHz	1-10 cm	Liaisons satellites, 5-7GHz WI-FI, UWB.
Extremely High Frequency (EHF)	30-300 GHz	1-10 mm	Astronomie, Radar de véhicule, ondes millimétriques, la 5G, WLL.
Infrared	300 GHz-400 THz	1 mm to 770 nm	Électronique grand public.
Visible Spectrum	400-790 THz	380-750 nm	Communications Optiques, visible light communication (VLC).

Attribution des fréquences

- ➔ C'est l'ensemble des mécanismes qui permettent de définir comment sont réparties les fréquences radio entre les différents acteurs;
- ➔ Le but principal de cette distribution est d'éviter les interférences entre les différents émetteurs.
- ➔ Des canaux de fréquences sont alloués. En effet, le spectre des fréquences est divisé en intervalles dont la fréquence dépend de l'usage choisi.

Répartition des bandes de fréquences	Langue française/Arabe
Les bandes sont attribuées par l'UIT à des services affectataires	Attribution : توزيع (attribuer : Attribution du spectre aux régions du monde)
Allotissement de fréquences à des zones ou des pays	Allotissement : تخصيص (allotir : Former des lots pour un partage)
Les services affectataires assignent des fréquences à leurs stations radios utilisatrices	Assignment : تحديد (assigner: Assigner les fréquences aux opérateurs des réseaux de communications électroniques)

Bande VHF

Gamme de fréquences 30 MHz à 300 MHz

Longueur d'ondes 10 à 1m

Type de propagation Ondes réfléchies, directes

Quelques exemples :

30 à 50 MHz Réseaux professionnels, armée ...

30,005 à 30,010 MHz Recherche spatiale, exploitation et identification des satellites

37,500 à 38,250 MHz Radioastronomie

Bandes de fréquences (HF)

Bande VHF – Suite

50 à 54 MHz	RADIOAMATEURS
52 à 72 MHz	Télévision système
87,8 à 108 MHz,	RADIODIFFUSION FM
108 à 112 MHz	Aéronautique, émetteurs au sol pour informations navigation aérienne
137 à 138 MHz	Satellites météo défilants (sens espace vers terre), recherche spatiale
148 à 150,050 MHz	Services militaires, satellites défilants (sens terre vers espace)
150,050 à 153 MHz	Radioastronomie
150,050 à 156 MHz	Réseaux radio divers, taxis, Samu, pompiers...
156,025 à 162,05 MHz	Réseaux radio maritimes
162 à 174 MHz	Réseaux radio divers...
225 à 400,050 MHz	Aéronautique militaire, stations spatiales...
267 à 273 MHz	Exploitation spatiale (sens espace vers terre)

Bandes de fréquences (HF)

Bande UHF

Type de propagation

Ondes directes

Quelques exemples :

225 à 400,050 MHz

Aéronautique militaire, stations spatiales...

312 à 315 MHz

Mobile par satellite (sens terre vers espace)

322 à 328,600 MHz

Radioastronomie

387 à 390 MHz

Mobile par satellite (sens espace vers terre)

400,050 à 430 MHz

Réseaux radio divers...

433,050 à 434,790 MHz

Bande ISM (fréquences Industrielles Scientifiques et Médicales)

440 à 884 MHz

Réseaux radio divers...

446,475 MHz et 446,525 MHz Radiomessagerie

Bandes de fréquences (HF)

Bande UHF – Suite 1

446,475 MHz et 446,525 MHz	Radiomessagerie
868 à 868,6 MHz	Systèmes anti-collision aviation
868,6 à 868,7 MHz	Alarmes - Canaux 25 KHz
876 à 960 MHz	GSM (Global System for Mobile Communications)
1,375 à 1,400 GHz	Liaisons FH (Faisceaux Hertzien)
1,400 à 1,427 GHz	Radioastronomie, recherche spatiale
1,525 à 1,6605 GHz	Satellites INMARSAT (assure <u>téléphonie</u> , <u>données</u> , <u>télex</u> et <u>télécopie</u>)
1,610 à 1,6105 GHz	Appareils électroniques d'aide à la navigation aérienne
1,6106 à 1,6138 GHz	Radioastronomie, satellites
1,6265 à 1,6455 GHz	Trafic de détresse et sécurité sens terre vers espace
1,710 à 1,880 GHz	GSM
1,900 à 1,980 GHz	UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)
1,700 à 2,310 GHz	Liaisons FH
2,690 à 2,700 GHz	Radioastronomie

