

Propagation des ondes en HF

Pour cette étude, il faut s'intéresser à plusieurs paramètres.

Le document ci-dessous a été fait par F5DBT et publié sur le site et dans la news letter.

Il reprend tous les éléments pour bien comprendre la propagation.

Sommaire :

- 1) Le soleil
- 2) L'activité solaire
- 3) Prévission de l'activité solaire
- 4) L'ionosphère
- 5) Champ magnétique terrestre
- 6) Interférences en propagation
- 7) Les antennes
- 8) Polarisation des antennes
- 9) Evaluation des circuits de propagation

1) Le soleil

Le soleil est une étoile qui nous éclaire mais est aussi le principal générateur de l'énergie contribuant à l'ionisation de la haute atmosphère terrestre.

Le rayonnement solaire est constitué de plusieurs composantes :

Une composante d'origine électromagnétique.

Une composante d'origine corpusculaire.

Une composante d'origine radioélectrique.

Le spectre du rayonnement solaire de très courte longueur d'onde va de l'infrarouge aux rayons X. bien que l'on considère que les variations de l'activité solaire seraient majoritairement dues à des conditions internes, la possibilité d'une action en interférences des autres planètes du système solaire semble possible.

L'influence des planètes étant basée sur leur masse et leur distance par rapport au soleil.

2) l'activité solaire.

Un des phénomènes les plus spectaculaires qu'offre l'observation du soleil est l'apparition puis la disparition progressives de zones sombres.

Ces zones sombres sont appelées taches.

Les taches solaires sont dues à des particules élémentaires d'une durée de vie très courtes.

Quant au phénomène d'apparition des taches, il serait du à des mouvements tourbillonnaires créant à la surface du soleil des dépressions entraînant des variations de températures. Une autre théorie met en jeu des champs magnétiques ...

Les taches grossissent avec un maximum après une dizaine de jours.

L'observation de ses taches à la surface du soleil est effectuée depuis de très nombreuses années par des observatoires. Les premières dates de 1826 ont permis de découvrir les activités et les cycles solaires...

Le décompte des taches est effectué tous les jours par différents observatoires internationaux. Jusqu'en 1980, c'était celui de Zurich, depuis c'est celui de Bruxelles.

Des calculs déterminent des moyennes mensuelles et annuelles d'apparition de taches solaires. Ce sont ceux-ci qui ont permis de déterminer la valeur moyenne d'un cycle solaire.

Par extrapolation, il est publié un 'nombre de Wolff' par mois.

Ce nombre étant calculé d'après une formule tenant compte de valeurs fixes et variables fournies par les différents observatoires internationaux.

On a pu ainsi sur des graphiques placer le nombre de Wolff avec les années et voir des maximum et minimum permettant de visualiser les cycles solaires.

Cependant l'évaluation statistique de l'activité solaire est partiellement inexacte même ci à l'heure actuelle, le nombre de Wolff est le seul paramètre d'activité solaire utilisé dans les prévisions de propagation ionosphérique.

Sans rentrer dans les détails, les taches proches du centre du disque solaire ont une influence plus grande sur l'ionosphère que des autres, de même que certaines taches sont plus actives que d'autres.

Prévission de l'activité solaire.

La prévission de l'activité solaire est primordiale dans l'établissement des circuits de télécommunications en propagation ionosphérique.

Cette prévission se divise en deux : la prévission à court terme qui sur l'étude de quelques années, permet dans ce laps de temps, de déterminer l'évolution du cycle solaire.

La prévission à long terme qui par statistiques, évalue la tendance d'activité du ou des cycles solaires suivants.

Les informations sont collectées et diffusées par le Service International des Jours Mondiaux et des Ursigrammes.

L'observatoire de Meudon sert de centralisateur et de centre de diffusion. Les émissions sont journalières et pour ce qui concerne la propagation, transmises sous le nom de GEOALERT.

3) Cycles et activités.

La durée moyenne d'un cycle d'activité solaire est de 11.2 ans, cependant il existe des variations importantes de 8 à 15 ans.

Au cours de ces cycles solaires, se produisent deux types d'activités :

Les activités à long terme.

Les activités à court terme.

Les activités à long terme.

Elles sont déterminées par les taches solaires, qui permettent de calculer le nombre de Wolff et déterminer les cycles d'activité solaire.

Ce sont des variations lentes dues à des phénomènes récurrents.

Les activités à court terme.

L'augmentation et l'intensité des taches produit une augmentation de rayonnement émis dans la gamme de fréquence allant de la lumière visible aux rayons X.

Il y a deux types d'activités : Les sursauts solaires.

