

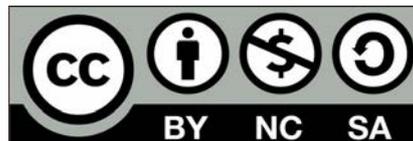


Radio Astronomie Amateur

comment débiter

Jean Marie Polard

[F5VLB - 2016]



Ver 0.1a

Remerciements à Jean Pierre Palancade F1OI et Jean Louis Rault F6AGR pour leur lecture du document et leurs précieux conseils et corrections.

Table des matières

| | |
|--|----|
| Au commencement..... | 5 |
| Les débuts, en bref..... | 5 |
| Pourquoi ce syllabus ?..... | 5 |
| Mes débuts | 6 |
| Sources de Radio Émission..... | 8 |
| Le matériel..... | 8 |
| L'antenne..... | 8 |
| Sa taille, sa forme..... | 8 |
| Le gain..... | 13 |
| L'angle d'ouverture à -3dB (HPBW)..... | 13 |
| La source..... | 14 |
| La motorisation..... | 14 |
| Sa position..... | 17 |
| Un interféromètre..... | 19 |
| Le LNA-LNB..... | 20 |
| LNA..... | 20 |
| LNB-LNC..... | 21 |
| De quoi se compose un LNB/LNC ?..... | 22 |
| Un LNBF..... | 23 |
| Quel LNB choisir ?..... | 25 |
| La détection..... | 31 |
| Le satfinder..... | 31 |
| La sonde RF..... | 35 |
| La digitalisation..... | 38 |
| L'interface Jim Sky..... | 38 |
| Le module Arduino..... | 39 |
| RAL10-kit..... | 41 |
| L'enregistrement..... | 42 |

| | |
|---|----|
| Radio Sky Pipe..... | 42 |
| Les logiciels de prévision et d'analyse..... | 43 |
| Le logiciel source planner..... | 43 |
| Le logiciel EME planner..... | 44 |
| Il donne la température du ciel de fond..... | 45 |
| Radio Eye..... | 47 |
| Radio Jupiter..... | 47 |
| L'horloge sidérale gratuite de Jim Sky..... | 48 |
| La mise à l'heure de notre PC..... | 49 |
| Sensibilité du système..... | 50 |
| Le dépouillement..... | 51 |
| La vérification de l'angle d'ouverture..... | 54 |
| Calcul de la température de brillance à la fréquence de mesure..... | 56 |
| Vérification de la position du LNB et de l'alignement de l'antenne..... | 56 |
| Projets de radio-télescopes..... | 57 |
| Le Soleil..... | 57 |
| La Lune..... | 58 |
| Jupiter..... | 59 |
| Les autres planètes..... | 62 |
| Les météores..... | 62 |
| La voie lactée et la raie H ² | 66 |
| Les radio-sources puissantes..... | 67 |
| Les HEP (high energy pulses)..... | 68 |
| Les pulsars..... | 68 |
| Les VLF..... | 68 |
| Une réalisation parmi d'autres..... | 70 |
| Schéma de principe..... | 70 |
| Achat du matériel..... | 70 |
| Le LNBF..... | 70 |

| | |
|---|----|
| L'amplificateur..... | 70 |
| Le sat finder..... | 70 |
| L'alimentation..... | 70 |
| Le convertisseur analogique digital..... | 71 |
| Le logiciel de traçage et d'enregistrement..... | 71 |
| Les raccords..... | 72 |
| Premiers essais..... | 72 |
| Quelques liens pour continuer..... | 72 |

Au commencement...

Les débuts, en bref

Karl Jansky découvre en 1933 un signal radio avec une période de 23 heures 56 minutes, soit un jour sidéral, la période caractéristique du passage des étoiles fixes. C'est le premier signal radio d'origine extra-terrestre capté sur Terre. En 1937, Grote Reber, n'ayant pas réussi à se faire engager dans l'équipe de Jansky, construit un radiotélescope à ses propres frais pour explorer l'espace dans le domaine radio, en amateur.

Après la Seconde Guerre mondiale, les recherches commencent sur une plus grande échelle avec du matériel militaire recyclé (radars). En France, à partir de 1947 Yves Rocard avec deux antennes d'origine allemande de 7,5 m de diamètre crée un service d'observation dirigé par Jean-François Denisse. En 1952 il obtient les moyens pour construire un plus grand observatoire la Station de radioastronomie de Nançay (Cher) avec 32 radiotélescopes alignés, inaugurée en 1956.

Le 25 mars 1951, Harold Ewen et Edward Purcell détectent la raie 21 cm de l'hydrogène neutre dans la Voie lactée avec une antenne cornet.

En 1963, Arno Allan Penzias et Robert Woodrow Wilson découvrent le rayonnement fossile du Big Bang prévu par George Gamow en essayant d'éliminer un bruit de fond dans leur équipement de transmission.

En 1965 le fond diffus cosmologique est découvert ; Georges Lemaître l'avait prédit dans sa théorie de l'explosion primitive, dans son article (en français) adressé à Sir Eddington, le définit comme l'« éclat disparu de la formation des mondes », le reliant à la théorie de l'explosion primordiale; ce que Fred Hoyle, partisan de la théorie "stationnaire", avait caricaturé en désignant par ce vocable du big bang qui est devenu ainsi le symbole de la théorie de l'expansion de l'univers. La discipline de la radioastronomie prend un essor inégalé dans l'histoire de l'astronomie.

En 1967, Jocelyn Bell Burnell détecte le premier pulsar, mais c'est son directeur de thèse, Antony Hewish, qui reçoit en 1974 le prix Nobel de physique pour son apport à la radioastronomie — ce qui déclenche une controverse.

Source : Article [Radioastronomie](#) de [Wikipédia en français](#)

Pourquoi ce syllabus ?

Depuis que j'ai commencé à m'intéresser à la radio astronomie beaucoup de progrès ont été réalisés. Au début la difficulté d'avoir accès à l'information fut un handicap. Actuellement, avec internet et wikipédia, avec les modules disponibles à faible coût, n'importe qui, avec un peu de dextérité, peut réaliser un radio télescope et faire de belles expériences. Certes il existe des tas de livres, d'articles, de sources d'information. Ce syllabus essaie de regrouper tout ce que j'ai pu emmagasiner et vous faire partager un peu de mon expérience. N'hésitez pas à aller fouiner ailleurs pour le compléter et faire de votre station, une bonne station.

Partagez vous aussi vos connaissances, vos essais, vos réussites et vos échecs. C'est ainsi qu'on progresse.

Bonne lecture

Mes débuts ...



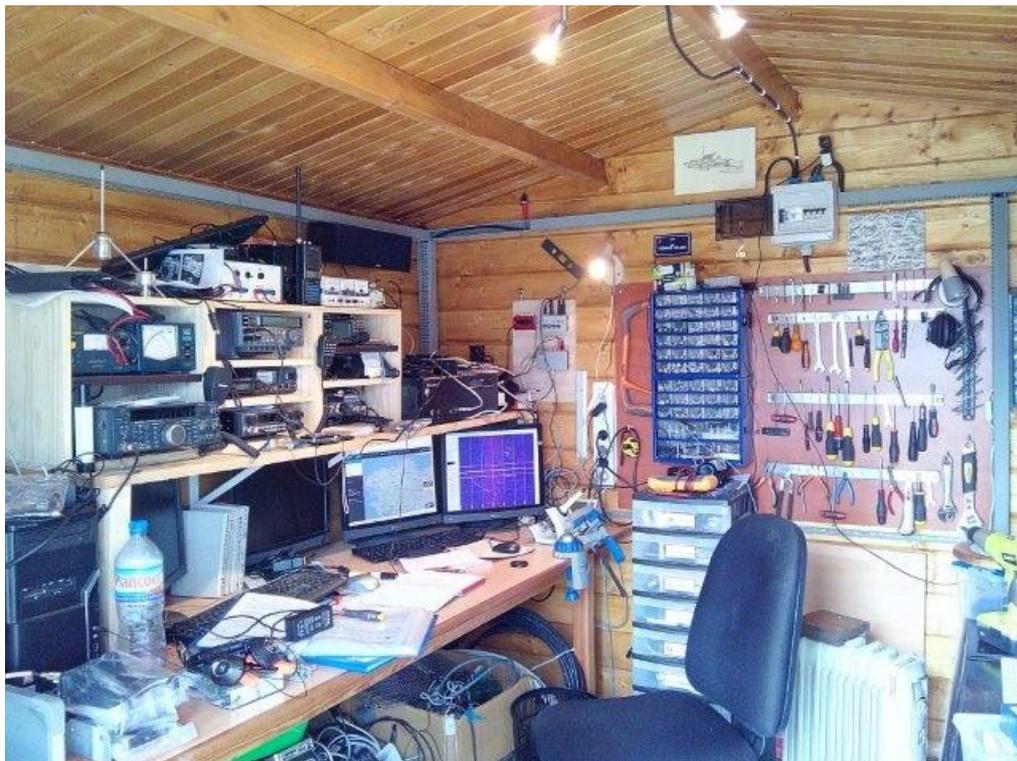
Ma première station de radio astronomie en ... 1971 et l'écoute du soleil et de Jupiter avec un poste de radio trafiqué. Pas d'ordinateur, d'enregistreur graphique, d'analyse de spectre ... juste les oreilles et les yeux.



En 1985 avec les premiers PC, mais avec des modules 'bricolés' avec des tuners de télévision. Autant dire qu'on recevait plus de bruit que de signal, mais je me contentais de suivre le soleil.



Les années 2000 et l'utilisation de la carte son comme interface entre la radio et le PC. Écoute des échos de météores. Des heures passées à fixer l'analyseur de spectre et à analyser les résultats. Avec la fin des TV analogiques, l'écoute des météores est devenue plus difficile jusqu'à la découverte du radar de Graves expliqué plus loin.



2014



la parabole de 155cm qui va être doublée par une autre de 2,4m de chez RF-Hamdesign.

Sources de Radio Émission

- Corps noir (thermique)
- Sources Continuum (non-thermique)
- Sources de raies spectrales

Le matériel

L'antenne

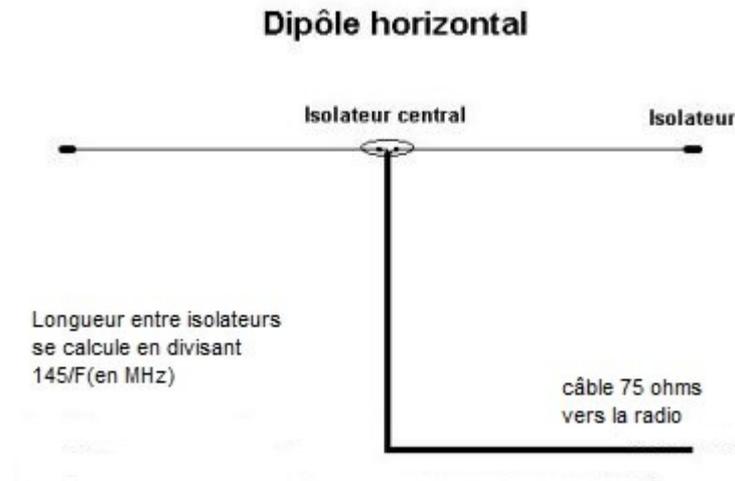
L'élément clef en RA est bien sûr l'antenne. Tout comme en optique, elle va être utilisée pour capter les rayonnements. Donc sa taille, sa forme et sa position vont être déterminants pour réaliser de bonnes observations.

Sa taille, sa forme

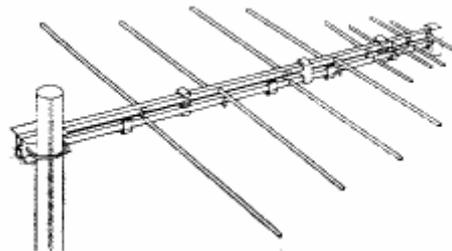
Une antenne peut être réalisée soit avec un fil de cuivre tendu entre deux perches, une ou plusieurs antennes yagi (râteau), une parabole (offset ou prime focus), un cornet ...

Ce qui va déterminer le type d'antenne que vous allez utiliser c'est la fréquence de l'onde radio ou du rayonnement sur lequel vous allez travailler.

Si vous travaillez entre 14 et 100MHz une antenne dipôle suffira. Tendre deux fils de cuivre entre deux perches ou deux points fixes et le tour est joué. Du fil de 1,5² ou 2,5² recouvert de plastic. Attache au point de fixation par du fil nylon de 1m de long par exemple, ne pas attacher les isolateurs directement au point d'accroche. Entre 18 et 24MHz, vous pourrez détecter les signaux émis par Jupiter. Voir plus bas.



Si vous travaillez au dessus de 100MHz, pour écouter le soleil, les pulsars, les météores, une antenne yagi est conseillée.



Ce genre d'antenne se trouve dans le commerce, en récupération ou peut se construire pour les plus adroits. Il faut la choisir en fonction de la fréquence que vous allez travailler. On peut monter plusieurs yagis l'une à côté de l'autre, l'une sur l'autre, éloignée les unes des autres (interféromètre).

Au dessus de 900MHz, la parabole s'impose. Alors soit vous optez pour une petite parabole de type offset (identique à celle utilisée en télévision par satellite) achetée dans le commerce ou récupérée chez vous ou dans une déchetterie (on en trouve de belles dans les déchetteries, avec leur LNB et parfois la motorisation). Soit vous prenez une prime focus pour les plus grands diamètres.

Mais une chose est évidente au plus grand sera le diamètre au plus de signal vous pourrez capter. Ceci dit, avec une parabole offset de 60cm il y a déjà moyen de faire du beau travail, sur le soleil notamment.

Si vous avez parabole offset, il va falloir éventuellement retrouver le point focal où installer le LNB. Jean Louis Rault F6AGR a mis en ligne une feuille de calcul qui pourra vous aider. Voir sur ce lien [calculs de F6AGR](#)

Caractérisation d'une source de parabole offset

Cette feuille de calcul permet, à partir de quelques mesures effectuées sur une parabole de récupération de caractéristiques inconnues, de déterminer la position de la source, son orientation, et d'estimer le gain de l'ensemble.

Ces résultats sont théoriques, et les valeurs données sont à affiner avec des mesures menées en terrain dégagé à l'aide, par exemple, d'une balise émettrice fixe.