Bandes de fréquences (HF)

Bande UHF – Suite 2

2,010 à 2,025 GHz	UMTS
2,110 à 2,170 GHz	UMTS
2,400 à 2,4835 GHz	Appareils faibles portées, RLAN, Wi-Fi , télécommandes...
2,400 à 2,500 GHz	Four à micro-ondes (ex: 2,450 GHz)
2,446 à 2,454 GHz	RFID (Radio-frequency identification)
2,450 à 2,500 GHz	Radiolocalisation
2,500 à 2,655 GHz	Satellites télévisions

Bandes de fréquences (HF)

Une partie de la Bande SHF

Quelques exemples :

3,300 à 3,500 GHz	Radioamateurs
3,400 à 3,600 GHz	Liaisons FH
3,700 à 4,200 GHz	Satellites de télévisions
4,800 à 5,000 GHz	Radioastronomie
5,030 à 5,150 GHz	Systèmes d'atterrissage hyperfréquences
5,150 à 5,350 GHz	services de communication mobile HiperLAN (High PERFORMANCE LAN), RLAN, RL...
5,725 à 5,875 GHz	Bande ISM (fréquences Industrielles Scientifiques et Médicales)
9,200 à 9,500 GHz	Répondeur Radar pour opérations de secours
10,500 à 11,750 GHz	Satellites de télévisions bande Ku-1
11,750 à 12,500 GHz	Satellites de télévisions bande Ku-2
12,500 à 12,750 GHz	Satellites de télévisions bande Ku-3

Bandes de fréquences (HF)

Gamme de fréquences **30 GHz à 300 GHz**

Longueur d'ondes 10mm à 1mm

Type de propagation Ondes directes

Quelques exemples :

31,300 à 31,800 GHz Radioastronomie

37,000 à 39,500 GHz Liaisons FH

40,500 à 42,500 GHz Satellites télédiffusion

47,000 à 47,200 GHz Radioamateurs bande des 6 millimètres

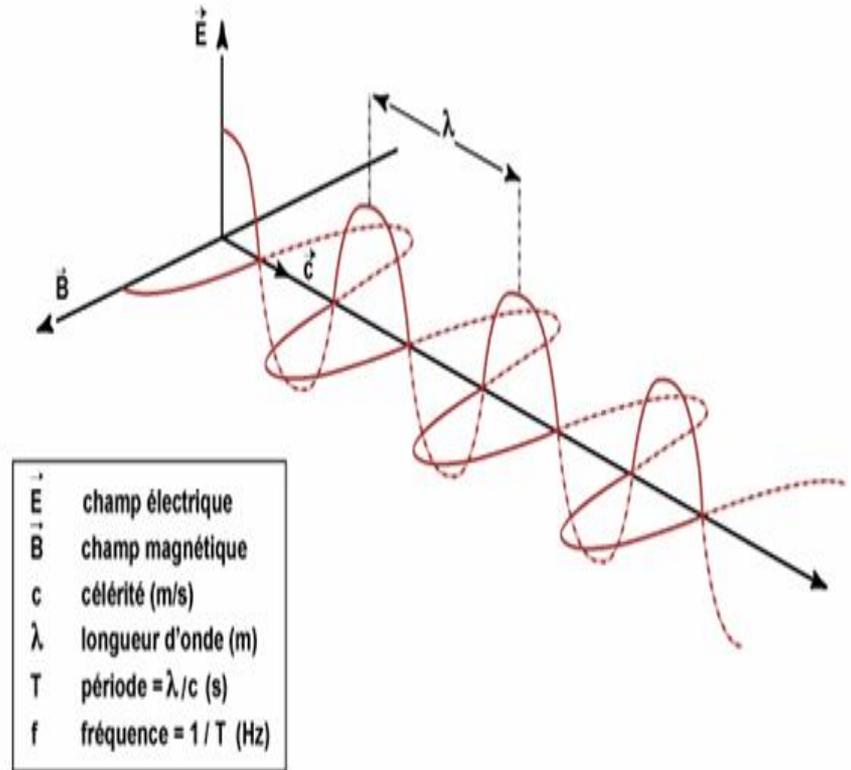
61,000 à 61,500 GHz Bande ISM (fréquences Industrielles Scientifiques et Médicales) -

