

Les "L F" (the Low Frequency)

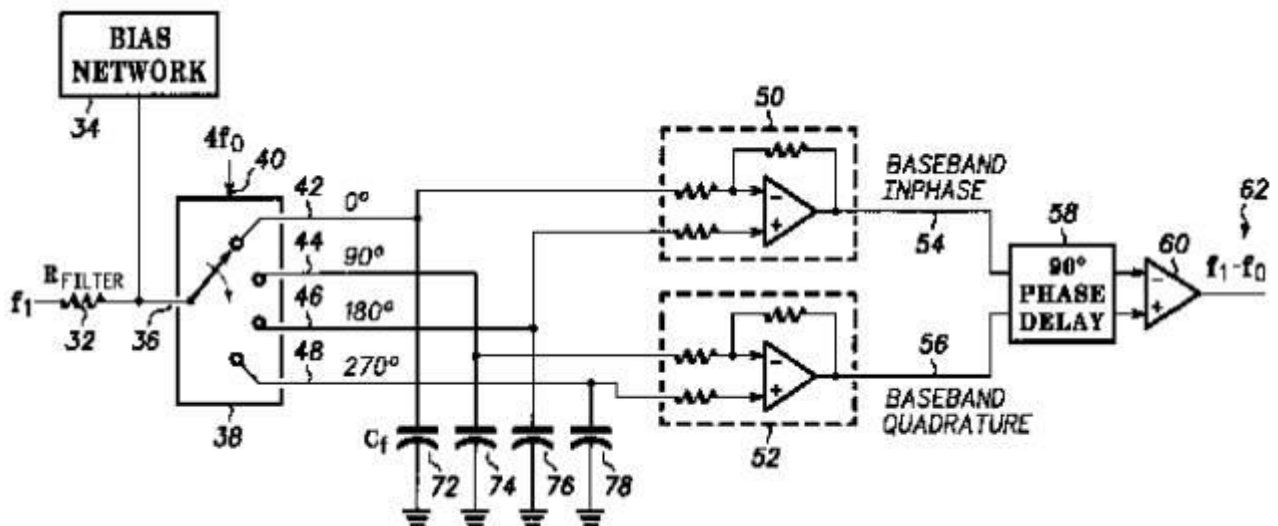
Ah ! les LF , quel plaisir de faire de la vraie radio !..... Je suis tombé dedans par accident , mais je le jure , je ne le regrette pas ! J' y ai trouvé des OM's qui pensent : que pour faire de la radio , il y a bien d' autres moyens que de faire un chèque ! Il est vrai que cette bande est "marginale" et que ça n'intéresse pas les

commerçants ! L'esprit qui règne au sein de cette mini communauté est du plus pur style "RADIO" et là je me retrouve pleinement ! Quel grand plaisir de pouvoir discuter de vraie technique avec des vrais techniciens (ce ne sont pas que des ingénieurs ! souvent ce sont des "Bricoleurs de génie " avec un grand "B" ! mais pour qui la technique est une vraie religion !)

Voici donc une description de ma station de réception LF :

QSD receiver sur 137 kHz

QSD c'est quoi ? : Quadrature Sample Detector (voir le schéma pour le principe de fonctionnement) Ce détecteur a été inventé il y a seulement quelques années par un radioamateur américain, Dave Tayloe N7VE. Au début, il avait développé ce détecteur pour des applications amateurs, mais peu à peu cette nouvelle technologie connaît un grand essor, exemple le WiFi et bien d'autres , un autre avantage de ce détecteur est le fait que l'on peu inverser les signaux (en d'autres termes : si vous entrez de la BF vous sortez de la HF et inversement !) mais là nous sortons du cadre de cet article .



le principe du détecteur de N7VE (partie du brevet qu'il a déposé)

Comment ça marche ?

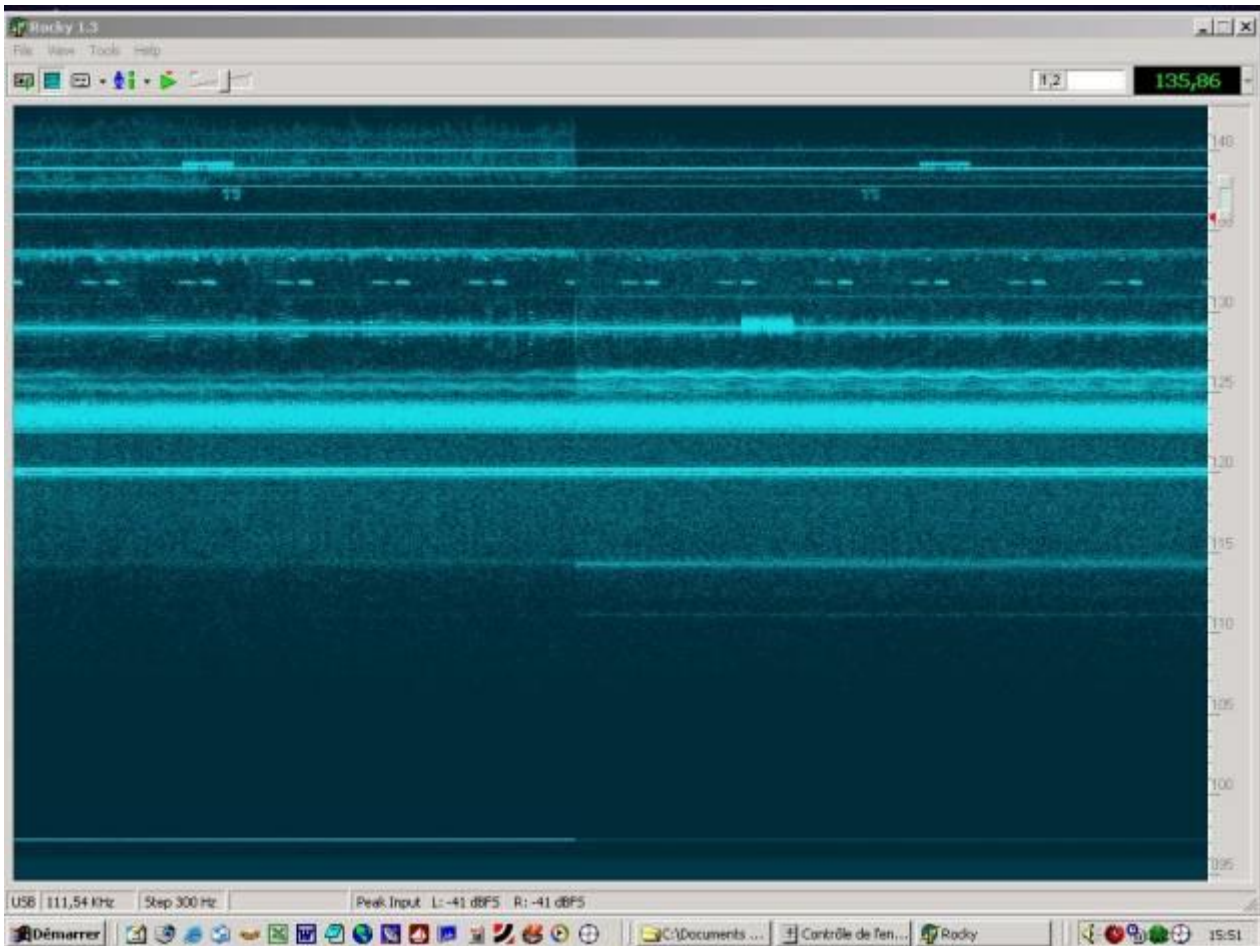
Grande question ! à la quelle je vais tenter de répondre , l'oscillateur local qui a une fréquence quatre fois plus grande que la fréquence à recevoir , est transformé par un compteur de Johnson en 2 x 2 signaux complémentés et déphasés de 90° (quadrature) qui actionnent quatre commutateurs analogiques , lesquels sont suivit par quatre condensateurs d'échantillonnage (sample) il ne reste qu'à recueillir aux bornes des condensateurs de phase opposée, en mode différentiel les signaux analogiques dont la fréquence est la différence en plus ou en moins entre l'oscillateur local /4 et le signal d'entrée ! (detector) simple non !!! Vous me direz : oui mais pourquoi deux signaux déphasés de 90° ? tout simplement pour filtrer la fréquence image , un simple phasing suffit . Il faut dire que ce concept ne fonctionne bien qu'en BF en général pas plus de 22 kHz , résumons : de la BF avec réjection de l'image non désirée c'est parfait pour faire du zéro IF (conversion directe) avec en plus de ça un mélange sans distorsions et de grande dynamique ! Il n'en fallait pas moins pour éveiller ma curiosité .