Les tempêtes de bruit radioélectrique.

Les sursauts solaires.

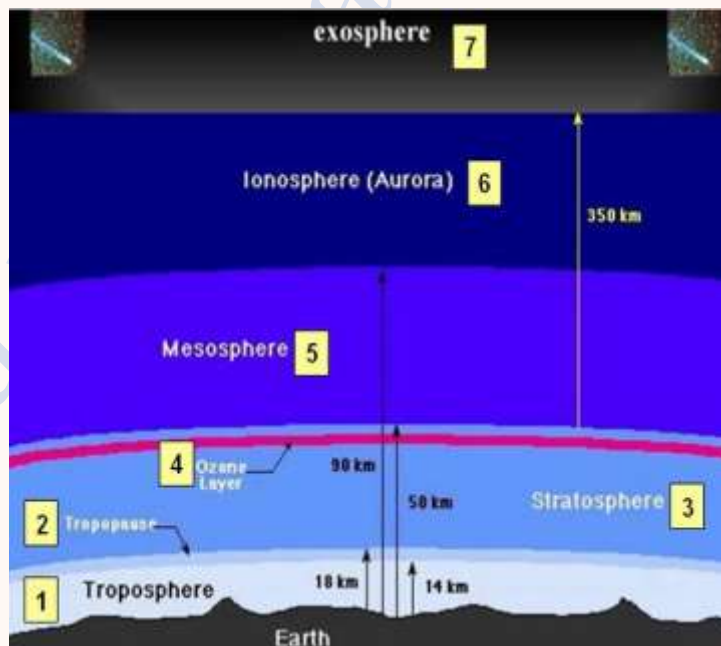
Ils sont caractérisés par une augmentation rapide de la luminosité. Ce rayonnement se propage du soleil à la terre à la vitesse de la lumière et met 8.5 minutes pour nous parvenir.

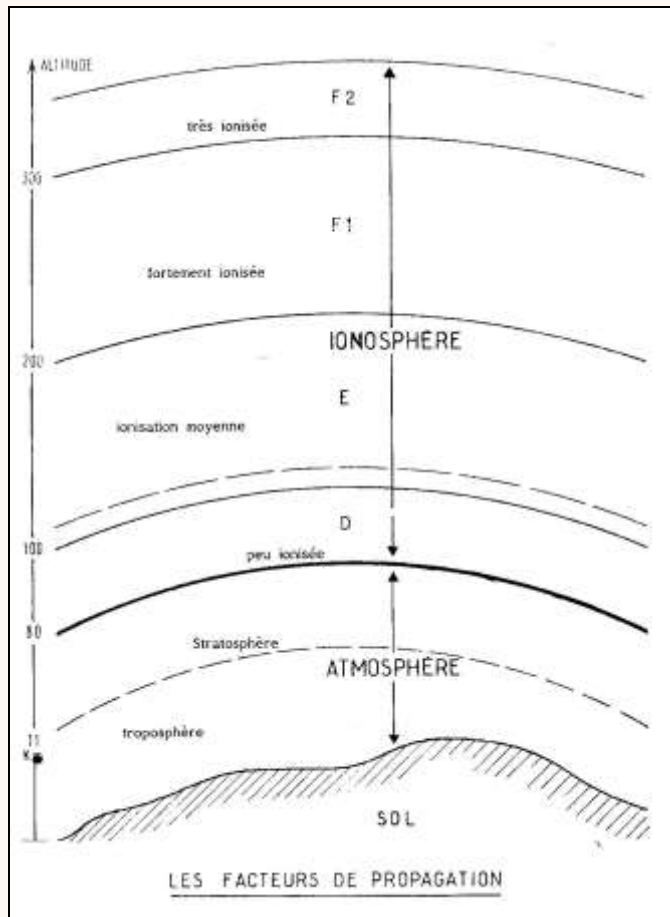
Ces sursauts donnent lieu à des rayonnements électromagnétiques, mais aussi à l'éjection de matière solaire.

Ces sursauts donnent lieu à des émissions dans une bande de fréquences comprises entre 60 kHz et les ondes millimétriques.

Les tempêtes de bruit radioélectrique.

Cette manifestation a une durée d'une heure et sur des fréquences comprises entre les ondes métriques et décimétriques.





4) L'ionosphère

L'ionosphère s'étend de 60 km à 1.000 km d'altitude.

Le principal mode d'ionisation des diverses couches est la photo-ionisation.

Les couches :

La couche F entre 150 km et 600 km.

La couche E entre 90 km et 150 km

La couche D entre 60 km et 90 km

L'ionosphère est un milieu dans lequel le mouvement des électrons libres et des ions est affecté par le champ magnétique terrestre.