Bandes de fréquences (HF)

Gamme de fréquences	Supérieures à 300 GHz
Longueur d'ondes	Inférieure à 1 mm
Type de propagation	Ondes directes
Quelques exemples :	
0,3 à 3 THz	Recherche, astronomie...
3 à 380 THz	INFRAROUGE
380 à 760 THz	Lumière visible
760 à 30000 THz	ULTRA-VIOLET
3×10^{16} à 3×10^{18} Hz	RAYONS X
3×10^{18} à 3×10^{22} Hz	RAYONS GAMMA
Au-dessus de 3×10^{22} Hz	RAYONS COSMIQUES

Ondes électromagnétiques

- ⇒ Les ondes électromagnétiques (OEM) sont des ondes créées à la suite de vibrations entre un champ électrique et un champ magnétique. En d'autres termes, les OEM sont composées de champs magnétiques et électriques oscillants.
- ⇒ Elles peuvent se propager dans un milieu matériel ou immatériel.
- ⇒ Une OEM est caractérisée par sa fréquence et sa longueur d'onde.
- ⇒ La relation entre ces deux caractéristiques est donnée par : $\lambda = \frac{v}{f}$
- ⇒ v : est la vitesse de l'onde dans le milieu considéré.
- ⇒ Dans le vide, v caractérise la vitesse de lumière c .
- ⇒ D'après cette équation, la longueur d'onde est inversement proportionnelle à la fréquence.



Ondes radio

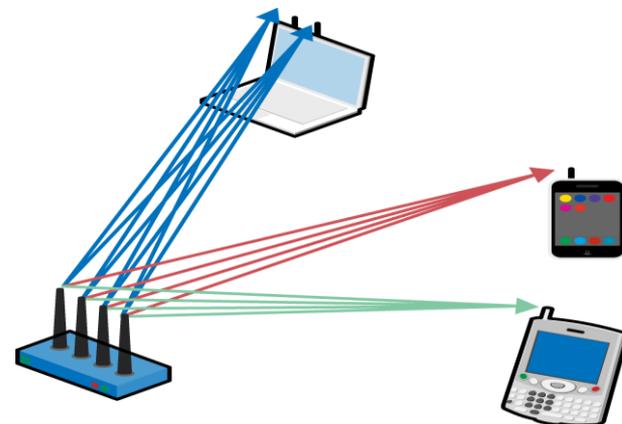
Les systèmes de communication hertziens tels que:

- la radio (anciennement la TSF),
- la télévision,
- le téléphone portable,
- les réseaux sans fil,

→ Utilisent le rayonnement électromagnétique des ondes pour transmettre des informations d'une antenne émettrice à une ou plusieurs antennes réceptrices distantes.



Réseaux
sans fil

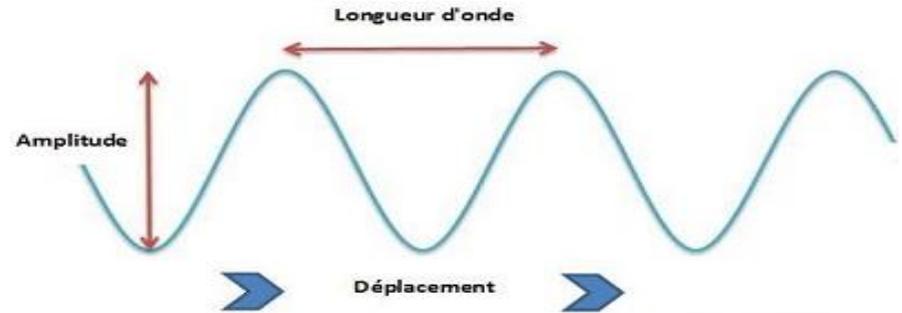
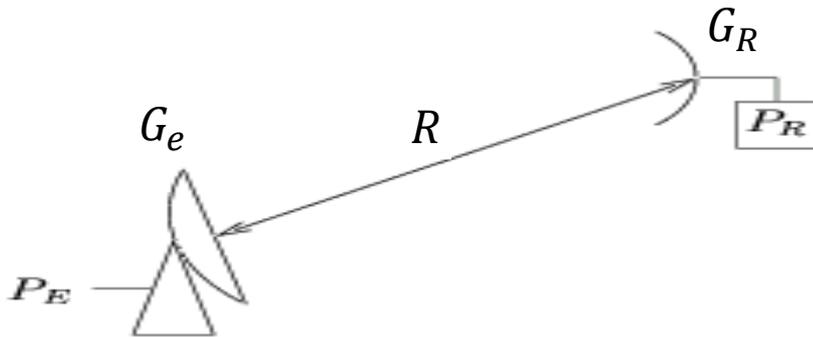