Et de cette technique, il naquit un projet !

En discutant avec des amis des LF, le sujet est venu sur les récepteurs 137 kHz, Michel F5WK m'a orienté vers cette technologie en me conseillant de lire la série d'articles de : Gerald Youngblood, AC5OG intitulés : A Software-Defined Radio for the Masses, Part 1 à 4. Ce que j'ai fait ! et autour de ce concept les discussions avec Michel sont allées bon train ! pour aboutir finalement au projet que je vais décrire maintenant. L'idée de AC5OG a été de prendre le principe de Tayloe mais en le faisant précéder d'un transfo symétrique élévateur d'impédance donc de tension, et de mettre 2 x 4 commutateurs analogiques pour faire passer la tension dans les condensateurs de façon différentielle. Le résultat est qu'il en découle deux avantages : du gain dans le mélangeur (oui et ce sans aucun élément actif, donc sans bruit rajouté !) le second est que du fait de la symétrie le mode commun est rejeté au maximum ! J'ai donc choisi ce principe pour mon projet de récepteur 137 kHz, la venue de nombreux soft radio et traitement numériques m'ont conforté dans ce choix. Le mélangeur OK mais derrière comment ça va suivre ? c'est la carte son d'un PC qui fait le reste ??? dubitatif j'étais ! alors je me suis livré à quelques manipes sur la carte son, voici les résultats. Ayant la chance de posséder un Générateur délivrant un signal parfaitement calibré en tension sur 50 ohms, je me suis lancé dans la mesure des performances de la carte son. Les impédances étant très différentes j'ai usé de l'artifice suivant : le géné est chargé par 50 ohms je recueille une tension connue aux bornes de la résistance que je rentre dans la carte son (la grande impédance d'entrée de la carte ne modifie pas l'impédance de charge du géné, ou si peu !) la mesure a été menée à 1 kHz et à 10kHz, les deux mesures sont identiques à 0.1 dB près ! pour afficher les résultats je me suis servi de l'outil formidable qu'est SpecLab de DL4YHF qui plus est, est freeware ! le Graphe fait apparaître quelques différences qui sont dues à l'atténuateur du géné, la linéarité est parfaite à 0.5 dB sur 100dB (pour info j'ai refait le test sur d'autres cartes le résultat est identique !) Donc rien à dire sur cette mesure, la protection de l'autre canal (diaphonie) est également très bonne. Plus rien ne s'opposant au projet j'ai donc « chauffé le Weller » ! On voit sur schéma les options retenues, l'oscillateur est sur 12 MHz il est divisé par vingt cinq et rentre ensuite dans le compteur de Johnson qui lui divise par quatre, ce qui fait une conversion de 120 kHz à zéro IF, pour la bande qui nous intéresse (135 à 138 kHz) c'est les logiciels qui transposent le 15 à 18 kHz en 0 à 3 kHz le mélangeur est précédé d'un filtre à deux CO pour éviter sa surcharge par les stations de radio qui ne sont pas bien loin dans la bande ! devant le tout j'ai un préampli avec un MMIC ERA-5 qui a un gain de 20 dB un NF de 4 dB et un IP3 de +36dBm !..... l'antenne est un cadre de 4 m² qui lui est très sélectif, voilà ! Un mot rapide sur l'I/Q (Inphase/Quadrature) les deux signaux BF déphasés de 90° entre dans la carte son par les canaux stéréo. Ils sont traités de façon logicielle afin de supprimer la bande indésirable et de ce fait pouvoir couvrir de 120 à 120+22 kHz et de 120 à 120-22 kHz (ce qui permet de recevoir de 98 à 142 kHz ! pas mal non !!!) dans mon cas cette configuration n'est pas retenue puisque le récepteur est dédié au 137 kHz.

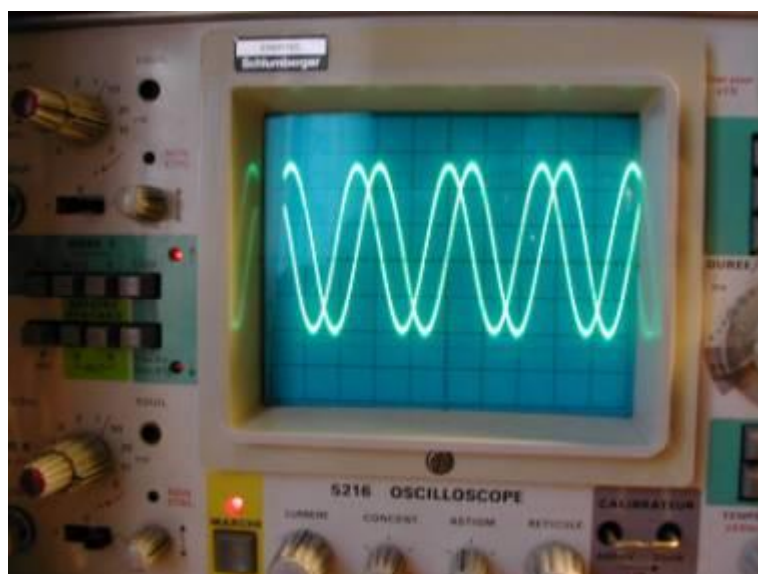
Le concept oui ok, mais les résultats !

Du calme on y arrive, c'est largement mieux que tout ce que j'ai connu jusqu'ici. C'est dû en grande partie à la qualité du mélangeur, il y a une très grande finesse d'écoute (pas de cochonneries qui traînent ! entre les signaux on entend le bruit de la bande ! pas un truc diffus inqualifiable !) pour la sensibilité c'est très correct, sur une antenne filaire de grande dimensions pas besoin de préampli par contre sur un cadre il vaut mieux en prévoir un. A ce jour je n'ai pas fait de mesures absolues mais le plancher de bruit du récepteur est largement inférieur au bruit de l'antenne même le jour ! Il faut ajouter que ce récepteur est un véritable outil de mesure, la linéarité de l'amplitude relative est digne des meilleurs appareils (c'est dû au mélangeur associé à la carte son qui font cette dynamique d'au moins 100 dB) un autre point (et pas des moindres) pas un soupçon de transmodulation j'ai même enlevé le réjecteur que j'avais auparavant sur France inter (j'ai 1,5 V sur l'antenne filaire de 162 kHz !) Allouis n'est pas très loin !!! Maintenant quelques images commentées.

