F8CED, Cyrille **11 novembre 2010**

Le Trafic via Satellites LEO?
Mais c'est très simple...!

Avant propos:
J'ai souvent entendu dire que réaliser des liaisons entre radioamateurs via les satellites demandait des moyens importants et qu'il valait mieux s'y connaître, etc.

L'intérêt de ce document est de faire découvrir à tous qu'il est facilement possible d'établir des liaisons radio via nos satellites, en particulier avec ceux défilants appelés LEO SAT (Low Earth Orbit), situés entre 500 et 2000 km de la terre.

Mon but est de faire partager mon expérience d'utilisation de ces satellites, répéteurs FM évoluant en orbite de basse altitude (Low Earth Orbit). En particulier, je veux d'une manière simplifiée, en décrivant des systèmes de base et peu coûteux, permettre rapidement la réalisation de QSO.

Suivant divers niveaux d'approche, je décris point par point comment installer une station, puis l'opérer dans différentes configurations.

Je ne décris pas ici les systèmes pilotés par ordinateur, les groupements d'antennes orientées automatiquement en azimut et en élévation, qui sont tout à fait performants, mais qu'il sera possible d'utiliser plus tard, si désiré.
D'autres satellites et modes, que les LEO SAT, sont plus faciles d'accès avec de tels systèmes, comme par exemple les transpondeurs linéaires en SSB/CW de VO-52, de F0-29, etc.

Cependant, je montre comment faire aussi bien dans la manière de rentrer en contact à l'aide des satellites LEO en FM pour un faible coût, avec des systèmes qu'il est facile de transporter et d'employer n'importe où.

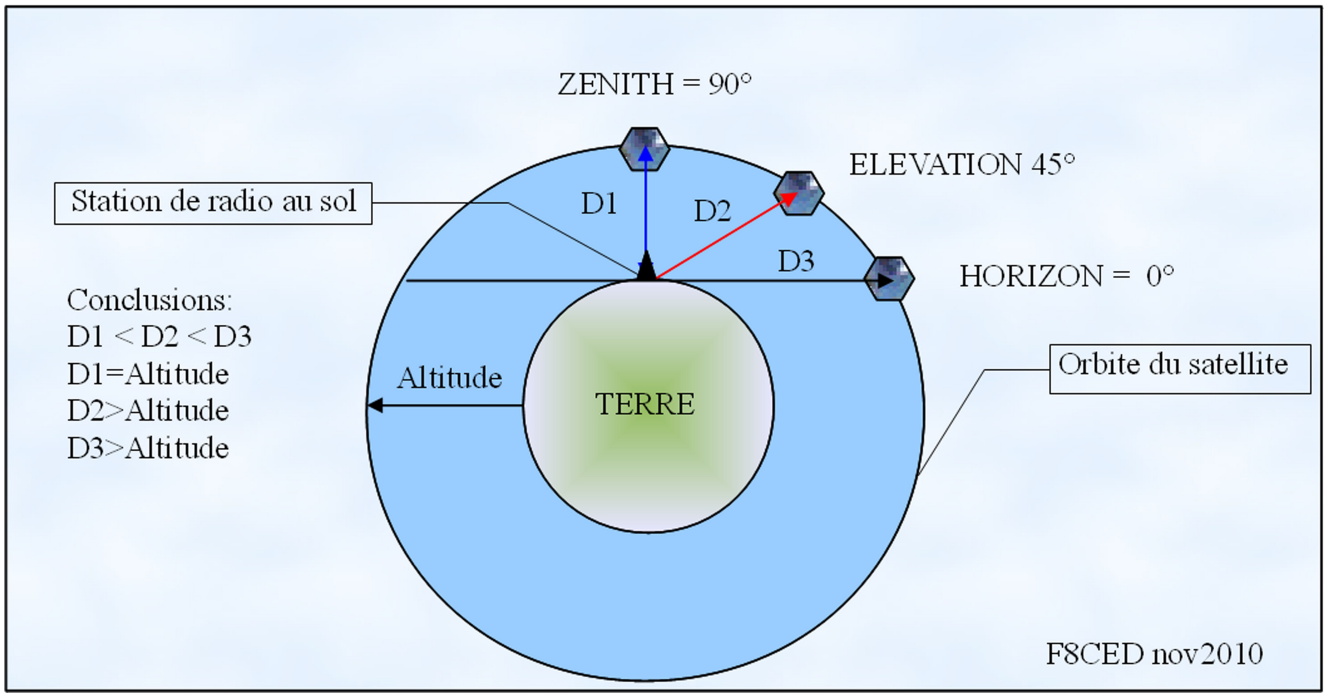
Cet article donnera envie d'essayer, enfin je l'espère.

1) État des lieux:

Actuellement, il y a six satellites LEO opérationnels qui sont des relais analogiques en phonie FM en orbite à environ 800 km de notre planète:
AO-51 (Echo) SO-50 (SaudiSat-1C), AO-27 (Eyesat), HO-68 (Hope-1), SO-67 (Sumbandila) et ISS (Station Spatiale Internationale).
Noter toutefois que AO51, HO-68, SO-67 et ISS ne sont pas toujours actifs de la même manière, il faut consulter un calendrier qui planifie leurs activités.

Chaque satellite survole la France plusieurs fois quotidiennement (période orbitale d' environ 100 minutes).
Parfois (de 2 à 4 fois/jour) un passage dure 15 minutes environ (pour chaque satellite) avec une élévation de plus de 20 degrés au-dessus de l' horizon.
Plus l'élévation est importante, plus le satellite est proche de vous et plus son signal sera fort.
C'est donc au zénith, c'est-à-dire une élévation de 90 degrés par rapport à l'horizon, que le satellite est le plus proche de la terre. (cf schéma A)

Schéma A:



Les puissances émises par les émetteurs des satellites LEO vont d'environ 250 milliwatts à tout juste 4 watts, rayonnées par des dipôles ou des ¼ d'onde. Même à ces puissances, les signaux peuvent être entendus jusqu'à une distance de 3000 km (en vision directe) avec un équipement simple et d'un prix de revient faible.

Il est possible d'accéder au répéteur FM en émettant avec 5 watts (puissance typique d'un «Pocket») et des contacts occasionnels peuvent être établis en utilisant moins d'un watt.

Deux stations distantes de presque 6500 km peuvent réaliser un contact continental ou, intercontinental au moyen d'un portatif bi-bande avec 5 watts et une petite antenne. Vous avez par conséquent besoin d'une installation à deux bandes de fréquences qui est capable de la transmission sur 2 mètres et de la réception sur 70 cm (pas nécessairement simultanément), et inversement en ce qui concerne ISS.

Certains opérateurs aiment employer un émetteur/récepteur «full-duplex», mais cela n'est pas du tout nécessaire.

Si il n'est pas possible d'utiliser un bi-bande approprié, dans ce cas, employer deux émetteurs/récepteurs à la place.

2) Facteurs clés pour réussir:
Les facteurs les plus importants pour établir à coup sûr des contacts via les satellites LEO sont :
→ la capacité d'ajuster la fréquence de réception (sur 70 cm) fonction de l'effet Doppler durant le passage.
→ la capacité de poursuivre le satellite. Non seulement à travers le ciel en azimut et en élévation au-dessus de l'horizon, mais aussi d'une manière primordiale, en maintenant l'angle de polarisation de l'antenne en cohérence avec les signaux du satellite.
→ le maximum de gain en réception sur la liaison descendante et un angle d'ouverture assez large du lobe de l'antenne utilisée.

3)Théorie de la liaison:

3-1) L'effet Doppler:

Quand un émetteur et un récepteur s'approchent, la fréquence reçue est plus haute que la fréquence qui a été transmise. Si l'émetteur et le récepteur s'éloignent, la fréquence reçue est inférieure à la fréquence qui a été transmise.

Lorsque le satellite est au zénith de la station au sol, ainsi l' effet Doppler est nul à ce stade, la fréquence est nominale.

En liaison montante sur la bande des 2 m, l'effet Doppler étant inférieur à 5 Khz, et donc inférieur à la bande passante, aucun ajustement de la fréquence de l'émetteur n'est franchement nécessaire pour permettre la capture du signal FM par le satellite.

Sur la bande des 70 cm, l'effet Doppler est trois fois plus grand, le signal reçu apparaissant jusqu'à environ 10 KHz plus haut que le nominal pendant que le satellite se lève à l'approche (acquisition de signal, ou AOS), et jusqu'à 10 kilohertz inférieur au nominal lorsque le satellite s'éloigne et se couche (perte de signal, ou LOS).

Il est donc nécessaire d'ajuster le récepteur (un pas de 5 kilohertz à la fois) pendant le passage suivant si le signal reçu commence à «cracher» pour retrouver une réception correcte.

