

Introduction.

Dès qu'il y a une probabilité de réception par des réflexions multiples *Multipath* donc des trajets multiples de longueurs inégales et dans ce cas le risque de Fading sélectif devient très grand, il touche toutes les bandes de fréquences des VLF aux SHF. Le Fading sélectif peut survenir même si l'antenne de réception se trouve en vue direct de l'émetteur.

Le Fading sélectif va provoquer des failles (des creux) dans le spectre de la transmission qui se traduisent par des manques de modulation sur certaines fréquences. Par exemple : dans une transmission en FM à bande étroite (25 ou 12.5 KHz) on va trouver un creux centré sur 1800 Hz plus ou moins large et plus ou moins profond ; mais il est tout à fait possible de trouver plusieurs failles dans une même transmission.

Ce phénomène n'est pas constant ; il peut varier de jour en jour, d'heure en heure, voire de fraction de seconde en fractions de seconde, tout simplement parce que les réflexions sont instables dans le temps.

Dans une transmission analogique en phonie on détecte facilement le phénomène à l'oreille et dans ce cas il n'est pas trop gênant. Par contre dans une transmission numérique en FSK ou en AFSK ça devient vraiment gênant si cela tombe sur une des deux tonalités utilisées et dans ce cas on ne peut pas détecter le phénomène à l'oreille, on constatera par contre de nombreuses erreurs dans la transmission. Toutes fois les erreurs de transmission ne proviennent pas systématiquement du Fading sélectif ; il y a d'autres causes par exemple, un rapport signal bruit (S/N) trop faible, un récepteur avec un bruit de phase important, ou encore une audio bruitée et distordue.

Pour s'en assurer il faut comparer le signal qui entre avec celui qui sort du récepteur.

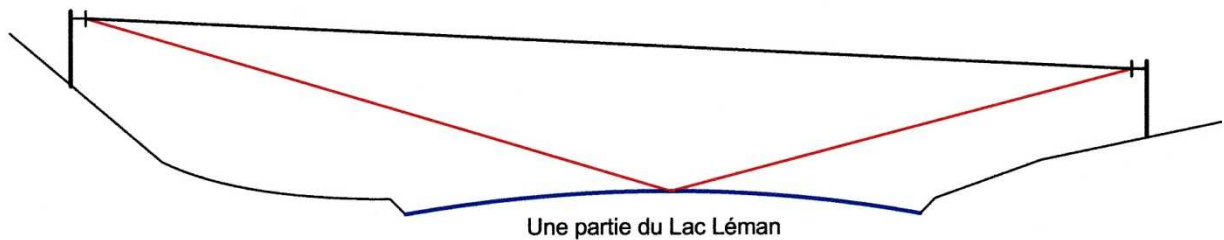


Fig.1 Réflexions sur une surface lisse.

Ce genre de réflexions n'est pas un grand classique, cependant j'ai rencontré deux cas particulièrement sévères par temps calme. Un dans la bande des 160 MHz et l'autre dans la bande des 460 MHz. Dans les 2 cas, lorsque le lac était sans une ride ; il y avait absence totale de modulation.

Le cas 160 MHz a été résolu par une réduction drastique de la puissance d'émission et le cas 460 MHz par l'emploi d'antennes très directives. Dans les 2 cas on a réduit le niveau HF des réflexions et l'effet de capture des Rx a fait le reste.

Les effets du fading sélectif en bande étroite.

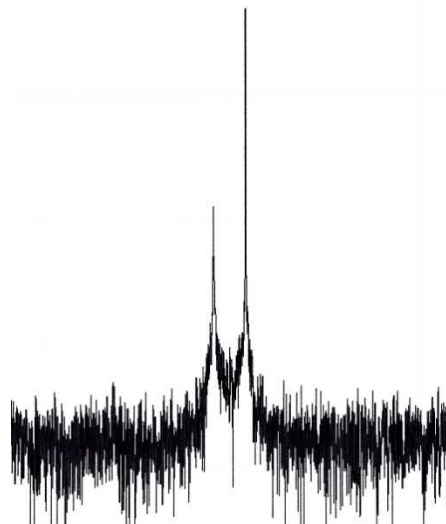


Fig.2 Fading sélectif moyen d'un signal RTTY avec un shift de 170 Hz.