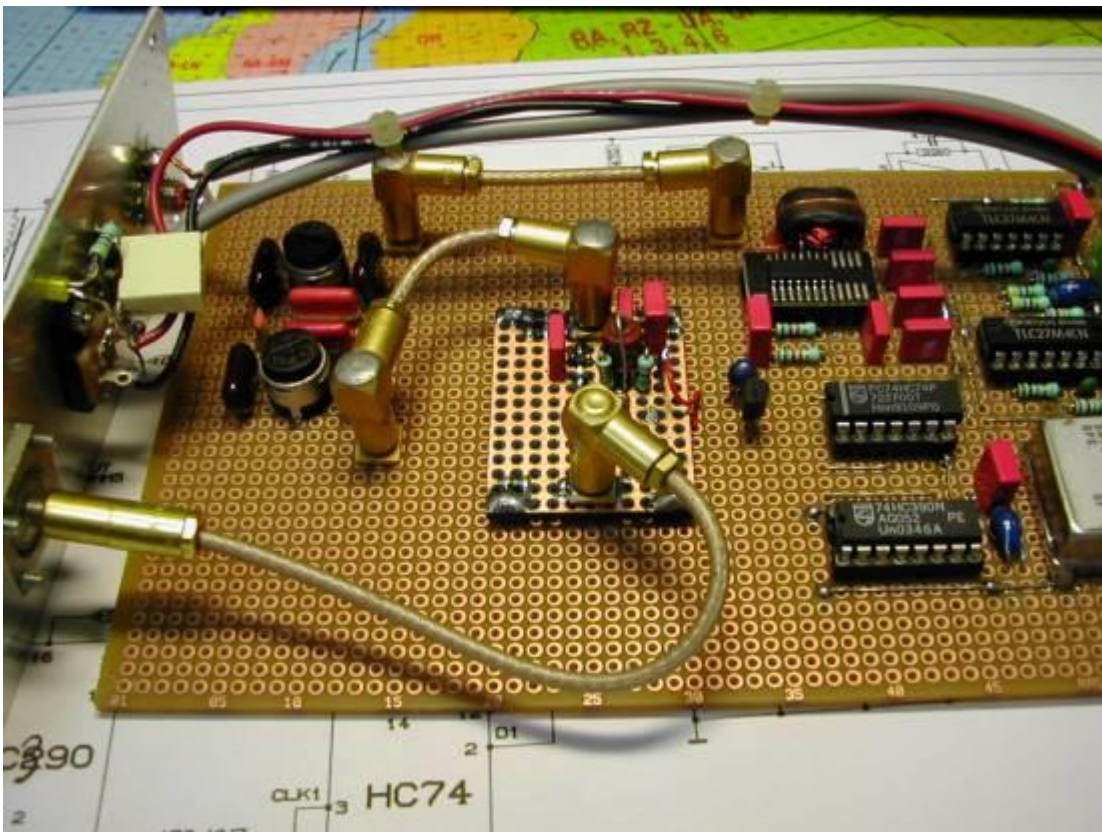
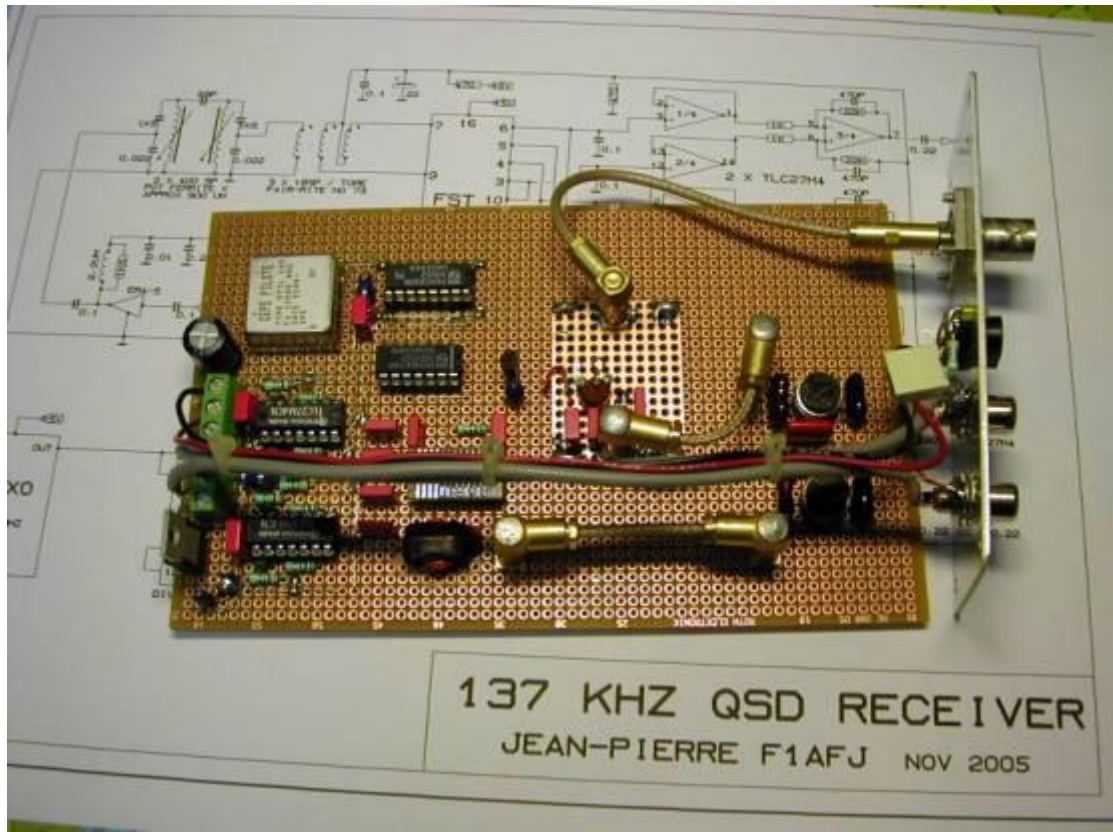


