

LIAISONS HERTZIENNES

1 – Notions générales



Objectifs : Appréhender et assimiler les paramètres intervenant dans une liaison hertzienne.

Un bref historique des télécommunications

La transmission à distance de l'information a toujours été une préoccupation humaine importante.

Dans l'antiquité, des messagers parcouraient à pied la distance entre l'émetteur et le récepteur du message. A cette époque, l'information ne se déplaçait pas à la vitesse de la lumière et on ne connaissait pas les autoroutes de l'information.

Plus tard, l'homme a utilisé des liaisons optiques. D'abord rudimentaires (signaux de fumée, feu pour avertir d'un danger), elles ont été améliorées plus tard : le télégraphe Chappe permettait vers 1800 de transmettre des messages en utilisant des signaux optiques à l'aide de sémaphores.

En 1832, Samuel Morse invente le télégraphe. C'est le premier système de transmission utilisant des signaux électriques se propageant sur une ligne. On transmet sur la ligne une suite d'impulsions brèves ou longues pour créer des symboles (lettres de l'alphabet).

Ce système était très intéressant mais il nécessitait un support physique (une ligne électrique) entre l'émetteur et le récepteur.

A la fin du 19ème siècle, les physiciens ont mis en évidence les ondes électromagnétiques (Maxwell, Hertz). Guglielmo Marconi, un physicien italien réalise en 1895 la première transmission radio (on parlait alors de TSF : Télégraphie sans fil) sur une distance de 1,5 km.

Au cours de 20ème siècle, les progrès ont été spectaculaires : En France, en février 2009, il y avait 58 millions de clients aux téléphones mobiles pour un peu plus de 64 Millions de Français (bébés et centenaires inclus !).

Nous vivons à l'époque des télécommunications !

Intérêt des liaisons hertziennes.

Les supports de transmission

Dans les télécommunications, on distingue actuellement trois grandes familles de supports de transmission de l'information numérique :

- les liaisons filaires (ou lignes de transmission).
- les liaisons hertziennes.
- les liaisons optiques.

Il existe deux types de liaisons optiques :

- liaison par fibre optique (optique guidée).
- liaison optique en espace libre (exemple : liaison infrarouge télécommande-téléviseur).

Nous n'étudierons en détail dans ce chapitre que les liaisons hertziennes, mais nous allons détailler les avantages et inconvénients de celle-ci par rapport aux autres support de transmission.

Intérêts et inconvénients

L'intérêt principal des liaisons hertziennes et qu'elles ne nécessitent pas de support physique entre l'émetteur et le récepteur de l'information.

C'est le moyen de communication idéal pour les liaisons avec les objets mobiles: piétons, automobiles, bateaux, trains, avions, fusées, satellites, etc..

Les liaisons hertziennes sont intéressantes dans le cas de la diffusion (radio diffusion et télédiffusion), où l'on a un émetteur et plusieurs récepteurs. En effet pour couvrir une ville, il est plus simple et moins cher d'installer un émetteur et une antenne chez chaque particulier, plutôt que de relier par câble chaque particulier !

Les inconvénients principaux des liaisons hertziennes (par rapport aux autres supports) sont aussi liés à l'absence de support physique :

- Comment faire pour que tout le monde puisse communiquer en même temps ?

Ce problème n'existe pas par rapport à une liaison filaire : chacun son câble ! Dans le cas des liaisons hertziennes, ceci impose une gestion stricte des fréquences : Chaque système de transmission radio dispose d'une certaine bande de fréquence qui lui est allouée.

- Comment garantir la confidentialité de transmission entre l'émetteur et le récepteur ? N'importe quel « espion » peut intercepter une communication puisque l'information est transmise en « espace libre ».

Cet inconvénient est corrigé par l'utilisation de cryptage de l'information entre l'émetteur et le récepteur.

Les systèmes utilisant les liaisons hertziennes

Quelques exemples de systèmes utilisant les liaisons hertziennes, la liste qui suit n'est, bien sûr, pas exhaustive.