Remarquez la grande pureté spectrale des deux fréquences, ce qui n'est possible que sur une fréquence très propre et un rapport signal bruit extra ordinairement élevé. Sur ondes courtes le un signal en RTTY ressemble beaucoup plus à celui de la Fig.3

Analyse des signaux numériques à bande étroite.

Dans le cas de transmissions numériques a bande étroites, donc à faible débit binaire, par exemple du RTTY sur ondes courtes, de l'APRS en VHF, ou encore de l'ACARS dans les bandes aviation, on peut simplement analyser l'audio qui sort du

récepteur à l'aide d'un PC muni d'un soft adéquat par exemple le SpectrumLab de DL4YHF qui est un freeware qui fonctionne très bien et qui fait un tas de choses intéressantes en plus.

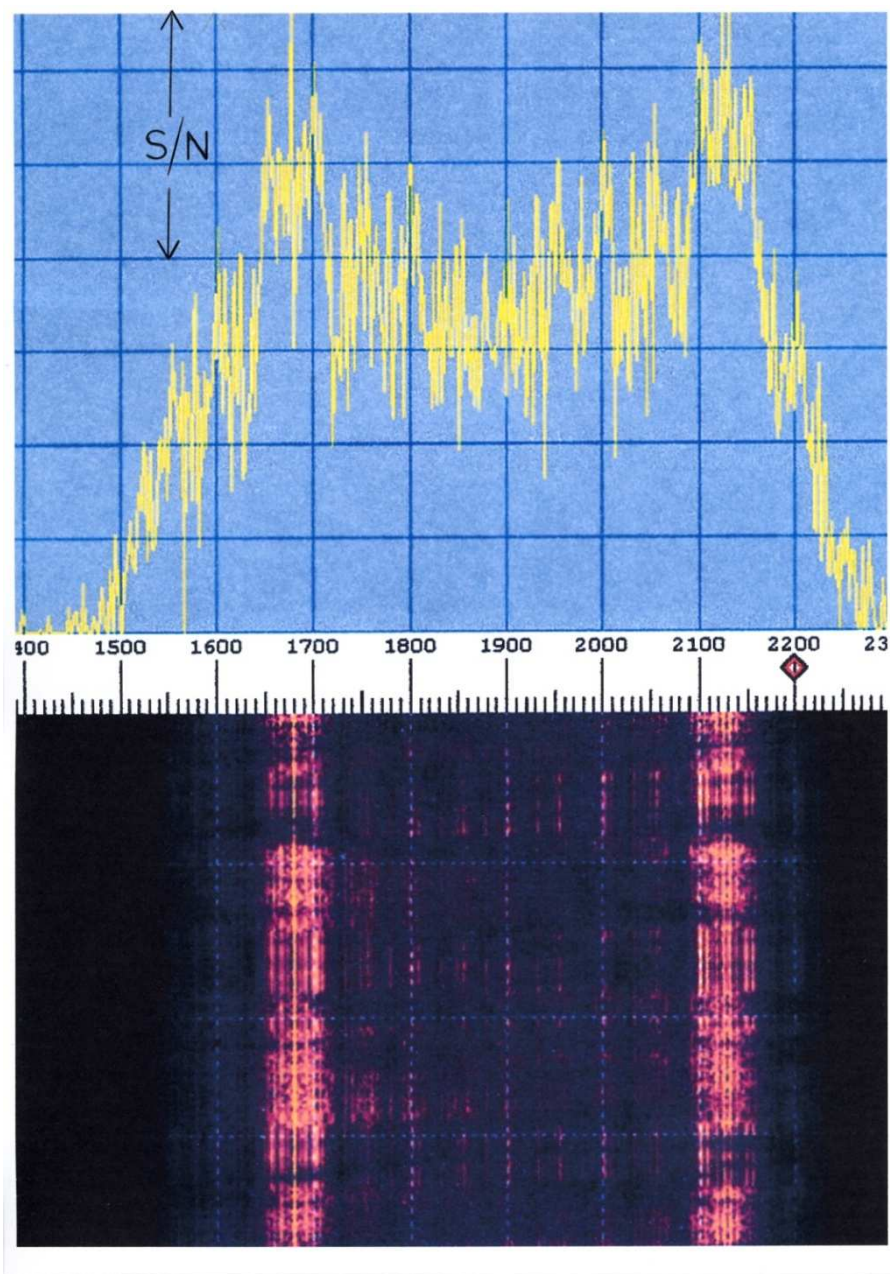


Fig.3 RTTY sur ondes courtes avec un Shift de 425 Hz analysé avec SpectrumLab.