Les tableau ci-dessous indiquent les fréquences de liaison montante et les fréquences de liaison descendante qui devraient être programmées dans les mémoires de l'émetteur/récepteur pour chaque satellite. En gras, les fréquences nominales des répéteurs FM.

Noter que depuis quelques années, il est nécessaire d'émettre un son sub-audible CTCSS modulé sur la fréquence de montée pour limiter les interférences produites par des « utilisateurs » non autorisés sur nos bandes, intrus divers, taxis africains, communications en langues slaves ou arabes, etc.
Les satellites reçoivent aisément tout signal radio émis sur leur fréquence de réception...

Satellite	**AO-51**		**AO-51** (QRP)		**SO-50* / AO-27**	
Acquisition	Montée TX MHz (CTCSS)	Descente RX MHz	Montée TX MHz (CTCSS)	Descente RX MHz	Montée TX MHz (CTCSS)	Descente RX MHz
Début (**AOS**)	145.920 (67.0Hz)	435.310	145.880 (67.0Hz)	435.160	145.850 (67.0Hz)	436.805
Approche	145.920 (67.0Hz)	435.305	145.880 (67.0Hz)	435.155	145.850 (67.0Hz)	436.800
Intermédiaire	**145.920 (67.0Hz)**	**435.300**	**145.880 (67.0Hz)**	**435.150**	**145.850 (67.0Hz)**	**436.795**
Éloignement	145.920 (67.0Hz)	435.295	145.880 (67.0Hz)	435.145	145.850 (67.0Hz)	436.790
Fin (**LOS**)	145.920 (67.0Hz)	435.290	145.880 (67.0Hz)	435.140	145.850 (67.0Hz)	436.785

*****Afin d'activer le répéteur de SO-50 pour 10 minutes, il faut employer le ton sub-audible CTCSS de 74,4Hz. Ajouter un canal mémoire dédié à cette fonction peut être utile...

Satellite	**HO-68**		**ISS (Répéteur)**		**SO-67 ***	
Acquisition	Montée TX MHz (CTCSS)	Descente RX MHz	Montée TX MHz (CTCSS)	Descente RX MHz	Montée TX MHz (CTCSS)	Descente RX MHz
Début (**AOS**)	145.825 (67.0Hz)	435.685	437.790	145.805	145.875 (233,6 Hz)	435.355
Approche	145.825 (67.0Hz)	435.680	437.795	145.800	145.875 (233,6 Hz)	435.350
Intermédiaire	**145.825 (67.0Hz)**	**435.675**	**437.800**	**145.800**	**145.875 (233,6 Hz)**	**435.345**
Éloignement	145.825 (67.0Hz)	435.670	437.805	145.800	145.875 (233,6 Hz)	435.340
Fin (**LOS**)	145.825 (67.0Hz)	435.665	437.810	145.795	145.875 (233,6 Hz)	435.335

*SO-67 n'est pas toujours actif et la montée est en FM étroite.

3-2) Poursuite du satellite à travers le ciel et ajustement de la polarisation de l'antenne:

Tout simplement, il faut positionner continuellement l'antenne de réception pour suivre le satellite, en fonction du passage prédit, en maximisant le signal reçu. Ceci aussi bien en élévation qu'en azimut mais également en recherchant la meilleure polarisation de l'antenne.

Les antennes d'un satellite sont habituellement des fouets ¼ d'onde ou des dipôles. Le satellite tourne sur lui même, peut lentement prendre ou perdre de l'élévation, changeant l'orientation des antennes. Par conséquent, du «fadding» est généré sur les signaux qu'il transmet ce qui les rendent trop faibles pour être reçus durant le passage.
Si la polarisation à un certain instant s'avère justement être perpendiculaire à la polarisation de l'antenne de réception, il y aura une perte du signal d'environ 20 dB (100 fois).

En utilisant une antenne qui n'est pas réglable en polarisation, il apparaîtra de longues périodes de non réception du signal satellite pendant le passage. Il sera donc possible d'établir quelques contacts, mais sur une grande partie du temps du passage, le satellite sera inutilisable.

Pour avoir un accès certain et continu durant un passage, il faut ajuster fréquemment l'angle de polarisation de l'antenne de réception pour suivre la polarisation courante de l'émetteur du satellite. Une antenne yagi tenue à la main est l'idéal pour réaliser ce réglage, en réalisant simplement une torsion du poignet et en tournant l'antenne sur elle même dans son axe pour trouver la meilleure polarisation, donc le plus fort signal reçu.

Il est donc facile de varier la direction de pointage à la main pour maximiser le signal pendant la poursuite du satellite à travers le ciel, en ayant passé en revue le trajet prévu du passage à l'avance, comme décrit plus tard.

Certains affirment qu'il est nécessaire d'utiliser des antennes présentant une polarisation circulaire pour optimiser les signaux émis ou reçus lors du trafic via satellite. Je suis persuadé qu'il vaut mieux employer une antenne à double polarisation commutable, verticale ou horizontale.
Il est possible aussi de réaliser en plus de cela, une polarisation circulaire droite ou gauche, mais cela devient compliqué à mettre en œuvre et coûteux.

3-3) Gain maximum sur la liaison descendante:

Quand un satellite LEO est au zénith (90 degrés d'élévation), il est à environ 800 km de portée.
Lorsqu'il est juste quelques degrés au-dessus de l'horizon, il est jusqu'à une distance de 3200 kilomètres (4 fois plus loin et 16 fois plus faible, soit une atténuation de -12dB comparé au signal au zénith).
Ainsi, le signal est généralement plus fort pour des élévations plus élevées du satellite au-dessus de votre horizon.
Avec un système de réception basique, l'émission et la réception sont possibles uniquement lorsque le satellite est aux élévations très élevées. Pour réussir des contacts aux élévations inférieures et optimiser le passage su satellite, cela nécessite plus de gain dans le système de réception.

4) Réalisation pratique:

4-1) Configuration minimale:

Il est parfois possible d'utiliser un satellite LEO à angles de site élevés en utilisant juste un portatif et une antenne bibande fouet à gain conséquent prévue pour le trafic en mobile. Pour entendre le satellite, déplacer lentement le fouet suivant une série d'orientations (parfois légèrement de haut en bas) jusqu'à la polarisation adéquate et permettant de maintenir la réception).
Il est aussi possible de réaliser des QSO avec certaines antennes fournies avec les récepteurs portatifs.

Cela est très surprenant la première fois mais c'est plutôt amusant à faire, il ne faut pas tenter cela le week-end du fait du nombre important de signaux reçus par les satellites, choisir un passage le matin en semaine, convier un radioamateur à un SKED (rendez-vous), par exemple...

Quand UO-14 était en activité avec 2.5 watts en liaison descendante, ce système a facilement fonctionné, les satellites LEO actuels sont -10dB plus faibles, donc il faut plus de gain aujourd'hui.)

Crédit photo: N1ASA

4-2) Configuration classique:

L'antenne yagi bibande tenue à la main est largement utilisée pour le trafic via satellite. Les initiés utilisent le modèle Arrow antenna Modèle 146/437-10WBP, démontable et transportable.

Elle contient un diplexeur intégré dans sa poignée supportant 10 watts et combine donc les deux signaux d'antenne dans un seul câble coaxial à relier au transmetteur portatif.

L'avantage de l'emploi d'un diplexeur dans le cas où le matériel utilisé est « full-duplex », c'est qu'il réalise en plus un filtre efficace, à condition que ses caractéristiques soient performantes, telle une réjection minimum de 45 dB du 145 vers le 435 MHz.

Cette antenne fournit environ +6 dB de gain sur la liaison montante en 2 m et environ + 10 dB pour la liaison descendante sur 435 mégahertz.

Une antenne de ce type est réalisable avec peu de moyen, un plan est décrit en fin d'article, idem pour le diplexeur.

Crédit photo: N1ASA

4-3) Configuration idéale:

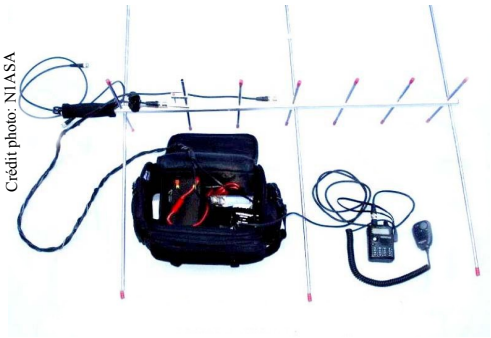
Un préamplificateur à faible bruit sur 435 mégahertz donne un élan significatif à la sensibilité en réception (+10 à +20 dB) et permet plus de temps de passage utile, possibilité de contact quand le satellite est juste quelques degrés au-dessus de l'horizon.

J'utilise un préamplificateur conçu par F5RCT qui était distribué par Cholet composant fin des années 1990. Cette installation est vraiment un système idéal, léger et performant.
Cet accessoire procure une très grande différence lors de réalisation de contacts.