1. Mesurer la hauteur, la largeur et la profondeur maximale de la parabole et renseigner toutes les cases en **bleu-vert**

| | | |
|----------------|--------------|----|
| Hauteur D = | 1328 | mm |
| Largeur I = | 1143 | mm |
| Profondeur C = | 152,4 | mm |

2. Tous les résultats de calcul apparaissent en **bleu**

2.1 La parabole présente les caractéristiques suivantes:

| | | |
|---------------------|--------------|----|
| Distance focale f = | 461,1 | mm |
| f/D équivalent = | 0,55 | |

2.2 La source doit être positionnée comme suit:

| | | |
|------|---------------|----|
| d1 = | 1137,6 | mm |
| d2 = | 461,5 | mm |

2.3 Pour illuminer correctement le réflecteur, la source doit posséder les caractéristiques suivantes:

| |
|--|
| Largeur lobe source = 97,7 ° à -10 dB |
| Inclinaison source = 52,1 ° par rapport à l'horizontale |

2.4 Calage en élévation

L'antenne vise l'horizon lorsqu'elle est inclinée en avant d'un angle de **30,6** ° par rapport à la verticale.

Pour obtenir cet angle de **30,6** °, on peut utiliser un fil à plomb accroché au bord supérieur de la parabole.

Il suffit d'incliner la parabole vers l'avant jusqu'à ce que le plomb se trouve à **676,1** mm du bord inférieur du réflecteur

2.5 Performances

d

A la fréquence de **1,535** GHz, le gain théorique est proche de **23,4** dB, si l'on considère qu'on a **65** % de rendement.

L'ouverture du lobe de rayonnement principal est environ égal à **11,1** ° à - 3dB.

2.5 Antenne hélice utilisée comme source

C'est une antenne hélice de **3,25** spires qui est la mieux adaptée à cette parabole.

Vous pouvez adresser vos remarques, questions et critiques par courriel à f6agr@wanadoo.fr

Bibliographie:

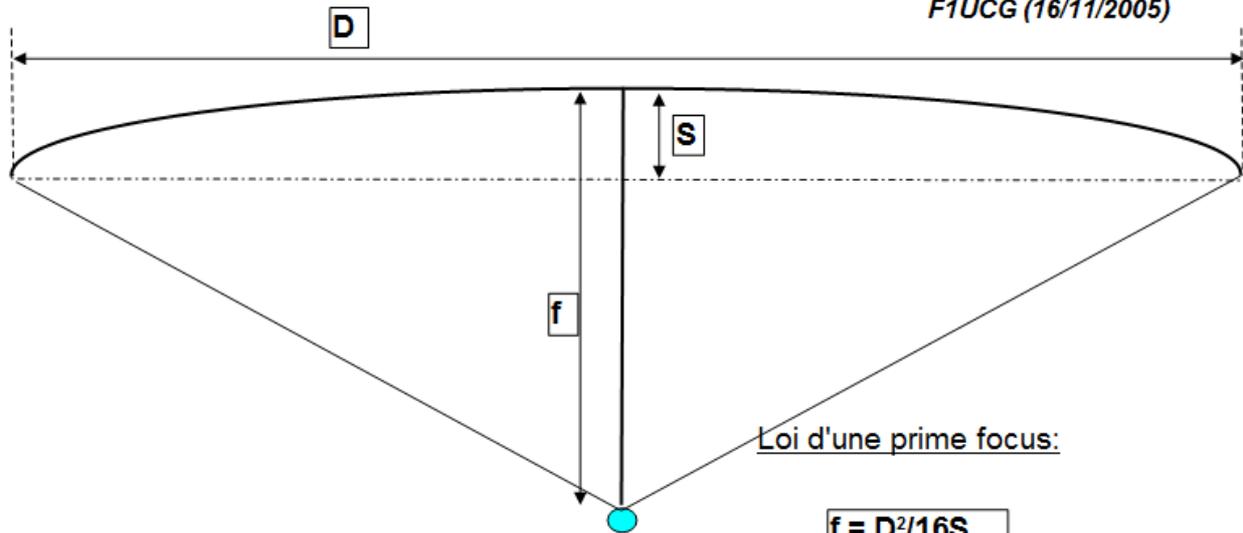
Physique et Théorie du Radar de J. DARRICAU
Articles de F4BAY dans bulletins Hyper
Simulations NEC de G6LVB sur antennes hélice
Reference Data for Radio Engineers (ITT)

Une feuille similaire existe pour les antenne en prime focus. Réalisée par F1UCG elle est téléchargeable ici

[feuille de calcul](#)

Calculateur pour paraboles Prime Focus

F1UCG (16/11/2005)



Paramètres

ENTREZ vos Paramètres dans les cases jaunes (résultats dans les cases Vertes)

On connaît D

diamètre utile de la parabole **D** 1,550 m

si l'on connaît S

profondeur parabole **S** 0,070 m

distance focale (fond/foyer) **f** 2,145 m

ou si l'on connaît f

distance focale (fond/foyer) **f** 0,630 m

profondeur parabole **S** 0,238 m

Performances

rendement **η** 0,60 *0,55 pour petit diamètre à 0,65 pour grand diamètre*

fréquence de travail **F** 4000 MHz *0,80 pour une Offset*

Gain théorique **G** 33,5 Dbi *avec -0,5 dB pour déformations et dépôts atmosphériques sur le réflecteur*

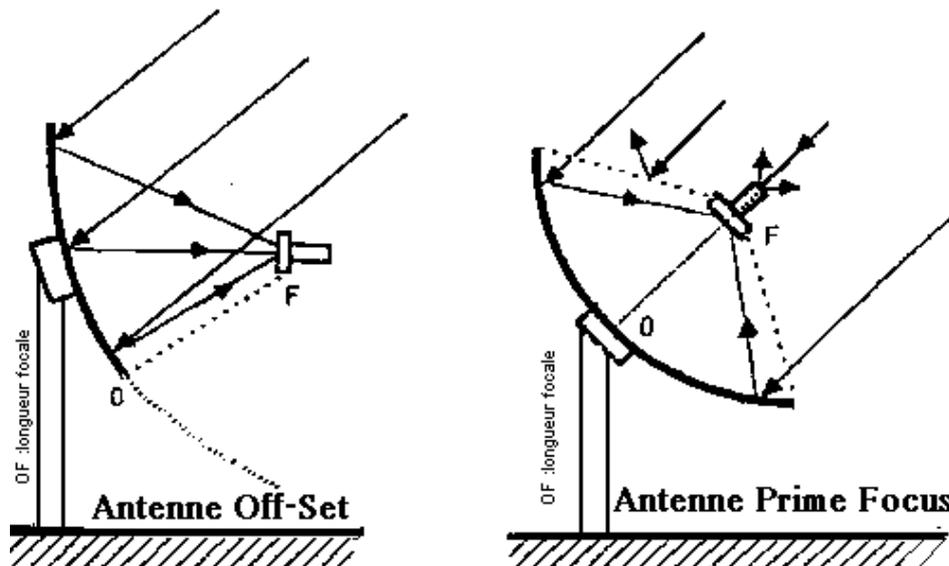
ouverture angulaire à -3 dB **θ** 3,4 Degrés *attention contrairement aux antennes terrestres, l'angle d'ouverture θ est l'ouverture totale*

soit ± 1,7 Degrés

Calculs intermédiaires

fréquence en HZ 4E+009

Nous allons voir ce qui peut être calculé sur une parabole en prime focus (foyer primaire)



Le gain

La formule utilisée est :

$$G = 10 \cdot \log \left(k \cdot \left(\frac{\pi \cdot D}{\lambda} \right)^2 \right)$$

où :

k = rendement du système d'illumination (source), en moyenne 0,55

D : diamètre du réflecteur parabolique

λ : longueur d'onde d'utilisation

D et λ sont exprimés dans la même unité

Une parabole de 155 cm aura un gain théorique de 33,3 dBi @ 4,0 GHz ($\lambda = 7,5\text{cm}$)

voir feuille de calcul page précédente

L'angle d'ouverture à -3dB (HPBW)

Calcul de l'ouverture du lobe de réception à mi-puissance (HPBW) avec la formule théorique du pouvoir séparateur: (critère de Rayleigh). La formule utilisée est :

$$\Theta = 57,3 \lambda / D \quad \text{avec } 180/\pi=57,3$$

θ = angle d'ouverture (lobe) en degrés

λ = longueur d'onde en cm

D = diamètre en cm

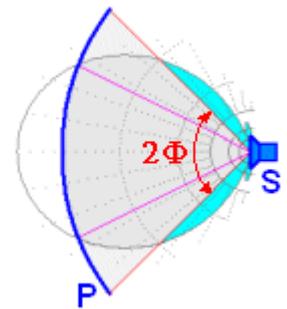
exemple : une parabole de 155cm @ 4GHz ($\lambda = 7,5\text{cm}$) aura une **ouverture de 2,77°** et à 10GHz de 1,11°

je reviendrai la dessus plus tard...

La source

Optimisation de l'éclairage, le rapport f/D ⁽¹⁾

L'élément rayonnant de la source doit être placé au foyer de la parabole, là où toute l'énergie est concentrée. Pour éclairer totalement le réflecteur, il faut que le diamètre de celui-ci corresponde au lobe de rayonnement de l'antenne-source. Le rapport distance focale/Diamètre (f/D) est un paramètre essentiel du réflecteur parabolique. On le choisit entre 0,4 et 0,8. Un rapport f/D trop faible donne une antenne très compacte et nécessitant une source avec un angle d'ouverture très grand. A l'opposé un rapport f/d élevé donne une antenne plus encombrante utilisant une source plus directive.



Sur la figure, la source **S** a un angle d'ouverture à -10dB (trait rouge) qui correspond à l'angle 2Φ sous lequel le réflecteur parabolique **P** est vu depuis le foyer. En magenta est représenté l'angle d'ouverture à -3dB. La partie du lobe de rayonnement coloré en bleu-cyan passe à côté du réflecteur.

Exemples

Soient deux paraboles de 60 et 100 cm de diamètre. Compte tenu de leur rapport f/D , il faudra à l'une une source dont l'angle d'ouverture sera de 50 degrés tandis que l'autre nécessitera 80 degrés. Des cornets circulaires bien taillés peuvent convenir.

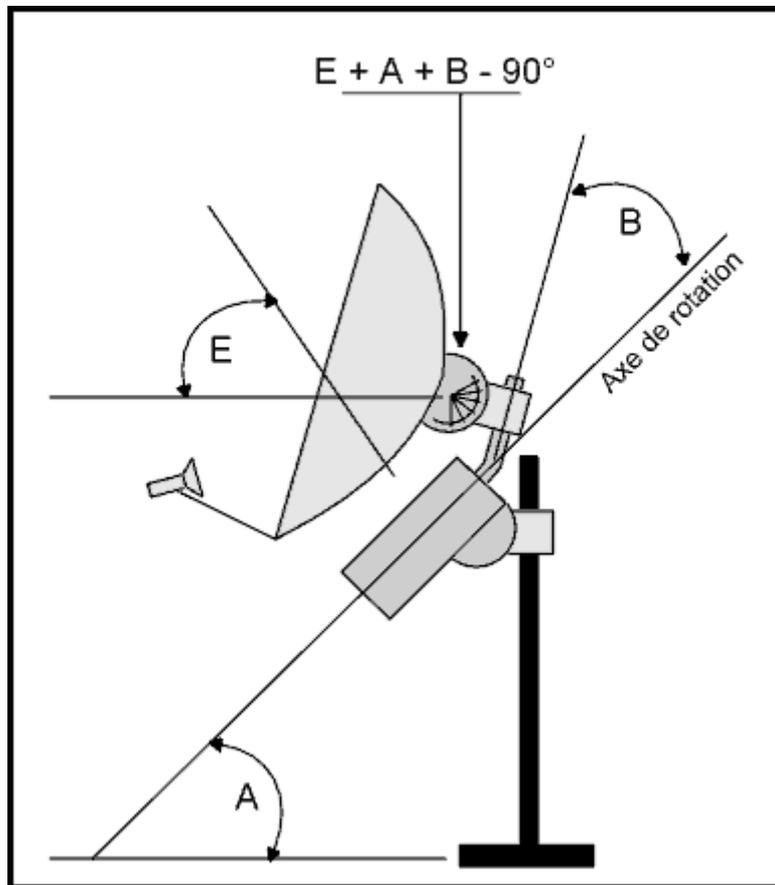
| D | f | f/D | θ |
|-----|----|------|----------|
| 60 | 40 | 0,66 | 50° |
| 100 | 40 | 0,4 | 80° |

(1) source <http://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM09/RM09i03B.html>

La motorisation

C'est un point très délicat ... car la précision est de rigueur. Personnellement je préfère une monture en méridienne et réaliser des transit. Motoriser une grande parabole demande de la technique. Mais voyons plutôt de quoi il retourne.

Pour une antenne de type offset jetez un œil sur le lien ci dessous ⁽¹⁾ qui explique le positionnement d'une antenne sur la ceinture de Clarke où sont positionnés les satellites de télévision. Pour pouvoir régler en hauteur, il faudra ajouter un vérin.



⁽¹⁾ lien d'information <http://gguenin.free.fr/prati/motorise.htm> si ce lien se brise, cherchez sur Google 'motorisation antenne offset'

Pour une prime focus, on va utiliser soit un moteur azimut/élévation (cher) ou deux vérins (un pour azimut et un pour élévation).



Exemple de moteur deux axes pour piloter une antenne parabolique prime focus. Ce matériel peut être piloté via une interface via un PC. Comptez quand même de 750 à 1000 euros. Jean Louis Rault F6AGR et responsable Radio Astronomie à la Société Astronomique de France apporte le commentaire suivant : « Ils sont très fiables (j'en ai sur mon toit depuis plus de 15 ans pour le trafic par sats) mais pas du tout adaptés pour les paraboles à cause de leur jeu mécanique.

Pour des antennes à grand gain comme les paraboles, mieux vaut par exemple des SPID (voir sur ce lien) »

<http://www.rfhamdesign.com/products/spid-hr-antenna-rotators/bigrashr/index.php>

Les SPID sont en effet supérieurs, mais le prix également. Chacun fera avec ses moyens.

Avec deux vérins le principe est le suivant :



On va remplacer les deux systèmes à vis par deux vérins commandés séparément.

On trouve des vérins sur internet et il suffit de prévoir une alimentation de 36V en continu, quelques boutons poussoirs et ... un système qui vous donnera les angles en azimut et en élévation.