On voit que malgré un rapport signal bruit apparemment confortable, le bruit entre les deux tonalités est important. Cela s'explique par l'emploi d'un filtre MF de 500 Hz à flancs raides qui atténuent fortement tout ce qui se trouve à 250 Hz en dessus et en dessous de F_0 . Mais le bruit de bande et toutes les autres causes de dégradation du signal sont évidemment toujours là et visibles entre les deux tonalités.

La mesure du rapport signal bruit S/N de cette transmission doit donc être faite par rapport au bruit que l'on trouve entre les deux tonalités.

La représentation en chute d'eau *Waterfal* du bas nous montre les différences de niveau dans le temps.

On remarque un fading symétrique (les 2 tonalités augmentent et diminuent en même temps) nous ne sommes donc pas en présence de fading sélectif mais de variations du champ HF dues aux conditions de propagation.

Les informations données par Spectrumlab nous renseignent assez bien sur la nature (reconnaissance du signal) et la qualité de la transmission.

Le fading sélectif sur ondes courtes.

Les modes FSK et AFSK sont particulièrement sensibles au fading sélectif.

Les modes FEC Forward Error Correction ayant montré leurs limites, il a été démontré qu'à part faire une transmission en boucle, des transmissions simultanées sur plusieurs bandes de fréquence, ou encore en mode ARQ *Automatique Replay request* (qui est extrêmement lent), on ne peut pas vraiment contrer les effets du fading sélectif. Pour les Radioamateurs en modes RTTY quelques caractères faux par ci par là ne sont pas gênants. Mais si le message est chiffré cela devient catastrophique, ceci explique l'abandon partiel des ondes courtes par les pros et les militaires.

Mais voilà que on a « inventé » le PSK *Phase Shift Keying* et l'OFDM *Orthogonal Frequency Division Multiplex* (1) qui contrent très bien les méfaits du fading sélectif et les ondes courtes se remettent à gassouiller avec ces modes de transmissions ; même les Radioamateurs ont suivi le mouvement avec le PSK31 et ses dérivés.

Pour les SWL cela signifie identification de l'émission plus compliquée, l'oreille ne suffit plus, et decodage impossible pour les transmissions militaires. Toutes fois certaines émissions en STANAG transmettent leurs indicatifs et QTH en clair.

Analyse des signaux numériques à large bande.

Dans le cas de transmissions numériques à large bande donc à hauts débits binaires, tels que le WIFI, le WIMAX, le LTE4G, la DAB, la DVB (TNT) qui utilisent le mode de transmission PSK/OFDM (1) on doit analyser la porteuse. (L'examen de la sortie audio du Rx n'apporte rien)

Visualisation de l'amplitude et de la forme du signal.

L'amplitude d'une émission victime de réflexions multiples *Multipath* varie constamment. Fig.4a et 4b.

Des spectrogrammes FFT en temps réel permettent de visualiser ces variations très rapides.

Dans l'exemple ci-dessous il a fallu 4 secondes pour enregistrer 100 mesures soit une toutes les 0.04 secondes.

Le signal mesuré ci-dessous est un canal DAB d'une largeur de 1.526 MHz transmis en mode OFDM (1) dont les 1526 sous porteuses de 1 KHz sont modulées en DQPSK (1) avec un débit binaire de 2.4 Mbs.

Ci-dessous on peut voir les 3 modes d'analyse du spectre HF que j'ai utilisé pour visualiser le phénomène.

1 le mode *Amplitude* qui montre l'amplitude du signal en fonction de la fréquence a un instant donné.