Un filtre passe-bande en UHF et réjecteur VHF peut être utilisé lors de l'emploi d'un transmetteur full-

duplex (qui permet la réception en même temps que l'émission d'un signal) dans le but de pouvoir entendre ses propres signaux via le satellite et être sûr que le message transmis est par conséquent rediffusé par le répéteur.
Ce préamplificateur est également décrit en fin d'article.

En voulant réaliser un contact à coup sûr, l'emploi d'un petit amplificateur en émission est un plus. L'utilisation d'un PA de 20 watts excité avec les 5 watts ou moins du portatif est largement suffisante.
Toute l'électronique peut être contenue dans un sac d'appareil-photo ou un sac à dos et fonctionner ainsi.
Attention, ce système n'est pas prévu pour utiliser AO-51 en mode QRP, réservé en second répéteur, lorsque le satellite n'est pas à son état nominal.



Bien entendu, il est tout à fait concevable d'utiliser soit un portatif bibande, deux portatifs, ou tout autre appareil pouvant émettre et/ou recevoir sur les bandes de fréquences utilisées. La programmation des fréquences en mémoire est un plus si c'est possible, cela évitera des erreurs de manipulation et améliorera la façon de trafiquer. Ce qui prime, c'est la parfaite connaissance de son matériel.

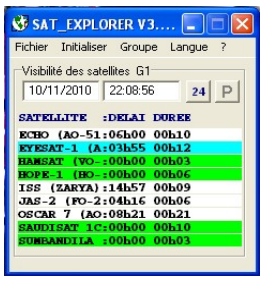
5) Positionnement et poursuite des satellites:

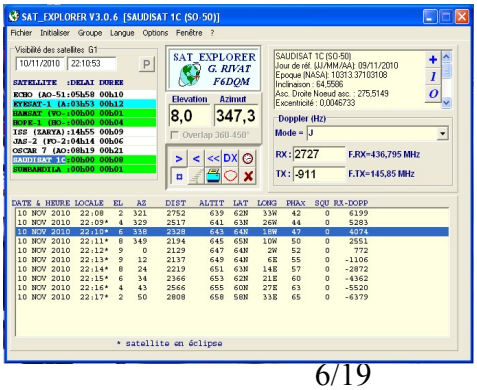
Maintenant que la partie matérielle est abordée, voyons comment savoir quand et où traquer un satellite avec nos antennes...

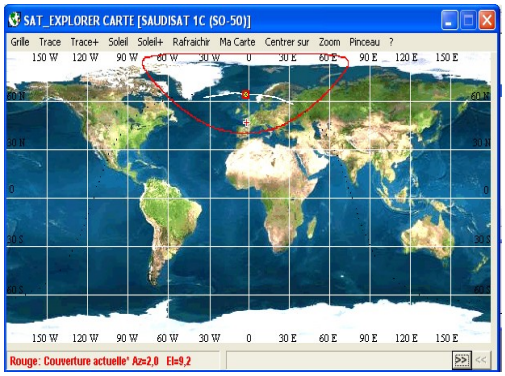
De nombreux logiciels ont été utilisés depuis mes débuts en 1997, en particulier Instant Track sous DOS puis d'autres très performants. Ayant découvert Sat_Explorer de Gabriel F6DQM, je l'ai adopté dès le premier essai. Libre à vous d'utiliser un autre logiciel de prédiction de passage de satellites...

Ce que je trouve pratique et agréable, c'est que c'est un français qui l'a écrit et surtout qu'il est gratuit !

La fonction intéressante, c'est de pouvoir prédire tous les survols futurs d'un ou de plusieurs satellites en filtrant éventuellement les passages à plus faibles signaux (ceux de -5° à 20° d'élévation) et de pouvoir imprimer les éphémérides qui en découlent. Aussi, d'un seul coup d'œil, l'échéance, la durée d'un prochain passage d'une liste de satellites choisis sont indiquées.

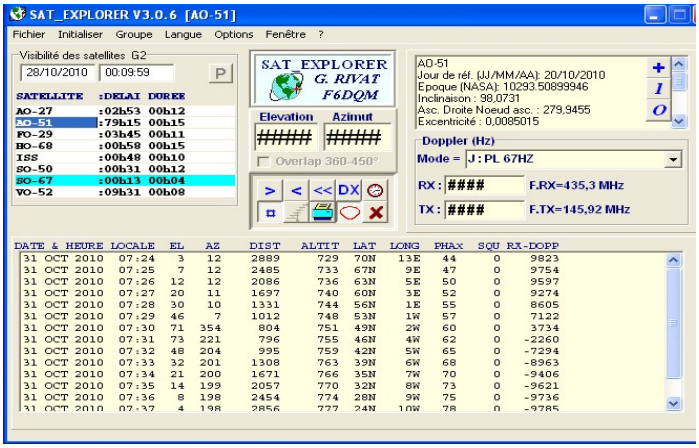


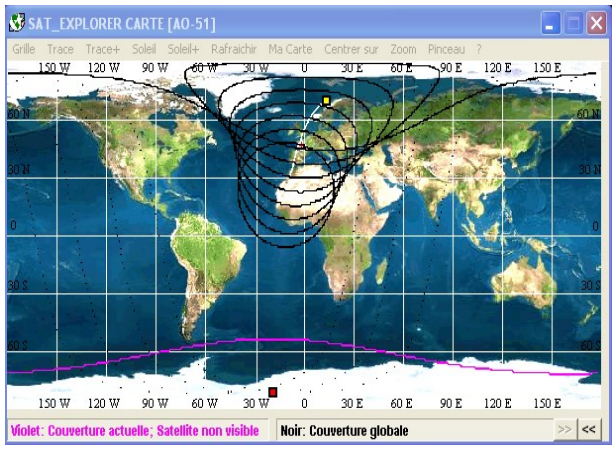




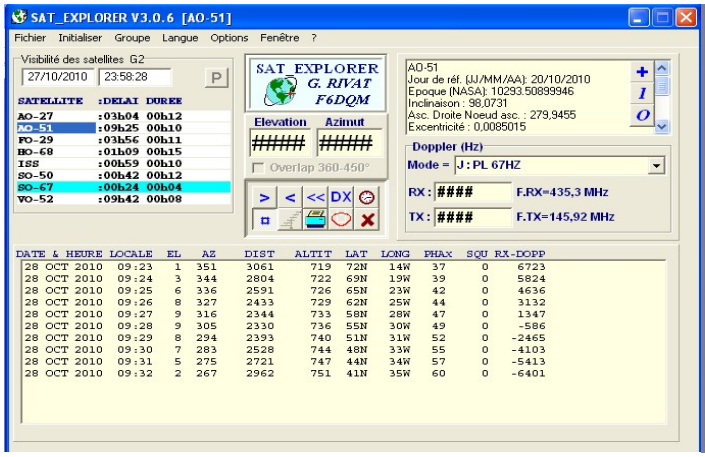
Noter tout de même qu'en ignorant les survols à faible élévation, le DX est limité. Il sera fonction de l'altitude propre du satellite. Plus il sera haut dans l'espace, plus sa couverture sera grande, plus il sera à l'horizon et plus le DX sera favorisé. (voir illustrations ci-dessous)
Tout dépend du but recherché.

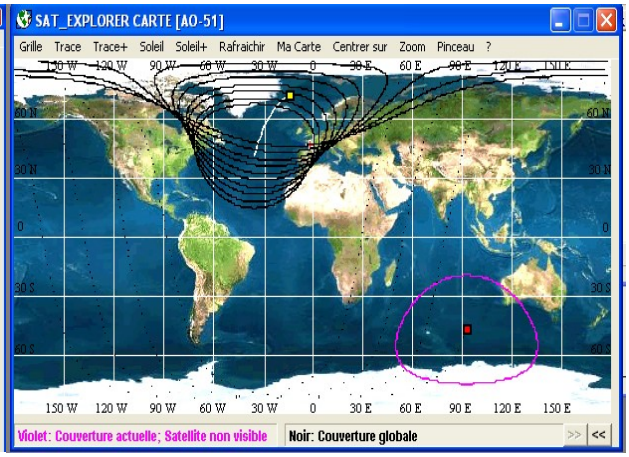
Passage sur l'Europe avec une élévation maximale importante, donc une distance moyenne faible avec le satellite, fort signaux envisagés.





Passage favorisant le DX vers l'Amérique du Nord (ce cas n'est pas l'idéal mais c'est une probabilité...) avec une élévation basse sur l'horizon, distance moyenne avec le satellite importante, signaux faibles en vue, utiliser le préamplificateur...





Par conséquent, il suffira de noter sur un papier ou d'imprimer à l'aide du logiciel, les passages intéressants, en prenant soin de ne pas oublier l'heure, la direction et l'élévation du satellite, surtout de ne pas se tromper de date et avoir paramétré correctement l'heure de son PC …!

