

Chapitre I: Introduction aux Hyperfréquences

Sommaire

I. Définition et classification

1. Définition
2. Classification
3. Attribution de fréquence

II. Propagation et transmission

1. Transmission
2. Modes de propagation
3. Atténuation atmosphérique

III. Domaines d'application

1. Information
2. Energie

Bibliographie

I. Définition et classification

1. Définition

Les hyperfréquences (Ou les micro-ondes) sont des ondes électromagnétiques (OEM) qui se situent dans le spectre EM entre les radiofréquences (Fréquences plus basses) et l'infrarouge (fréquences plus élevées). Leur domaine de fréquence s'étend entre 300MHz et 300GHz ($1\text{MHz} = 10^6 \text{ Hz}$, $1\text{GHz} = 10^9 \text{ Hz}$).

La fréquence f d'une onde est reliée à sa longueur d'onde λ dans l'air ou dans le vide par :

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

Avec :

- $C = 3.10^8 \text{ m/s}$: vitesse ou célérité des OEM dans le vide
 - λ = Période spatiale : Distance parcourue par l'OEM pendant une période temporelle.
 - A 300MHz $\Rightarrow \lambda = 1\text{m}$
 - A 300GHz $\Rightarrow \lambda = 1\text{mm}$
- } Et ce donc pour un signal hyperfréquence

\Rightarrow Les périodes temporelles se situent entre 3 ns et 3ps.

Les micro-ondes sont donc des ondes :

- **Décimétriques**: entre 300MHz ($\lambda = 10\text{dm}$) et 3GHz ($\lambda = 1\text{dm}$)
- **Centimétriques**: entre 3GHz ($\lambda = 10\text{cm}$) et 30GHz ($\lambda = 1\text{cm}$)
- **Millimétriques**: entre 30GHz ($\lambda = 10\text{mm}$) et 300GHz ($\lambda = 1\text{mm}$)

2. Classification

Dans le spectre EM on trouve à partir des ondes les plus longues :

- **Les fréquences radioélectriques** : [30KHz ($\lambda = 10\text{Km}$), 300MHz ($\lambda = 1\text{m}$)]
- **Les hyperfréquences** : [300MHz($\lambda = 1\text{m}$), 300GHz($\lambda = 1\text{mm}$)]
- **Les fréquences infrarouges IR** : [300GHz ($\lambda = 1 \text{ mm}$), 300THz($\lambda = 1\mu\text{m}$),]
- **Les fréquences visibles** : [Rouge : 300THz ($\lambda = 0.9\mu\text{m}$), violet : 600THz($\lambda = 0.5\mu\text{m}$)]
- **Les fréquences ultraviolettes UV** : [600THz ($\lambda = 0.5\mu\text{m}$), 3.10^{16}Hz ($\lambda = 10\text{nm}$)]
- **Les rayons X et les rayons gamma** : pour les fréquences $f > 3.10^{16}\text{Hz}$ ($\lambda = 10^{-8}\text{m}$)

Bande de fréquences	Désignation	Applications typiques
3 – 3 KHz	Very Low Frequency (VLF)	Navigation, sonar
30 – 300 KHz	Low Frequency (LF)	Balises radio, aide à la navigation
300 – 3000 KHz	Medium Frequency (MF)	Radiodiffusion AM, radio maritime
3 – 30 MHz	High Frequency (HF)	Téléphone, télégraphe et fax, Radiodiffusions internationales ondes courtes, radio amateur,
30 – 300 MHz	Very High Frequency (VHF)	Télévision, Radiodiffusion FM, contrôle du trafic aérien, aide à la navigation
300 – 3000 MHz	Ultra High Frequency (UHF)	Télévision, communications satellites, sondes radio, surveillance radar, aide à la navigation
3 – 30 GHz	Super High Frequency (SHF)	Radar satellite, liaisons micro-ondes, communications mobiles, communications satellites
30 – 300 GHz	Extreme High Frequency (EHF)	Radar, expériences

Tableau 1 : Classsification des hyperfréquence en bandes de fréquences.