Ondes radio

L'équation des télécommunications, (appelée aussi équation de Friis par les Anglo-Saxons), permet d'obtenir un ordre de grandeur de la puissance radio collectée par un récepteur situé à une certaine distance d'un émetteur en espace libre.

$$\frac{P_R}{P_e} = \frac{G_e G_R}{\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2}$$

P_e est la puissance en watts (W) délivrée à l'antenne d'émission; P_R est la puissance en watts (W) collectée sur l'antenne de réception; G_e est le gain linéaire de l'antenne d'émission; G_R est le gain linéaire de l'antenne de réception; R est la distance en mètres (m) séparant les deux antennes; λ est la longueur d'onde en mètres (m) correspondant à la fréquence de travail.

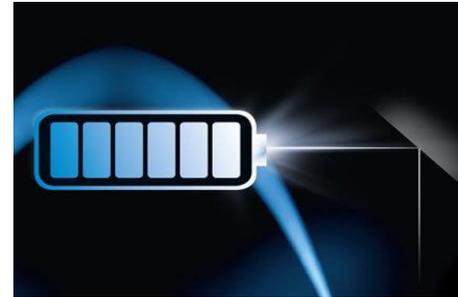


Puissance en dBm

En radiocommunication, la puissance est exprimée par unité relative dBm ou dBw.

Puissance en dBm	Puissance en mW
+ 30	1 000
+ 20	100
+ 10	10
0	1
- 10	0,1
- 20	0,01
- 40	0,000 1
- 60	0,000 001
- 80	0,000 000 01

Puissance: la quantité d'énergie par unité de temps fournie par un système à un autre



Le tableau ci-dessus montre tout l'intérêt de l'unité relative dB.

Ondes radio

L'affaiblissement de puissance A , dit affaiblissement en espace libre, peut s'écrire sous la forme suivante :

$$A = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2$$

En dB, $A_{dB} = 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) = 22 + 20 \log \left(\frac{R}{\lambda} \right)$

Avec: $20 \cdot \log_{10}(4 \cdot \pi) = 22$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

A_{dB} peut aussi se mettre sous la forme suivante :

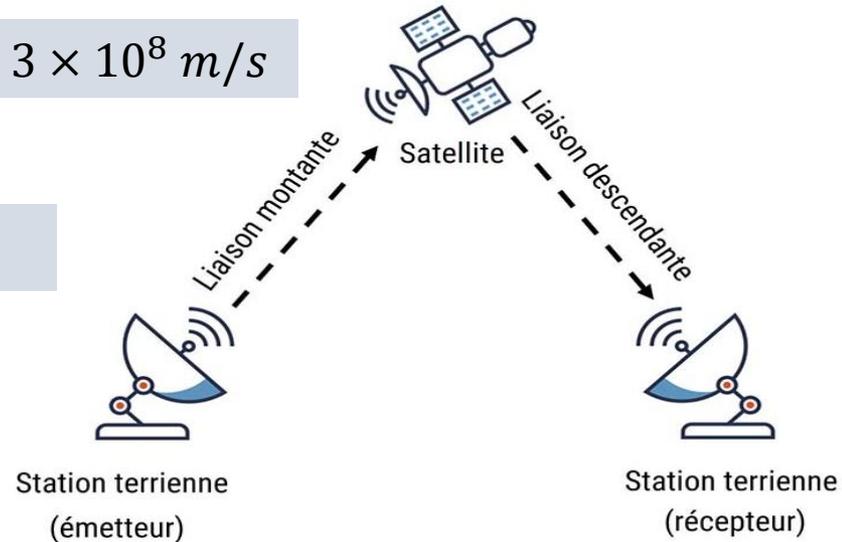
$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$A_{dB} = 32,5 + 20 \log(R(\text{km})) + 20 \log(f(\text{MHz}))$$