6) Réalisation d'un QSO:

Débuter sur quelques passages en écoutant juste, en développant les techniques de pointage de l'antenne et d'ajustement de la fréquence. Observer le rythme et le protocole des contacts et des échanges.

Ainsi, à l'heure d'AOS donnée, pointer l'antenne vers l'horizon correspondant et écouter squelch débrayé, tournant le boom sur son axe pour adapter la polarisation des signaux.

Parfois le signal apparaît juste après que le satellite se lève, mais plus souvent il peut y avoir deux minutes ou plus avant que des signaux commencent à être entendus.

Être patient, déplacer et orienter l'antenne suivant la prédiction en revenant au point précédent pour affiner la recherche.

Après quelque temps d'attente sans réception de signal, passer sur la prochaine fréquence programmée appropriée pour corriger l'effet Doppler.

Lors de l'acquisition du signal, le suivre à travers le ciel, en le maintenant le plus fort en ajustant la direction de pointage et en tournant le boom de l'antenne autour de son axe pour adapter la polarisation.

Penser à caler la fréquence de réception en fonction de l'effet Doppler durant tout le passage.

Tenter un appel CQ ou une réponse à un CQ lorsque le signal est le meilleur.

Ne pas appeler si le satellite n'est pas reçu, au risque de brouiller les échanges en cours...

Surtout ne pas passer en émission alors que vous entendez un autre radioamateur parler ...

Être bref et échanger les indicatifs, report, locator, prénom éventuellement. Penser que chacun doit pouvoir réaliser un QSO, les passages ne durent pas longtemps.

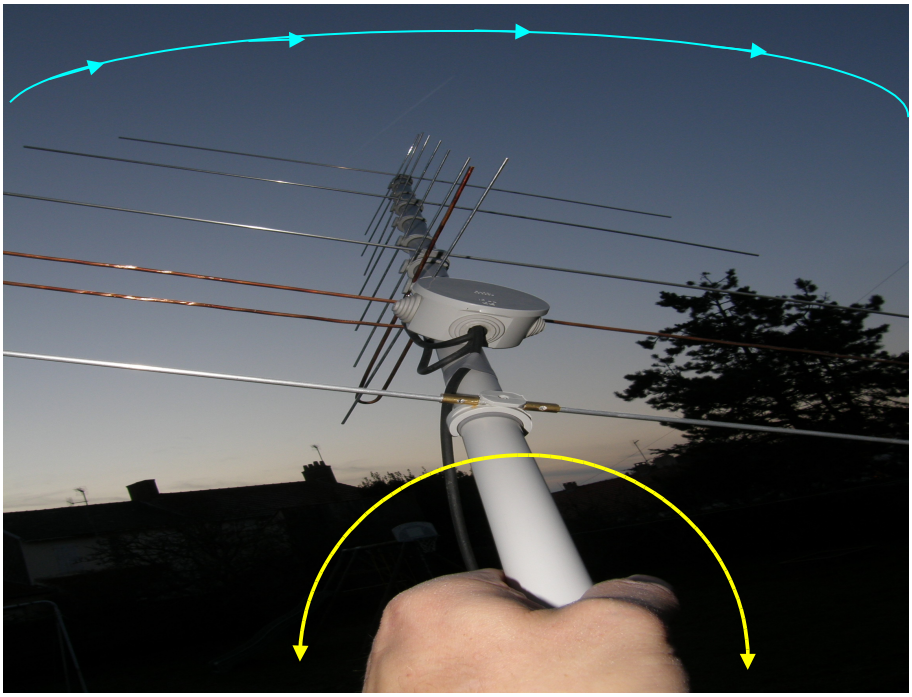
Parfois, il arrive qu'il n' y ait seulement que vous et un autre OM qui appelez CQ, sans même se passer un petit contrôle !

Entamer alors un contact avec éventuellement la description de l'équipement en plus des formalités habituelles.

Certains radioamateurs utilisent des dictaphones numériques ou même filment durant leurs expérimentations, afin de retrouver un QSO réalisé, non noté sur un papier tellement cela peut être rapide.
Il est vrai que l'homme n'a que deux mains...

Cela peut être une aide précieuse, à mon avis, mais c'est également un appareil de plus à gérer...

7) Exemples pratiques:



(a) Chercher le signal maximum à travers le ciel, en fonction de la prédiction.
(b) Adapter la polarisation de l'antenne avec un mouvement rotatif du poignet.

Tenir le portatif dans l'autre main, heure visible.
Utiliser éventuellement un micro déporté ou micro-casque.
Ou porter le pocket à la ceinture pour avoir une main libre et noter les indicatifs reçus, etc.

Principe du changement de fréquence durant le passage:

Acquisition (AOS) **Intermédiaire** **Fin de passage (LOS)**

Exemple pour AO-51, reproductible pour les autres satellites, bien évidement.

8) Perfectionnements facultatifs suivant les besoins ou pour une meilleure réception:

Les aides suivantes ne sont pas absolument essentielles, mais elles peuvent ajouter à la convenance et au plaisir du fonctionnement tel que décrit précédemment.

Commencer à expérimenter et adapter en fonction du besoin et des habitudes.

1. Le haut-parleur/microphone externe, amélioreront généralement l'intelligibilité de la réception et l'enregistrement audio du passage(voir ci-dessous).

2. Dictaphone, à bande ou numérique. Le trafic via satellite est continu et rapide. Dans le cas présent, la prise de note lors d'un QSO est en principe impraticable (les deux mains sont occupées) et on ne se rappellera pas probablement des indicatifs et de l'heure des contacts. Après le passage, rejouer la bande pour noter les contacts. Utiliser un appareil MP3 miniature qui comporte un mode enregistreur de voix et l'accrocher juste autour du cou par sa lanière. Cela permet des enregistrements d'excellente qualité en prenant la BF audio du récepteur et la voix de l'opérateur. Certains téléphones portables modernes possèdent ce type d'accessoire utile.

3. Lampe frontale (pour les courageux ou couche-tard...). Cette petite lumière tenue sur un bandeau est utile la nuit pour examiner des choses pendant le passage, y compris la manœuvre d'ajustement de l'effet Doppler de la fréquence de liaison descendante plusieurs fois pendant le passage.

4. Le préamplificateur sur 435 mégahertz. Comme évoqué, un préamplificateur peut vraiment faire une différence sur la qualité de la réception et optimise le temps de passage utilisable, ayant pour résultat de plus grands nombres de contacts par passage.

5. Des gants. Si le cœur y est, dehors en hiver, une paire de gants fins sera très utile.

6. Trafic en intérieur. Il faut avoir à l'esprit qu'il peut être possible de trafiquer de l'intérieur d'un bâtiment aussi bien qu' à l'extérieur (avec évidement un nombre réduit de contacts).

7. Minuteur ou réveil. Une aide très utile pour rappeler quand un passage est prévu. Ce serait dommage d'attendre pour rien et de rater « le passage du jour »...

Après les premiers pas, du bricolage éventuel, une écoute initiale et quelques contacts réussis, qui deviendront de plus en plus faciles, j'espère que ce document donnera envie à ceux qui veulent découvrir le trafic via nos satellites.

Ce document est censé vous mettre en route rapidement et simplement.

C'est tellement simple d'utiliser un satellite LEO, pas plus compliqué qu'un relais terrestre après tout...?

Toutes mes 73, bons DX et à bientôt via les LEO SAT !

Merci à mes relecteurs, F4FXP, F5CTP, F8CDM et ma sœur Christelle.

Cyrille F8CED.

Annexe 1: Antenne bibande directive yagi croisée 145/435 MHz.

Cette antenne a été inspirée des constructions « cheap yagi » monobande de Kent WA5VJB, trouvées sur internet.

En premier lieu, il a fallu convertir les côtes de construction en cm car les américains utilisent le pouce.

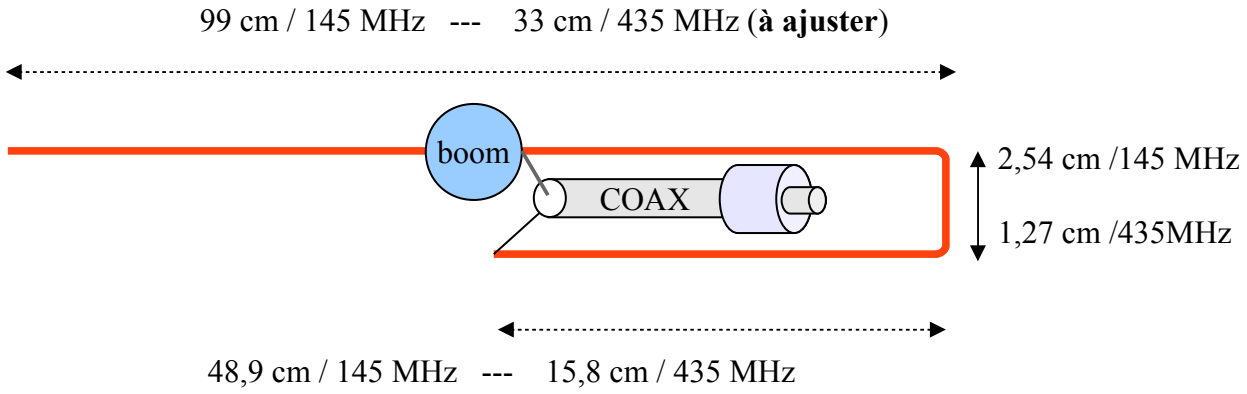
Ci-dessous, les dimensions de l'antenne, le boom en PVC ou bois sera de 160 cm de long, poignée de préhension comprise.