❖ **Classification en décade des bandes de fréquences ou en gamme de longueur de d'ondes**

- **Les Hautes Fréquences (High Frequency) HF** : de 3MHz à 30MHz ($\lambda=100\text{m}$, $\lambda=10\text{m}$) \Rightarrow Ondes décamétriques.
- **Les Vraies Hautes Fréquences (Very High Frequency) VHF** : de 30MHz à 300MHz ($\lambda=10\text{m}$, $\lambda=1\text{m}$) \Rightarrow Ondes métriques.
- **Les Ultra Hautes Fréquences (Utra High Frequency) UHF** : de 300MHz à 3GHz ($\lambda=10\text{dm}$, $\lambda=1\text{dm}$) \Rightarrow Ondes décimétriques.
- **Les Super Hautes Fréquences (Super High Frequency) SHF** : de 3GHz à 30GHz ($\lambda=10\text{cm}$, $\lambda=1\text{cm}$) \Rightarrow Ondes centimétriques.
- **Les Extra Hautes Fréquences (Extra High Frequency) EHF** : de 30GHz à 300GHz ($\lambda=10\text{mm}$, $\lambda=1\text{mm}$) \Rightarrow Ondes millimétriques.

Bande	Bande de f	Gamme de λ
L	1 - 2 GHz	30 - 15cm
S	2 - 4 GHz	15 - 7,5cm
C	4 - 8 GHz	7,5 - 3,75cm
X	8 - 12 GHz	3,75 - 2,5cm
Ku	12- 18 GHz	2,5 - 1,67cm
K	18 - 27GHz	1,67 - 1,11cm
Ka	27 - 40GHz	1,11 - 0,75cm
U	40 - 60GHz	7,5 - 5mm
V	60 - 80GHz	5 - 3,75mm
W	80 - 100GHz	3,75 - 3mm

Tableau 2:- Désignation militaire des hyperfréquences.

3. Attribution de fréquence

L'Union internationale des télécommunications ou UIT (en anglais International Telecommunications Union ou ITU) est l'agence des Nations unies pour le développement spécialisé dans les technologies de l'information et de la communication, basée à Genève (Suisse). Elle compte 193 états membres et 700 membres et associés du secteur. Elle est chargée de la réglementation et de la planification des télécommunications dans le monde, elle établit les normes de ce secteur et diffuse toutes les informations techniques nécessaires pour permettre l'exploitation des services mondiaux de télécommunications. Dans ce cadre, elle gère aussi l'attribution des bandes de fréquences radioélectriques pour la communication hertzienne (ITU Radiocommunications sector, anciennement International Frequency Registration Board), et assigne les orbites aux satellites envoyés dans l'espace. Son domaine de compétence s'étend aussi à l'Internet haut débit, aux dernières technologies de communications sans fil, à la navigation maritime et aéronautique, à la météorologie par satellite, à la convergence fixe-mobile, à l'accès à Internet, aux données, à la voix, à la télédiffusion et aux réseaux mobiles de nouvelle génération.



Figure 1 :Logo de l'Union internationale des télécommunications.

II. Transmission et propagation

1. Transmission

Deux types de transmissions existent :

- **Les transmissions par lignes** : dans lesquelles le signal qui se propage est un courant électrique ou plus généralement des OEM guidées. Les lignes utilisées sont du type bifilaire, coaxiale, guide d'ondes, fibre optiques...
 - les lignes coaxiales sont utilisées par exemple dans les équipements nécessitant une grande précision (Exemple : Analyseur de réseaux).
 - Les guides d'ondes ont pour principale fonction le transport de l'information entre deux points distincts de l'espace. Les guides d'ondes assurent également la transmission de grande puissance au niveau d'un émetteur (kW-MW).
- **Les transmissions sans lignes** : pour lesquelles le signal qui se propage est une OEM en espace libre. Ce sont des liaisons à faisceau hertzien (FH) lorsque la propagation a lieu entièrement dans l'atmosphère et les liaisons par satellite artificiel lorsque la propagation utilise en relais un satellite artificiel.

2. Modes de propagation

Les ondes hertziennes ($F=3.10^4$ à 3.10^{11} Hz) ($\lambda=104$ à 10^{-3} m) utilisent divers type de propagation :

- a. les ondes kilométriques ou hectométriques se propagent par ondes des surfaces suivant le sol conducteur sur des centaines de kilomètres.

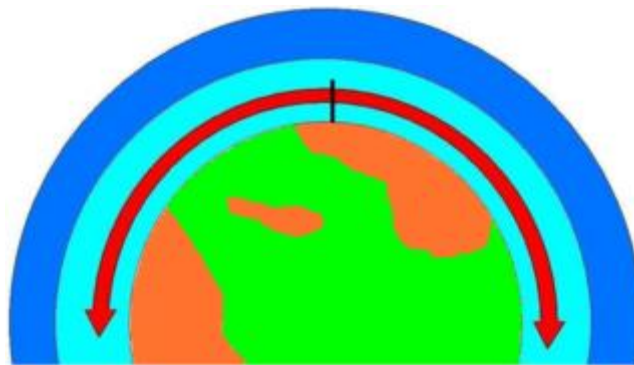


Figure 2 : Propagation des ondes kilométriques.