Une liaison entre un satellite et une station terrestre la meilleure illustration d'un bilan de liaison.

$$f = 12 \text{ GHz}, R = 36\,000 \text{ km}$$

$$\text{Nous avons : } A = 32,5 + 20 \log(36\,000) + 20 \log(12\,000) \cong 205 \text{ dB}$$



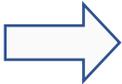
Propagation

Rares sont les cas où la propagation s'effectue en espace libre.

1. Une liaison entre un satellite et une station au sol,
 2. Une liaison point à point par un faisceau hertzien.
- ➔ Ces deux liaisons représentent deux cas idéaux de communication en espace libre.

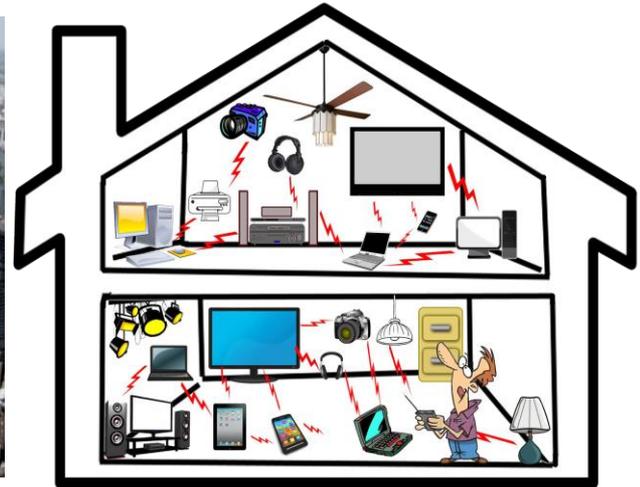

$$A = \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2$$

Dans les autres cas: ➔ Des approximations sont utilisées pour faire une estimation du bilan de liaison. Dans la pratique, par exemple en milieu urbain, on constate que l'atténuation diminue beaucoup plus rapidement que ce qu'elle diminuerait en espace libre. On utilise alors une formule approchée pour estimer l'atténuation :


$$A \approx \left(\frac{4\pi}{\lambda} \right)^2 D^n$$

Propagation

- $n \rightarrow$ pour qualifier le type de milieu;
- Ses valeurs sont issues de l'expérience et de mesures. Il ne s'agit en aucun cas d'un modèle exact;
- $n = 2 \rightarrow$ Espace libre;
- En milieu urbain dégagé, on pourra utiliser des valeurs de n comprises entre 2,7 et 3,5;
- En milieu urbain avec de nombreux obstacles, on choisira n entre 3 et 5;
- Pour la propagation à l'intérieur des bâtiments, on optera pour des valeurs de n entre 4 et 6.