145 MHz	R	Rad	dir1	dir2	dir3	
espacement	0	19	41,9	86,4	132	
longueur	102,9	97,8	95,2	92,7	92,7	

435 MHz	R	Rad	dir1	dir2	dir3	dir4	dir5	dir6
espacement	0	6,35	14	28,6	44,5	61	77,5	95,9
longueur	33	31,5	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5	28

Les éléments radiateurs de la forme d'un « J », sont réalisés en cuivre ou en laiton de 4mm de diamètre afin de pouvoir y souder le coaxial d'alimentation. Ne pas hésiter à prévoir une dimension plus grande, l'ajustement pourra être ainsi réalisé une fois l'antenne finalisée.
Les éléments, réflecteur et directeurs seront en aluminium ou laiton de 4mm de diamètre en VHF et 2,5 ou 3 mm en UHF.

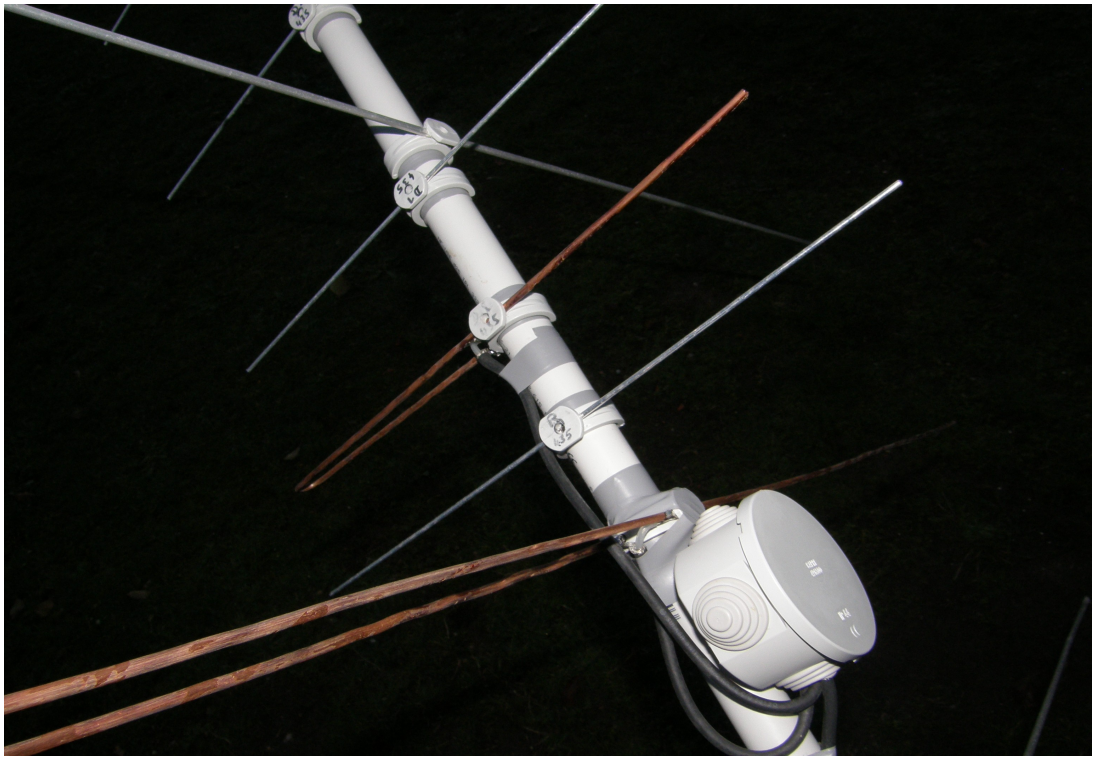
Construction des radiateurs en « J »:



Pour utiliser l'antenne avec un émetteur / récepteur bibande, insérer un diplexer, une fois les radiateurs taillés pour une fréquence choisie.
Celui employé dans les photos qui suivent, est très simple à réaliser, il tient dans un boitier étanche plastique de type « *plexo* ».

Description sur http://f6kbg.ref-union.org/f8ced.htm

Quelques photos pour illustrer:



Annexe 2: Diplexeur VHF / UHF. Adaptation libre de F8CED.
Idée originale de HB9ABX (http://observations.biz/OBS_Elsewhere/HB9ABX_diplexer%202m%20-%2070cm.htm)

Le duplexeur et le diplexeur sont des termes assez semblables et fréquemment confondus.

Le duplexeur est un dispositif qui sépare deux fréquences dans la même bande tandis que le diplexeur est un dispositif qui sépare deux bandes de fréquences différentes. Le duplexeur exige des circuits beaucoup plus sélectifs tandis que le diplexeur exige seulement des circuits passe-bas et passe-haut.

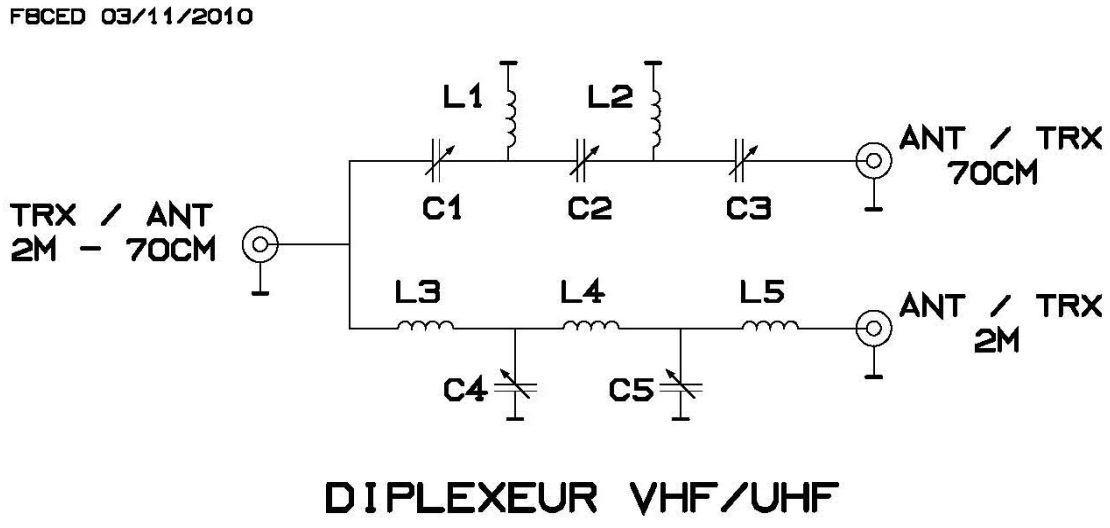
Ce DIPLEXEUR sépare les bandes 2 m et 70 cm qui transitent via le même câble coaxial. Il est possible d'utiliser deux antennes alimentées par le même câble et il permet la transmission sur une bande et la réception simultanée sur l'autre bande, ou d'utiliser 2 équipements (un VHF et un UHF).

Les données suivantes ont été mesurées par Jacques F1BBU sur des impédances de 50 ohms. L'isolation des deux bandes est très bonne, de l'ordre de plus de 70 dB, du 145 vers le 435 et supérieure à 54 dB du 435 vers le 145.

La perte par insertion est considérée négligeable sur les deux bandes, inférieure à 1dB; l'appareil de mesure ne permettant pas de mesurer plus précisément.

Le montage suivant facilement reproductible est construit dans un coffret en fer blanc étamé de type «schubert» de dimensions 74x55x30.