L'ionosphère est aussi un milieu dans lequel la vitesse de propagation d'une onde est fonction de sa fréquence, alors que dans le vide c'est la vitesse de la lumière.

5) Champ magnétique terrestre

La terre peut être assimilée à un gigantesque aimant et le champ magnétique terrestre à un dipôle magnétique localisé au centre de la terre.

Des enregistrements des paramètres sont effectués par des observatoires et permettent l'étude de ses phénomènes.

Nous avons les variations journalières qui dépendent de la latitude et de l'heure.

Les perturbations, qui sont de grandes amplitudes, et sont situées dans la région des pôles.

Les différences cycliques sont appelées variations et dépendent :

- De l'heure locale
- De la latitude
- De la saison
- De l'époque d'activité solaire

Ces 4 variations sont fonctions des positions de la terre par rapport au soleil, et donc de la quantité de rayonnement reçu par l'ionosphère.

Il y a les variations dues à la position du soleil mais aussi les variations saisonnières. Celles-ci plus complexes car il y a inversion entre les deux hémisphères.

1) Les variations journalières suivent la position du soleil du soleil selon une courbe : d'un minimum au lever du soleil pour atteindre un maximum à midi et décliner jusqu'au soir.

Dans ce cas ce sont les couches E et F1 qui sont responsables en début et fin, tandis que la couche F est la principale, toute la journée.

Pour la couche E sporadique, elle subit une influence maximum entre le matin et midi puis plus tard en milieu d'après midi. Sans parler du fait que l'intensité sera plus importante l'été que l'hiver.

2) Les variations saisonnières : Au cours de l'été, la distance terre soleil est la plus importante mais l'angle au zénith étant plus faible, c'est là qu'il y aura le plus de phénomènes et leur intensité plus importante. Dans le même ordre, en hiver, même si la distance terre soleil est plus proche, l'angle zénithal est plus élevé et donc il y aura moins de réactions.

Dans le domaine amateur, on parle de propagation 'météor scatter' ... en fait, la couche E sporadique a montré une augmentation de réaction pendant les mois d'été de mai à août.

D'autre part une augmentation des chutes de météorites dans les hémisphères nord et sud provoque des réactions à ces moments là entraînant des variations de propagation importantes.

3) Les variations géographiques : Elles se subdivisent en deux : les variations en longitude et celles en latitude.

L'angle zénithal solaire conditionne l'ionisation de l'atmosphère et donc la position géographique sera influencée par un rayonnement différent.

L'illumination solaire augmente lorsque diminue la latitude géographique.

On peut donc dire que l'ionisation des couches augmente plus si la latitude diminue.

A l'équinoxe, les couches ont des valeurs maximum à midi à l'équateur alors qu'aux autres saisons elles seront maximum au nord et au sud ou l'angle zénithal sera nul ou presque.

Enfin on observe en Europe et particulièrement en méditerranée, une augmentation d'apparition de couche E sporadiques plus importantes qu'à des latitudes plus élevées.

Cette augmentation a lieu l'été et dans le sens ouest en est.

4) Les variations d'incidence oblique :

Rappel : la fréquence maximum utilisable ou FMU qui peut se propager sur un circuit est fonction de la fréquence critique mais aussi de la distance.

Pour toute fréquence d'utilisation, il est une fréquence critique et une fréquence maximale. Si il y a deux trajectoires possibles, il n'y en a qu'une pour la FMU.

6) Les modes de propagation :

Une antenne de caractéristiques déterminées rayonne dans une direction donnée ... on dit que les signaux illuminent l'ionosphère sur une certaine surface et selon le diagramme de l'antenne, se propagent suivant un certain nombre de trajectoires appelés modes de propagation ...

Le nombre de réflexions sur les couches ionisées est appelé ordre de mode.

Ce nombre de modes dépend :

Du rapport entre la fréquence maximum utilisable (FMU) pour un circuit et la fréquence utilisée.

Ou du rapport entre la fréquence critique lors de la réflexion (la fréq. qui permet la réflexion) et la fréquence de fonctionnement (fréq. utilisée).

Il peut y avoir 1, 2, plusieurs réflexions pour une propagation donnée.

Exemple : Une seule réflexion sur la couche F2 sera classée 1F2.

L'angle d'élévation est peu important.

La fréquence est proche de la FMU.

Exemple : Deux réflexions sur la couche F2 seront classées 2F2.

L'angle d'élévation est plus important.

La fréquence d'utilisation est toujours inférieure à la FMU.