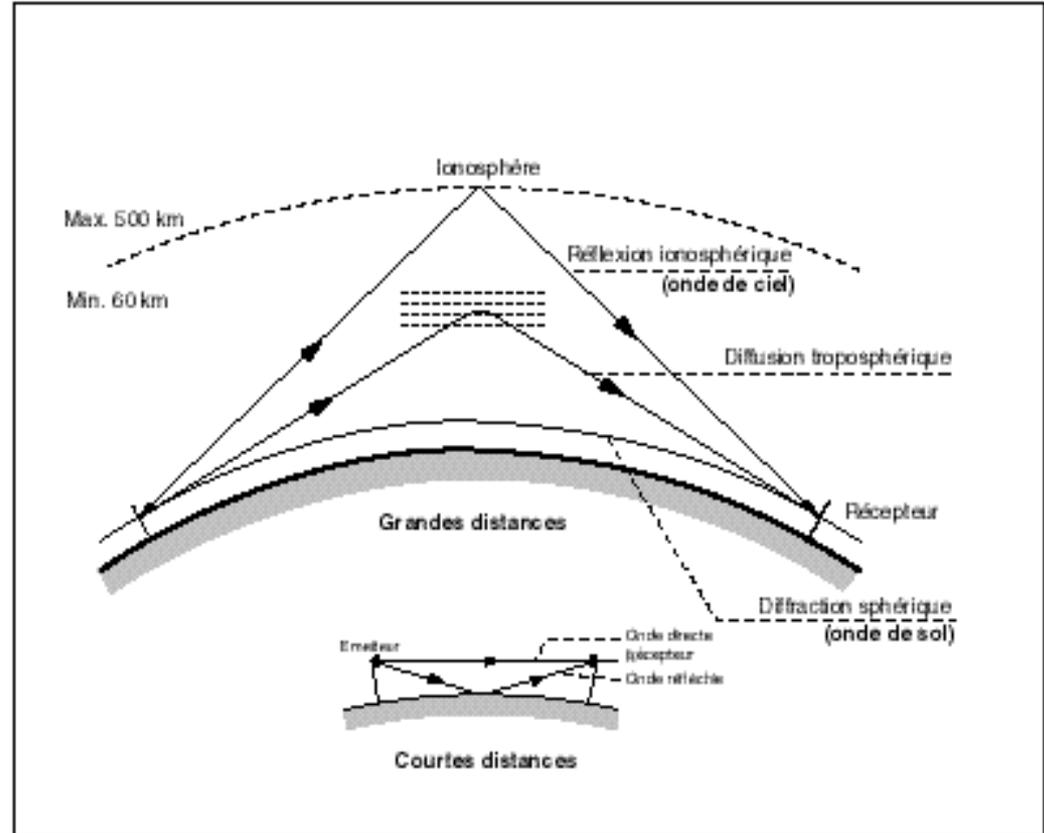


Propagation

Propagation des ondes

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),
- Au moyen de réflexions naturelles ou artificielles (ondes réfractées),
- Au moyen d'une propagation directe.



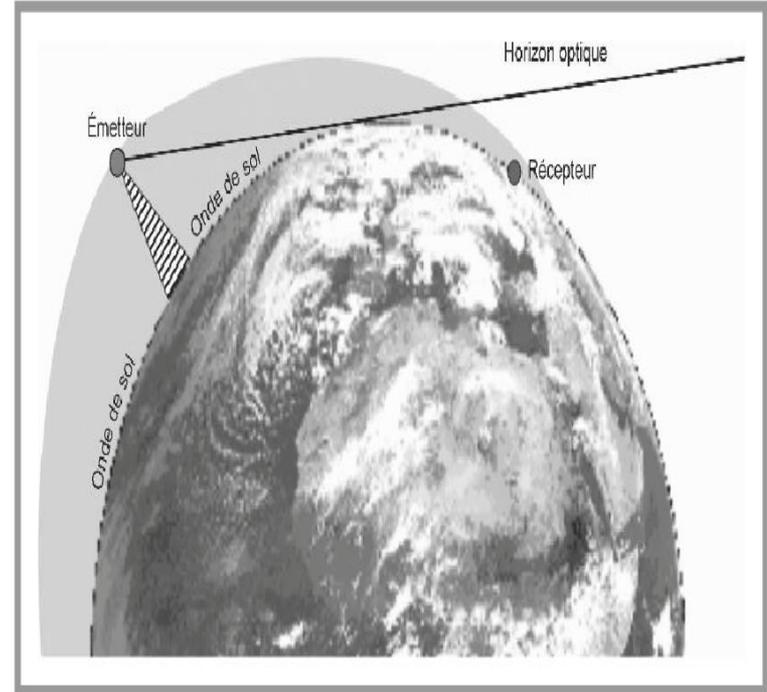
Propagation

Ondes de 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,

→ Ces ondes suivent la courbure 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 (Siemens par mètre),
- de la fréquence,
- de la puissance émise.



Ondes de sol.