Schéma de principe:

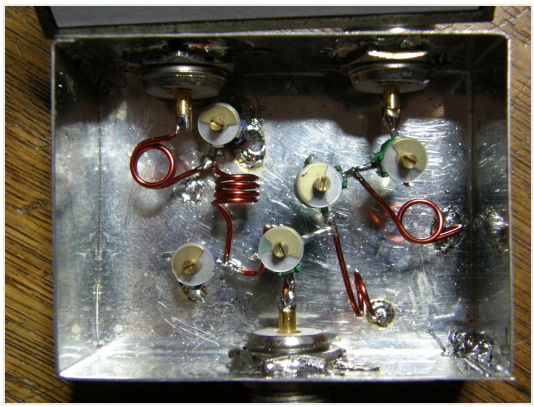


DIPLEXEUR VHF/UHF

Nomenclature:
L1 = 1 tour de fil argenté de 1mm bobiné sur mandrin de 6mm.
L2 = idem à L1 (déphasé de 90° par rapport à L1)
L3 = 3 tour de fil argenté de 1mm bobiné sur mandrin de 6mm.
L4 = 4 tour de fil argenté de 1mm bobiné sur mandrin de 6mm
L5 = idem à L3
C1 = Capa air ajustable 15 pf (3-15 pf)
C2 = idem C1
C3 = idem C1
C4 = Capa air ajustable 40 pf (4-40 pf)

C5 = idem C4
3 prises 50 Ohms (BNC, N ou SMA, au pire SO239)
1 coffret «schubert» 74x55x30

Photos du montage réalisé en 2006:



Les inductances sont, de préférence, réalisées avec du fil de cuivre argenté, mais du fil de cuivre émaillé peut aussi être utilisé. Dans ce cas, les performances seront légèrement inférieures.

Les bobines L3, L4, et L5 doivent être disposées suivant 3 orientations différentes pour éviter l'accouplement mutuel. Conserver un décalage de 90 degrés en pratique.

Une mise au point est nécessaire avant toute mise en émission HF sous peine d'endommager le matériel:

Idéalement, un analyseur de réseaux serait le plus pratique, mais il n'est pas facile de s'en procurer un.

L'utilisation d'un Ros-mètre VHF/UHF est tout à fait apporpriée mais cela sera nécessitera plus de temps.

Avant de faire l'ajustement, vérifier que l'appareil de mesures de ROS est calibré correctement sur ces bandes, c'est-à-dire mesure pratique de 1.0 en étant relié à une charge de 50 ohms.

Relier une charge de 50 ohms à la prise commune 2 m+70 cm ainsi que sur la prise 2 m.

Relier le Ros-mètre entre la prise 70 cm et un émetteur de faible puissance sur 70 cm. Ajuster C1, C2, et C3 pour obtenir un ROS de 1.0 sur cette bande.

Noter que C1 et C3 devraient finalement avoir la même valeur.

Relier le Ros-mètre entre la prise 2 m et un émetteur de faible puissance sur 2 m et relier une charge de 50 ohms sur la prise 70 cm, en conservant celle sur la prise commune. Ajuster C4 et C5 pour obtenir un ROS de 1.0 sur cette bande.

Chaque action sur un filtre, impliquera un nouveau réglage sur l'autre. Il faut donc renouveler les mesures et réglages alternativement jusqu'à la satisfaction désirée.

Une fois les réglages terminés, le diplexeur est opérationnel.

Il est également important de mesurer le ROS en reliant un émetteur VHF/UHF sur la prise commune, en chargeant les deux autres prises sous 50 ohms. La mesure sur chaque bande doit être la plus proche de 1.0.

En fonction du dimensionnement et du type de condensateurs ajustables utilisés, le diplexeur pourra accepter des puissances en conséquence. Le type de capa visibles sur la photo de la réalisation accepte sans sourciller une puissance de 50 watts sur les deux bandes.

Le coût de revient d'un tel montage est de l'ordre de 15 à 20 euros maximum, en fonction de l'approvisionnement, des composants utilisés (condensateurs et prises).

Dans le commerce, un diplexeur ayant ces caractéristiques, se trouve à pas moins de 45 ou 50 euros.

Annexe 3: **Préamplificateur UHF de type F5RCT.** **(Avec l'aimable autorisation de Jean-Matthieu)**

REALISATION MATERIEL

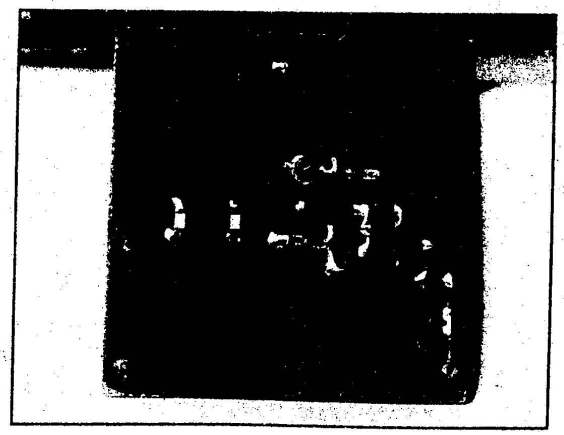
PREAMPLIFICATEUR 70 CM FAIBLE BRUIT

Jean-Matthieu STRICKER, F5RCT

La qualité d'un préamplificateur ne dépend pas seulement de son transistor mais aussi de sa mise en œuvre dans une configuration facilement reproductible et de sa disposition dans la chaîne de réception. Un bon préamplificateur pour quoi faire ?

Les paramètres les plus importants d'un préamplificateur sont le facteur de bruit, le gain, et la linéarité (tenue aux signaux d'intermodulation).

La sensibilité d'un récepteur se caractérise souvent par le rapport signal sur bruit pour un signal donné en entrée, mais le concept de facteur de bruit est plus intéressant. En effet, on ne pourra jamais augmenter la sensibilité d'un récepteur indéfiniment ; il existe un «plancher» de bruit qui limitera la sensibilité par le rapport entre le signal et le bruit à l'entrée du récepteur (S/B).



Le bruit en électronique provient essentiellement de l'activation aléatoire des électrons sous l'effet de la température. Une résistance, une antenne, un transistor sont des exemples de générateurs de bruit. La puissance de bruit d'un élément dépend de sa résistance, ainsi une charge de 50 ohms (impédance courante à l'entrée d'un récepteur à génère une puissance de bruit de -174 dBm/Hz = 450 nV = 0,000450 µV (dans une bande passante de 1 Hz).
Si le récepteur possède une sélectivité de 3 kHz (bande passante usuelle des filtres FI d'un récepteur BLU), la puissance de bruit sera 3 000 fois plus importante. Soit PB = -174 + 10 log 3 000 = -139 dBm = 0,025 nV de puissance de bruit à l'entrée du récepteur.
Pour qu'un signal soit intelligible, il faut qu'il soit plus puissant que le bruit, +20 dB par exemple. Dans le cas d'un récepteur idéal, pour un rapport signal sur le bruit de 20 dB, le signal utile aura une puissance de -139 + 20 = -119 dBm, soit 0,25 nV sous 50 ohms.
Mais, le récepteur génère son propre bruit aussi ! Par conséquent, le rapport signal sur bruit en sortie ne sera que de 14 dB, et il faudra 6 dB de signal en plus à l'entrée pour obtenir la même qualité d'écoute à 20 dB de S/B.
Le facteur de bruit d'un récepteur est par définition le rapport entre le S/B à l'entrée et le S/B à la sortie. Dans le cas de notre exemple, cela donne : F = 20-14 = 6 dB.

On comprend maintenant que plus le facteur de bruit sera faible, meilleure sera la qualité du signal reçu.

Une antenne de réception génère en plus de son bruit propre, le bruit qu'elle reçoit de son environnement : le bruit solaire, cosmique, atmosphérique... Rien ne sert de viser le 0 dB de facteur du bruit si l'on capte plus de bruit environnant. Pour un récepteur décamétrique jusqu'à 30 MHz, on peut se contenter de 10 à 15 dB de facteur de bruit ! Mais, le bruit environnant décroit en VHF et UHF, si bien qu'il faut atteindre 0,5 à 2 dB de facteur de bruit pour une sensibilité optimale.

Dans la chaîne d'amplification du récepteur, le facteur de bruit dépend de la qualité de l'étage d'entrée (relais d'antenne, amplificateur sélectif, mélangeur). On conçoit bien que rien ne sert de pousser le volume à fond de l'amplificateur de sortie si on reçoit très mal ; le bruit et le signal sont amplifiés en rapport égal !

Si l'on met un préamplificateur directement à l'entrée du récepteur, le facteur de bruit global F peut se calculer par la formule suivante :
F = F1+(F2-1)/G1

- F1 et G1 sont le facteur de bruit et le gain du préamplificateur.

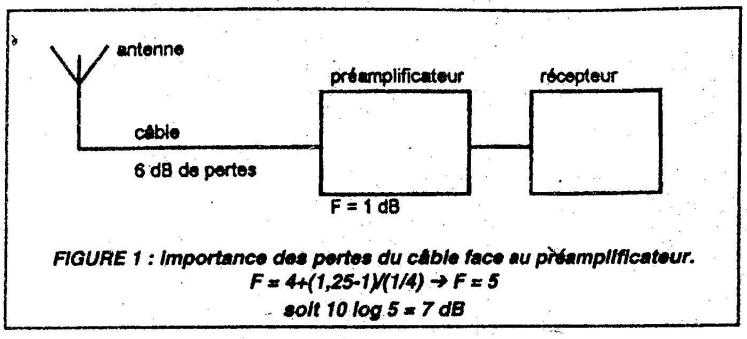


FIGURE 1 : Importance des pertes du câble face au préamplificateur.
F = 4+(1,25-1)/(1/4) → F = 5
soit 10 log 5 = 7 dB

- F2, le facteur de bruit du récepteur.
Les valeurs de cette formule doivent être des rapports de puissance et pas des dB !