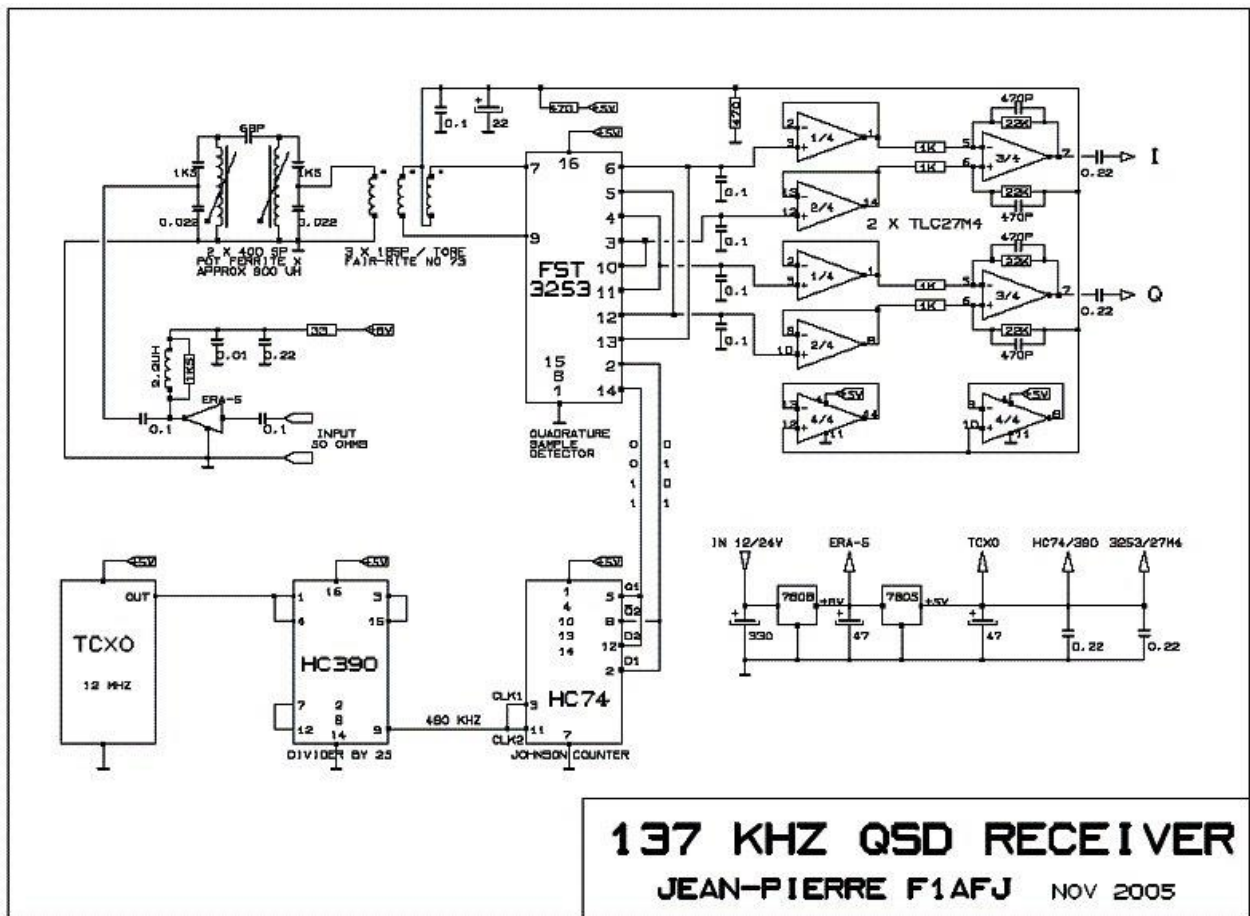
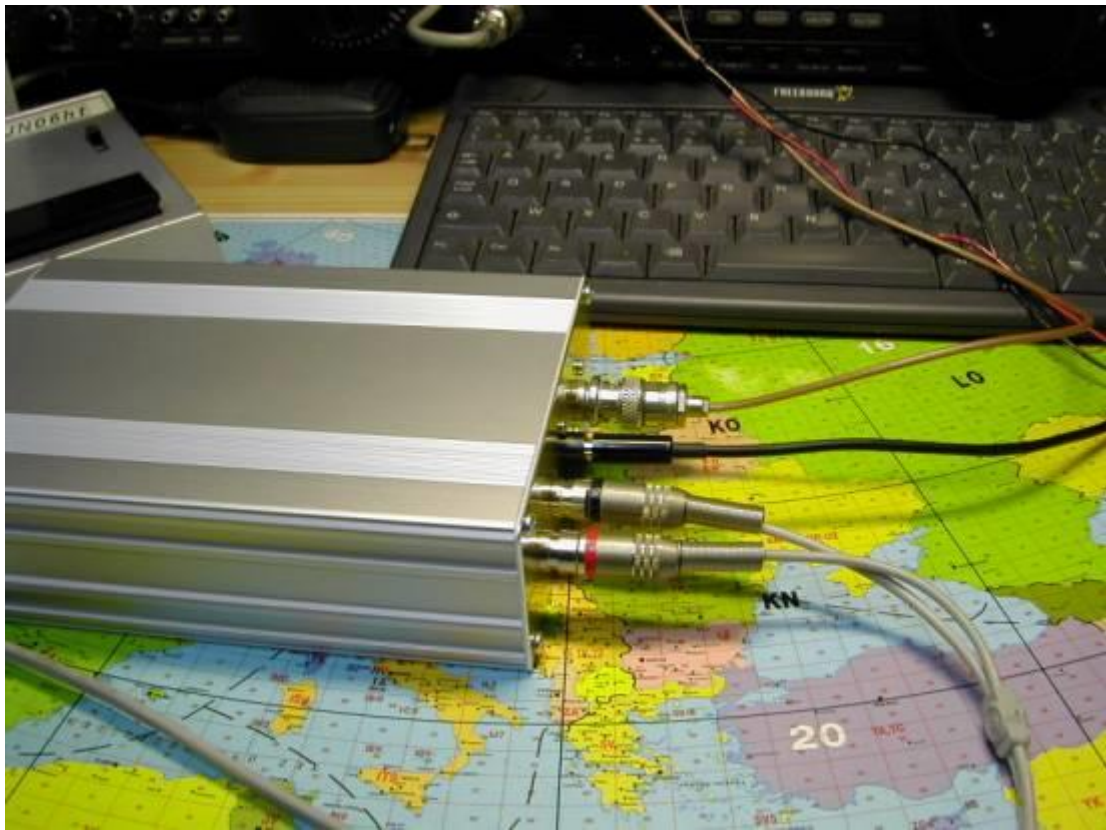
Spectre de la bande entre 98 et 142 kHz (à gauche cadre apériodique , à droite cadre accordé)

Cette capture a été faite de jour , la nuit il y a plus de choses !



Les signaux BF I et Q déphasés de 90°

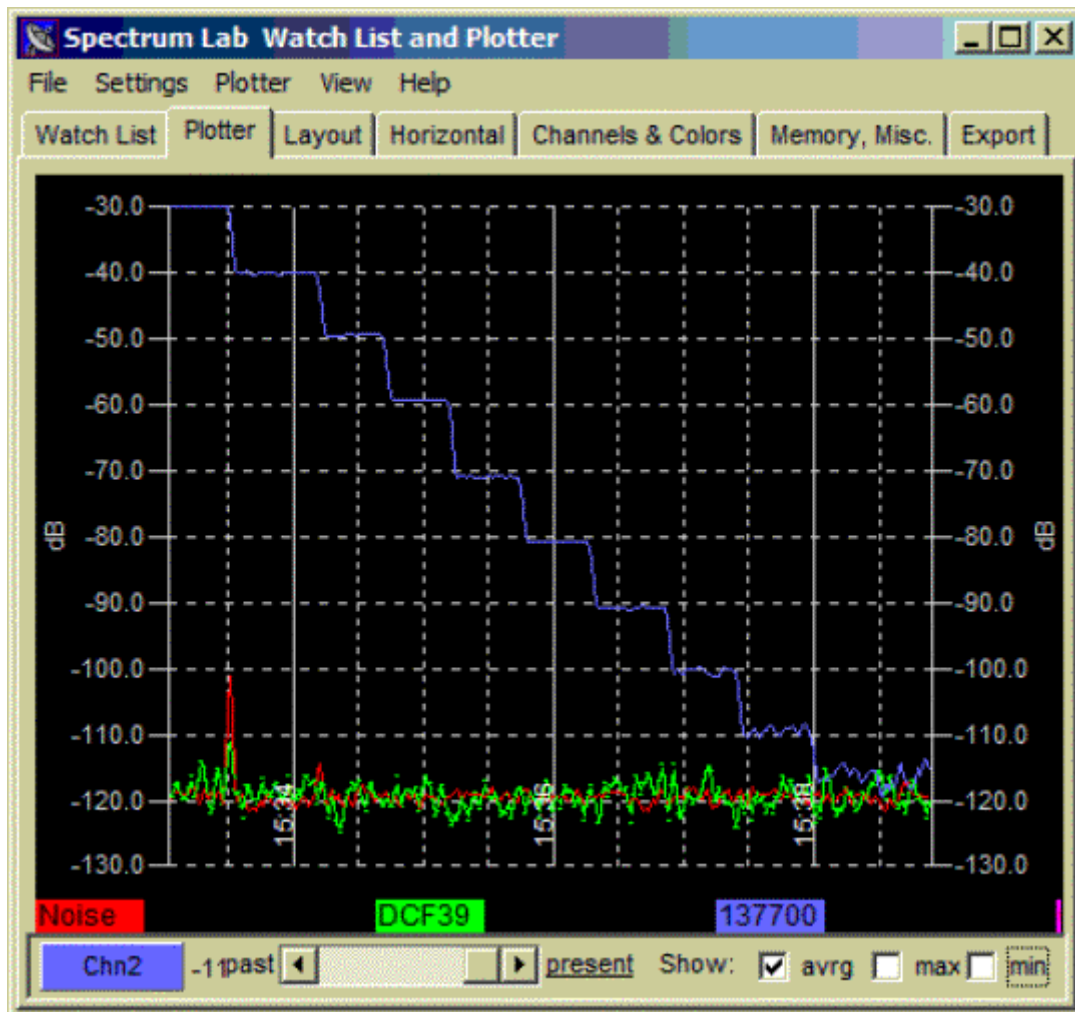




QSD , les mesures :