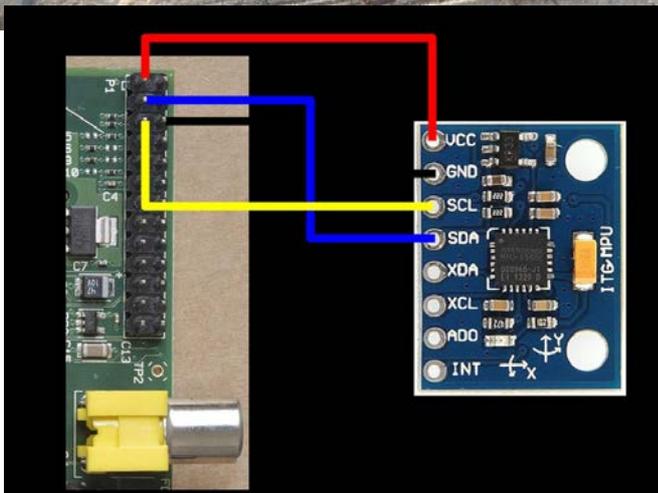
Il existe un petit module trois axes à deux francs six sous pour mettre sur un Arduino ou un Raspberry. Le HMC5883L

Un lien pour le mettre en œuvre se trouve ici ⁽¹⁾ pour faire les connections sur un module identique et ici ⁽²⁾ pour sa mise en œuvre

⁽¹⁾ <http://blog.bitify.co.uk/2013/11/interfacing-raspberry-pi-and-mpu-6050.html>

⁽²⁾ <http://blog.bitify.co.uk/2013/11/connecting-and-calibrating-hmc5883l.html>

Ainsi vous pourrez à tout moment connaître la position de votre antenne et déterminer où elle pointe sur le ciel.



Raccordement du module au Raspberry.

Sa position

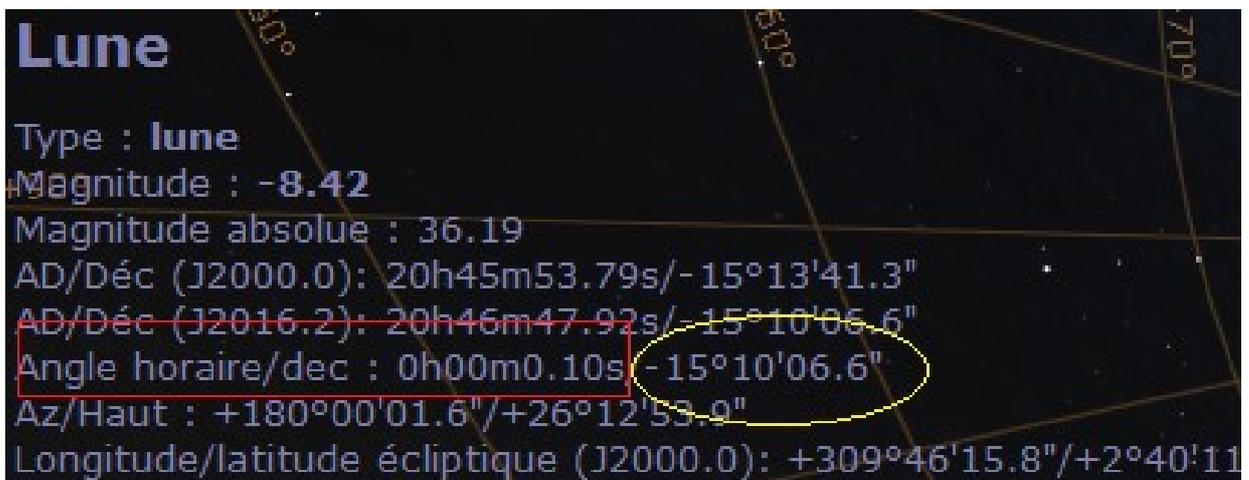
Pour débuter, je conseille de positionner l'antenne face au sud. En effet, un astre culmine quand il passe au méridien. Son ascension droite (sa hauteur sur l'horizon) est maximale et facilement calculable.

Pour calculer l'élévation de l'antenne il faut connaître la latitude du lieu, et appliquer la formule :

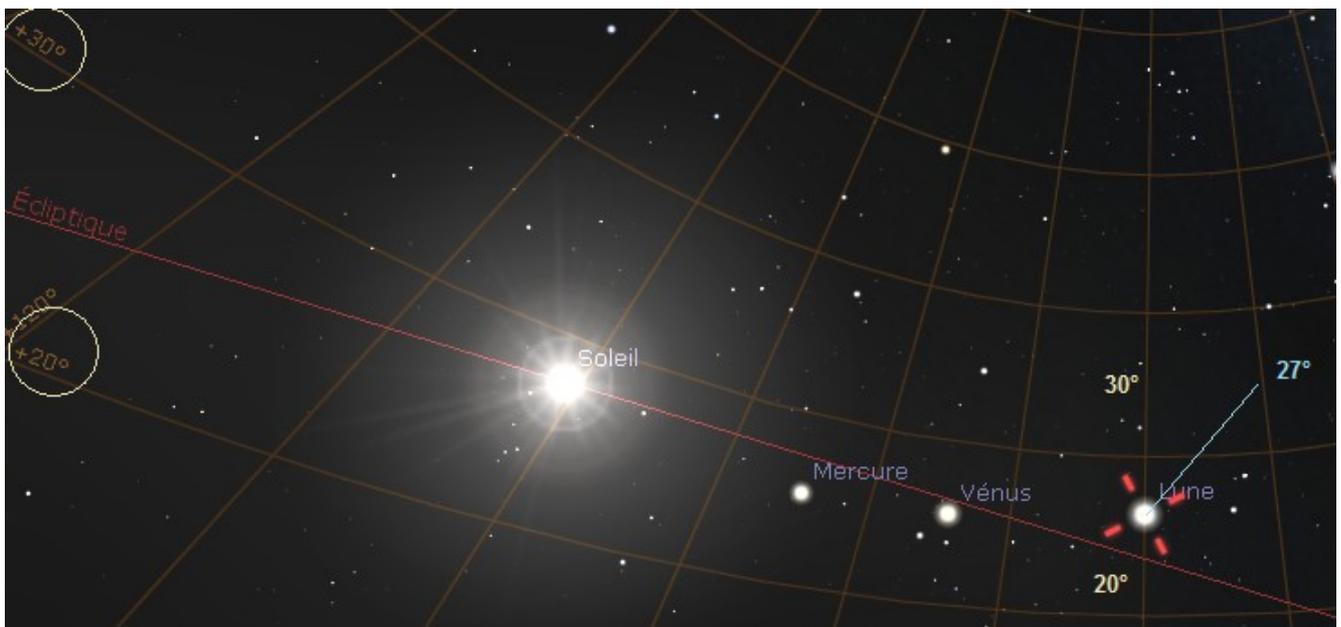
élévation = $90 - \text{latitude du lieu} + \text{déclinaison de l'astre}$

exemple : si la lune culmine à -15° quand elle passe au méridien (angle horaire 00h00) et vous êtes à 48°N de latitude nord, cela donne

$90 - 48 + (-15) = 27^\circ$ d'élévation de l'antenne par rapport à l'horizon



le logiciel gratuit « stellarium » vous donne automatiquement l'azimut et la hauteur dans l'exemple 180° d'azimut (le sud) et $26^\circ12'59,9''$. Mais il est bon de savoir comment la calculer.



SUD

Durée du transit

La durée du transit est déterminé par l'ascension droite de l'objet et du temps sidéral local. Quand la valeur du temps sidéral local est égal à l'ascension droite de l'objet il 'transite'.

La durée va donc dépendre du HPBW (vu ci-dessus) et la déclinaison de l'astre suivant la formule :

$$t = 4 / \cos(\text{déclinaison}) * \text{HPWB}$$

t est le temps en minutes et HPBW est l'angle d'ouverture à mi puissance de l'antenne.

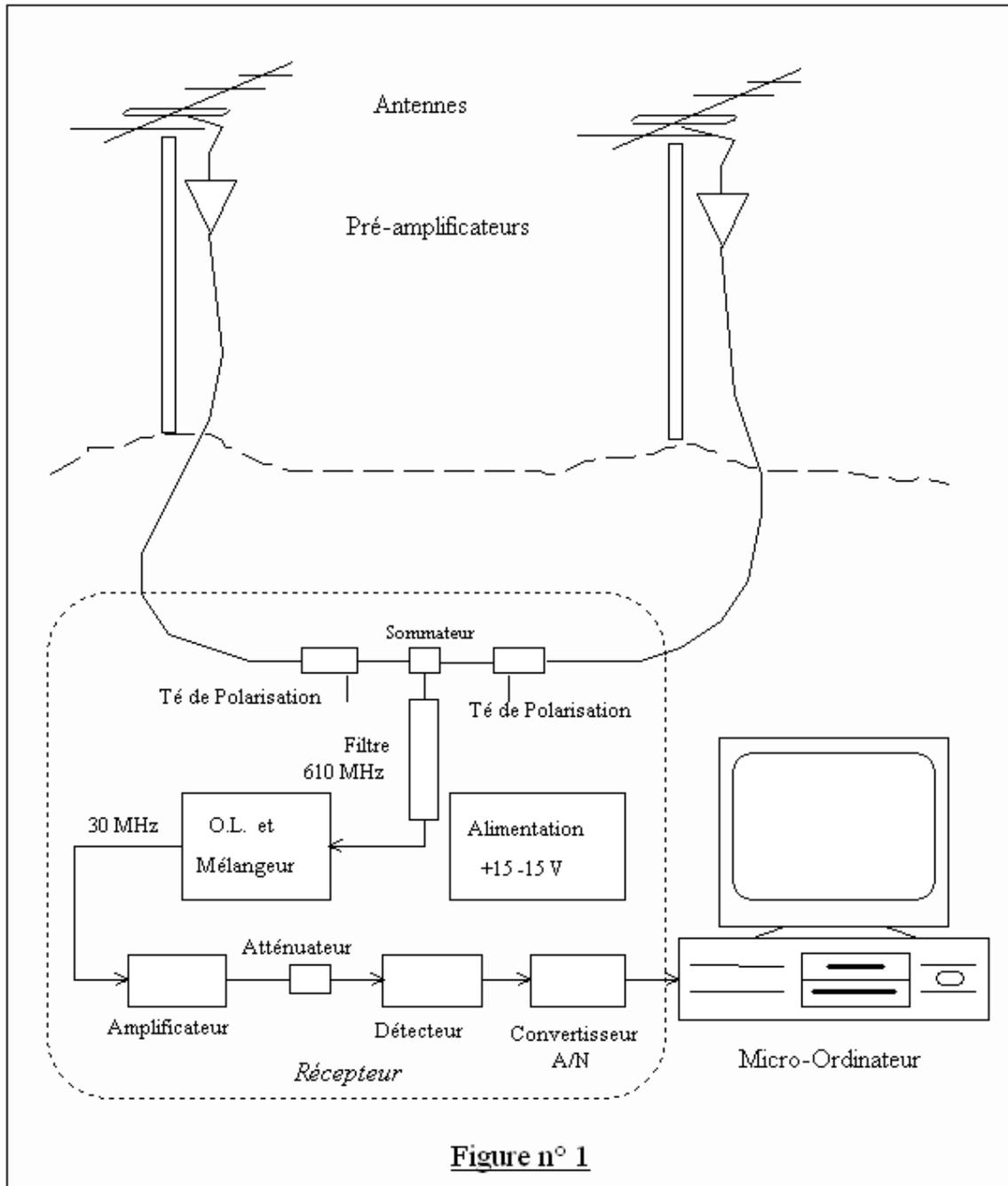
Inversement, si on mesure le temps du transit d'un astre, on va pouvoir déterminer le HPBW

L'antenne doit être fermement fixée sur un potelet lui même dans un massif en béton, ou un support stable. On n'imagine pas un télescope qui tremble, il en est de même pour une antenne. La motorisation est un luxe, mais pas négligeable une fois qu'on maîtrise bien le système. Elle va permettre un suivi de la source et des mesures différentes d'un simple transit.

Un interféromètre

La description d'un interféromètre sort du cadre de ce document. Je vous suggère de visiter le site :

<http://cavaroz.sciences.free.fr/OlympiadesPhysique/olyphy94.htm>



Un interféromètre fait intervenir deux ou plusieurs antennes. Les signaux sont mélangés et in fine produisent des franges au lieu d'une courbe comme nous la connaissons. Ce système présente des avantages lorsque l'on veut avoir de la précision dans le positionnement des sources radio.

Le LNA-LNB

Au point focal de la parabole, on va y placer l'antenne proprement dite, ou plutôt un LNA ou un LNB

LNA

Low Noise Amplifier (amplificateur à faible bruit)

L'amplificateur à faible bruit (LNA) est un type spécial d'amplificateur électronique ou d'amplificateur utilisé dans les systèmes de communication pour amplifier des signaux très faibles capturés par une antenne. Il est souvent situé très près de l'antenne. Si le LNA est situé à proximité de l'antenne, les pertes dans la ligne d'alimentation deviennent moins critiques. Il constitue un élément clef, car il est placé en tête d'un récepteur radio. Et dans un tel système, on démontre que le facteur de bruit (les parasites internes à la chaîne de réception pour le dire crûment) est déterminé par la tête du système. Grâce à l'utilisation d'un LNA, le bruit de l'ensemble des étages suivants est réduit du fait du gain du LNA et en plus, le bruit du LNA est injecté directement dans le signal reçu. Ainsi, il est nécessaire qu'un LNA augmente la puissance du signal utile tout en ajoutant aussi peu de bruit et de distorsion possible, afin que l'extraction de ce signal soit possible dans les étapes ultérieures du système.

