

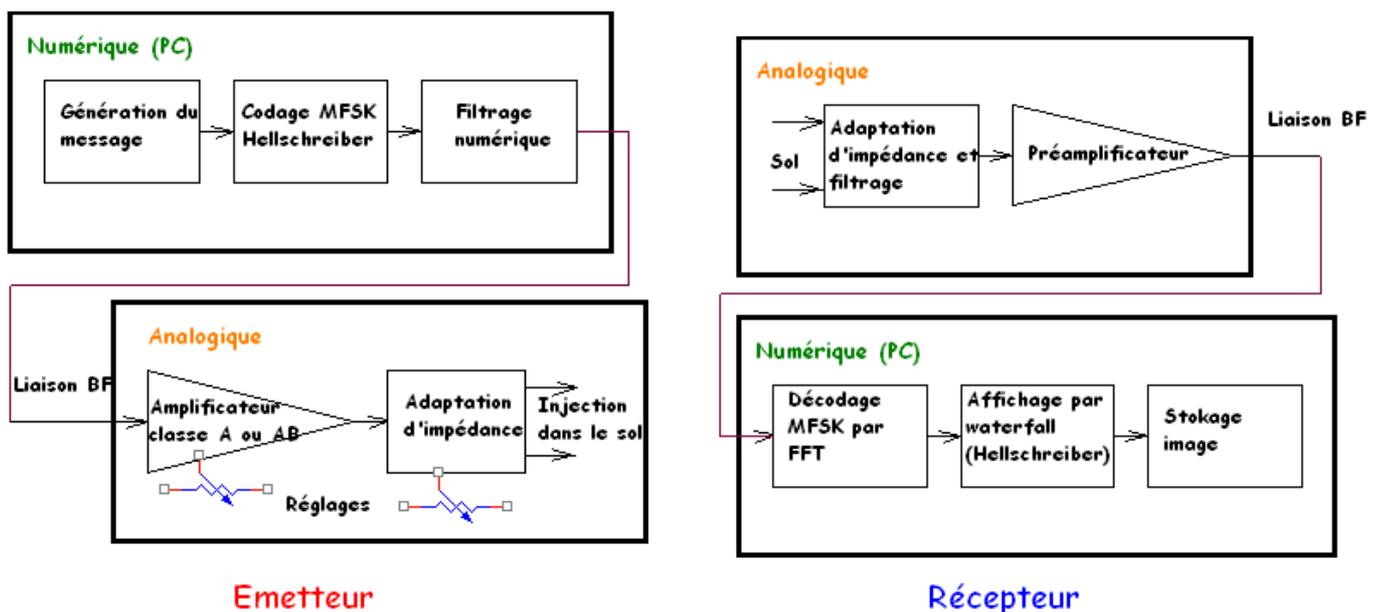
Transmission Par le Sol

Hellschreiber Multi Tone (F4DXU)

<http://pagesperso-orange.fr/F4DXU/>

C'est pendant la guerre de 14-18 que les stations de TPS furent utilisées pour la communication entre tranchées. Peu de documents existent mais l'on trouve quelques informations sur l'Internet en utilisant les mots clefs suivants « télégraphie par le sol ». L'idée est de refaire ces expériences mais avec des techniques modernes d'amplification et de traitement de signal. Les anciens arrivaient, avec les moyens dont ils disposaient, à communiquer sur des distances de trois kilomètres environ avec absence quasi totale de QRN à l'époque.

Le principe de base est simple puisque qu'il suffit d'injecter un courant variable dans le sol par l'intermédiaire de deux piquets en cuivre puis d'en mesurer à distance les effets. A l'époque, seul le Morse était possible mais lors de mes essais j'ai retenu le Hellschreiber séquentiel multi tonalités. Ce mode est très efficace car la décision humaine sur l'interprétation du message est largement prise en compte et toute la puissance est envoyée dans une seule porteuse (porteuses séquentielles). Le Hellschreiber est à la vision ce que le morse est à l'audition.