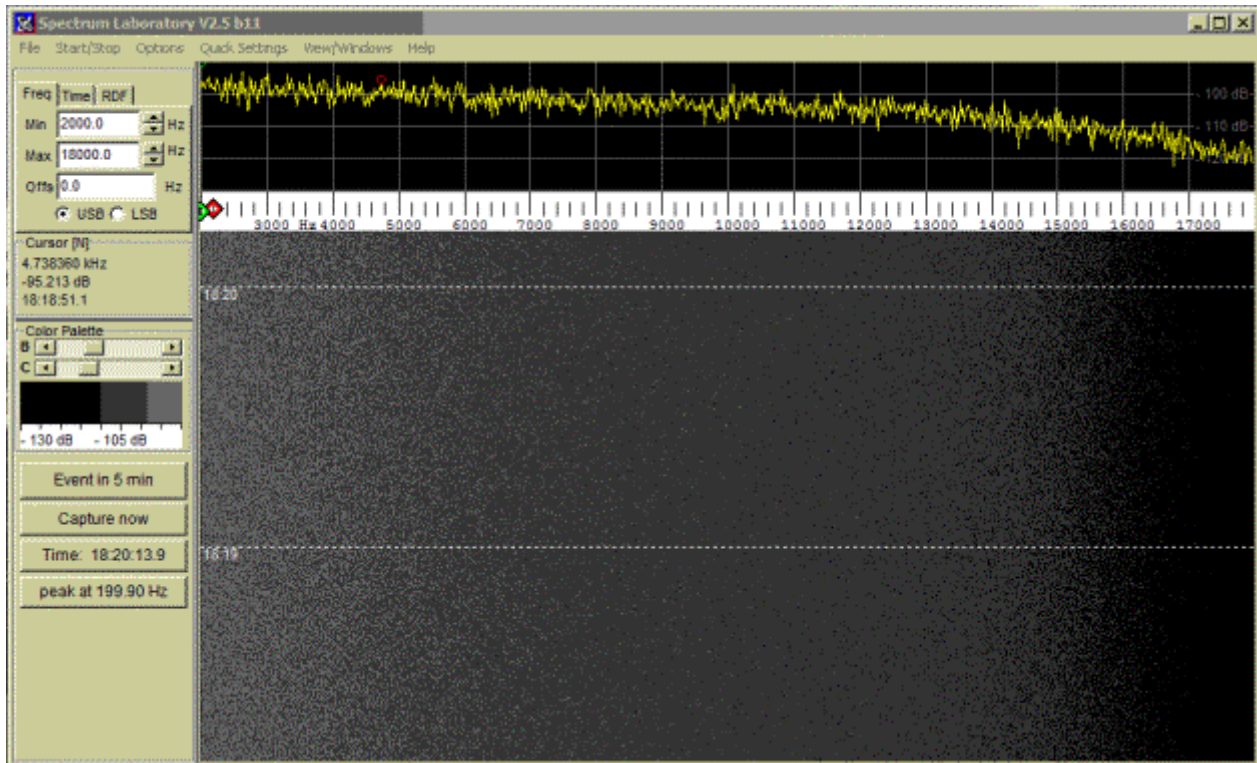
J'ai enfin récupéré mon géné HF qui était en étalonnage à la suite de la réparation (après les mesures que j'avais faites sur les cartes son j'avais voulu faire une mesure de ma réception 137 kHz , mais l'étage de sortie du géné n'a pas aimé le +12 V qui se promène sur la prise d'antenne pour alimenter le préampli du cadre !!!!) Donc de nouveau j'ai un géné digne de ce nom . Cet après midi le temps n'incitant à la sortie , je me suis lancé à faire une série de mesures sur le QSD en voici le résumé :

Linéarité du mélangeur du QSD , le géné est raccordé au QSD , la fréquence est de 137700 kHz la sortie est réduite de 10 en 10 dB (voir l'image suivante) les variations de + ou - 1 db sont dues à l'atténuateur du géné , on peu dire que le QSD est à parfait à + ou - 0,2 dB .



Le QSD plus un PC ça fait un super appareil de mesure ! ne croyez-vous pas ?

Gain de conversion du mélangeur en fonction de la fréquence de sortie, une source de bruit à niveau constant est connectée à l'antenne . Voir l'analyse spectrale (faite avec SpecLab) entre 2 et 18 kHz , en dessous de 2 kHz le mélangeur fait beaucoup de bruit (rien n'est parfait) ceci est dû en grande partie au bruit de phase de l'oscillateur local . Entre 2 et 17 kHz il faut compter une quinzaine de dB en moins au bout de la bande (voir l'image suivante) je pense que l'on peu y remédier en partie , mais pas en totalité ! Michel F5WK a fait des essais avec des capa d'échantillonnage plus faibles et il semble que ce soit plus plat , je ferai aussi ce genre d' essais .



Sortie BF du QSD qui montre le gain de conversion en fonction de la fréquence

Mesure de la sensibilité absolue de la bête , le QSD et le pc sont sur batterie dans mon garage le signal du géné est acheminé par 3 longueurs de 10 m en coax 50 ohms , entre chaque longueur est intercalé un atténuateur de précision de 10 dB et un filtre de gaine à ferrite , l'ensemble a été validé avec l'analyseur de spectre (31 dB @ 137 kHz) ce qui fait que le géné sortant au mini à -129 dBm on peu penser aller jusqu'à -160 dBm !!!!! Les valeurs qui suivent , sont relevées sur ma config avec le préampli à MMIC en service . La sensibilité maximale pour une bande de 0,3 Hz (cas du QRSS 3) est aux alentours de -147 dBm on s'aperçoit que l'on « titille » la dizaine de nanoVolt ! La même mesure a été menée pour une bande de 0,03 Hz (QRSS 60/120) et là j'ai été obligé de mettre un atténuateur de 20 dB en plus !!!! on est aux alentours de -167 dBm aye ! aye ! on « titille » le nanoVolt ... Les conditions de mesure font qu'il faut être prudent sur ces valeurs (je n'ai pas de cage de faraday) j'ai tout de même pris un max de précautions , je pense donc ne pas être trop loin de la vérité (les résultats en atteste !)

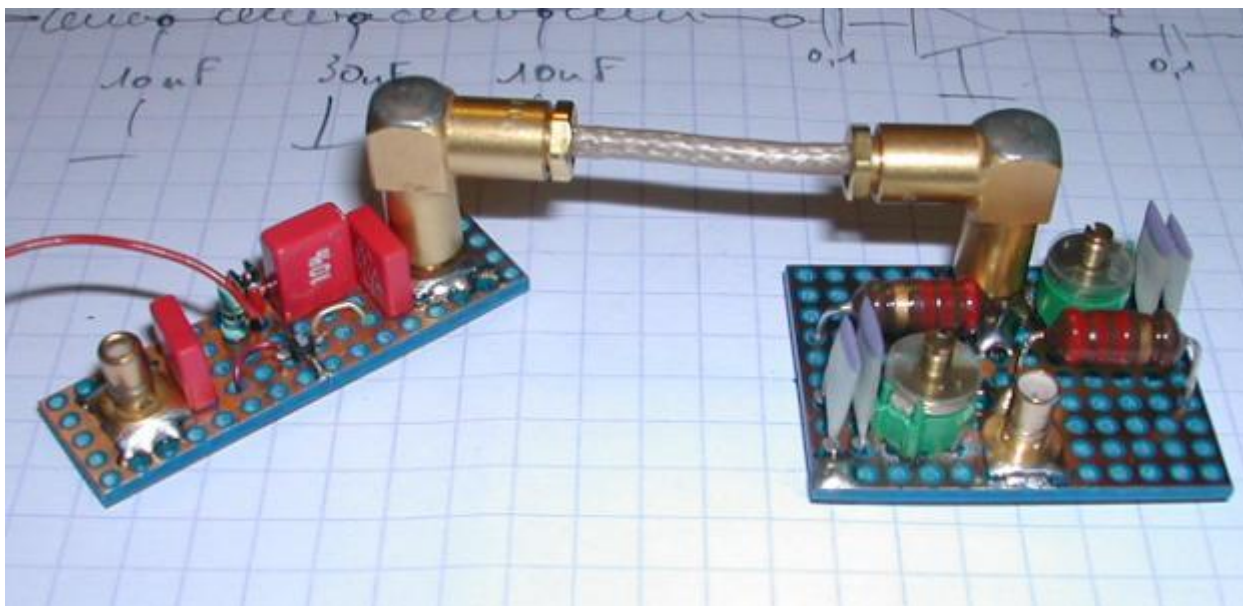
QSD , Les évolutions après 8 mois de test :