Le nombre de réflexions atténue le signal à l'arrivée mais cette diminution est compensée par une atténuation de l'absorption ionosphérique.

Les modes mettant en jeu 2 ou plusieurs réflexions sont dit : modes d'ordre supérieur.

Enfin il est possible d'avoir 2 types de réflexions simultanés.

Les réflexions.

Elles sont aussi classées en mode géométrique.

Tout simplement l'onde rebondit d'une manière régulière sur des distances maximales de 4.000 km.

Le mode dominant est régulier, répétitif, il est le fruit déterminé par avance de l'étude des conditions de propagation.

Circuits de propagation.

Entre l'émetteur et le correspondant (récepteur) la ligne de propagation se traduit géométriquement par un "arc".

Il y a l'arc majeur qui est le plus long, le moins souvent utilisé car c'est celui subissant le plus de réflexions et donc le plus d'atténuations.

Et l'arc mineur, le plus court et le plus souvent utilisé dans les contacts.

Angles d'élévation.

Nous avons vu (voir plus haut) que l'angle d'élévation a une incidence sur la ou les réflexions.

Il y a donc un angle de départ à l'émission et un angle d'arrivée à la réception.

Il est aussi possible de déterminer un angle critique au delà duquel il n'y a plus de réflexions.

L'angle de départ ou d'élévation correspond au maximum du lobe principal de l'antenne par rapport avec le sol. Si l'on considère un circuit entre le point de départ et d'arrivée fixe donc connu, seul la hauteur par rapport à la couche ionisée varie.

A cela il faut ajouter les différentes variations journalières, saisonnières, géographiques ...

D'une manière générale plus la distance entre les 2 points de contacts augmente et plus l'angle d'élévation augmente.

Ainsi à 5.000 km l'angle est de 10 degrés.

A 20.000 km il sera de 30 degrés.

Pourtant à l'opposé de ce que nous venons d'écrire, plus l'angle d'élévation est faible (5 à 10 degrés) moins les signaux seront affectés par les variations ionosphériques.

Propagation en onde de sol.

L'onde de sol est une onde de surface, c'est la propagation "idéale" pour les bandes amateur 1.8, 3.5, et 7.0 MHz. soit entre 1 et 10 MHz.

La propagation par onde de sol n'est pas une propagation ionosphérique mais pour ces fréquences et à courte distance, elle est bien supérieure.

L'atténuation de ce type d'onde est fonction du sol, de la fréquence et de la distance entre les deux stations.

De même ces signaux n'étant pas influencés par les variations ionosphériques, la propagation nocturne sera peu influencée et donc il n'y aura pas de fading.

Variations de signaux entre deux stations.

- 1) Le contact est établi entre deux points, contact bi-latéral.
- 2) Le contact ne se fait que dans un sens, c'est la non réciprocité.
- 3) Le contact se fait mais avec des variations de signaux, c'est le fading.

Le contact bi-latéral.

Nous avons vu précédemment l'influence de divers paramètres mondiaux tels le soleil, l'activité solaire, l'ionosphère, les champ magnétique terrestre ainsi que des paramètres locaux (par rapport au lieu de départ et d'arrivée du signal) comme les variations journalières, saisonnières, géographiques ... les modes de propagation, l'influence de l'angle d'élévation ...

Malgré tout, le contact peut être établi.

La non réciprocité.

C'est la non réception du signal, dans un sens ou dans l'autre par l'une ou l'autre station.

Elle est due à des différences d'atténuation des signaux, à des trajectoires de circuit différentes, à des mise en phase différentes ...

Le fading.

Lors d'un contact, il arrive de constater des variations au niveau de la réception du signal.

Ces variations sont appelées fading en Anglais.

Elles sont dues à des variations de propagation dans l'ionosphère.

Ces variations d'une durée variable affectent une bande de fréquences et sont dues à l'ionisation instable couches de l'ionosphère, à l'absorption du signal, aux réflexions ...

Le bruit radioélectrique.

Le bruit est un phénomène d'importance car en fonction de son intensité, les communications seront ou pas audibles.

Le bruit a plusieurs origines :

1) Une origine liée au récepteur, sachant que le bruit (facteur de bruit) augmente significativement pour des fréquences supérieures à 100 MHz.

2) Une origine extérieure atmosphérique et/ou industrielle.

L'origine atmosphérique :

Elle est due à plusieurs facteurs indépendants mais qui peuvent s'additionner.

- La situation géographique
- La saison, la période jour / nuit
- La fréquence utilisée.

L'origine industrielle.

Cette origine de bruit est en constante évolution.

Tout appareil électrique est susceptible d'émettre des bruits. Ceux ci peuvent être éliminés partiellement mais jamais totalement par des filtres.