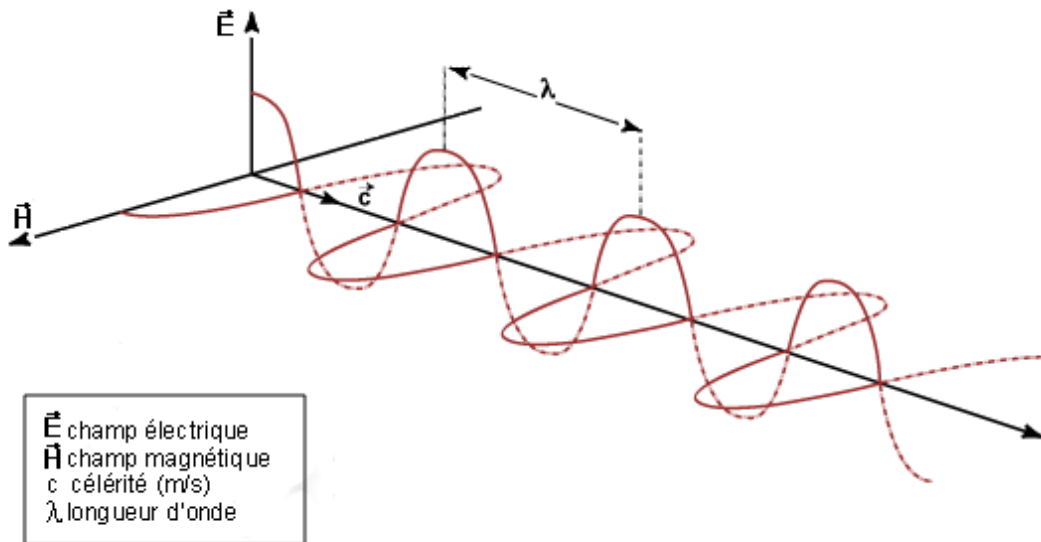
- Radiodiffusion (en modulation d'amplitude ou de fréquence)
- Télédiffusion (analogique ou numérique, terrestre ou par satellite)
- Radiocommunications : Talkie-walkie, CB, liaison VHF pour avions ou bateaux
- Faisceaux hertziens.
- Téléphonie : téléphone DECT (réseau de téléphones sans fil à l'intérieur d'une maison ou d'une petite entreprise), téléphone mobile.
- Internet : Liaison Wi-Fi (réseau Internet sans fil à l'intérieur d'une maison ou d'une petite entreprise).

La propagation des ondes électromagnétiques

Rappel sur les ondes

Dans une liaison hertzienne, c'est une onde électromagnétique qui « porte » l'information à transmettre.

Une onde électromagnétique est constituée d'un champ électrique E et d'un champ magnétique H , couplés entre eux : les deux champs sont perpendiculaires l'un à l'autre, leurs amplitudes sont en rapport constant et leurs variations sont en phase.



Caractéristiques d'une onde électromagnétique

Les caractéristiques principales d'une onde électromagnétique sont :

La polarisation : C'est l'orientation du champ électrique par rapport à l'horizontale.

Si le champ \vec{E} est parallèle à l'horizontale, on dit que l'onde a une polarisation horizontale. Si le champ \vec{E} est perpendiculaire à l'horizontale, on dit que l'onde a une polarisation verticale.

Dans le cas général (angle quelconque du champ \vec{E}), on a alors une composante horizontale et une composante verticale.

Remarque : Certaines antennes génèrent des ondes qui ont une polarisation circulaire ou elliptique : la polarisation varie au cours de la propagation.

Cette notion sera revue plus loin, lors de l'étude des antennes.

La vitesse de propagation : Dans le vide, une onde électromagnétique se propage à la vitesse de la lumière $c = 3.10^8$ m/s.

La fréquence : En un point donné, c'est le nombre de maxima de champ par seconde. Elle est égale à la fréquence du générateur qui a donné naissance à l'onde. L'unité est le Hertz. On la note f .

La longueur d'onde : c'est la distance entre deux maximums consécutifs ou bien c'est la distance parcourue par l'onde pendant la durée d'une période. On la note λ .

Relation :

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



Exercice 1:

Q.1) Pour une onde polarisée horizontalement, quelle est l'orientation du champ magnétique \vec{H} ?

Europe 1 émet en grandes ondes sur la fréquence de 183 kHz. L'émetteur est situé en Allemagne (Land de Sarre) à environ 450 km de Paris, il émet une puissance de 2000 kW (il n'y a pas de faute de frappe !).

Q.2) Déterminer la longueur d'onde de l'onde émise par l'émetteur d'Europe 1.

Comment transmettre un signal par liaison hertzienne ?

Pour transmettre un signal par liaison hertzienne, une solution (faussement) simple pourrait être de transmettre le signal directement, en reliant directement le générateur d'information à une antenne. On réaliserait alors ce qu'on appelle une liaison en bande de base.

Ceci n'est jamais réalisé en pratique.

En effet, les signaux transmis généralement sont des signaux audio, vidéo ou numériques. Ces informations ont un spectre basse fréquence et assez étendu.