Durant l'hiver de LF le QSD a subi un certain nombre de modifications , pour en améliorer les performances et en faire une bête de course ! (il commence à bien marcher)

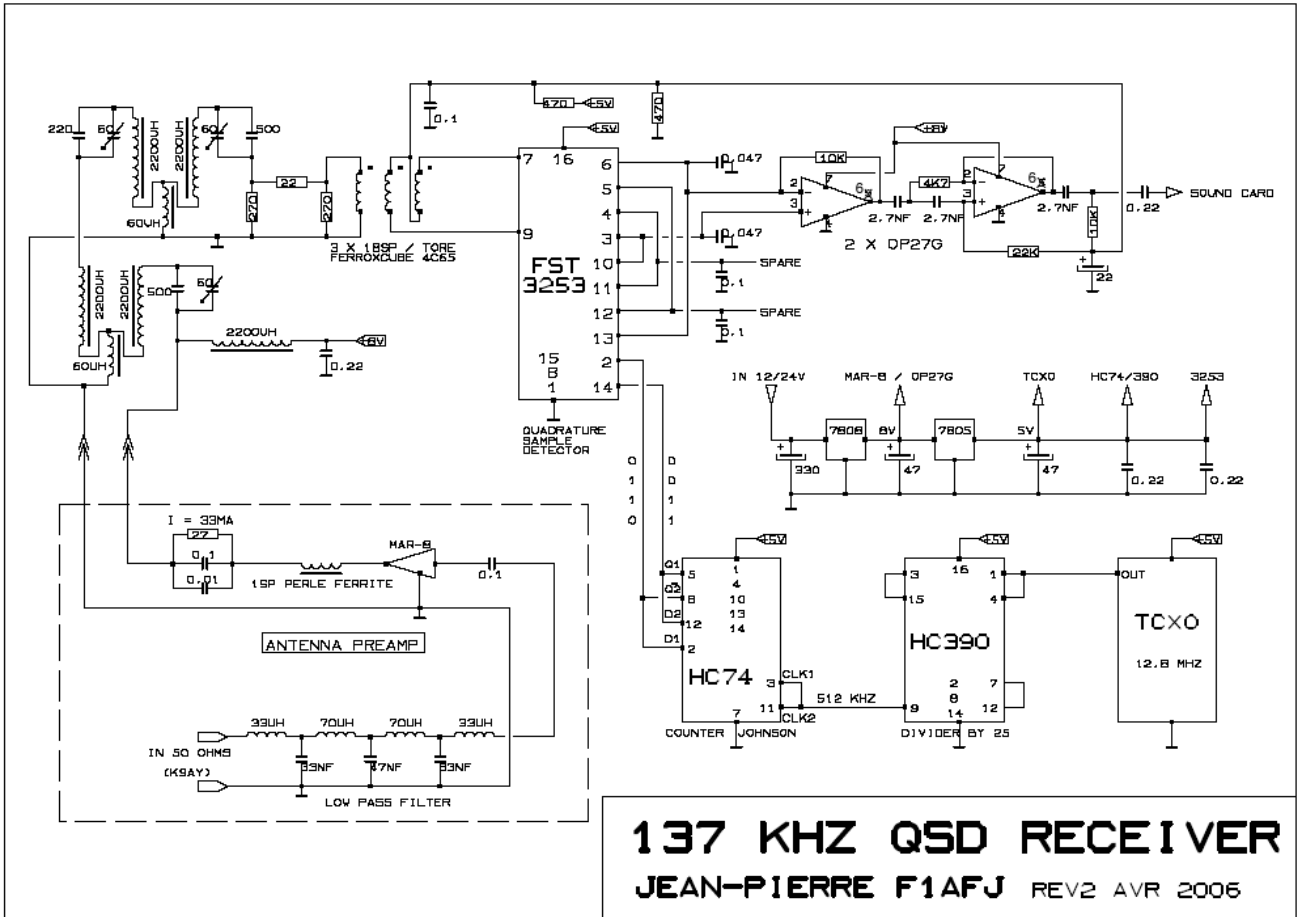
Voici les parties qui ont été revues :

- Passe bas à l'entrée pour supprimer la FM captée par la boucle de couplage du cadre .
- Oscillateur local ramené à 128 kHz (au lieu de 120 kHz) pour descendre la FI à 9 kHz (au lieu de 17 kHz)
- Réfection de l'ampli post échantillonnage et adjonction d'un passe haut à 6 kHz , suppression de la 2 ème voie (Q) . Le traitement I/Q par la carte son ne donnant pas les résultats escomptés (trop de latence dans les voies de la carte stéréo)
- Amélioration du filtrage de la Fréquence image (pour compenser la suppression de l' I/Q) par un nouveau filtre de bande HF , changement du MMIC (meilleur NF) .

Il suffit de regarder le schéma pour visualiser les diverses modifications , elles n'apportent pas de commentaires sauf peut-être le filtre de bande HF ! il est fait avec des selfs moulées de 2,2 mH ($Q > 50$) couplées de façon magnétique , on règle le couplage par éloignement/rapprochement (voir la photo du module) et le centrage en fréquence par les deux ajustables . Dans la version définitive le couplage est fait par une petite self dans le pied . Le facteur de forme est bien meilleur que celui du montage à 2 pots ferrite (j'ai gagné 35 dB sur la F. image) Pour faire les comparaisons et les tests j'utilise des modules à entrée/sortie 50 ohms sur "subcliv" que je configure comme je le veux ! c'est le seul moyen que je connaisse pour faire des comparaisons et des tests valables .



Vue des modules de test , le filtre de bande (à droite) le préampli à MMIC (à gauche)



Le schéma à jour au 25/09/2006

Maintenant que nous avons vu la réception , si on parlait de l'antenne !

J'ai fait nombres d'essais de cadres , voici la description du petit dernier :

L'antenne cadre K9AY

Il y a longtemps que j'en rêvais ! je l'ai faite ! la négociation avec XYL à été ardue !... mais nous sommes parvenus à un accord . Cette antenne n'est opérationnelle que depuis quelques jours et les résultats sont à la hauteur de mes espérances . A cette époque de l'année les orages dans le Sud sont quasi journaliers , donc c'est parfait pour tester le rapport AV/AR , elle est orientée 300°/120° favorable pour le continent américain et le bassin méditerranéen , en ce moment les orages sont très virulents dans le sud-est , c'est le moment de tester le transatlantique ! Après deux nuit d'enregistrement voici les premiers résultats :



WD2XGJ en FN42hi (5536 km) sur ma K9AY



*Le même moment chez Hartmut Wolf **



WD2XGJ Une autre nuit



*Le même moment chez Hartmut Wolf **



Toujours WD2XGJ mais la nuit passée ici sur ma K9AY

Depuis ces enregistrements , les jours ont passé et je suis toujours très satisfait de cette antenne !

Je vais vous la décrire :

L'impulsion est partie en voyant une canne à pêche en promo dans une grande surface , 7 mètres en fibre de verre pour 20€ le grand bonheur ! J'avais lu de nombreux articles sur ce concept , j'ai donc modélisé avec "EZNEC" la K9AY . Je vous en livre les résultats à la page suivante .