Ci-dessus, les schémas fonctionnels de l'émetteur et du récepteur TPS Hell MT-S. Pour pouvoir effectuer cette expérimentation dont les fréquences

se situent en dehors du spectre alloué aux radioamateurs, j'ai préalablement demandé une autorisation à l'ARCEP même si cet organisme ne gère pas le spectre radioélectrique sous 9 KHz. Cette autorisation est valable pour une durée de trois mois à compter du 22 mai 2009. En voici les spécifications :

- Fréquence porteuse(s) autour de 5 KHz en restant à distance respectable de la limite supérieure de 9 KHz.
- Bande passante de 400 Hz.
- Puissance maximale de 100 W efficaces pour la porteuse (séquentielle).
- La qualité de l'émission doit être conforme à la réglementation en vigueur.

...

Comme dit précédemment, l'énergie sera injectée par l'intermédiaire de deux piquets en cuivre, préalablement désoxydés par brossage, fichés dans le sol. Pour plus de commodité, ce système pseudo antennaire sera baptisé « antenne ». La place dont je dispose me permet d'écartier les piquets de l'antenne de 100m environ.

Si le modèle de calcul théorique de la longueur d'onde dans un câble coaxial ou dans le vide peut s'appliquer à la TPS ($\lambda = \frac{C}{\sqrt{\epsilon.F}}$) cela donne une valeur d'environ 60 Kms pour une fréquence de porteuse à 5 KHz et ceci sans tenir compte de la permittivité diélectrique du sol. En fonction de la constitution d'un sol, cette permittivité peut prendre toutes les valeurs comprises entre 3 et 30 ce qui ramène la longueur d'onde à des valeurs comprises entre 11 et 35 Kms. Ces valeurs sont de plus variables en fonction de l'homogénéité du sol et de son humidité, etc. On constate qu'il est quasiment impossible de mesurer cette longueur d'onde car dépendante de nombreux paramètres.

Essais :

Les premiers essais avec la station F6FWQ ce sont avérés négatifs, en effet cette station se trouve à une distance respectable de 16Km avec F4DXU, F6FWQ possède une antenne de plus de 100m en Rx. Qu'à cela ne tienne, un autre essai fut effectué avec la station du SWL Yves qui se situe à environ 8Km, résultat identique mais avec une antenne de 10m seulement en Rx. Ces essais ont été effectués dans les conditions suivantes :

- * Puissance Tx (amplificateur HIFI) de 30W par porteuses séquentielles, antenne de 100m, mode Hell MT-S.
- * Réception Rx sur carte son de PC sans amplification, décodage Hell MT-S avec Spectrum Laboratory de DL4YHF.

Un troisième essai fut fait avec la station F1DXM qui se situe à une distance de 2,8Km à vol d'oiseau de F4DXU. L'antenne Rx mesurait 100m et les essais furent aussi négatifs. Pour l'instant rien ne permet de dire si le phénomène qui

transporte l'information utilise un mode de propagation ou un mode de conduction étant donné la forte atténuation que le signal émis a subit dans le sol. Cela dit, quelques essais furent au paravent effectués en champ très proche (environ 50m) pour pouvoir mesurer la résistance de terre et déterminer le système d'injection de puissance dans le sol. A cette distance et pour une puissance d'injection de 27mW, les signaux étaient décodables ce qui fut très encourageant.

Enfin un premier essai modeste mais concluant a été réalisé le lundi 8 juin 2009 non pas avec une station radioamateur mais avec un ami dont sa maison se situe à 150m à vol d'oiseau de ma station F4DXU.

Voici les conditions de l'essai avec un terrain détrempé par de multiples averses de pluie :

- * TX : puissance d'émission 30W, antenne de 15m et mode Hell MT-S.
- * Rx : PC portable, antenne 4m, décodage des signaux Hell MT-S avec le soft Spectrum Laboratory.

Ce fut une grande joie que de voir le texte suivant émerger d'un plancher de bruit très haut dû à un QRN local très important.

F4DXU/B JN06DN REPORT FOX4DXU@ORANGE.FR TRANSMISSION PAR LE SOL.

Voici sur les images suivantes, les toutes premières copies d'écran montrant le résultat ainsi qu'une vue satellite du lieu de l'essai.