Ils ne peuvent donc être transmis directement pour les raisons suivantes :

- le canal hertzien a une atténuation qui varie fortement avec la fréquence et coupe les basses fréquences.
- Les antennes devraient avoir des dimensions gigantesques pour avoir des performances honorables (plus la fréquence est haute et plus les antennes sont petites).
- Une fois qu'un générateur émettrait, il perturberait toutes les autres liaisons.

C'est pour ces raisons que les liaisons hertziennes sont réalisées à des fréquences élevées de telle manière que la bande occupée par le message à transmettre soit très inférieure à la fréquence de l'onde porteuse.

On retiendra : Pour transmettre un signal par liaison hertzienne, il faut « accrocher » le signal basse fréquence (le message à transmettre) à une onde de haute fréquence (la porteuse). C'est l'opération de modulation.

La gestion du spectre

Les ondes électromagnétiques sont classées en fonction de leur fréquence ou de leur longueur d'onde. Le spectre électromagnétique s'étend des rayons γ jusqu'au très basse fréquences.

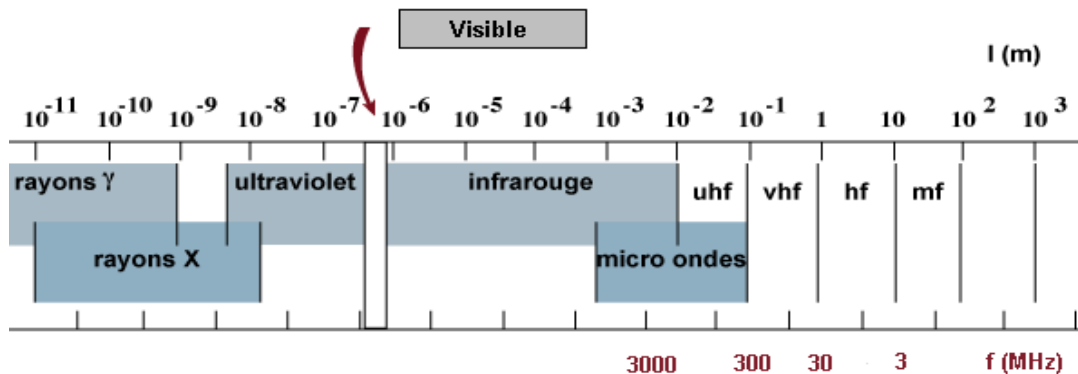


Figure extraite du « **Traité d'électricité et d'électronique pour le radioamateur** »

Nous nous intéresserons dans ce chapitre uniquement aux ondes radioélectriques, ondes dont la fréquence est comprise entre 9KHz et 3000 GHz, ce qui correspond à des longueurs d'onde comprises entre 33 km et 0,1 mm. L'ensemble de ces fréquences constitue le spectre radiofréquence.

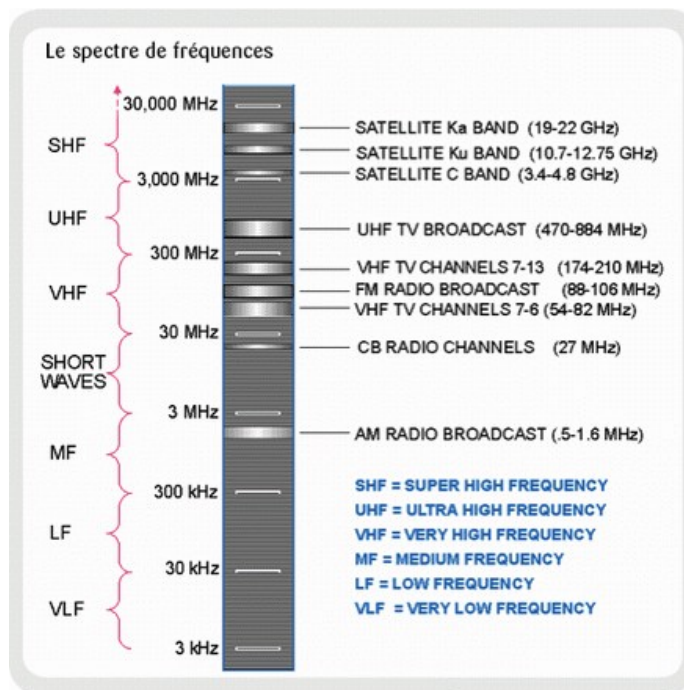
Désignation internationale	Désignation francophone	Fréquence	Longueur d'onde	Autres appellations	Exemples d'utilisation
ELF (<i>extremely low frequency</i>)	EBF (extrêmement basse fréquence)	3 Hz à 30 Hz	100000 km à 10000 km		Détection de phénomènes naturels
SLF (<i>super low frequency</i>)	SBF (super basse fréquence)	30 Hz à 300 Hz	10000 km à 1000 km		Communication avec les sous-marins
ULF (<i>ultra low frequency</i>)	UBF (ultra basse fréquence)	300 Hz à 3000 Hz	1000 km à 100 km		Appareil de recherche de victimes d'avalanche
VLF (<i>very low frequency</i>)	TBF (très basse fréquence)	3 kHz à 30 kHz	100 km à 10 km	ondes myriamétriques	Communication avec les sous-marins, Implants médicaux, Recherches scientifiques...
LF (<i>low frequency</i>)	BF (basse fréquence)	30 kHz à 300 kHz	10 km à 1 km	grandes ondes ou ondes longues ou kilométriques	Radionavigation, Radiodiffusion GO, Radio-identification
MF (<i>medium frequency</i>)	MF (moyenne fréquence)	300 kHz à 3 MHz	1 km à 100 m	petites ondes ou ondes moyennes ou hectométriques	Radio AM
HF (<i>high frequency</i>)	HF (haute fréquence)	3 MHz à 30 MHz	100 m à 10 m	ondes courtes ou décamétriques	Communication pour les vols long courrier, Radio-identification...
VHF (<i>very high frequency</i>)	THF (très haute fréquence)	30 MHz à 300 MHz	10 m à 1 m	ondes ultra-courtes ou métriques	Radio FM, Télévision