7) Les antennes.

1) Types d'antennes :

Les antennes utilisées pour les communications sont de deux types :

Les antennes omnidirectionnelles.

Ce sont les antennes à polarisation verticale utilisées principalement grâce à un bon rendement en ondes de sol, pour des liaisons inférieures à 5.000 km.

Les antennes directionnelles.

Elles peuvent être à polarisation horizontale ou verticale.

Le développement d'un dipôle en plusieurs éléments (multi dipôle ou antenne type yagi).

Augmente en émission la concentration d'énergie rayonnée.

Atténue le rayonnement dans des directions non souhaitées.

De même en réception, amélioration du signal.

Atténuations des bruits atmosphériques et industriels.

Atténuation des signaux de stations situées latéralement ou en arrière.

2) Choix d'antenne.

Le choix de l'antenne est primordial pour l'établissement d'un circuit de télécommunication utilisant la propagation ionosphérique.

Il est basé sur :

La distance en fonction du mode de propagation

Les modes de propagations ionosphériques sont utilisables quelle que soit la distance.

La propagation par ondes de sol est limitée à de courtes distances.

La bande de fréquence

Dans le cas de propagations ionosphériques il est nécessaire de prévoir deux antennes.

L'une utilisable de jour et donc de fréquence élevée par opposition à une autre pour des liaisons nocturnes et donc de fréquence basse.

Ou plus simplement une seule antenne multi fréquences mais à faible bande passante..

Le diagramme de rayonnement

Il sera basé sur les caractéristiques du sol et de l'ionosphère.

Pour qu'il y ait réflexion d'une onde électromagnétique sur une surface, il faut que cette surface soit électriquement différente du milieu de propagation.
De même l'énergie réfléchie sera d'autant plus importante que la différence électrique sera grande.
Pour une antenne favorisant un angle de départ faible, l'énergie directe et réfléchie s'ajoutent, donc l'utilisation d'antennes ayant un très faible angle de départ est à recommander, et ce pour une utilisation de jour ou de nuit.

Le lieu d'implantation, le sol.

En polarisation horizontale, la qualité du sol n'a que très peu d'importance.

Il conviendrait plus d'augmenter la hauteur de l'antenne qui aurait pour effet d'augmenter l'énergie rayonnée.

En polarisation verticale, le plan de sol est important. C'est pourquoi il est nécessaire de créer un plan de sol artificiel.

Dans le cas d'une antenne verticale devant rayonner sur 360°, les radians seront disposés tout autour de l'antenne.

D'une manière générale l'augmentation du nombre et de la longueur des radians améliore le rayonnement.

La polarisation des antennes.

Ce choix est important pour des antennes utilisées en dessous de 5 Mhz alors qu'au-dessus, l'influence de la polarisation est moindre.

8) Circuit de propagation.

Dans le cas d'une liaison bilatérale, il convient de connaître :

L'angle de pointage de l'antenne.

Choisir le circuit long ou le circuit court en fonction de la saison, de l'heure, ...

La fréquence à utiliser.

Déterminée à l'avance aux deux extrémités du circuit. Pour le choix de celle-ci, il faudra tenir compte de la FMU, Fréquence Maximum Utilisable.

Il existe des abaques et des publications qui en fonction de la distance à parcourir, permettent avec la FMU de déterminer la fréquence optimum de trafic (FOT) valable, avec une base de possibilité de contact entre les 2 stations de 90%.

Le mode de propagation.

Il faudrait déterminer les modes de propagation (F ou E) ainsi que le nombre de rebonds (2F, 3F, 3E ...)

susceptibles d'être actifs.

L'angle de départ et d'arrivée.

Globalement on peut considérer un angle compris entre 0 et une quinzaine de degrés.

A tout cela il conviendrait de tenir compte :

De la puissance HF de l'émetteur.

Du gain de l'antenne.

De l'affaiblissement du signal sur le circuit.

De l'affaiblissement en fonction de l'angle d'élévation.

De la distance entre les 2 points du circuit.

De l'affaiblissement lors des réflexions (rebonds) au sol.

De l'affaiblissement dû à l'absorption ionosphérique.

Du nombre de taches solaires (nombre de Wolf).

Pour en terminer, l'évaluation du rapport Signal/Bruit.

Ce rapport à la réception est finalement le critère principal de la liaison et donc de la possibilité de celle-ci.

Comme nous l'avons déjà vu, de 0 à 25/30 MHz c'est le bruit atmosphérique alors qu'au-dessus c'est le bruit interne dû à l'antenne, à la ligne de transmission, au récepteur.