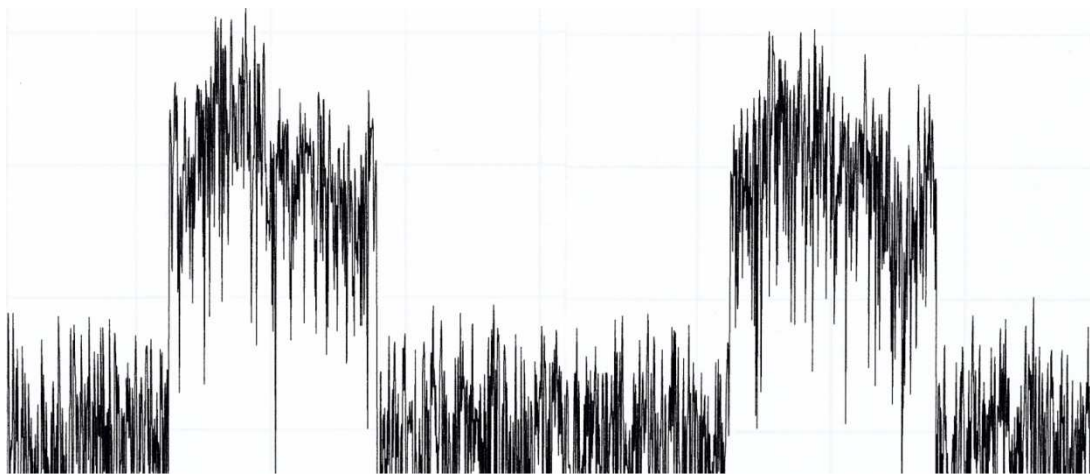


Fig.4a 4 centièmes de seconde séparent ces 2 vues Fig.4b

On voit qu'avec seulement 4/100 de secondes d'écart les 2 spectrogrammes sont très différents. C'est ce que les décodeurs I/Q et OFDM (1) trouvent sur la sortie Moyenne fréquence du récepteur. Il s'ensuit la procédure de désassemblage de l'OFDM et du decodage des paquets en PSK pour retrouver le signal de base. Mais ceci ne peut fonctionner que si le rapport signal bruit (S/N) est suffisant ; car plus le débit binaire est élevé plus le rapport signal bruit doit être élevé, par exemple le WIFI a besoin de 50 dB de S/N pour fonctionner à son débit maximum, mais grâce à l'OFDM (1), il suffit que le rapport signal bruit soit bon dans une partie du spectre pour que ça fonctionne quand même, mais parfois avec un débit binaire réduit.

2 Le mode *Moyenne (Average)*

Pour voir la tendance on va utiliser un mode de mesures moyennes effectué 32 fois sur 32 captures différentes.

On voit ci-dessous Fig.5a un signal qui est modérément affecté par le Multipath.

La Fig.5b Montre un signal sévèrement touché par le multipath toutes fois l'OFDM (1) a pu corriger ce cas.