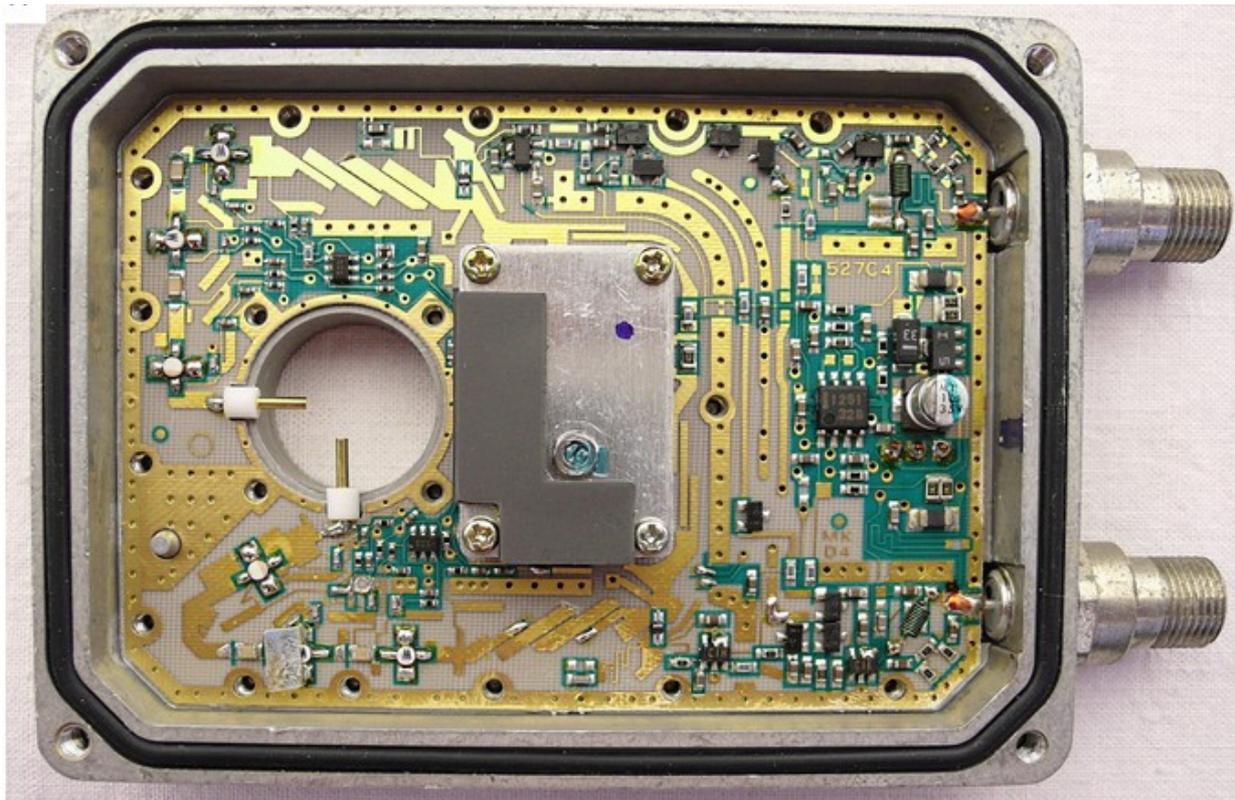


Un LNA ... simplement un ampli ? Non pas que

Un lien bien documenté sur l'influence du bruit du LNA dans la chaîne de réception http://f6bva.pagesperso-orange.fr/bases%20techniques/F5NB/Bruit_V6.pdf

LNB-LNC

Low Noise Block down-converter (module convertisseur à faible bruit)



un LNC

Le bloc convertisseur à faible bruit (LNB, pour le bloc à faible bruit, ou parfois LNC, pour convertisseur à faible bruit) est utilisé dans la réception de la télévision par satellite . Ces satellites utilisent des fréquences radio relativement élevées pour transmettre leurs signaux^(*). Comme les signaux micro-ondes des satellites ne passent pas facilement à travers les murs, les toits et les fenêtres en verre, les antennes satellites sont montées à l'extérieur, et le signal doit être transmis à l'intérieur par des câbles. Lorsque des signaux radio sont transmis par des câbles, plus la fréquence est élevée et au plus les pertes se produisent dans le câble par unité de longueur. Les signaux utilisés pour le satellite sont sur une fréquence élevée (de l'ordre du gigahertz) et donc on doit employer des câbles spéciaux (coûteux) pour minimiser les pertes en ligne.

Le travail du LNB est d'utiliser le principe du superhétérodyne et de prendre un large bloc (ou bande) de fréquences relativement élevées, de les amplifier et de les convertir en signaux similaires mais sur une fréquence beaucoup plus faible (appelée fréquence intermédiaire ou IF). Ces basses fréquences passent par un câble avec beaucoup moins d'atténuation du signal. Il est donc beaucoup plus facile et moins coûteux de concevoir des circuits électroniques pour fonctionner à ces fréquences plus basses (plutôt que les très hautes fréquences de transmission par satellite).

^(*) les principales fréquences satellites

Les têtes bande C de 3,5 à 4,2 GHz

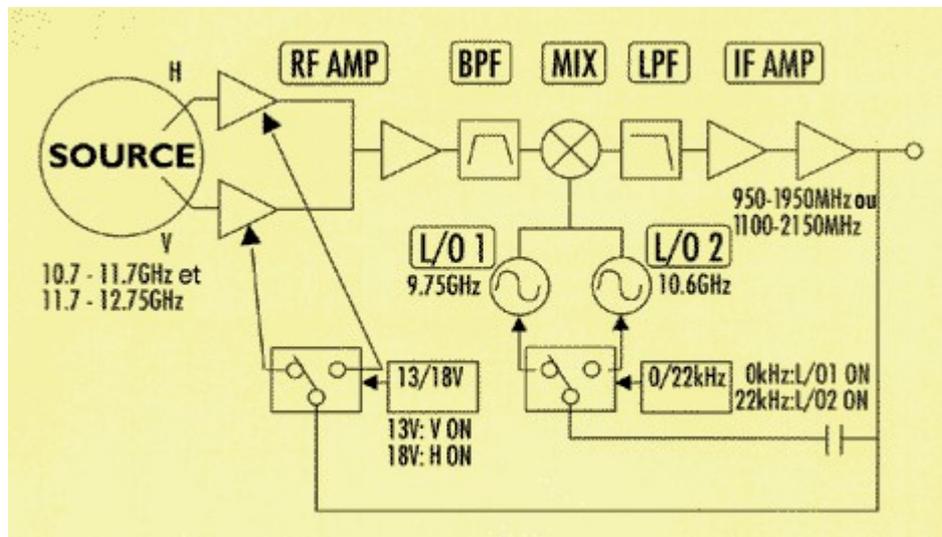
Les têtes bande Ku 11,75 à 12,25 GHz intégrée

Les têtes 2,3 à 2,7 GHz (parties de bande L et S)



Un LNB comme un autre

De quoi se compose un LNB/LNC ?



La source, c'est la petite pinoche qui se trouve dans le guide d'onde et qui capte le signal au foyer de l'antenne

Le signal reçu par la source va être amplifié par le RF AMP (amplificateur radio fréquence) avant d'être envoyé dans le bloc (BPF) qui est un filtre passe-bande. C'est un filtre qui ne laisse passer qu'une bande ou intervalle de fréquences compris entre une fréquence de coupure basse et une fréquence de coupure haute du filtre. Un peu comme si en optique on plaçait un filtre pour observer la raie α du soleil. En sortie on est toujours dans les fréquences hautes (en GHz) du récepteur. Il va falloir l'abaisser pour rendre cela plus facilement transportable.

Le MIX (mixer = mélangeur) va réaliser le travail en soustrayant de la fréquence haute une fréquence générée par un LO (oscillateur local) plus basse de façon telle que la fréquence résultante soit plus basse.

Un exemple : si mon oscillateur local génère du 9,75GHz et que la fréquence du signal est de 10GHz la résultante sera $10,7-9,75=0,95$ GHz soit 950MHz

Retenez bien ceci car cela va nous servir quand on parlera des *dongles rtl-sdr*.

Une fois le signal mélangé on va de nouveau le filtrer (LPF – low pass filter, filtre passe bas qui ne laisse passer que les signaux de la basse fréquence intermédiaire générée par la soustraction) avant de l'amplifier (IF amp – amplificateur de fréquence intermédiaire) pour l'envoyer dans le câble.

Le LNB est alimenté par le câble coaxial qui sert aussi à descendre le signal vers la détection (ou le récepteur TV Sat).

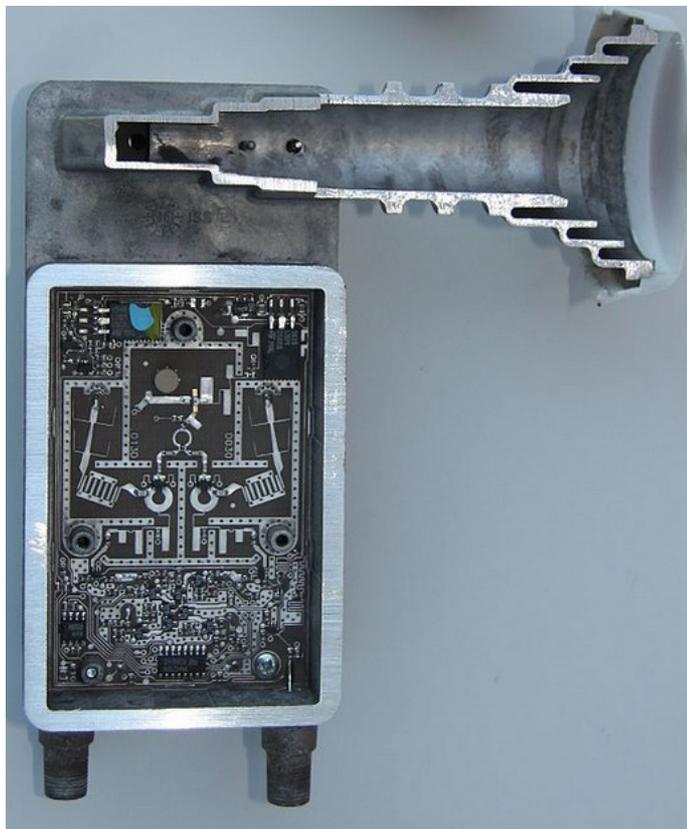
On peut de plus commuter deux bandes de hautes fréquences en injectant un signal de 22KHz pour activer des interrupteurs électroniques internes. Mais cela sera pour plus tard.

Un LNBF

Le **LNB** seul n'est pas utile sans le cornet (**feedhorn**) qui va envoyer les signaux reçus sur la petite pinoche. Donc un LNB équipé de son petit cornet devient un LNBF.



Coupe d'un 'petit' cornet



coupe d'un LNB et de son cornet

AVENGER
by DMS International

**DIGITAL KU BAND
SINGLE LNBF**

Avenger PLL321S-2

INPUT FREQ.: 10.70 - 12.75 GHz
OUTPUT FREQ.: 950 - 2150 MHz
L.O.FREQ. : 9.750 & 10.600 GHz
NOISE FIGURE: 0.1 dB
THROAT : 40MM

[Http://www.dmsiusa.com](http://www.dmsiusa.com)
MADE IN CHINA

AVENGER
by DMS International

[Http://www.dmsiusa.com](http://www.dmsiusa.com)

Cette pub est gratuite ! Mais j'utilise ce LNBF particulier (en attendant qu'un meilleur vienne le remplacer).
Vendu 11\$ sur EBAY, on ne peut s'en passer ...

Que dit la pub ?

C'est un LNBF mono bande pour la bande KU – bande divisée en deux segments, le segment bas de 10,7 à 11,7 et le segment haut de 11,7 à 12,75 GHz.

Output frequency : c'est la fréquence du signal qui sort. Il se calcule en soustrayant la fréquence du LO. $FREQ$ (fréquence de l'oscillateur local) repris en dessous de OUTPUT FREQ de la fréquence d'entrée. Comme on a deux segments on aura deux LO différentes, une pour le bas (9,75GHz) une pour le haut (10,7GHz).

Exemple : (je répète le raisonnement ci dessus mais c'est important)

dans le segment bas : si on 'écoute' sur 11GHz (fréquence d'entrée) on fait $11,0 - 9,750 = 1,250$ donc on a en sortie un signal sur 1,25 GHz

dans le segment haut : si on 'écoute' sur 12,5GHz (fréquence d'entrée) on fait $12,5 - 10,7 = 1,80$ donc on a en sortie un signal sur 1,8 GHz

Noise figure : c'est le niveau de bruit généré par le LNBF (il sort du cadre de ce document d'expliquer le niveau de bruit intrinsèque au LNBF, mais on l'utilisera pour les calculs)

La partie *low noise* "faible bruit" signifie que des techniques électroniques spéciales sont utilisées afin que le signal ait le moins de bruit (signaux indésirables) sur la sortie. D'une manière générale, plus la fréquence à laquelle un composant électronique doit opérer est élevée, plus il est essentiel que le bruit soit contrôlé. Si les techniques à faible bruit n'étaient pas utilisées, le son et l'image de la télévision par satellite seraient de très faible qualité.

Pour en savoir plus sur ce LNBF voici trois liens intéressants et de haut niveau de F1CHF François

[Photos de l'Intérieur du PLL-LNB et mesures](#)

[Specification du PLL-LNB Avenger](#)

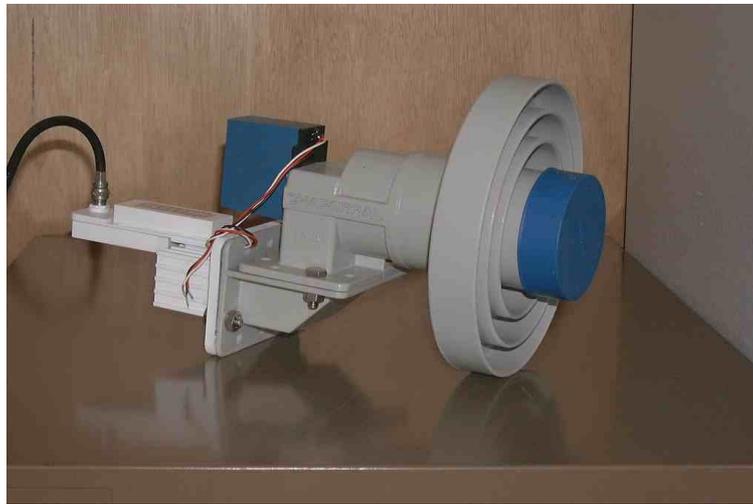
[Data sheet du transistor NE3503M04](#)

et aussi le lien de Michel HB9AFO http://www.hb9afo.ch/articles/pll-lnb/10ghz_pll-lnb.htm

Quel LNB choisir ?

En fonction de ce que vous avez comme parabole et de ce que vous voulez écouter, l'un ou l'autre LNB va être choisi.

