

Comment ça marche ?

La propagation ionosphérique (2)

Par le radio-club F6KRR

Dans les précédents "Comment ça marche", nous avons vu le mécanisme de la réflexion ionosphérique qui permet en HF d'effectuer des liaisons radioélectriques à grandes distances. Nous allons continuer ici l'examen des différents paramètres mis en jeu dans la propagation ionosphérique.

Conditions pour l'établissement d'une liaison

Il faut que le circuit soit ouvert pour la fréquence de travail, compte tenu des systèmes antennaires (angles de départ) et des puissances d'émission aux deux extrémités.

La fréquence de travail doit être plus faible que la **MUF** la plus faible aux différents points de réflexion. On considère que la fiabilité est maximum quand la fréquence de travail est égale à **85%** de la **MUF**. Elle est appelée "**FOT**" (**F**réquence **O**ptimum de **T**ravail).

Avoir une station adaptée pour la liaison envisagée ne suffit pas, il faut que la station à l'autre bout du circuit le soit aussi et les brouillages ne doivent pas annihiler le bilan de liaison.

Circuit DX Est-Ouest

La **MUF** du circuit étant égale à la **MUF** la plus faible aux points de réflexion, elle sera égale à celle de la partie "nuit" du circuit. En conséquence, la fréquence de travail, proche de la **MUF** "nuit" sera bien plus faible que la **MUF** "jour", entraînant un risque de fading entre les rayons bas et haut (rayon de Pedersen). Par ailleurs, du fait de l'augmentation de l'absorption ionosphérique le jour, la **LUF** sera plus élevée que pour une propagation nocturne seule.

Dans les régions de transitions jour/nuit, les retards entre apparition/disparition de la couche **D** par rapport à l'ionisation de la couche **F**, entraînent des ouvertures en modes mixtes (**nE-1F**) pour une fréquence de travail relativement basse (bande **40m**).

Circuit DX Nord-Sud

Les différences entre les **MUF** du circuit seront ici liées aux latitudes géomagnétiques aux points de réflexion et non plus à l'heure. Sachant que la **MUF** est la plus élevée à l'équateur, et que l'ionosphère y est la plus perturbée, un circuit le traversant sera moins fiable (risques de diffusion ionosphérique et de multi trajets). La fiabilité sera moins dégradée si le passage ionosphérique de l'équateur se fait au dessus de la mer.

Les avantages liés aux transitions jour/nuit seront bénéfiques à tout le circuit pour ces moments là si le trajet du circuit se fait selon la ligne de transition appelée "terminator" ou "gray line" (ligne grise). Celle-ci oscille autour des méridiens de $\pm 22^\circ$ selon les saisons par suite de l'inclinaison de la Terre sur le plan de l'écliptique. Voir sur la figure 1 le cas des transitions jour/nuit.



Figure 1.

Pour une direction de propagation parallèle à la ligne grise, un signal peut se réfléchir dans une couche **F2** bien densifiée, car éclairée par le soleil, sans subir une absorption par les couches **D** et **E** encore dans la nuit, donc pas encore formées. Nous avons sur la figure 2 les variations saisonnières de la ligne grise passant par la France.

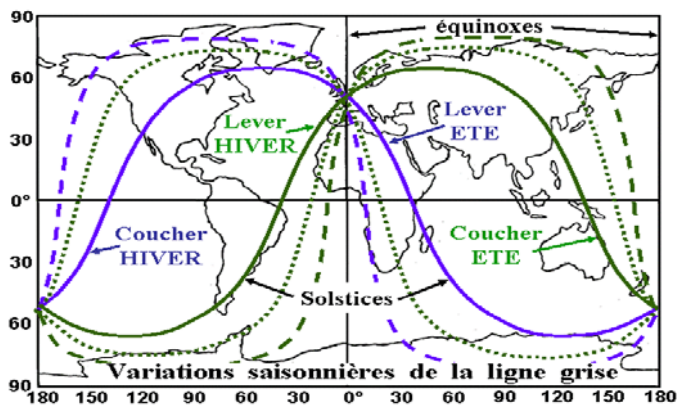


Figure 2.

Liaisons dissymétriques

En dehors du cas où les puissances d'émission sont différentes aux extrémités du circuit, une liaison est dissymétrique quand les rapports **S/B** en réception sont différents pour les deux stations. Plusieurs cas possibles (même système antennaire E/R) :

- Bruits différents à la réception (industriel, atmosphérique, fb...)
- Désadaptation à l'entrée d'un récepteur
- Angle d'arrivée différent de l'angle de départ (ionosphère non homogène ou inclinée aux points de réflexion)
- Inadéquation de la polarisation d'une antenne en émission ou en réception en fonction de la position géographique.
- **QRM** (brouillage) différent.