En s'intéressant à la formule ci-dessus, on peut en déduire les performances de l'association d'un récepteur et d'un préamplificateur :

- Le facteur de bruit global F sera au moins supérieur au facteur de bruit du préamplificateur F>F1.
- F sera d'autant plus près de F1 que le gain G1 sera grand !

Voilà ! Vous savez tout d'un bon préamplificateur : facteur de bruit faible et gain élevé. Toutefois, le gain doit être modéré, car trop de gain réduit la tenue d'intermodulation du récepteur. Une règle simple consiste à fixer le gain du préamplificateur au double de la valeur en dB du facteur de bruit. Par exemple, un préamplificateur de 15 dB de gain conviendra pour un récepteur de 4 à 7 dB de facteur de bruit.

Mais, n'oublions pas un détail ! Quel est le facteur de bruit d'un ensemble constitué d'un atténuateur et d'un bon préamplificateur. Par exemple, 6 dB de pertes dans un câble coaxial et le préamplificateur en aval du câble (voir figure 1).

Concluons que toutes les pertes en amont du préamplificateur sont ajoutées directement au facteur de bruit de celui-ci. Si le préamplificateur est en amont du câble, le gain «écrasera» les pertes du câble ! Rien ne sert de mettre son préamplificateur à la station, c'est en haut qu'il doit être ! Au plus près de l'antenne.

Voilà une explication bien longue pour en arriver là ! Mais, retenons qu'il faut minimiser les pertes dans la mise en oeuvre d'un préamplificateur. Vous voilà parti pour trouver un transistor faible bruit, le choix ne manque pas : transistor silicium ou arséniure de gallium ? Quel prix doit-on y mettre ? (10 à 100 F, voire plus ?).

Le progrès des technologies dans le domaine des radiocommunications a fait baisser le prix des transistors au silicium pour des performances qui valent l'arséniure de gallium en UHF ! Rien ne sert d'acheter un transistor spécifié à 0,5 dB de facteur de bruit à 12 GHz pour l'utiliser à 435 MHz ou 144 MHz, car le facteur de bruit n'est pas spécifié à ces fréquences et le constructeur ne prend pas en compte les pertes à l'entrée du transistor sont loin d'être négligeables).

Le choix s'est porté sur le BF988, transistor MOSFET double grille. Son facteur de bruit est de 1 à 1,2 dB à 400 MHz, aussi performant qu'un CF300 !

MISE EN OEUVRE PRATIQUE

L'impédance d'entrée de tout transistor n'est pas égale à 50 ohms, il faut prévoir un circuit d'adaptation pour présenter l'impédance optimale au facteur de bruit avec un minimum de pertes. A 435 MHz, l'impédance de source à présenter au transistor pour le minimum de facteur de bruit est environ égale à Zs#60+ j150 ohms. Cette impédance n'est pas celle qui permet d'obtenir le gain maximal (on perd 3 dB environ). Pour arriver à une telle impédance, une infinité de solutions existent. On choisira celle qui apporte le minimum de pertes avec le minimum d'éléments tout en ayant un montage stable pour éviter les accrochages et les oscillations parasites. C'est un circuit résonnant apériodique qui a été choisi.
L'élément inductif est une piste imprimée calculée pour un coefficient de qualité maximale à vide. Pour minimiser les pertes du circuit d'adaptation, il faut maximiser le rapport entre le facteur de

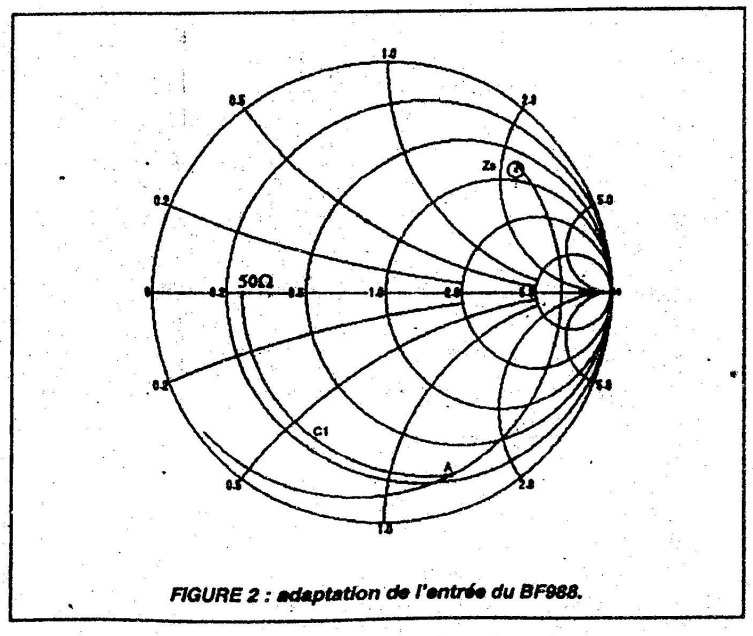
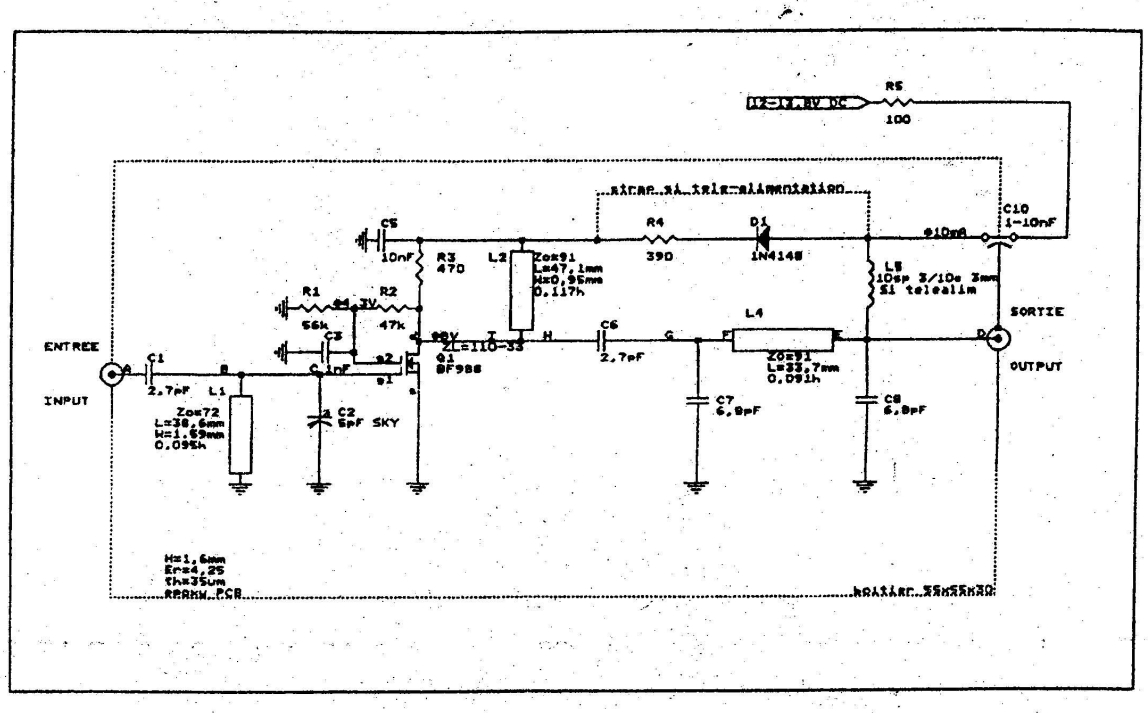


FIGURE 2 : adaptation de l'entrée du BF988.



qualité en charge et le facteur de qualité à vide du circuit résonnant (L1, C2).
La figure 2 montre l'adaptation du transistor dans l'abaque de SMITH normalisé à 200 ohms. Le condensateur C2 et la ligne inductive font déplacer le point A sur un contour circulaire et le condensateur C1 agit sur le diamètre de ce contour. Un logiciel de calcul facilite la mise au point en quelques minutes ; ici c'est «Motorola impédance» qui a été utilisé. Le circuit d'entrée atténue avantageusement les fréquences inférieures à 400 MHz. Sur l'ensemble du préamplificateur, le 144 MHz est affaibli de plus de 40 dB (intéressant sur un relais UHF/VHF ou en contest !).