- b. les ondes décamétriques jusqu'à 30MHz, se propagent par réflexion sur l'ionosphère (couche ionisée par le soleil située entre 50 et 400km et plus d'altitude. Ionosphère se comporte comme un miroir (très complexe envoie les ondes vers le sol. Il s'agit d'une couche fortement ionisée par le soleil et les ondes cosmiques : densité électronique $N=10^{-11}.e^{-}.m^{-3}$).



Figure 3 : Propagation des ondes décimétriques.

- c. les ondes métriques peuvent être réfléchies ou réfractées par des changements brusques d'indices de réfraction dans la troposphère (altitude de 10km) dus à des gradients de températures et de degrés d'humidité importants.
 - d. les micro-ondes se propagent en visibilité directe (comme la lumière). Elles traversent l'ionosphère et ne sont pas absorbées par l'atmosphère au-dessous de 12GHz. Au-delà, l'énergie E.M peut être transférée aux molécules et atomes qui résonnent à certaines fréquences avec absorption. Exemple :
 - oxygène 60 et 120GHz
 - vapeur d'eau atmosphérique 23 et 180GHz.
- Les hyperfréquences sont donc utilisées pour les télécommunications terrestres et spatiales.

3. Atténuation atmosphérique

L'atténuation dans l'atmosphère des ondes électromagnétiques affecte la transmission des communications radio, de la télévision, des téléphones mobiles, des satellites, des radars, etc. Le calcul prévisionnel de cette atténuation doit prévoir le type d'instrument à utiliser et les relais à installer. L'état de l'atmosphère et les précipitations font varier l'absorption de l'air. Les obstacles (édifices, relief, etc.) causent de la diffusion, de la réfraction et des réflexions multiples qui s'ajoutent au signal et font varier l'atténuation effective considérablement d'un endroit à un autre, même proche.

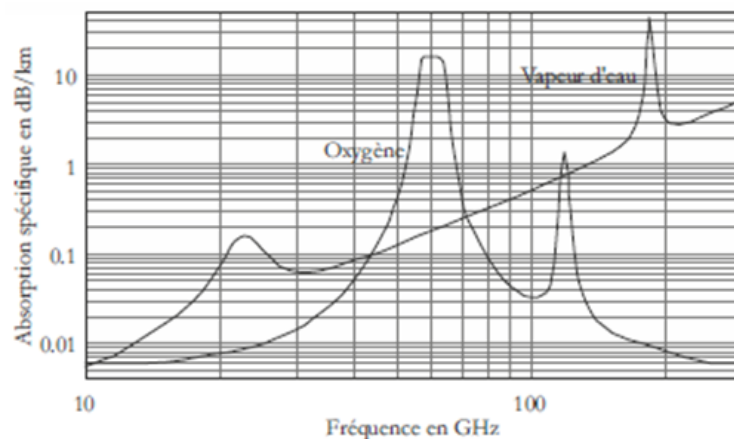


Figure 1 : Diagramme d'atténuation d'un signal électromagnétique dans l'atmosphère selon la fréquence

III. Domaines d'applications

1. Information

a. Téléphonie mobile

Les communications mobiles ont connu un développement rapide et considérable depuis les années 1970, Figure. La première génération du téléphone portable (Radiocom 2000) a fourni la transmission vocale en utilisant des fréquences autour de 400MHz et une modulation analogique. La seconde génération a rencontré un énorme succès parce qu'elle répondait au besoin et aux exigences des utilisateurs : la mobilité et la qualité améliorée des services voix sur des appareils de plus en plus petits et plus autonome avec des modulations numériques. Les applications de données ont donné naissance aux normes GSM à 900MHz, DCS à 1800MHz, PCS à 1900MHz, GPRS, EDGE. La troisième génération, a fourni des débits beaucoup plus élevés, augmentation significative de la capacité de voix et l'apparition des nouveaux services tels que l'internet mobile et les services multimédia, d'où la naissance des standards UMTS et IMT 2000 qui sont développés autour de 2GHz.