Pour des puissances d'émission identiques, la dissymétrie dépasse rarement **10 dB** sur les niveaux reçus.

Prévision de propagation DX

Les paramètres entrant dans le calcul d'une ouverture de circuit étant nombreux et de valeurs "attendues" (\pm certaines), le résultat sera statistique (lois de la probabilité). On calcule des prévisions à 30 et 90%, ou 50% de chances d'être vérifiées. Des prévisions exploitables (calculs de la puissance et du système antennaire nécessaires pour le circuit) ne pourront être faites que par des spécialistes disposant d'énormes bases de données.

Pour nous, radioamateurs, la prévision ne pourra être faite qu'au "pifomètre". Il ne restera plus qu'à ouvrir la station une heure avant celle calculée, puis écouter en lançant un appel de temps en temps, en espérant et en priant le dieu de la propagation qu'il y ait "quelqu'un au bout du fil".

Calculs de prévision de propagation

On commence avec les constantes de départ :

- Lieux géographiques des extrémités du circuit
- Puissance de l'émetteur
- Fréquence d'émission (bande radioamateur)
- Diagramme du système antenne

Ensuite on incorpore les données externes :

- Nombre de Wolf (d'autant plus fiable à court terme)
- Données géophysiques (propagation à court terme) : activité magnétique, événements solaires (éruption chromosphérique, émission de protons, etc.)

Puis on recherche un mode de propagation possible selon les densités ioniques attendues sur le trajet en fonction de l'heure avec calcul de la **MUF** (pour l'angle de départ du système antenne). Le circuit sera "ouvrable" si elle est supérieure à la fréquence de travail.

Enfin, faire le calcul du bilan de liaison en fonction de l'heure dans la plage "ouvrable". La partie la plus incertaine concerne l'estimation de l'absorption ionosphérique qui détermine la **LUF**.

Il existe des cartes mondiales de **FMU**, pour la couche **F** (**FMU₍₄₀₀₀₎**) et pour la couche **E** (**FMU₍₂₀₀₀₎**), en fonction de la saison, de l'heure et du nombre de Wolf. A partir de celles-ci, on établit un diagramme pour le circuit désiré en tenant compte d'un angle de départ "réaliste" (les cartes correspondent à un angle de départ nul).

Short path et long path

Pour un circuit > **10 000km**, le trajet par l'arc majeur (**long path**) peut avoir moins de pertes que le trajet court (**short path**). Ceci est surtout valable pour des trajets N/S quasi antipodaux. Exemple d'un circuit **France** (Long. 0°) - **Terre Adélie** (Long. 140°) :

- **Le trajet court** va couper 10 fuseaux horaires et traverser les régions désertiques de l'Afrique, mais va longer la gray-line en période d'hiver (en France). La liaison se fera donc en milieu de nuit d'été pour la Terre Adélie, et en fin d'après midi d'hiver pour la France, avec de faibles durées d'ouverture, et pour un nombre de Wolf élevé.
- **Le trajet long** va couper 2 fuseaux horaires, passer près du pôle Nord (+180°), puis couper 2 fuseaux horaires. Le trajet est presque entièrement océanique. En ayant les deux gray-lines proches du trajet, on obtient un meilleur bilan de liaison que pour le trajet court, malgré un nombre plus élevé de réflexions. Dans ce cas, la liaison s'effectue en fin d'après midi d'automne (mai) pour la Terre Adélie, et en début de matinée de printemps pour la France.

Bulletins de prévisions.

Comme on le voit, une prévision de propagation est complexe à élaborer et n'est pas à la portée du radioamateur non spécialiste. Pendant longtemps, il n'y avait quasiment que le **CNETT** qui établissait des bulletins de prévisions, soit généraux, soit particuliers. Un illustre représentant du CNETT, **F8SH**, en a concocté longtemps pour les radioamateurs et beaucoup d'anciens se souviennent de ses bulletins de prévisions, pages parmi les plus regardées de Radio-REF. Nous en avons un extrait sur la figure 3.