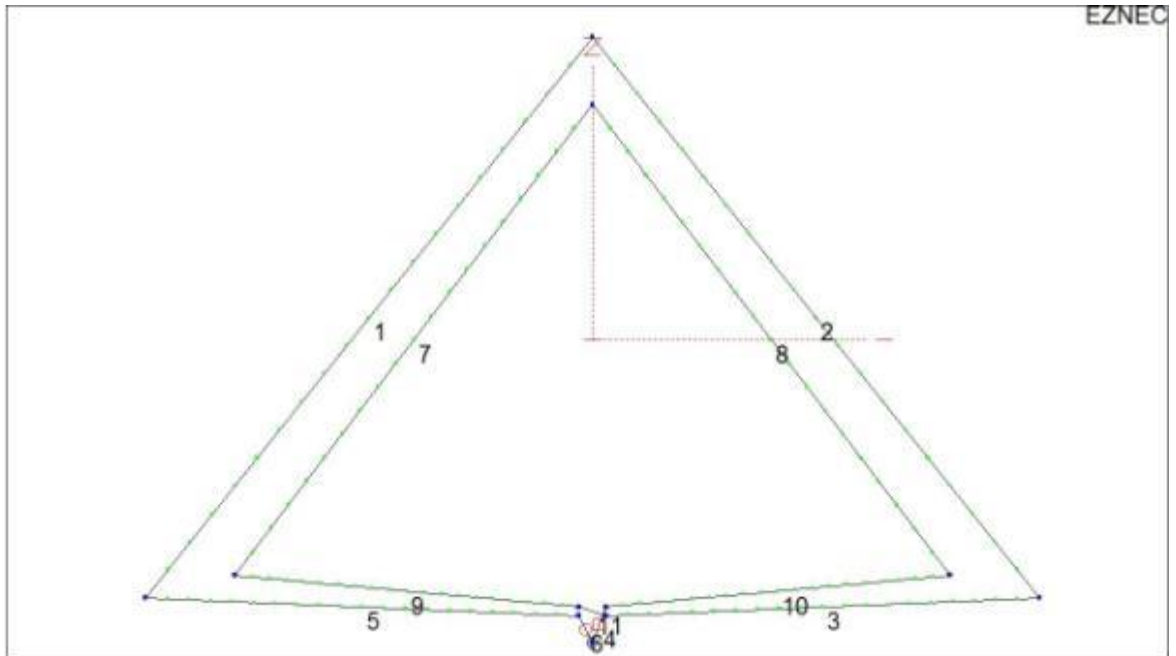


Schéma électrique de l'antenne

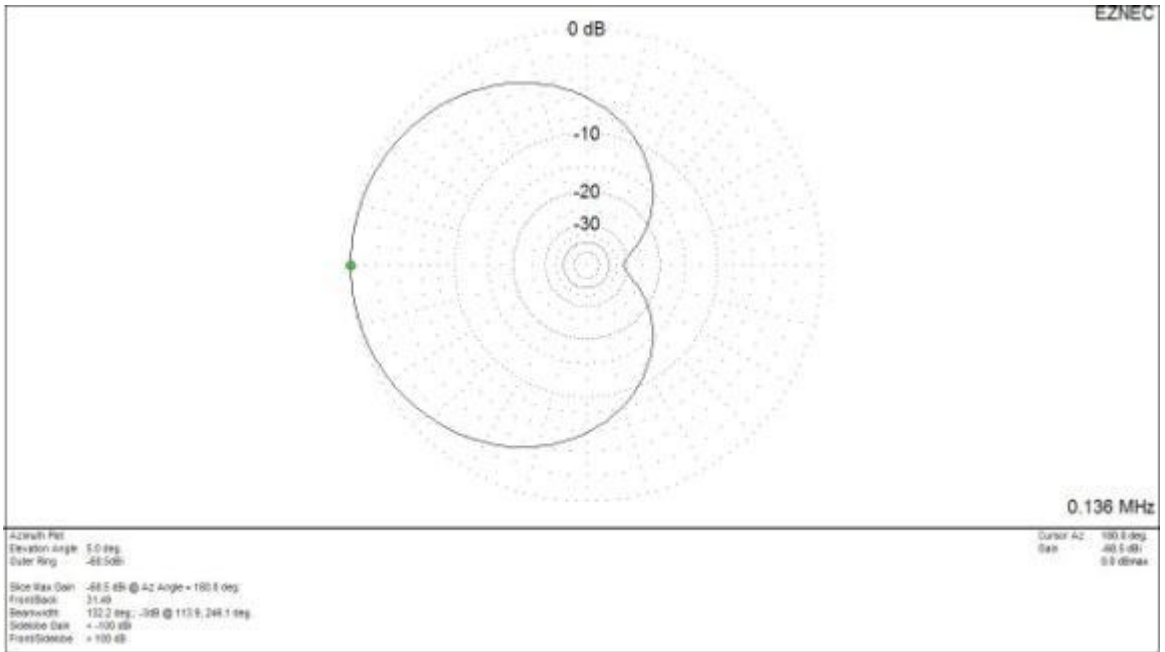
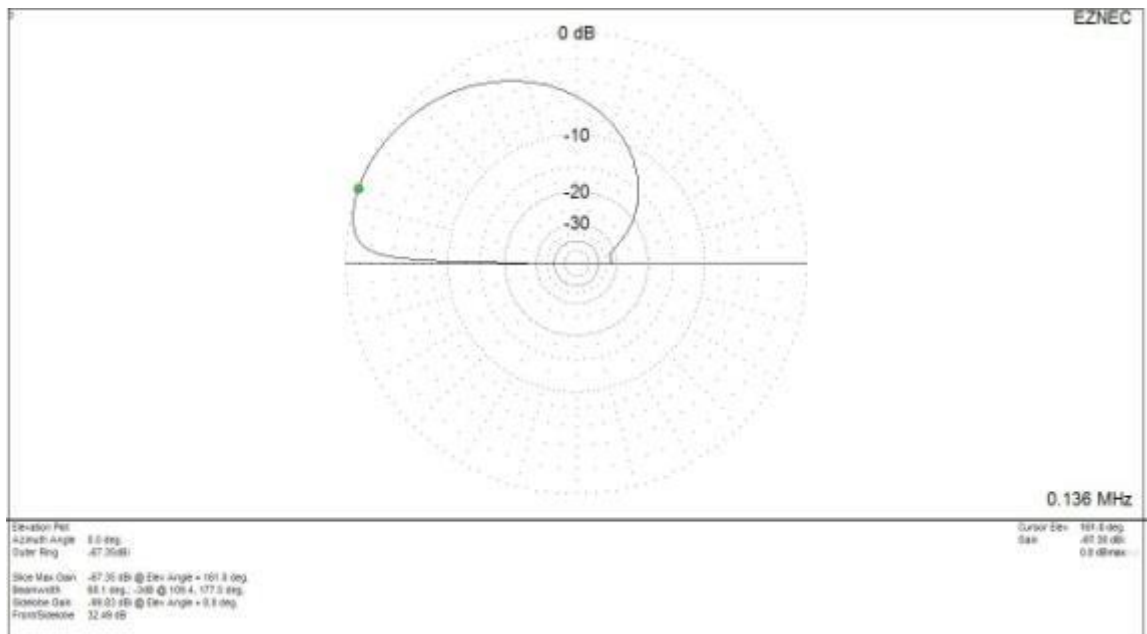
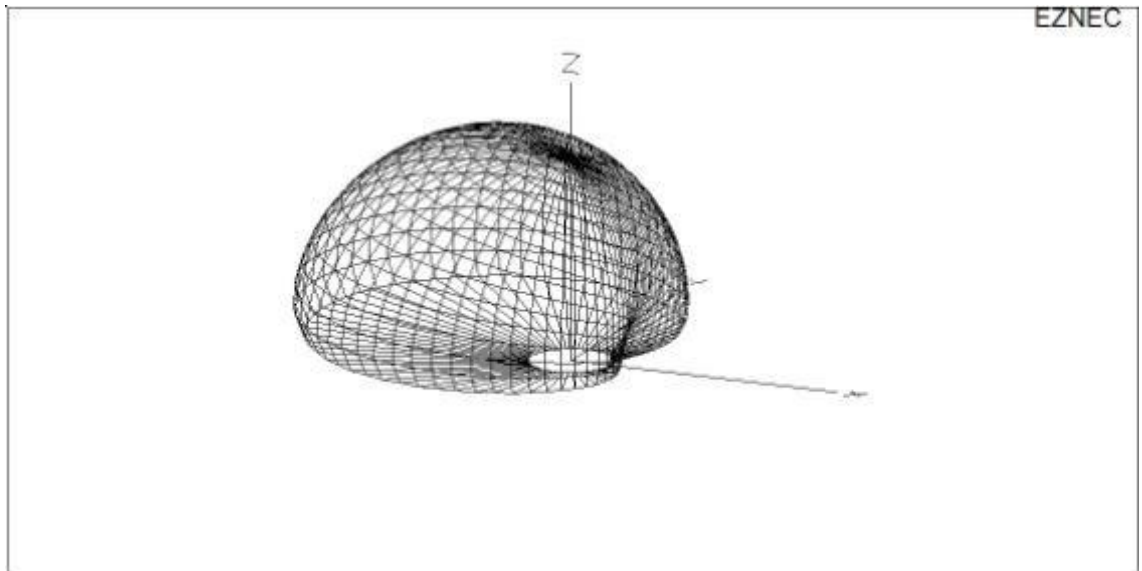