Propagation

Ondes de sol

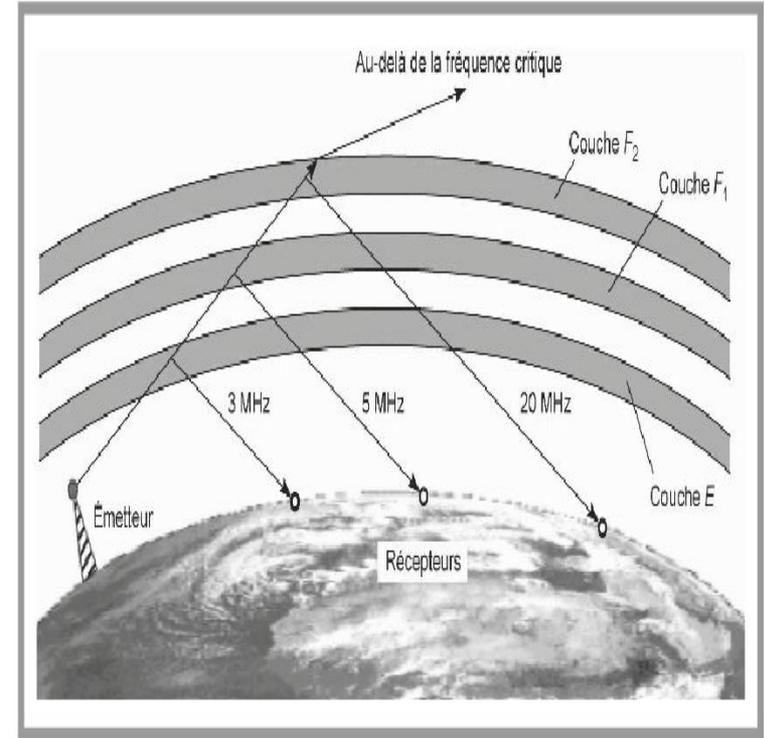
- Plus la conductivité du sol est importante, plus la portée (à puissance émise constante) est grande et moins l'onde pénètre dans le sol;
- La portée des ondes de sol est limitée par la fréquence. Pour des fréquences très basses, les distances atteintes sont de l'ordre de plusieurs milliers de kilomètres. À très basses fréquences, les ondes de sol permettent de transmettre des informations au-delà de l'horizon optique;
- Pour des fréquences plus hautes, les distances atteintes sont de l'ordre de la centaine voire de la dizaine de kilomètres (en HF).

	Fréquence de 1 MHz		Fréquence de 1 GHz	
Neutre	σ en $S.m^{-1}$	Pénétration en m	σ en $S.m^{-1}$	Pénétration en m
Terre sèche	10^{-4}	90	2.10^{-4}	40
Terre humide	10^{-2}	5	0,2	0,2
Eau douce	3.10^{-3}	15	0,2	0,3
Eau de mer	5	0.3	5	10^{-3}

Propagation

Réflexions ionosphériques

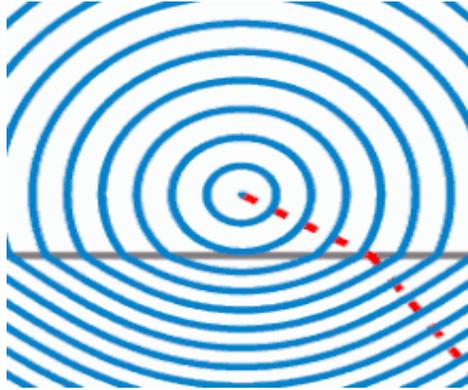
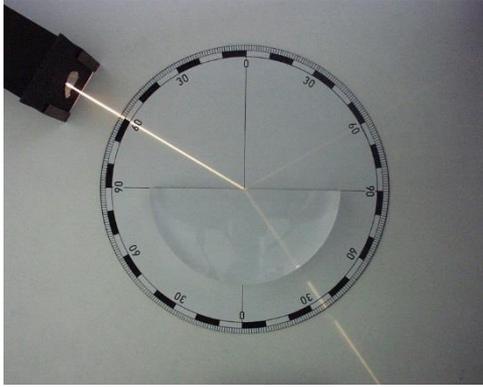
- L'atmosphère est généralement divisée en cinq couches : la troposphère, la stratosphère, la mésosphère, la thermosphère et l'exosphère.
- Vis-à-vis de la propagation des ondes électromagnétiques, la mésosphère et la thermosphère sont regroupées sous le nom d'*ionosphère*.
- Cette couche s'étend sur environ 800 km à 60 km de la surface de la Terre.
- Les énergies solaires et cosmiques ionisent les molécules d'air de cette couche.
- Cette ionisation étant plus importante le jour que la nuit.
- En fonction de la fréquence, les ondes émises en direction de l'ionosphère sont réfléchies en direction de la terre.
- Les couches ionosphériques agissent comme des miroirs.
- En fonction de l'angle d'incidence, l'onde est alors réfléchi ou réfractée.