Tableau extrait de Wikipédia, article onde radio (Janvier 2010)

Comme nous l'avons vu, le spectre électromagnétique est un ressource rare. N'importe qui ne peut pas émettre n'importe comment. Chaque système de transmission radio dispose d'une certaine bande de fréquence qui lui est allouée.

L'attribution des fréquences s'effectue dans le cadre d'organismes internationaux en particulier la Conférence mondiale des radiocommunications (CMR) et l'Union internationale des télécommunications (UIT).

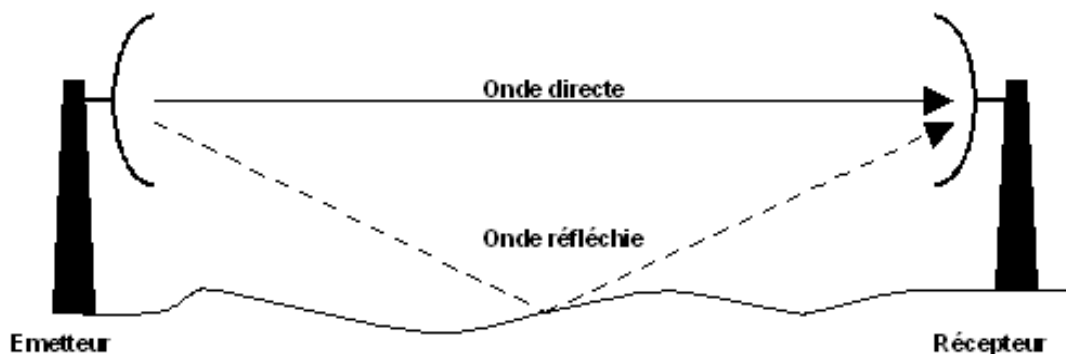
La figure ci-dessous montre quelques différentes applications de télécommunications en fonction des fréquences.



BROADCAST : Télédiffusion et Radiodiffusion

La propagation dans l'environnement terrestre

Lorsque on effectue sur la terre une transmission entre un émetteur et un récepteur, le récepteur reçoit une onde directe émise par l'émetteur mais aussi une onde réfléchie.



La réflexion peut se faire sur la terre, sur la mer, mais parfois aussi sur les hautes couches de l'atmosphère (ionosphère).

L'onde directe est celle qui parcourt le chemin le plus court (la ligne droite).

L'onde réfléchie parcourt toujours une distance plus importante que l'onde directe. Les deux ondes arrivent donc déphasées au récepteur. Si le déphasage est de 180° et les amplitudes égales, les deux ondes se soustraient et la puissance reçue est nulle !

Dans le cas d'une réflexion sur le sol ou sur la mer, le niveau du signal reçu sera plus ou moins important en fonction de la fréquence d'émission et de la nature du sol car le sol ou la mer sont plus ou moins conducteurs selon la fréquence du signal.

En basse fréquence, le sol est bon conducteur et l'onde se propage alors par conduction dans le sol. On parle d'onde de sol. C'est essentiellement ainsi que sont diffusées les grandes ondes.