LTE est la norme globale pour la quatrième génération de téléphone mobile. L'utilisation de différentes interfaces Radio avec un seul réseau permet d'améliorer la capacité et donc la vitesse. A présent, la 5G est en cours de déploiement. Quelques bandes de fréquences conviennent à la future utilisation dans les bandes suivantes : 410-430, 470-790, 1000-1700, 2025-2210, 2200-2290, 2700-5000, 5350-5470 et 5850- 6425.

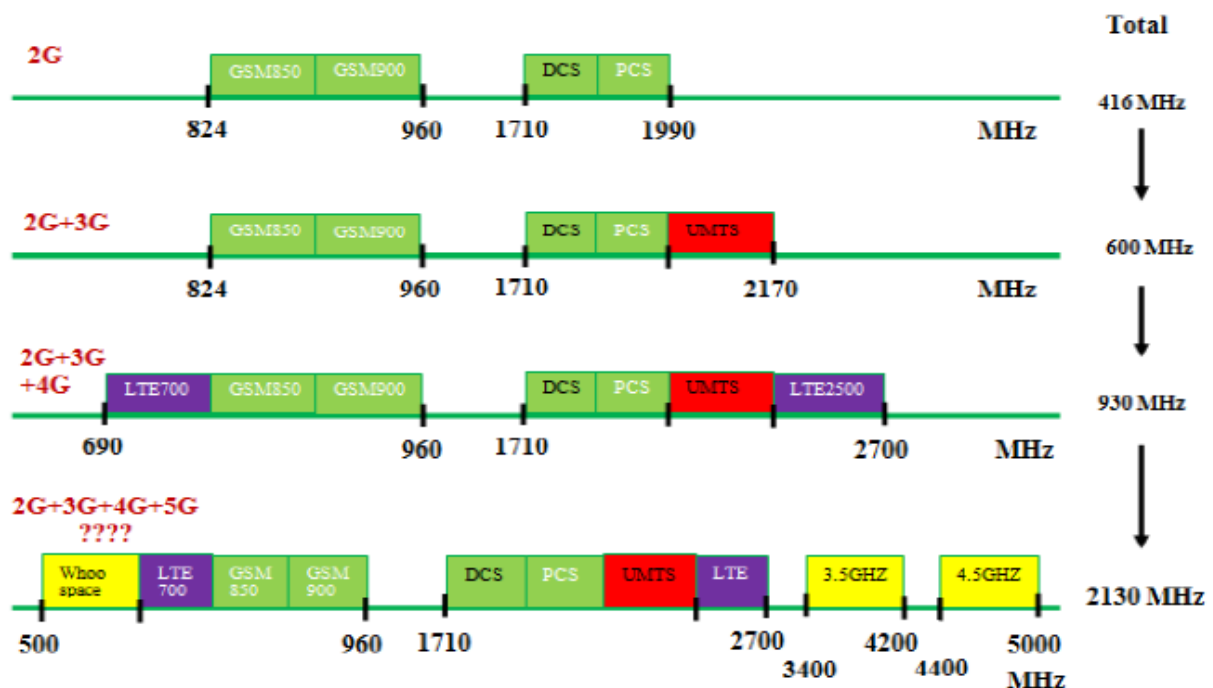


Figure 2 : Spectre de fréquence pour les standards téléphoniques.

- **Communication par satellite**

Les satellites de télécommunication jouent un rôle extrêmement important dans le transfert d'information, qu'il s'agisse du téléphone, de la télévisions ou d'internet...