L'adaptation en sortie a été soignée pour déterminer le gain, la stabilité du transistor, et atténuer les fréquences supérieures à 450 MHz. Aucun réglage n'est à effectuer si l'on respecte le tracé du circuit imprimé avec le BF988 (R3 joue le gain et C6 sur la fréquence d'accord).

RÉALISATION

Le circuit imprimé double face a les dimensions internes (53,5 x 53,5 mm) d'un boîtier en tôle étamée de chez SCHUBER (55 x 55 x 30 mm). On soudera les composants du côté des pistes le plus près possible, l'implantation peut aussi admettre des CMS de taille 0805 ou 1206 (le résultat en sera meilleur !).

Le condensateur C1 doit être de bonne qualité : teflon SKY, Airtronic ou céramique tubulaire. Le transistor BF988 est à souder en dernier dans son logement de diamètre 5 mm.

Couper les connexions de source, grille 2 et grille 1 (se souvenir que le drain est la patte la plus longue et que la source a un petit ergot !).

Les liaisons de masse se soudent de l'autre côté, elle sont ramenées à la face composant par des bouts de fil de résistances soudés des deux côtés.

Une vérification simple du montage est effectuée ayant de le souder dans le boîtier. Pour cela, alimenter le préamplificateur avec 12 V et vérifier que la tension sur le drain soit de 8 V environ (±0,5 V), sur G2 on a 4,2 V environ, le courant peut être mesuré aux bornes de R4 (10 mA environ).

Les fiches coaxiales d'entrée et de sortie sont soudées au ras de la face supérieure

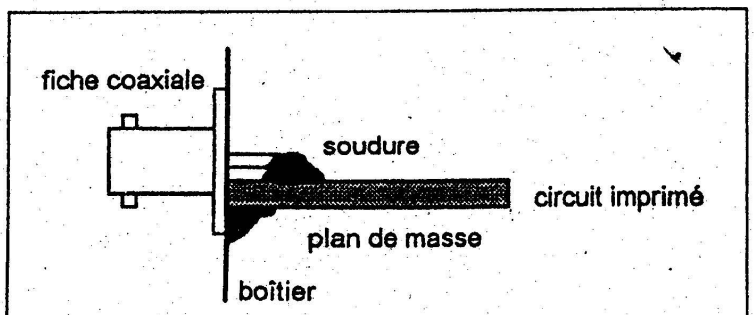


FIGURE 3 : mise en place des fiches coaxiales.

du circuit imprimé (figure 3). Le plan de masse se soude en continu tout autour du boîtier.

Pour utiliser le préamplificateur en tête de mât en le téléalimentant via le câble coaxial, il faut changer quelques composants et réaliser le montage suivant pour injecter le courant sur le câble :

1) Remplacer la diode par un strap.
2) Remplacer la résistance de 390 ohms par 100 ohms.
3) Confectionner la self L5 avec 10 spires de fil de 0,3 à 0,5 mm sur diamètre de 3 mm.
4) Réaliser le montage suivant dans un boîtier blindé équipé de deux fiches coaxiales (voir figure 4).

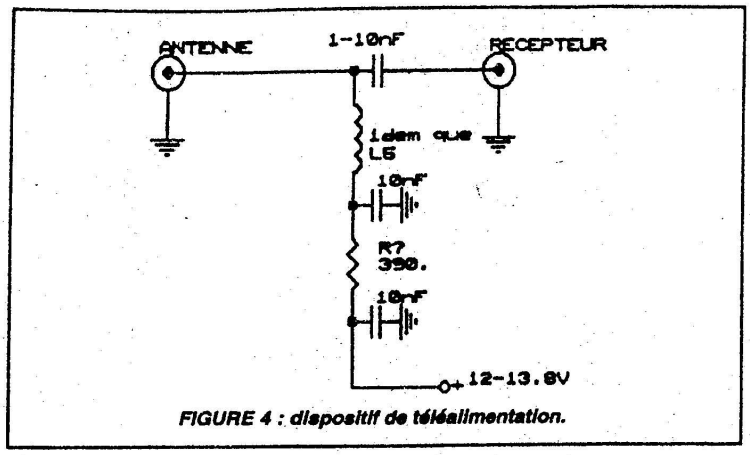


FIGURE 4 : dispositif de téléalimentation.

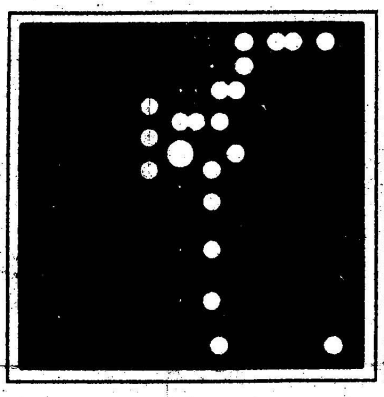
RÉGLAGES

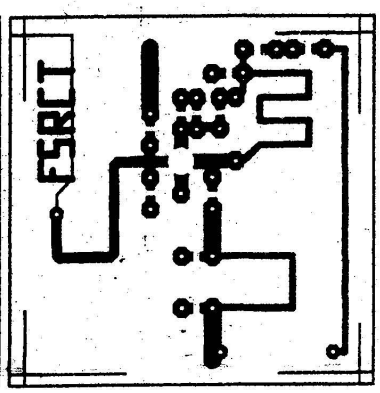
Selon ce que dispose l'amateur, plusieurs méthodes sont possibles pour régler le seul condensateur C2. Le plus simple est d'accorder C2 au maximum de gain et d'intelligibilité sur une émission très faible.
On peut aussi régler le préamplificateur avec un récepteur BLU et un générateur de bruit pulsé. En écoutant la différence de bruit entre l'allumage et l'extinction de la source, on ajuste C2 pour que cette différence soit la plus grande possible.
Si l'on possède un générateur HF et un récepteur FM, on ajuste C2 pour réduire au minimum le bruit en présence d'un signal faible modulé en fréquence à 2 kHz d'excursion.

PERFORMANCES

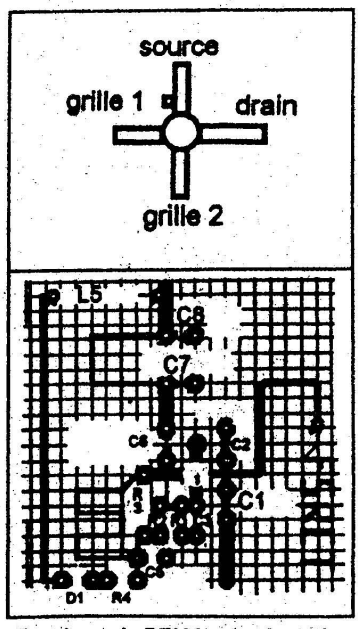
Le gain se situe entre 10 et 15 dB, ce qui est raisonnable devant 10 à 20 m de coaxial RG213, RG214 ou H100. Trop de gain augmenterait les effets d'intermodulation. Le facteur de bruit a été mesuré sur un prototype à 2,3 dB ! Cette valeur n'a rien d'étonnant, le transistor fait 1 à 1,5 dB de facteur de bruit et le circuit d'entrée fait environ 1 dB de pertes.
En tout cas, le préamplificateur fait gagner 1 dB de rapport signal sur bruit avec un FT811 déjà réputé pour être très sensible, même avec un atténuateur de 6 dB entre le préamplificateur et le récepteur, on ne perd pas la sensibilité.
Bien sûr, ce préamplificateur n'est pas destiné à ceux qui font du trafic EME. Pour la réception satellite et les concours UHF, il est déjà très performant. J'ai développé ce préamplificateur pour le récepteur du relais UHF (FZ6UHF) qui était un peu sourd, ce qui a fait gagner 5 dB sur la sensibilité !

En amont de la tête HF d'un «copilote Thomson CSF» (modèle TMF977 ou 537) du relais FZ6RTB, la sensibilité fut nettement améliorée. Il n'y a pas que les pertes d'une descente d'antenne que l'on peut récupérer. Le progrès sur les transistors faible bruit permet de gagner aussi de la sensibilité avec des récepteurs d'ancienne génération. Rien que devant un récepteur télévision hyperbande, on peut gagner 4 à 5 dB sur une émission en télévision amateur (438,5 et 434,25 MHz).


Côté cuivre vu par transparence de la face composants, échelle : 1



Côté composants, échelle : 1



Brochage du BF988 et implantation des composants.

Liste des composants du CC242

Repere	Qte	Valeur	Remplassement
R1	1	56KΩ	
R2	1	47KΩ	
R3	1	470Ω	
R4	1	390Ω	
R5	1	100Ω	
C1,C6	2	2,7PF	
C2	1	CADJ 10PF	
C3,C10	2	1NF	
C5	1	10NF	
C7,C8	2	6,8PF	
BP1	1	1NF	
D1	1	1N4148	
Q1	1	BF988	
1 CI			
BOITIER	1	555530	557430
BNC	2		N
NOTICE			