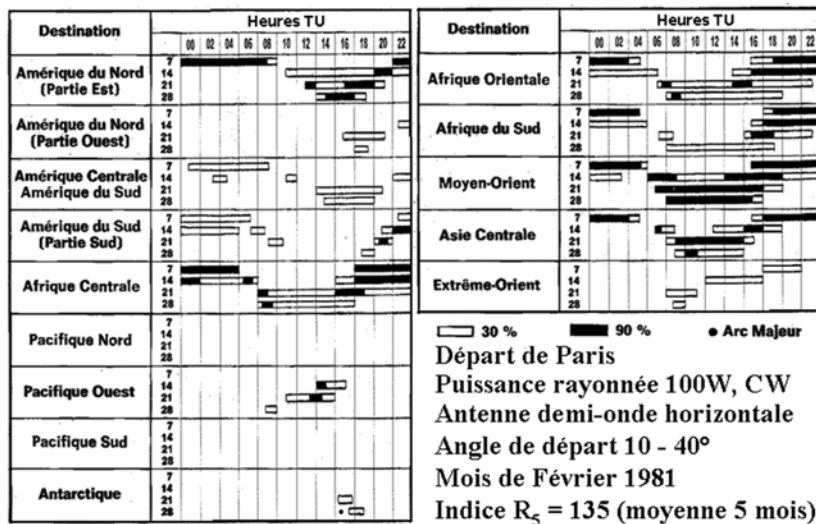


Figure 3.

Maintenant, avec les progrès de l'informatique, il existe des logiciels performants et chacun peut simuler son propre cas quand il le veut. Mais les "Comment ça marche" sur le sujet ne sont pas inutiles, car il est important de savoir exactement "ce que l'on fait" quand on utilise ces simulateurs.

Logiciels de prévision de propagation

Les premiers logiciels permettaient de calculer la MUF en fonction des coordonnées géographiques et du nombre de Wolf. Ils s'appelaient **MUFx** (x = version). Un programme simplifié gratuit circulait sous le nom de « **MiniMUFx** »

Le programme utilisé maintenant par tout le monde est un shareware distribué par le Département du Commerce US. Une version freeware existe sans restriction de fonctionnalités, mais sans assistance. Elle s'appelle « **ITSHFBC.EXE** ». C'est un "package" de plusieurs logiciels qui s'installent en lançant l'exécutable **ITSHFBC** (5,1 Mo). Il tourne sous Windows® à partir de la version 95. Pour le télécharger sur Internet, il suffit de taper « **ITSHFBC** » dans un moteur de recherche, puis de choisir un site qui propose un "download", par exemple, le site ftp de **on4hu.be**.

Nous avons sur la figure 4 un exemple de simulation du circuit {Kerguelen-Dumont d'Urville} par le logiciel inclus "ICEPAC" (SSN = Nbre de Wolf).

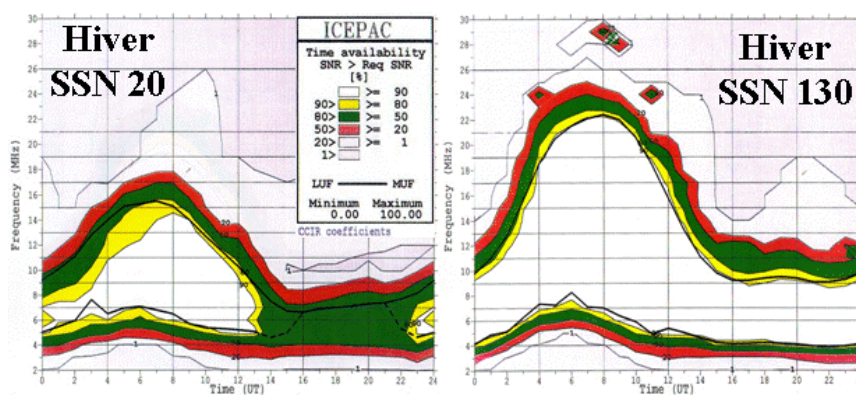


Figure 4.

Et c'est avec ces belles images que nous terminerons notre série sur l'ionosphère et la propagation ionosphérique.

Bibliographie

Pour écrire cette série, nous nous sommes servis principalement de deux ouvrages :

- **"INTRODUCTION ÉLÉMENTAIRE A LA PHYSIQUE COSMIQUE ET A LA PHYSIQUE DES RELATIONS SOLEIL-TERRE"** de **J.P. LEGRAND**, édité par les **TAAF** (Terres Australes et Antarctiques Françaises).

- **"LA PROPAGATION DES ONDES"** tome 1, **"Evaluation des circuits de communication"** de **Serge CANNIVENC, F8SH**, édité par **Soracom** (épuisé).

Relire plusieurs articles dans **Radio-REF**, dont celui de **F6AEM** dans celui d'octobre 2004.

Vous pouvez aussi consulter les planches des deux conférences faites par **F5NB** au radio-club **F6KRK** : **"L'IONOSPHERE"** et **"LA PROPAGATION IONOSPHERIQUE"**, (Catégorie "Conférences" sur le site **blog.f6krk.org**).

La Rubrique "Comment ça marche" est une activité collective du radio-club F6KRK (<http://www.f6krk.org>). Pour une correspondance technique concernant cette rubrique : **"f5nb@ref-union.org"**.