Diagramme horizontal





Vue du rayonnement en 3D



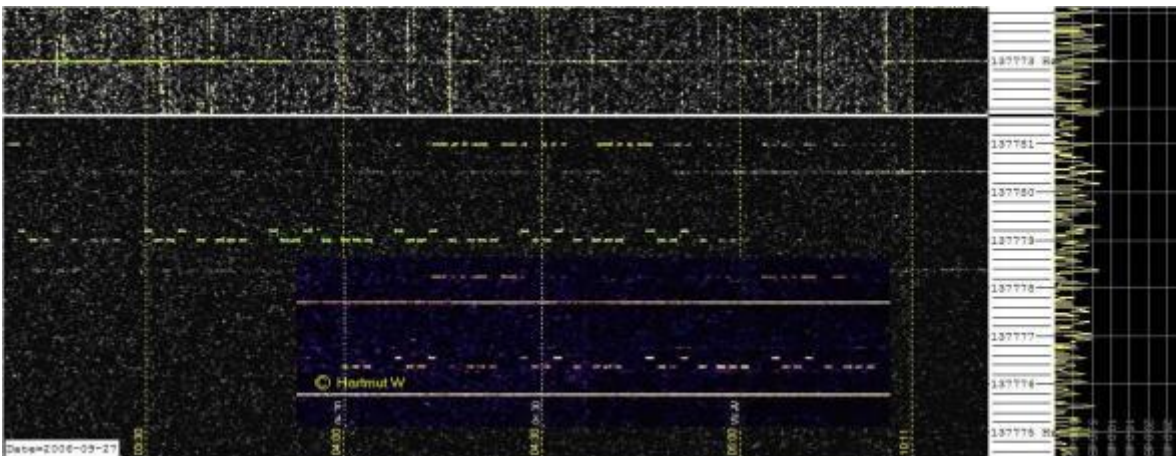
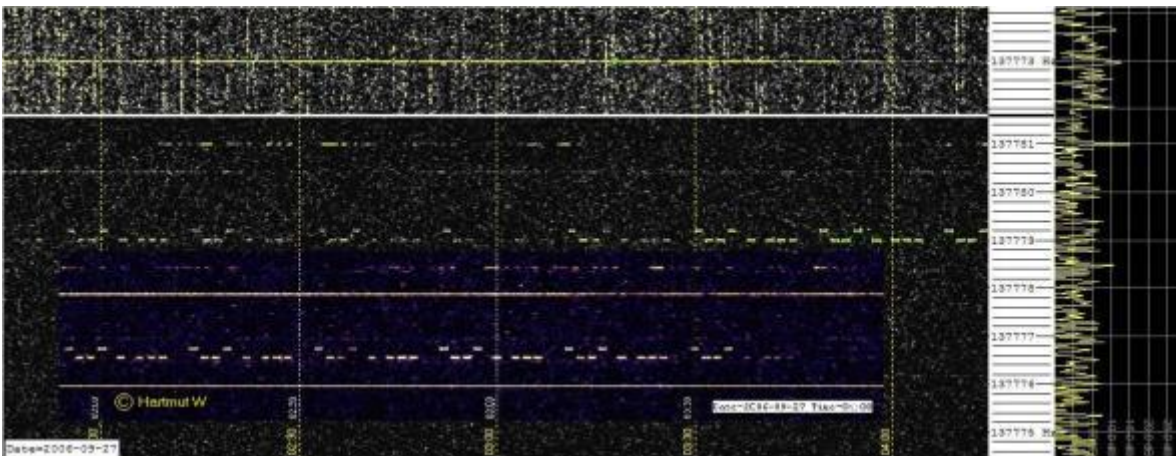
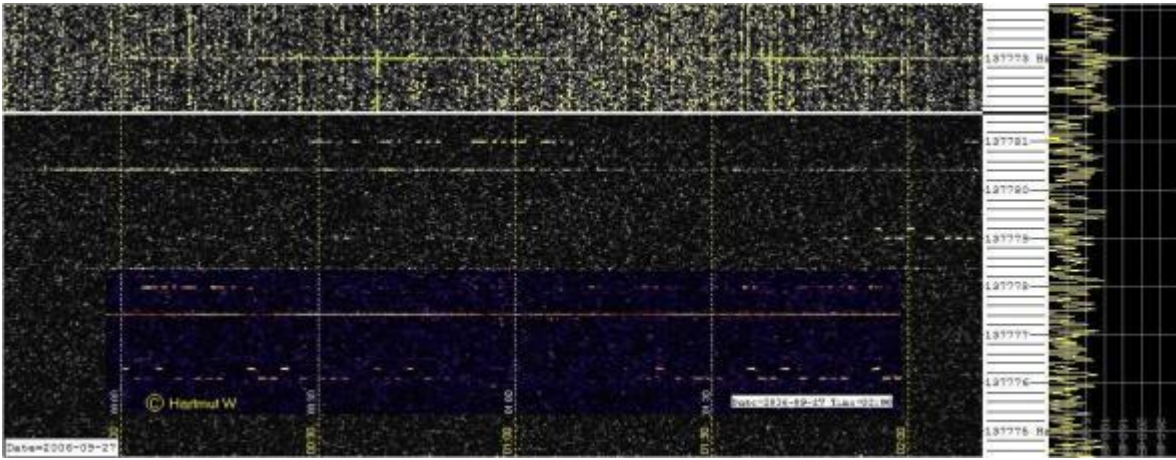
Le coupleur de la K9AY



Vue sur la canne à pêche et les isolateurs

Des captures transatlantiques avec cette antenne

(le haut du diagramme , centré sur 137773 est sans CAG et sans NB)



,781kHz WD2XNS en QRSS60* et sur 137,779kHz WD2XES en DFCW60*

Par dessus mes captures , j'ai incrusté celles de Hartmut Wolf * (en bleu) alignées en temps .

On voit très bien les variations du signal , qui sont en opposition , nos QRA étant distant de plus de 800 km . Vous voyez que j'ai quelque peu des raisons d'être satisfait de cette antenne .

Voilà ce qui termine cette mise en bouche !..... Si des fois il vous venait l'idée de faire des Grandes Ondes , venez donc nous rejoindre ! sachez que vous serez le bienvenu . Vous pouvez aussi venir causer chiffons avec nous sur : http://fr.groups.yahoo.com/group/fr_LW_group/

73 qro Jean-Pierre f1afj

*Hatmut Wolf est notre maître es' LF , c'est au dire de tous : la plus fine oreille d'Europe !

*Le chiffre qui suit le mode , ex : 60 veut dire que le point dure 60 secondes !