Voici ce que l'on peut trouver pour pas cher sur internet :



Un LNBF à 4GHz

Fréquence d'entrée 3.4 - 4.2GHz

Fréquence de sortie 950 - 1750MHz

Oscillateur L.O. 5150MHz

Figure de bruit 17°K (typique – cela veut dire qu'on en trouve de 20°K à 35°K)

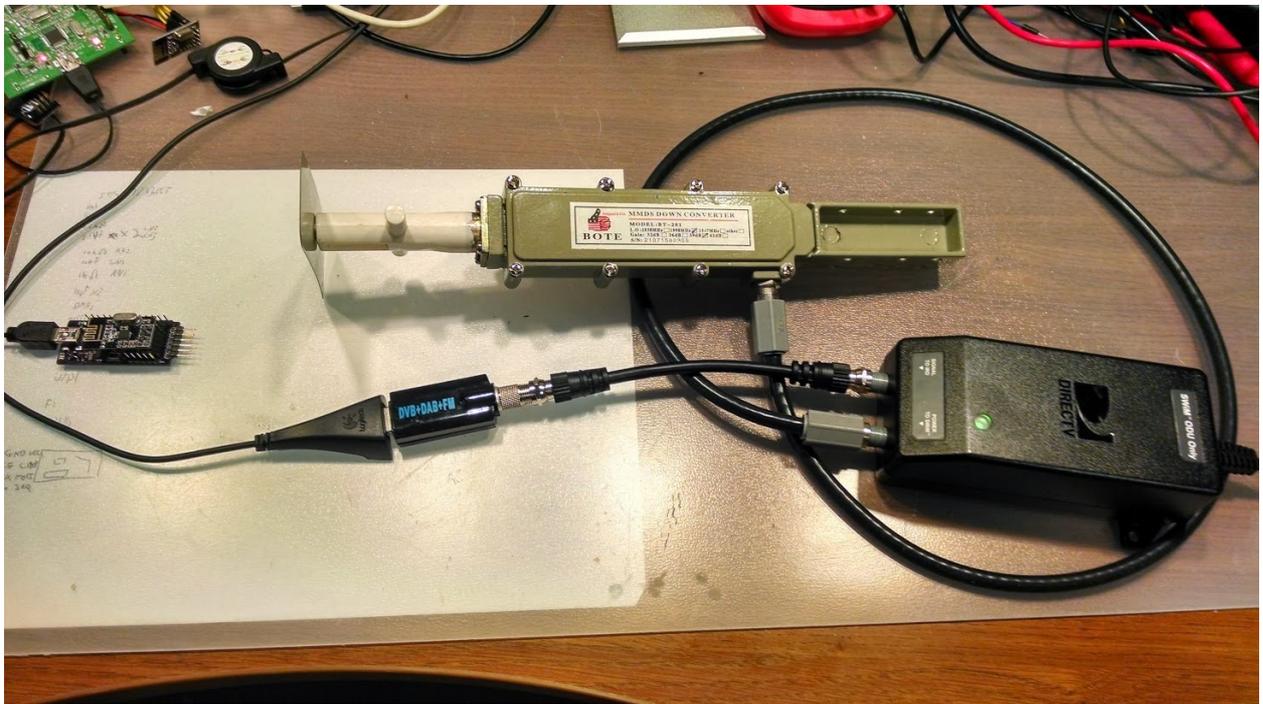
Gain 65dB

note : la relation qui lie la température de bruit exprimée en dB ou en °K est la suivante (avec la T_{ref} étant à 20°C de 290°K)

$$\text{Noise Temperature (K)} = T_{REF} * \left(10^{\frac{NF(dB)}{10}} - 1 \right)$$

$$\text{Noise Figure (dB)} = 10 * \log_{10} \left(\frac{T_{Noise(K)}}{T_{Ref(K)}} + 1 \right)$$

Note that unless otherwise specified $T_{Ref} = 290 K$



Convertisseur MMDS 2,2 à 2,7 GHz

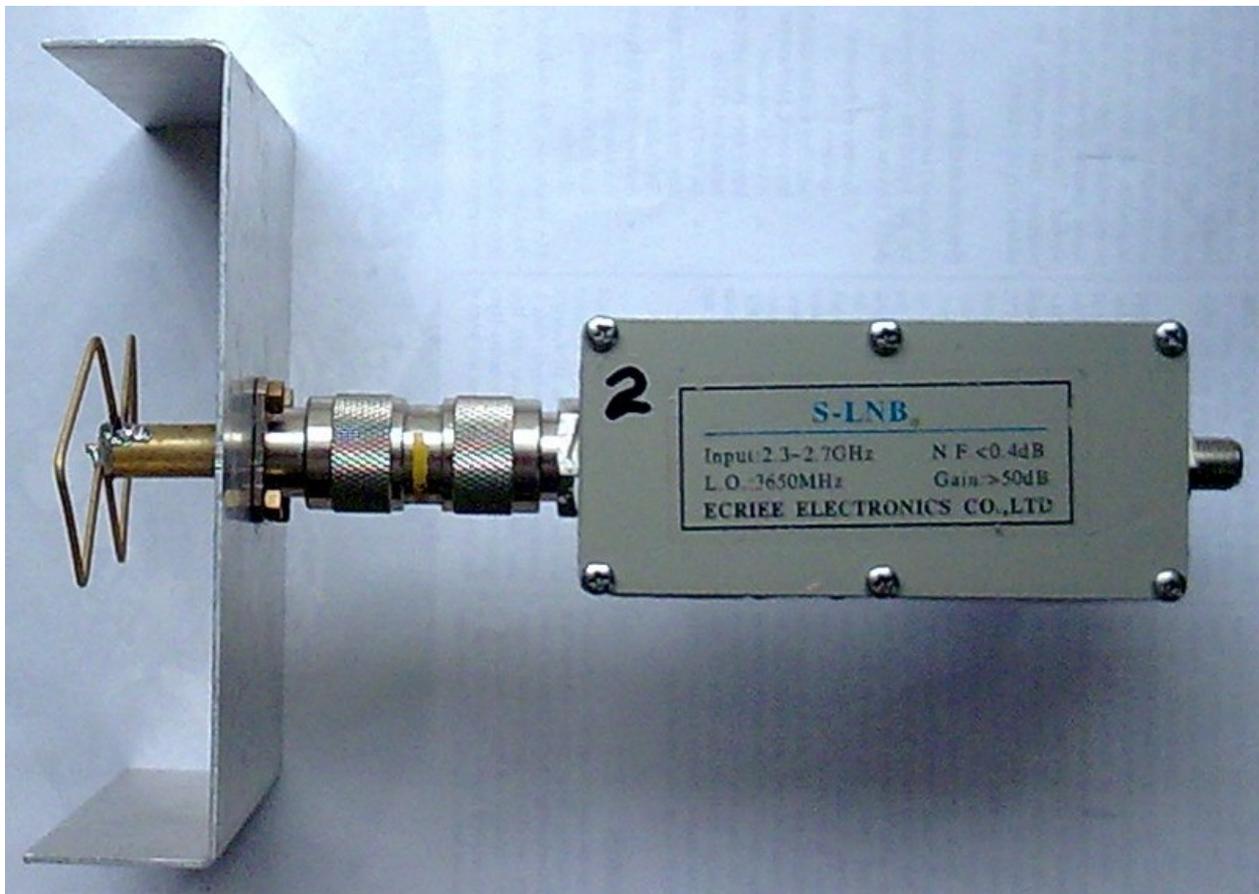
Ce module permet de descendre la fréquence reçue vers une fréquence plus basse. L'avantage ? Utilisation de câbles à faible perte à des fréquences plus basses et possibilités de réaliser certaines manipulations.

Exemple :

Une émission à 2330 MHz est reçue sur $2330-1998 = 332$ MHz.

| | |
|--|--|
| Fréquence d'entrée | 2100-2300 Mhz, 2200-2400 MHz, 2300-2500 MHz, 2500 à 2700 MHz |
| Facteur de bruit en fonction du gain de conversion | 2.5dB @ 24dB , 1.8dB @ 32dB , 1.4dB @ 36dB |

| | |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| L.o. Fréquence | 1838,1998,,2030,2033,2278, 2065 MHz |
| L.o. Stabilité | $\leq \pm 30$ khz |
| Température de fonctionnement | -40 Centigrade à + 70 centigrades |
| Type d'entrée | Bt280: antenne intégrée dipôle |



Un LNB pour la bande 2,3 – 2,7GHz

Fréquence d'entrée 2.3 to 2.7GHz, 2.2 to 2.7Ghz,2.3 to 2.9GHz, 2.5 to 2.9GHz

Fréquence du L.O. 3650,3750,3850,3950MHz

Fréquence de sortie 950 to 1350 MHz, 1050 to 1550 MHz,1050 to 1650 MHz

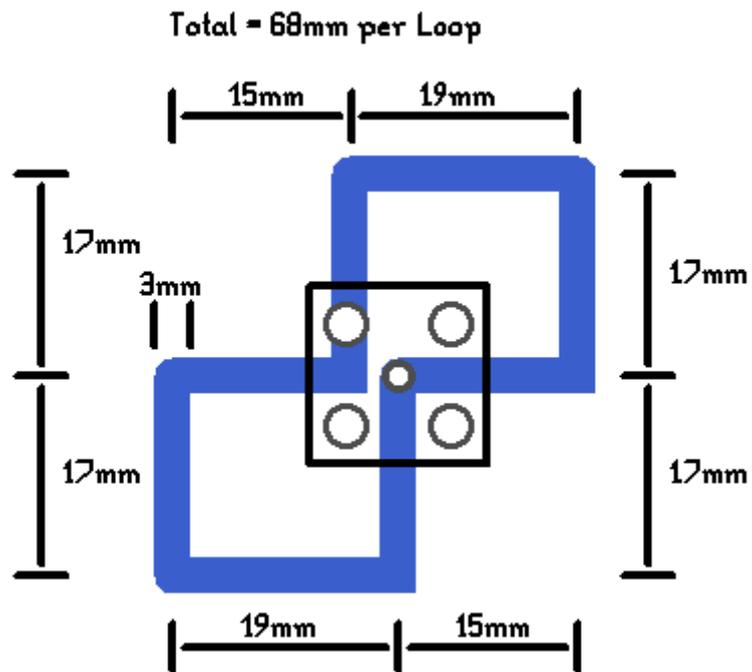
Stabilité du L.O. $\pm 1.5\text{MHz}(-40^{\circ}\text{C to }+70/25^{\circ}\text{C})$

Facteur de bruit 0.4dB

Gain 55dB

pour le retrouver entrez S-LNB Bowei sur Google

La 'source' est une bi-quad pour le 2,4GHz dont voici les cotes



voir les liens ci joint pour plus d'infos : http://www.ko4bb.com/ham_radio/2.4GHz_Stuff/ et aussi <http://martybugs.net/wireless/biquad/>



S band 3620mhz Inbf pour SES-7 indovision (Malaysia)

pour le trouver entrez sur Google ce qui est souligné ci-dessus

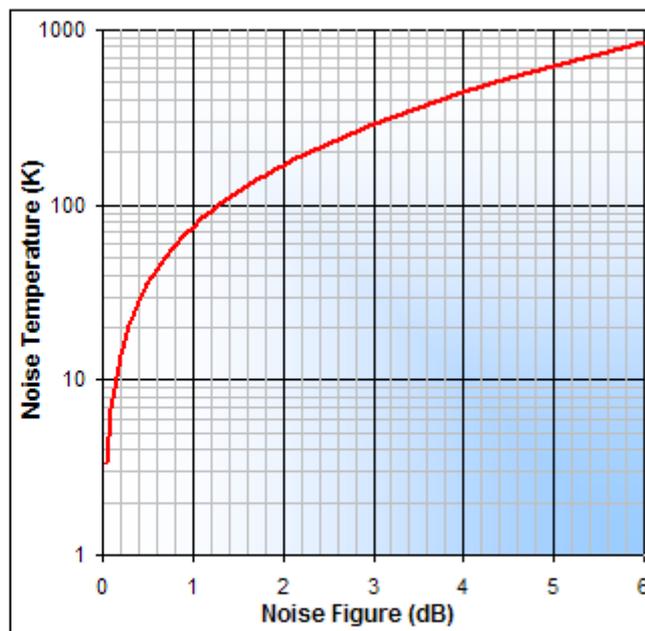
| | |
|-------------------------------|---------------------------|
| Fréquence d'entrée | 2520 ~ 2670 MHz |
| Fréquence de sortie | 950 ~ 1100 MHz |
| Gain | 48 dB (Min.) 58 dB (Max.) |
| Erreur sur une bande de 27MHz | ±0.75 dB / 27 MHz |
| Température de bruit | 36 °K (Max.) |
| Réjection Image | 25 dB |

Reference Temperature: K

Noise Figure: dB = 290.0 K

Noise Temperature: K = 3.01 dB

| NF(dB) | T _N (°K) | NF(dB) | T _N (°K) |
|--------|---------------------|--------|---------------------|
| 0.1 | 7 | 2.1 | 180 |
| 0.2 | 14 | 2.2 | 191 |
| 0.3 | 21 | 2.3 | 202 |
| 0.4 | 28 | 2.4 | 214 |
| 0.5 | 35 | 2.5 | 226 |
| 0.6 | 43 | 2.6 | 238 |
| 0.7 | 51 | 2.7 | 250 |
| 0.8 | 59 | 2.8 | 263 |
| 0.9 | 67 | 2.9 | 275 |
| 1.0 | 75 | 3.0 | 289 |
| 1.1 | 84 | 3.1 | 302 |
| 1.2 | 92 | 3.2 | 316 |
| 1.3 | 101 | 3.3 | 330 |
| 1.4 | 110 | 3.4 | 344 |
| 1.5 | 120 | 3.5 | 359 |
| 1.6 | 129 | 3.6 | 374 |
| 1.7 | 139 | 3.7 | 390 |
| 1.8 | 149 | 3.8 | 406 |
| 1.9 | 159 | 3.9 | 422 |
| 2.0 | 170 | 4.0 | 438 |



A ce niveau je vais vous donner un lien pour calculer la température de bruit et le facteur de bruit.

Source : <http://www.rfcafe.com/references/calculators/noise-figure-temperature-calculator.htm>

Donc le LNBF ci dessus avec une T° de bruit de 36°K se situe à 0,5 dB de bruit

Pour rappel, au plus le niveau de bruit est faible au meilleur sera le signal Ceci dit, les données des constructeurs sont souvent surfaites !

Lors de vos recherches pour un LNB ou LNBF exotique, cherchez sur le net, c'est une source inépuisable.

Ensuite on envoie le signal sur un dongle et vers le PC de mesure.

En réalisant un suivi automatique du soleil, du matin au soir, sur deux ou trois mois, on va pouvoir mettre en évidence la rotation du soleil et trouver des événements périodiques en relation avec cette rotation^(*). Si dans le même temps une observation optique du soleil est réalisée, une corrélation avec les taches solaires pourra être recherchée. Et puis le soleil est l'étoile la plus proche de nous ! Donc avant d'aller les chercher au loin, pourquoi pas se faire la main avec notre voisine ?

() En fonction de la fréquence utilisée on va mesurer la composante du soleil calme, la composante légèrement variable et la composante du soleil actif. On en reparle plus loin.*

La détection

On a donc notre signal transporté par un câble qui arrive dans la station d'observation. Il va falloir en extraire un maximum d'informations. Il va falloir faire la détection.