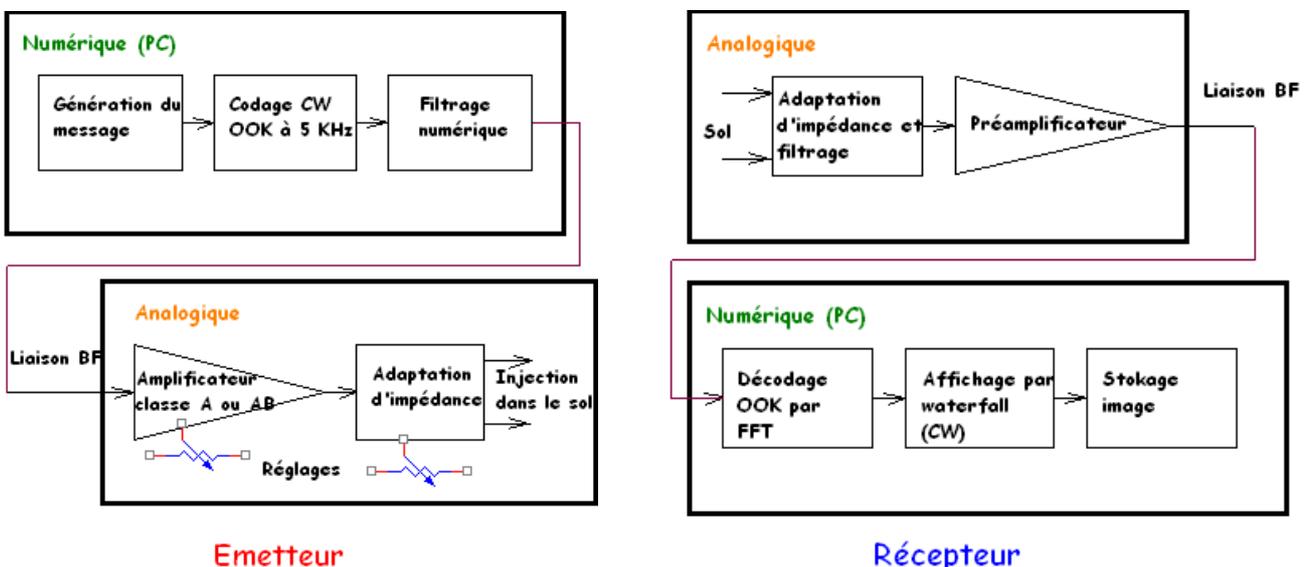
Le spectre vertical sur la droite de l'image (ci-dessus) à une échelle relative de -20 dB/carreau, on constate que le niveau maximum du signal est de 20 dB supérieur au niveau moyen du plancher de bruit ce qui laisse encore de la marge. Le texte est parfaitement lisible malgré le QRN.



Les antennes Rx et Tx sont quasiment parallèles et distantes de 150m. Un essai de positionnement des antennes en quadrature a montré un affaiblissement d'environ 20dB. Aussi, plus les piquets de mesure de l'antenne Rx sont espacés

et plus le signal reçu est important, l'antenne embrasse plus de lignes de potentiel donc plus de différence de potentiel.

Plusieurs autres essais ont été réalisés en champ proche concernant la position des antennes entre elles, leur espacement ainsi que des mesures relatives d'atténuation du signal reçu. A part une forte décroissance de la mesure de champ proche rien ne montre les variations de niveau que l'on pourrait attendre dans la zone de Rayleigh dans un champ de propagation classique proche de l'antenne. Si cette propagation existe conformément au principe de fonctionnement des antennes, elle doit être masquée par la forte absorption due à la résistivité du sol. La mesure de signal à 25m puis à 50m de l'antenne Tx donne une atténuation de l'ordre de 15 dB (32) ce qui est très important.



Les 2 schémas fonctionnels ci-dessus sont ceux d'un émetteur et d'un récepteur TPS CW, ce qui permettra de n'utiliser qu'une seule porteuse dont la fréquence

poura être calée entre deux harmoniques du 50Hz. Le filtrage pourra être bien plus étroit, le sur-échantillonnage ainsi que le moyennage des spectres pourront être utilisés pour réduire le bruit et en extraire le signal. La modulation sera de la CW en QRSSxxx.

Ceci pour une expérimentation future
Jean-Marc F4DXU, (août 2009)

F4DXU