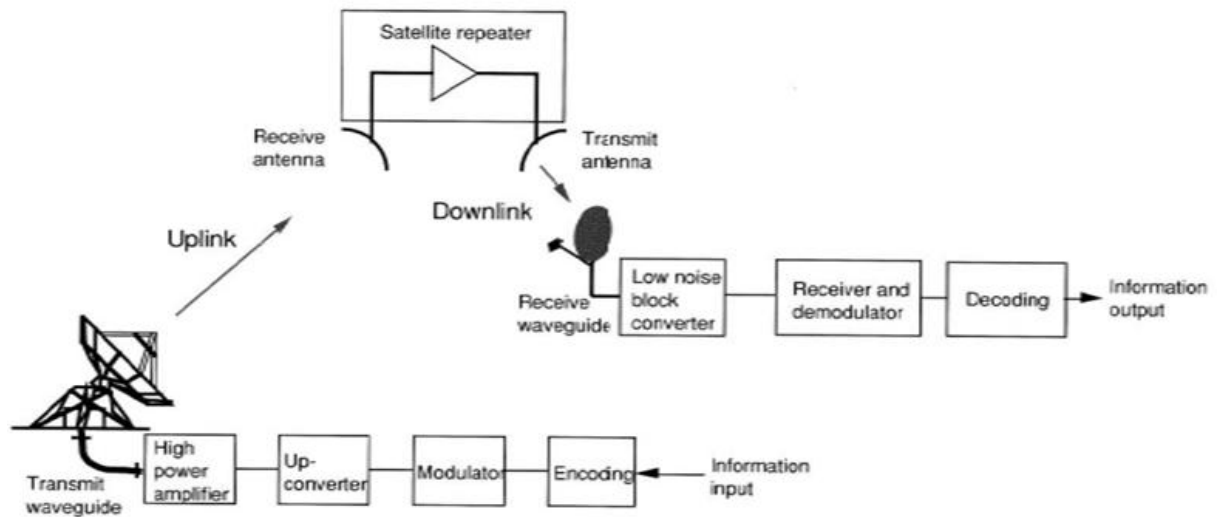


Figure 1 :Schéma d'une liaison spatiale.

• Systèmes RADAR

Le RADAR est un acronyme pour **RA**dio**D**étection **And** **R**anging. Le système de radar utilise des ondes électromagnétiques pour déterminer la portée, l'altitude et la vitesse d'une cible fixe ou mobile. En raison de la propriété des ondes radio qui leur permet d'être réfléchies par des objets solides, le radar peut être utilisé pour détecter n'importe quelle cible qui possède une grande surface suffisante pour que les ondes «rebondissent» sur elle et se retournent.

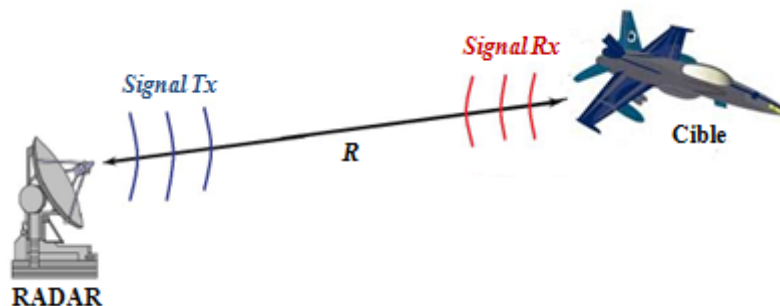


Figure 2 :Schéma d'une liaison RADAR.

Applications civiles	Applications militaires
Aide au transport aérien	Détection des cibles ennemies
Aide à la navigation maritime	Poursuite (Tracking) des cibles ennemies
Météorologie	Missiles guidés
Agriculture	

Tableau 3 : Les applications civiles et militaires des RADAR.

2. Energie

- **Chauffage industriel et domestique : principe**

Grace à l'utilisation de magnétrons comme tube de puissance et la propriété des hyperfréquences, de pénétrer au cœur de matériaux de type diélectrique à pertes, il est possible d'y dissiper de l'énergie. Ceci permet un chauffage plus rapide et plus homogène que par les méthodes traditionnelles. La fréquence utilisée est de 2.45GHz (attribué aux usages industriel, scientifiques et médicaux ISM).

Du point de vu de la physique quantique, le rayonnement électromagnétique est un flux de photons d'énergie $h\nu$ (h : constante de Planck = $4,14.10^{-15} \text{ eV} = 6,63.10^{-34} \text{ Js}$)

En hyperfréquences, un photon a donc une énergie située entre $1,2.10^{-6}$ et $1,2.10^{-3} \text{ eV}$.

A 2,45GHz ($\lambda=12\text{cm}$), le photon micro-ondes est $2,33.10^{-4} \text{ kcal/mole}$. Ce qui est trèsinférieureaux énergies de liaison intra ou même intermoléculaires. C'est à dire que l'énergie d'un photon micro-ondes est trop faible pour casser ou pour modifier des liaisons chimiques quelles qu'elles soient.

L'énergie du photon micro-ondes aura pour effet de contribuer à la rotation, à l'allongement des molécules (accompagnés par un frottement) entrainant ainsi un échauffement du milieu.

Bibliographie

1. *Micro-ondes : Tome 1, Lignes, guides etcavités, P.F.Combes, Dunod.*
2. *Microwave Engeneering, D.M. Pozar, Wiley.*
3. *Électronique Appliquée aux Hautes Fréquences, F.de Dieuleveult et O. Romain, Dunod.*
4. *Cours Hyperfréquences, Habib ZANGAR.*