J'ai retenu deux solutions faciles à mettre en œuvre.

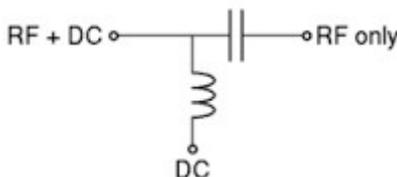
Le satfinder

Le moyen le plus simple et le plus économique est le sat finder, le chercheur de satellites. C'est un module électronique vendu une 15€ en grande surface.



On l'insère entre le LNB et le récepteur satellite pour mesurer la puissance du signal reçu par l'antenne et ainsi voir si elle est bien orientée. Il est alimenté par le câble d'antenne et donc on va devoir faire une petite manipulation pour remplacer le récepteur TV Sat. On va utiliser un injecteur de signal. C'est un petit module qu'on alimente en tension et qui va alimenter le LNB et le sat finder par le câble coaxial.

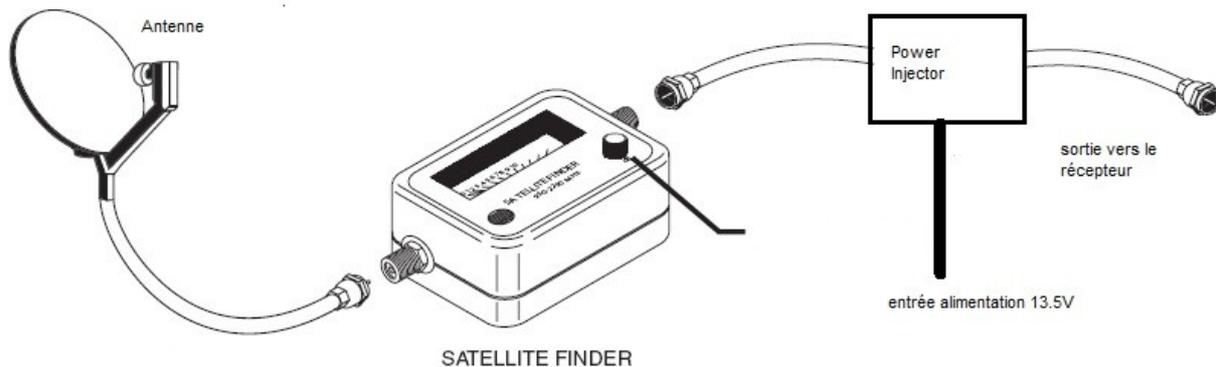
Sur la photo ci-dessous on peut voir un injecteur de tension et son connecteur d'alimentation.



Le schéma de l'injecteur RF+DC va au LNB, DC est l'entrée en tension d'alimentation et RF only est la sortie vers le récepteur.



Le principe est d'envoyer une tension positive à l'entrée DC via la petite self. Le condensateur va bloquer cette tension positive (et donc ne va pas fusiller les étages d'entrée du récepteur) mais comme rien ne s'oppose à son passage (à gauche) il va remonter jusqu'au LNB. Inversement le signal radio (RF) lui va être bloqué par la self et passer au travers du condensateur pour aller au récepteur.



Donc tout cela monté on va l'essayer. Vous pointez votre antenne vers le sol, disons qu'il est à 20°C donc en valeur absolue à 295°K. Cela correspond déjà à un signal radio intéressant, car tout corps émet des ondes radio en fonction de sa température, c'est le rayonnement thermique.

Vous réglez le petit bouton du sat finder pour avoir une lecture de quelques unités. Puis vous dirigez l'antenne vers le soleil. J'ai expliqué ci-dessus comment pointer les antennes.

Et là si vous avez le soleil au point focal, vous devez avoir une lecture sur le sat finder qui bute à droite. Vous avez fait votre première expérience en radio-astronomie.

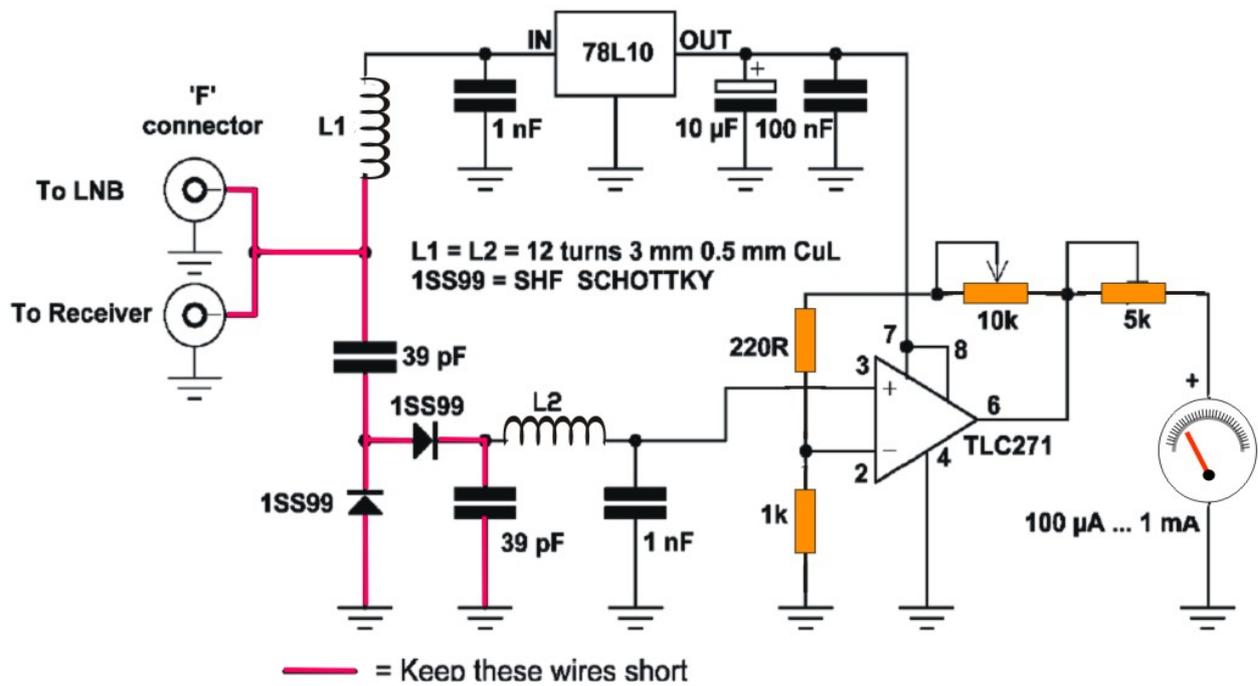
Maintenant si l'antenne est fixée, tournez la vers la droite, l'aiguille va redescendre. Attendez que le soleil revienne au foyer et surveillez l'aiguille.

Vous me direz, que c'est la chaleur du soleil qui fait varier l'aiguille en chauffant le LNB. Ce n'est pas faux mais pas pour cette raison. En effet, si le ciel est couvert vous pourrez aussi faire cette expérience. Donc là le LNB n'a pas chauffé !

On peut aussi utiliser le signal du satfinder pour ensuite le transformer et l'envoyer vers un logiciel.

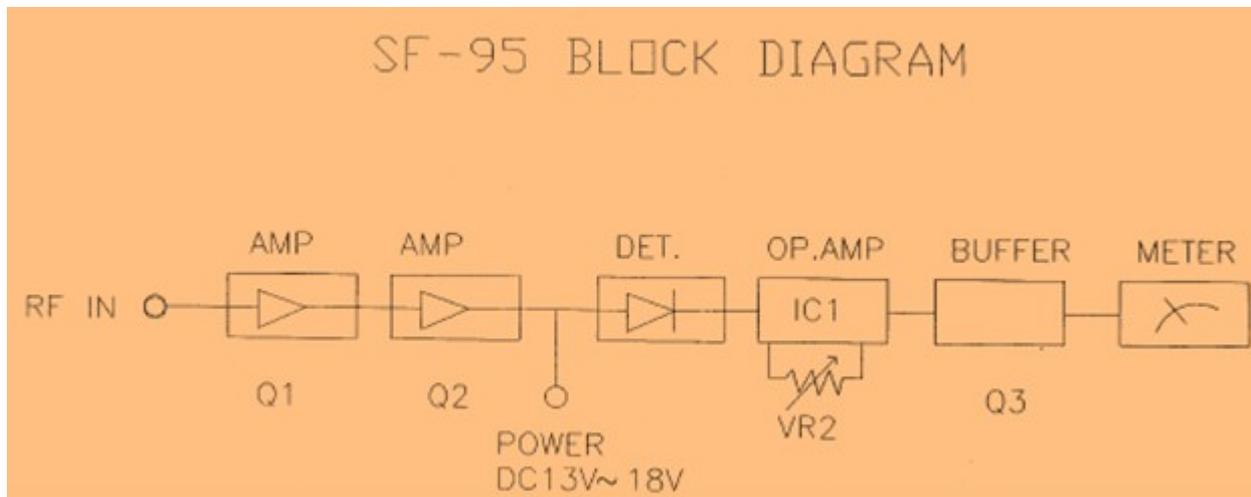
En effet si l'aiguille du galvanomètre du satfinder donne une bonne indication sur la puissance du signal reçu par l'antenne, pouvoir enregistrer ce signal est un plus.

Voici un schéma typique de satfinder :



Sans entrer dans les détails, à droite, après la résistance de 5k on a la sortie vers l'appareil de mesure. On va donc prendre le signal (analogique) avant la résistance pour l'envoyer vers un convertisseur digital. Les logiciels n'aiment que les signaux digitaux. Il est à signaler que le gain très important de l'AOP qui suit la détection est difficile à régler entraînant non seulement des instabilités mais aussi ne permet pas de reproductibilité dans les résultats

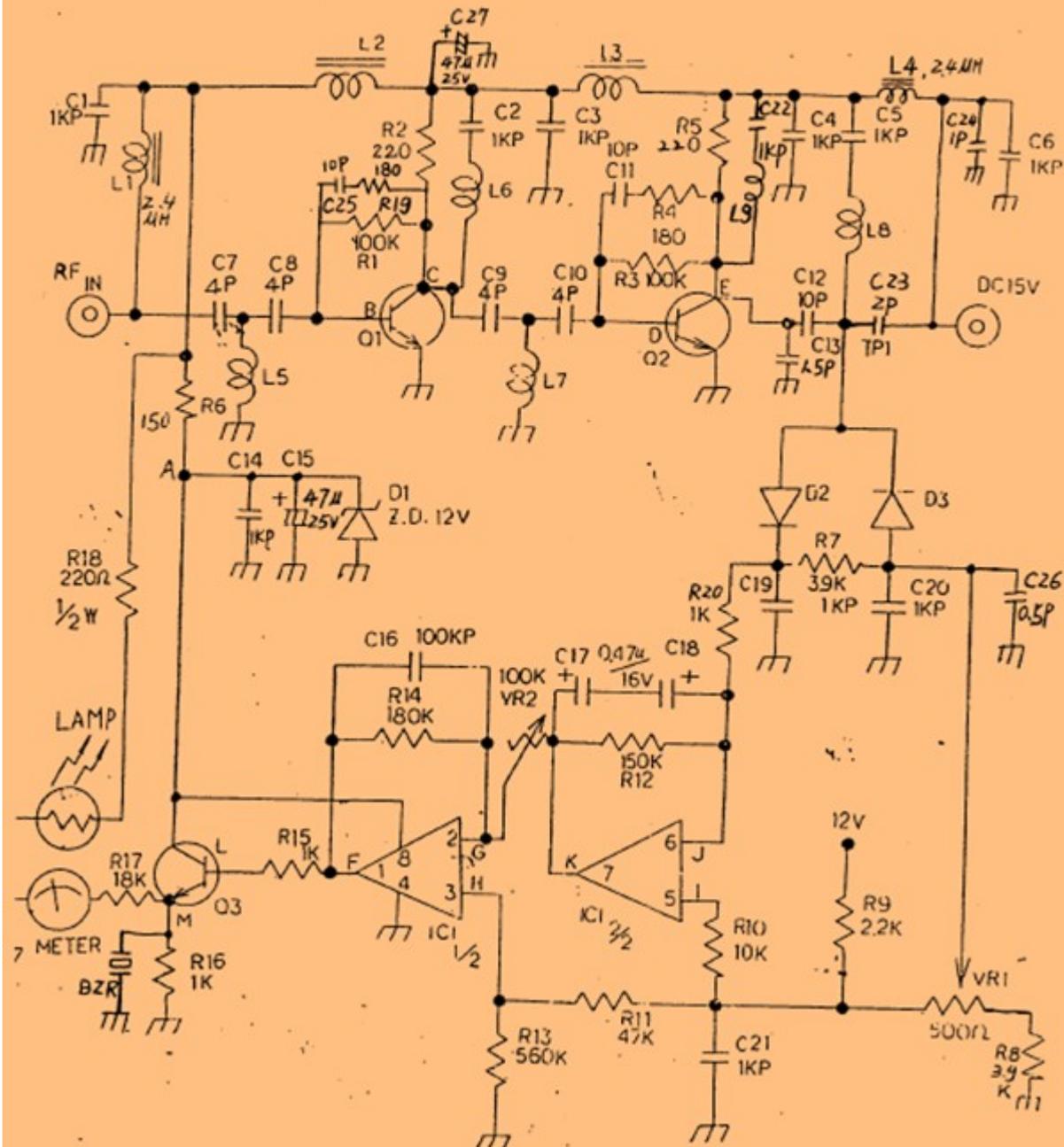
Pour les plus avancés, voici un autre schéma de satfinder



CONNECTION DIAGRAM

SF-95 电路图

B/N 28994



Les modifications (citation du travail des élèves de 1èreS du Lycée La Bourdonnais à l'île Maurice: Nicholas Motta, Arjuna Tatayah et Shane Seetul)

Voir aussi le lien du site 'Lucie' [ici](#)

1) Se débarrasser du démodulateur

Il est facilement compréhensible que l'unique rôle du démodulateur est d'alimenter le satfinder et le LNB via le coaxial ; or si on veut faire de la radioastronomie mobile il faut se débarrasser de lui. Ainsi la première modification consiste à alimenter le satfinder qui fonctionne entre 13V et 18V.

Pour cela on travaille sur la prise F «TO REC». On soude un fil rouge sur la broche centrale et un fil noir sur la masse adjacente ; qui correspondent aux bornes d'entrée. On fait sortir ces 2 fils par un petit trou au bord du boîtier. Pour l'alimentation on choisit un transformateur 15V.