Dans le cas de réflexion sur les couches de l'ionosphère, la réflexion dépend toujours de la fréquence, mais aussi du cycle solaire, de la saison, de l'heure du jour, du champ magnétique terrestre, de l'âge du radioélectricien (non, ça c'est une plaisanterie !) et de beaucoup d'autres facteurs.

A noter : Parfois la réflexion sur le sol et les couches de la ionosphère peut-être l'effet recherché. Ce phénomène, bien connu des radioamateurs permet d'effectuer des transmissions à très longues distances par réflexions multiples : L'émetteur et le récepteur ne sont même pas en vue directe (n'oublions pas que la terre est ronde). Il n'y a plus d'onde directe mais que des ondes réfléchies. Les ondes se déplacent alors par bonds successifs entre lesquels se créent des zones de silences, il est alors possible d'entendre une station située à 2000km mais pas une autre située à 200km.

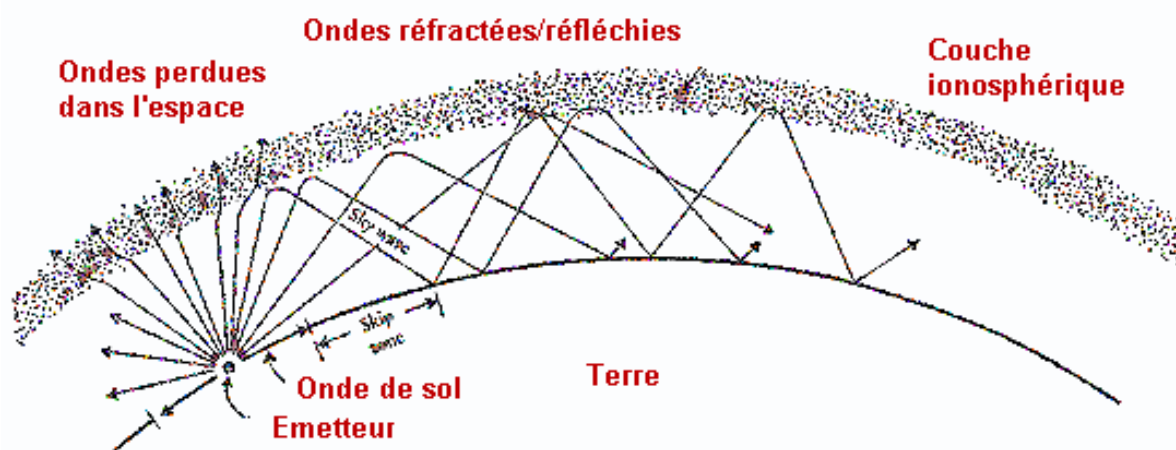


Figure extraite du « **Traité d'électricité et d'électronique pour le radioamateur** »

Ce type de transmission est surtout utilisé par les radioamateurs.

Ce sujet, très intéressant mais aussi très complexe, sort du cadre du BTS des Systèmes électroniques. On trouvera sur Internet, sur les sites personnels de radioamateurs une foule d'informations très intéressantes (On trouvera quelques liens dans la bibliographie à la fin de ce dossier).

Certains radioamateurs effectuent des liaisons d'un point à l'autre de la terre en effectuant des réflexions sur la lune !

Industriellement, pour effectuer des transmissions hertziennes d'un point à l'autre de la terre, on utilise les satellites de télécommunication.

Pour finir, on donne ici les principaux modes de propagation en fonction de la fréquence :

Entre 3 KHz et 3 MHz : la propagation se fait par onde de sol. C'est le cas des grandes ondes.

Entre 3 MHz et 30 MHz : la propagation se fait par réflexion sur l'ionosphère mais l'onde de sol et l'onde directe existent aussi. La propagation dépend de beaucoup de facteurs. C'est le domaine des ondes courtes, le terrain de jeu favori des radioamateurs. C'est dans cette bande que sera diffusée la DRM (Digital Radio Mondiale, la radio numérique du futur à couverture mondiale).

Entre 30 MHz et 3 GHz : la propagation se fait par onde directe mais aussi par réflexion sur le sol (trajets multiples). C'est le cas de la télévision terrestre, du téléphone mobile.

Entre 3 GHz et 30 GHz : la propagation se fait par onde directe, il y a peu de réflexions sur le sol car les antennes sont très directives (paraboles). C'est le cas des faisceaux hertziens et de la télévision par satellite.

Retrouvez d'autres cours et documents sur :

<http://www.louisreynier.com>