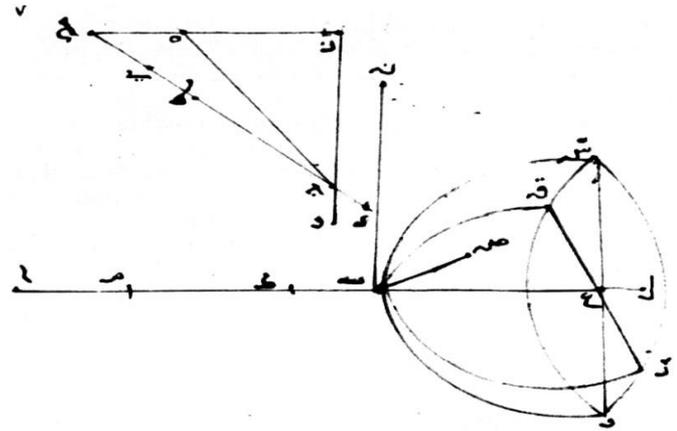
Couches atmosphériques mises en jeu en fonction de la fréquence d'émission.

Propagation

Réfraction



On appelle réfraction le changement de direction que subit un rayon lumineux en passant d'un milieu optique donné à un autre. Ce changement est dû à une modification de la vitesse de propagation à partir du point, appelé point d'incidence, où le rayon lumineux incident frappe l'interface. Par analogie, on peut apparenter le phénomène de réfraction à la chute d'un nageur dans de l'eau suite à un plongeon. En effet, lors de sa rencontre avec le plan d'eau, sa vitesse diminue brusquement.



لانه انما منه عليها سطح مستوي غيره فلا ان هذا السطح يقطع سطح من صر
على نقطة ت فلا بد من ان يقطع احد خطي ب ن بص فليكن ذلك
الخط مبصر والفصل المشدك بين هذا السطح وبين سطح قطع ق ر
خط ب ش فلا ان هذا السطح ياتر مسيط ب على نقطة ت بخط
ب ش ط ا ت ش قطع ق ب د على نقطة ت وكذلك خط ب ص وهذا محال
فلا ياتر مسيط ب على نقطة ت ب سطح مستوي غير سطح ب ن ص

Dessin de Ibn Sahl : première mention de la loi de la réfraction.

Propagation

l'ionosphère

On distingue dans l'ionosphère trois couches D, E et F aux propriétés électroniques, climatologiques et optiques. (Pa: Pascal),

Paramètres	Couche D	Couche E	Couche F
Altitude (km)	60 à 80	80 à 140	140 à 800
Pression (Pa)	2	0,01	10^{-4}
Température (°C)	-76	-50	+1 000
Densité électronique ($e.cm^{-3}$)	10^4	10^5	10^6
Indice de réfraction	0,99 (à 70 km)	0,95 (à 120 km)	0,31 (à 300 km)

- La couche D est la couche la plus basse, Elle réfléchit certaines ondes des bandes VLF et LF, absorbe partiellement les ondes MF et transmet de manière atténuée les ondes HF.
- La couche E, comme la couche D, n'est présente que le jour. Elle réfléchit les ondes HF permettant des communications de plus de 1000 km.
- La couche F est tout le temps présente avec la particularité de se dédoubler la journée pour former deux sous-couches F1 et F2 à des altitudes respectivement plus basses (environ 140 km) et plus hautes (environ 400 km).
- Comme pour la couche E, la couche F réfléchit les ondes HF dont les fréquences sont inférieures à une fréquence appelée *fréquence critique*. Au-delà de cette fréquence et suivant leurs incidences, les ondes sont transparentes pour la couche ionosphérique. Elles ne sont pas renvoyées vers la Terre.