Afin de s'assurer que cette modification est bien faite, on connecte les 2 fils, on tourne le réglage du gain et l'aiguille par jusqu'au bout. On peut laisser la canal box tranquille maintenant !

2) De la précision

Cette deuxième modification consiste à obtenir des valeurs plus précises que celles obtenues sur le vumètre. Pour cela il faut prélever une tension aux bornes d'un composant du satfinder, le PCS10 comportant 4 canaux on peut même en prélever 4. Néanmoins on décide d'utiliser 2 composants : le buzzer et le galvanomètre. Ainsi on retire le buzzer les bornes positives et négatives sont indiquées, quant au galvanomètre on utilise un multimètre pour retrouver la polarité des bornes. On finit par faire 2 petits trous dans le boîtier pour sortir les 4 fils électriques qui iront dans les canaux de l'enregistreur.

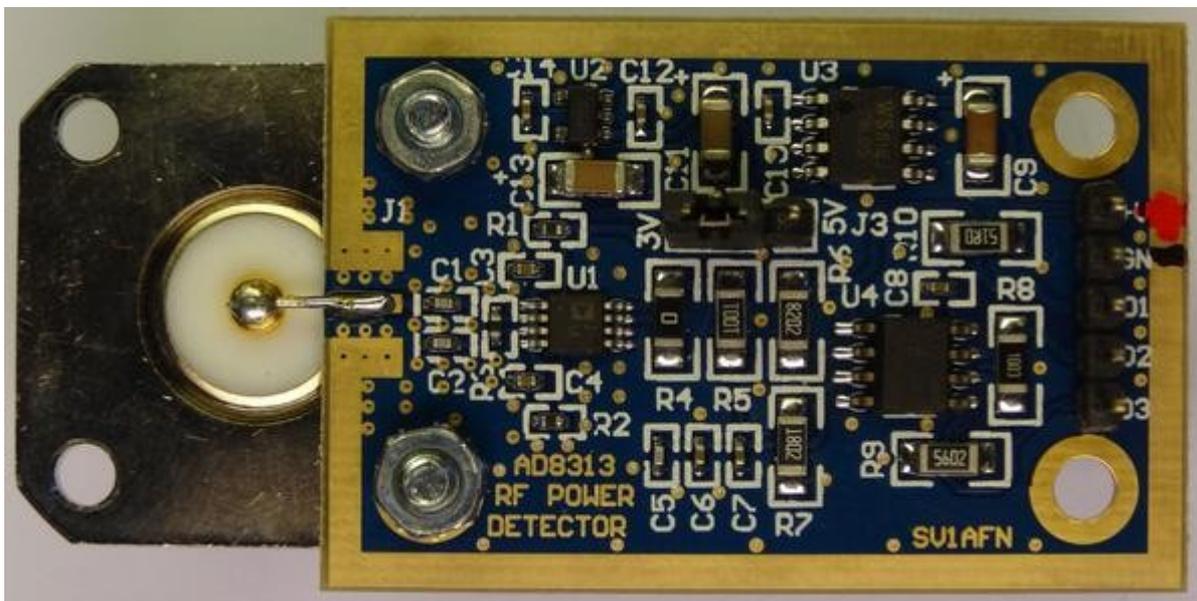
Fin de citation

Pour les modifications du sat-finder, je vous renvoie sur le site de Nierveze F1GQB lequel explique photos à l'appui, sa modification d'un Satfinder.

<http://www.radio-astronomie.com/rasimple.htm>

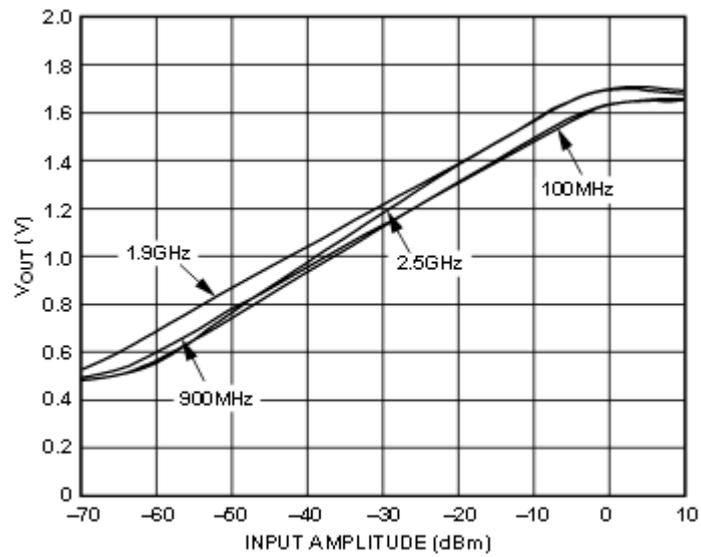
A ce stade, vous avez un système qui fonctionne.

La sonde RF



Vue générale d'un module de détection des ondes radio. Sa taille 30x25mm max.

Il existe sur internet pas mal de constructeurs de petits modules pas chers et qui font un travail remarquable. J'ai opté pour un détecteur à 20€ réalisé par un radio amateur (SV1AFN). Le principe est d'entrer le signal radio d'un côté et de sortir une tension proportionnelle à la puissance du signal de l'autre côté.



Evolution de la tension de sortie en fonction de l'amplitude du signal d'entrée pour différentes fréquences.

Les circuits réalisés par Makis sont visibles ici : <https://www.sv1afn.com>

La digitalisation

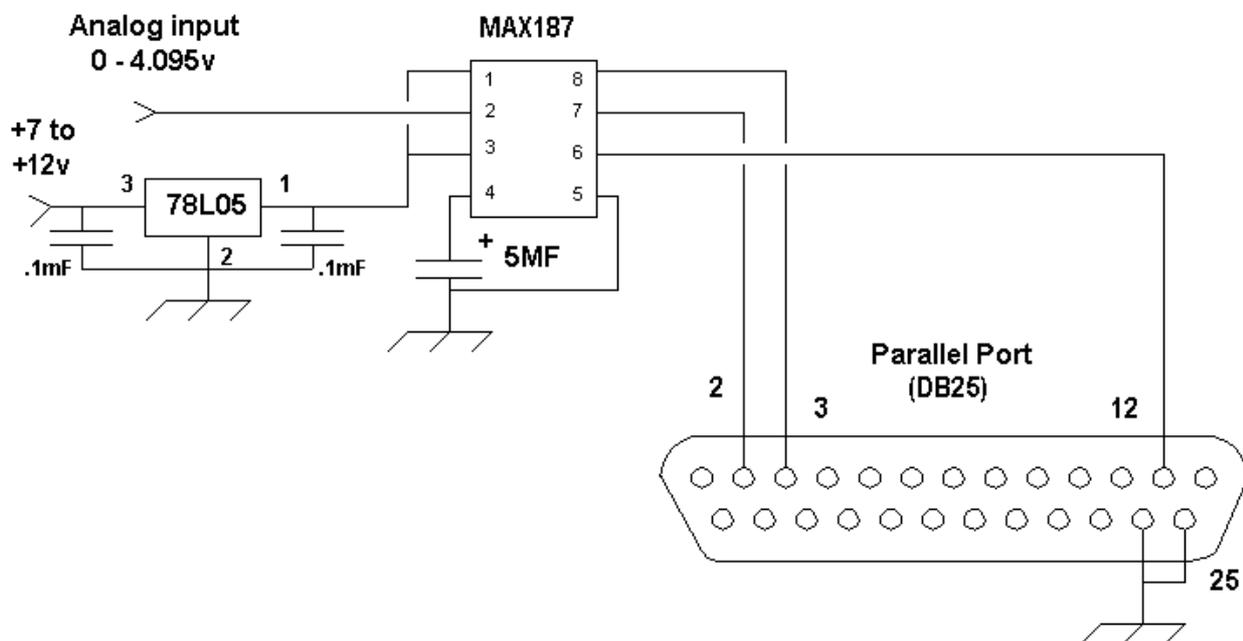
Le module de digitalisation va transformer le signal analogique en provenance du détecteur en un signal digital qui pourra être exploité par les logiciels.

On a aussi plusieurs solutions.

L'interface Jim Sky

Soit on travaille avec une sortie sérielle du type RS232 ou parallèle (sortie imprimante) (il y en avait sur tous les anciens PC) soit via l'USB.

Jim Sky a décrit une petite interface sérielle maison suffisante pour de nombreuses utilisations.



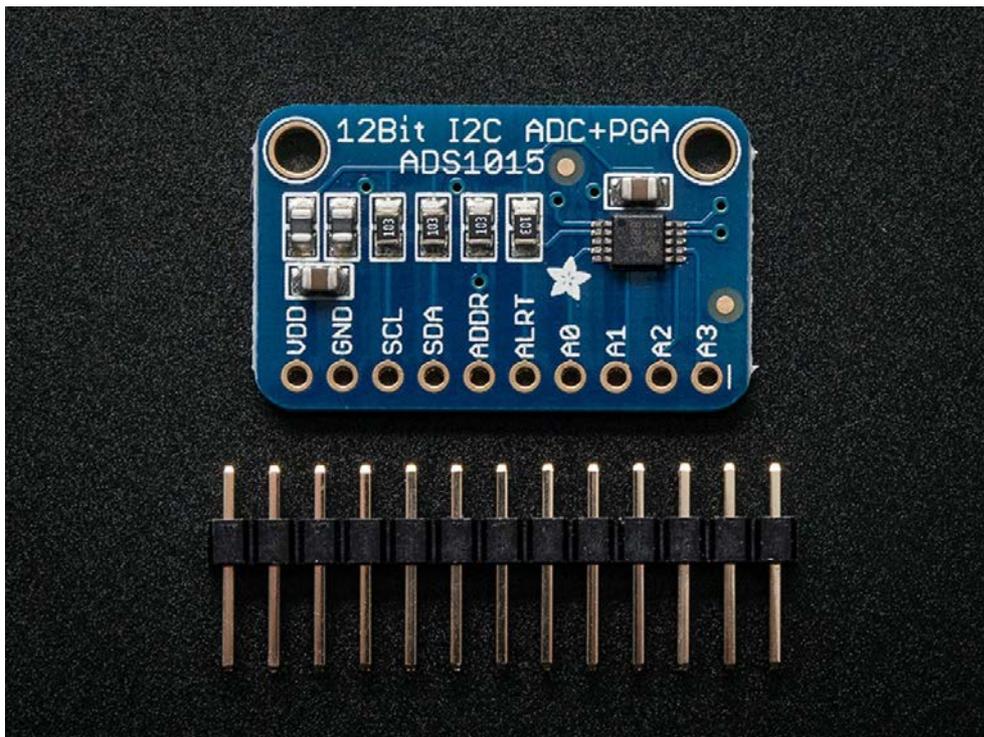
<http://www.radiosky.com/dcla2d.html>

Cette petite interface est relativement facile à construire. On entre un signal qui varie de 0 à 4V en provenance de l'interface précédente et elle le transforme en bits avant de l'envoyer au port imprimante du PC.

Le logiciel de Jim, qui sera étudié plus loin, va alors enregistrer et afficher la puissance du signal en provenance de l'antenne.

Le module Arduino

Une autre solution est d'utiliser un petit module couplé à un arduino ou un raspberry.



L'ADS1015 est convertisseur 12-bits à 4 canaux avec amplificateur programmable du gain. Ref 1083(+/-10€)

Ici aussi on entre le signal du module sonde RF, et via la sortie I²C du module on se connecte à l'Arduino ou le RPI 2.

Si vous maîtrisez un de ces deux 'ordinateurs' vous saurez comment mettre cela en œuvre. Sinon il existe de bon sites qui vous guideront pas à pas pour réaliser la partie programmation et affichage du signal. Voici néanmoins quelques liens utiles.

Guide du convertisseur analogique ADS1015 : [Adafruit 4-Channel ADC Breakouts](#)

EXEMPLE DE CODE:

Pour le Raspberry Pi: [Adafruit Pi Python library](#)

Pour l' Arduino : [ADS1X15 Arduino library repository](#)

J'en signale un parmi d'autres : <https://www.hackster.io/mariocannistra/radio-astronomy-with-rtl-sdr-raspberrypi-and-amazon-aws-iot-45b617>

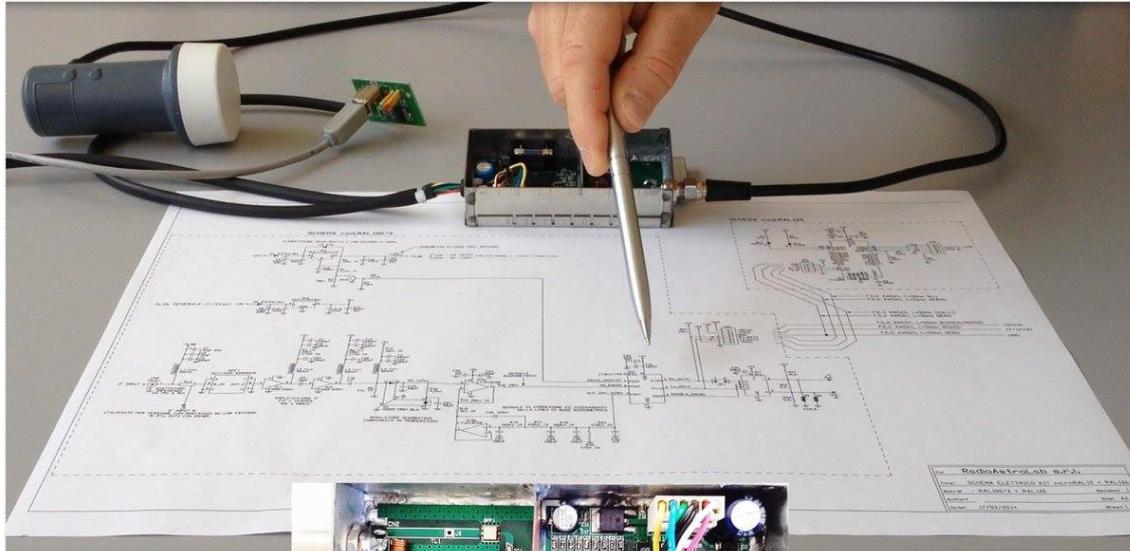
Mario Cannistrà y décrit pas à pas la réalisation d'un système fonctionnel utilisant le RPI 2 en radioastronomie .



Enfin il existe un système qui réalise tout cela en un seul module le RAL10-kit

RAL10-kit

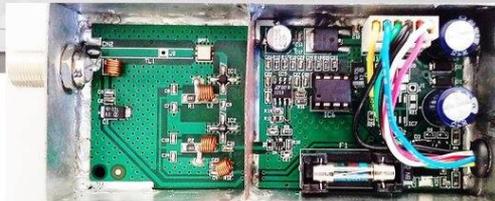
Why not try to build a radio telescope with **RAL10KIT** ?