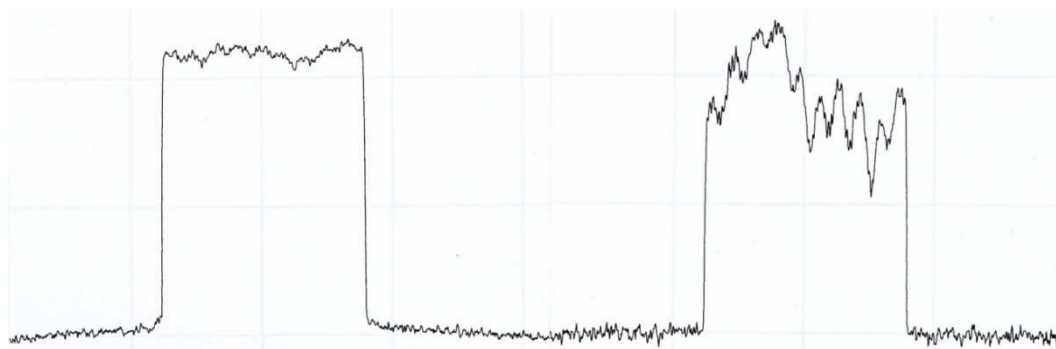


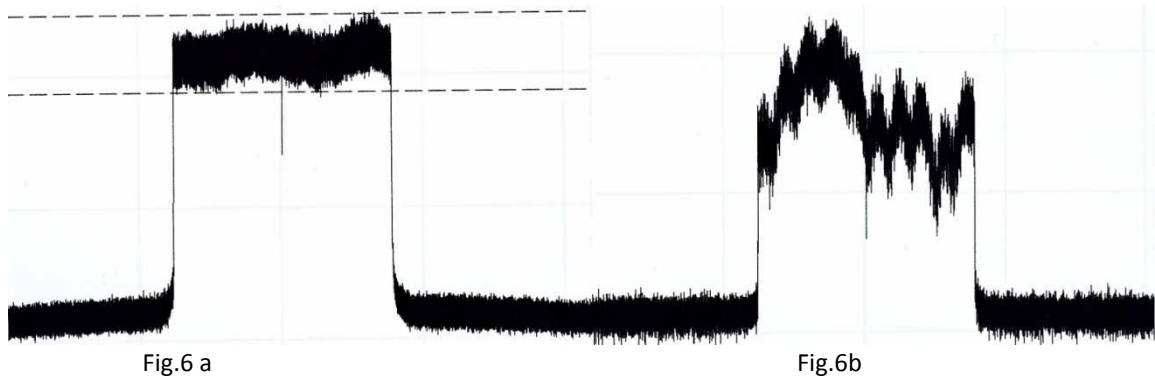
Fig.5 a

Fig.5b

Les petites crénelures que l'on voit sur le sommet des courbes sont dues à la modulation QPSK (1) transmis sur les sous porteuses OFDM (1).

3 Le mode *Moyenne* à haute résolution.

Ce mode avec une RBW de 60Hz permet de visualiser l'amplitude de la modulation OFDM (1).



Les Fig.6a et b démontrent que l'on peut mesurer le taux de modulation et le rapport signal bruit moyen tel qu'il sera traité par le procédé OFDM.

Sans les techniques PSK et OFDM (1) les transmissions numériques a hauts débits nécessaires pour la TNT et le DAB seraient très inconfortables, voir inexploitable dans beaucoup de cas. La réception en mobile, même à vitesse modérée, serait tout simplement impossible.

(1) La modulation PSK *Phase Shift Keying* et l'OFDM *Orthogonal Frequency Division Multiplex* seront d'écrits dans un prochain article.

Résumé.

Le Fading sélectif provoque des creux plus ou moins profond dans le spectre HF.

Il est provoqué par des émissions qui ont été reçues via plusieurs réflexions avec des trajets de longueurs différentes. Ces réflexions ne sont pas stables et elles varient plus ou moins rapidement dans le temps.

Pour être certain que c'est bien du Fading sélectif qui nous pose problème, il faut examiner la porteuse pour les signaux à large bande, on peut toutes fois se contenter d'examiner l'audio pour les signaux a bande étroite.

Les Modulations FSK et AFSK sont particulièrement sensibles au fading sélectif ce qui explique leur désaffection sur ondes courtes.

Avec les techniques PSK et OFDM les ondes courtes retrouvent leur intérêt.

Zusammenfassung

Frequenz Selektiver Fading sind mehr oder wenig tiefe Schwunde im Radio Spektrum.

Sie sind erzeugt weil die Sendung über mehrere wegen mit verschiedene langen den Empfänger erreicht hat.

Zum sicher stellen das es wirklich um Selektiver Fading handelt, muss man im fall von breitbandige digital Sendungen den Träger analysieren. Bei schmal Bändigen Übertragungen kann man auch nur das Audio Spektrum analysieren.

Die Modus FSK und AFSK sind sehr empfindlich in Multipath Bedingungen mit zu folge das sie auf Kurz wellen praktisch nicht mehr verwendet werden.

Aber mit der „Erfindung“ des PSK/OFDM Modus sind die Kurzwellen wieder attraktiv worden.

Contact : Kurt Ritter he9ddy. ritterk@bluewin.ch

Le fading sélectif V2.docx