RadioAstroLab

www.radioastrolab.it

www.radioastrolab.com



Educational Scientific
Experiments for all

Le RAL10kit est un ensemble complet comprenant l'alimentation du LNB, la détection du signal, sa digitalisation et l'envoi sur un port USB. Un logiciel accompagne ce module et j'ai traduit les manuels en français. Ils sont téléchargeables ici :

<http://www.radioastrolab.com/documentation-for-french-users#contents>

Le RAL10kit fait exactement le même travail étudié plus haut. Son avantage principal est d'avoir tout dans un seul boîtier mais cela a un coût.

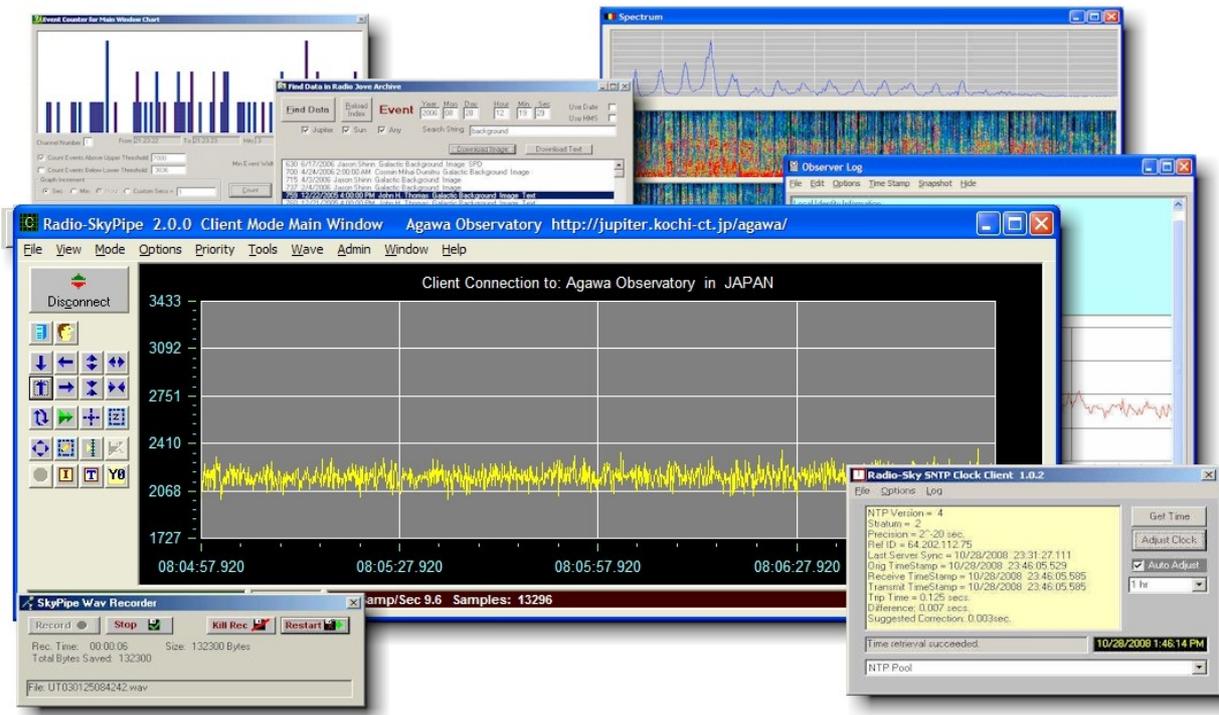
L'enregistrement

Le signal digital arrive enfin dans le PC. Il va falloir maintenant le visualiser et l'enregistrer.

Jim Sky met à disposition une suite de logiciels qui réalisent plusieurs fonctions. Nous allons les passer en revue.

Source : <http://www.radiosky.com/softwarehome.html>

Radio Sky Pipe



Un logiciel gratuit (avec fonctions limitées) qui s'appelle Radio Sky Pipe. Accouplé au petit module décrit ci-dessus, ce logiciel va afficher en temps réel

et recueillir des données sur votre PC en utilisant votre carte son ou un simple convertisseur analogique-numérique.

Stocker les fichiers, les récupérer et les modifier avec des informations d'en-tête fixés dans le fichier lui-même.

Partager vos données en temps réel avec d'autres sur Internet, même si vous utilisez une connexion commutée.

- Envoyer des données en direct à plusieurs destinataires.
- Envoyer et recevoir des données simultanément à partir de plusieurs sources.
- Utilisation en mode autonome pour une utilisation locale seulement.
- Avec une fenêtre de discussion qui vous permet de communiquer avec les autres pendant les observations.
- Peut être utilisé pour la radioastronomie, la sismologie, la météo, ou une tâche scientifique ou industrielle, la surveillance.
- Nouveauté (2013). Connectez-vous directement à vos projets Arduino et représentez graphiquement vos données !. On en reparle ci dessous

Les logiciels de prévision et d'analyse

Pour nous aider à prévoir l'heure de transit des sources principales et pour exploiter les mesures, il existe une suite de logiciels gratuits écrits par un radio amateur. Certains tournent sous WIN7 mais je préfère les faire tourner sous WIN XP.

Ils sont téléchargeables **gratuitement** ici : <http://www.vk3um.com/software.html> et les manuels en anglais sont disponibles également sur le site. Je ne peux que vous recommander ces logiciels si vous voulez réaliser un travail impeccable.

Le logiciel source planner

The screenshot shows the VK3UM Noise Source Planner software interface. The main window displays a table of celestial objects (Aquarius, Leo, Centaurus-A, Cygnus-A, Taurus-A, Virgo-A, Sagittarius-A, Moon, Sun) with columns for Azimuth and Elevation. The date is set to 18/02/2016. Below the table are controls for 'Noise Source Options', 'U.T.C. Date', and 'Calculation Interval'. A 'REAL TIME DISPLAY' section shows a smaller table of data for the current time.

| Time | Aquarius | Leo | Centaurus-A | Cygnus-A | Taurus-A | Virgo-A | Sagittarius-A | Moon | Sun | | | | | | | | |
|------|----------|--------|-------------|----------|----------|---------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--|
| 0000 | 0100 | 163.97 | 71.59 | | 18.07 | 1.86 | 263.22 | 35.73 | 119.92 | 38.91 | | 252.22 | 38.09 | | | | |
| 0100 | 0200 | | 204.75 | 70.81 | | 28.77 | 5.81 | 274.85 | 25.80 | 136.97 | 46.70 | | 264.41 | 26.65 | | | |
| 0200 | 0300 | | 234.71 | 64.37 | | 38.84 | 11.34 | 285.30 | 15.03 | 158.08 | 52.96 | | 275.29 | 19.04 | | | |
| 0300 | 0400 | | 253.52 | 55.41 | | 48.25 | 18.19 | 285.91 | 6.73 | 182.40 | 63.75 | | 285.66 | 9.61 | | | |
| 0400 | 0500 | | 266.89 | 45.63 | | 57.11 | 26.10 | | 206.31 | 51.27 | | | 296.19 | 0.67 | | | |
| 0500 | 0600 | | 277.85 | 35.71 | | 65.61 | 34.82 | | 226.62 | 45.35 | 140.08 | 1.67 | | | | | |
| 0600 | 0700 | | 287.84 | 26.03 | | 74.11 | 44.14 | | 242.97 | 37.22 | 182.93 | 7.22 | | | | | |
| 0700 | 0800 | 91.74 | 1.53 | 207.64 | 16.97 | | 83.16 | 53.88 | 256.40 | 27.90 | 164.82 | 10.88 | | | | | |
| 0800 | 0900 | 103.20 | 11.38 | 307.75 | 8.51 | | 94.08 | 63.80 | 268.36 | 18.06 | 178.16 | 12.35 | | | 115.20 | 5.80 | |
| 0900 | 1000 | 115.46 | 20.75 | 318.48 | 1.25 | | 110.90 | 73.51 | | 279.51 | 8.16 | 191.57 | 11.51 | | 127.39 | 14.28 | |
| 1000 | 1100 | 129.26 | 29.14 | | | 151.91 | 81.22 | | | | | 264.66 | 8.43 | | 140.89 | 21.40 | |
| 1100 | 1200 | 145.23 | 35.90 | | | 224.34 | 79.58 | | | | | 216.74 | 3.36 | | 155.94 | 26.61 | |
| 1200 | 1300 | 163.57 | 40.30 | | | 254.86 | 70.90 | | | | | | | | 172.29 | 29.35 | |
| 1300 | 1400 | 183.42 | 41.33 | | | 289.26 | 61.08 | 95.13 | 7.60 | | | | | | 189.15 | 29.24 | |
| 1400 | 1500 | 202.93 | 39.06 | | | 279.45 | 51.16 | 75.72 | 16.96 | | | 66.14 | 2.35 | | 206.43 | 26.30 | |
| 1500 | 1600 | 220.66 | 33.62 | | | 269.26 | 41.52 | 69.41 | 26.77 | | | 76.61 | 11.40 | | 220.36 | 20.93 | |
| 1600 | 1700 | 235.67 | 26.42 | 44.72 | 3.23 | | 296.72 | 32.34 | 97.96 | 36.69 | | | 87.10 | 20.88 | 233.76 | 13.66 | |
| 1700 | 1800 | 248.86 | 17.63 | 55.25 | 10.84 | | 305.29 | 23.82 | 111.51 | 46.29 | | | 98.22 | 30.47 | 245.88 | 5.13 | |
| 1800 | 1900 | 260.76 | 8.05 | 65.22 | 18.46 | | 314.29 | 15.18 | 128.93 | 54.89 | | | 110.87 | 39.78 | | | |
| 1900 | 2000 | | 75.02 | 28.80 | | 323.68 | 6.67 | 152.63 | 61.21 | | | | 126.31 | 48.25 | | | |
| 2000 | 2100 | | 85.19 | 38.58 | | 334.13 | 4.65 | 182.53 | 63.38 | 72.26 | 1.00 | | | 146.13 | 54.94 | | |
| 2100 | 2200 | | 96.66 | 48.51 | | 344.98 | 1.07 | 211.73 | 60.41 | 83.35 | 10.70 | | | 170.90 | 58.49 | | |
| 2200 | 2300 | | 111.19 | 58.16 | | | | 234.27 | 53.60 | 94.61 | 20.63 | | | 197.48 | 67.73 | | |
| 2300 | -0000 | | 132.57 | 66.92 | | | | 250.89 | 44.78 | 105.61 | 30.38 | | | 220.71 | 52.96 | | |

qui donne la position des principales sources radio, leurs heures de visibilité

Le logiciel EME planner

qui donne la position de la lune en temps réel

The VK3UM EME Planner Ver 2.12

Main | EME Planner | Spatial Offset | Sources Display | Sources Planner | Sky Noise Display | Distance Calculator | Home Data setup | Monthly Data | Hint setup | Help | About | Exit

Distance 403 036 kms UTC 28 February 2016 Illumination 74,1%
 Added loss 2,12 dB **07:47:09** Phase 0,66
 Diameter 0,494° Moon 3rd Qtr Phase angle 239°
 Libration 162 Hz

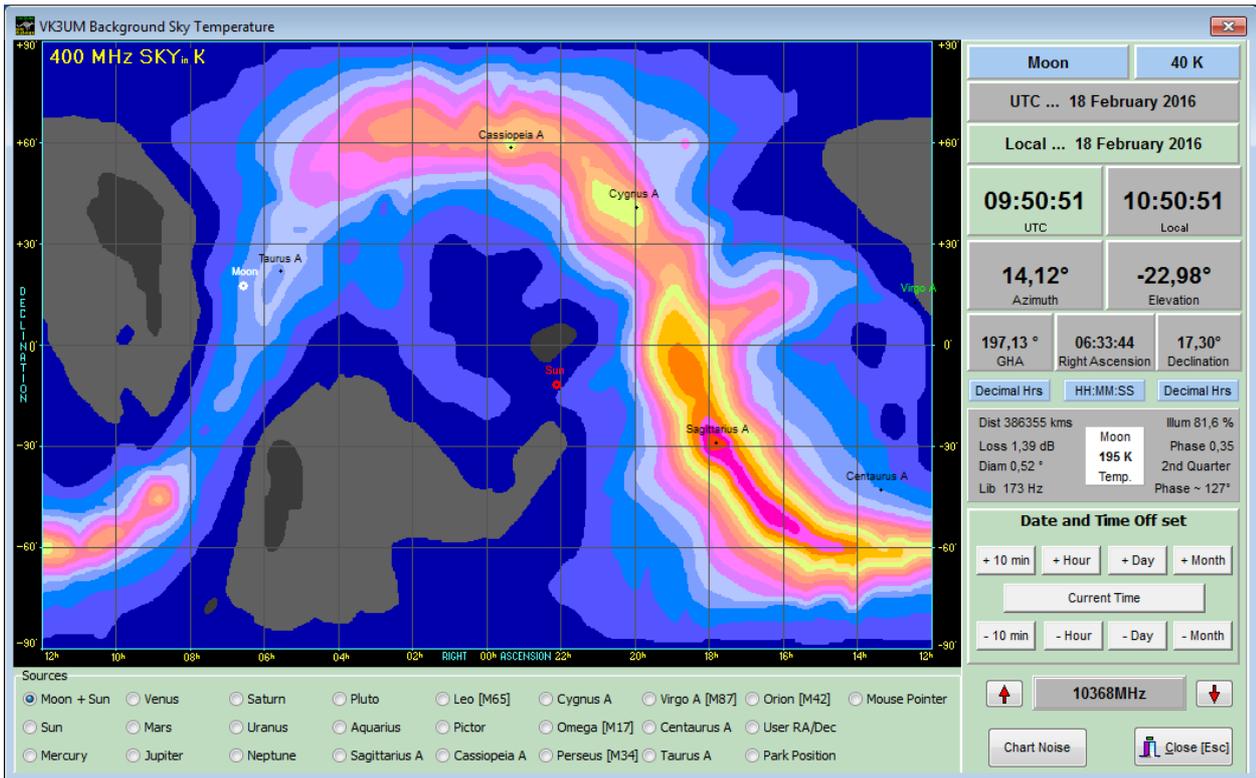
10368 MHz Ver 2.12
 Dec -11,80° R.A. 14:34:59 DXCC Find
 GHA 55,49° Sky 14 K

Dx selection Save Data Base HOME selection

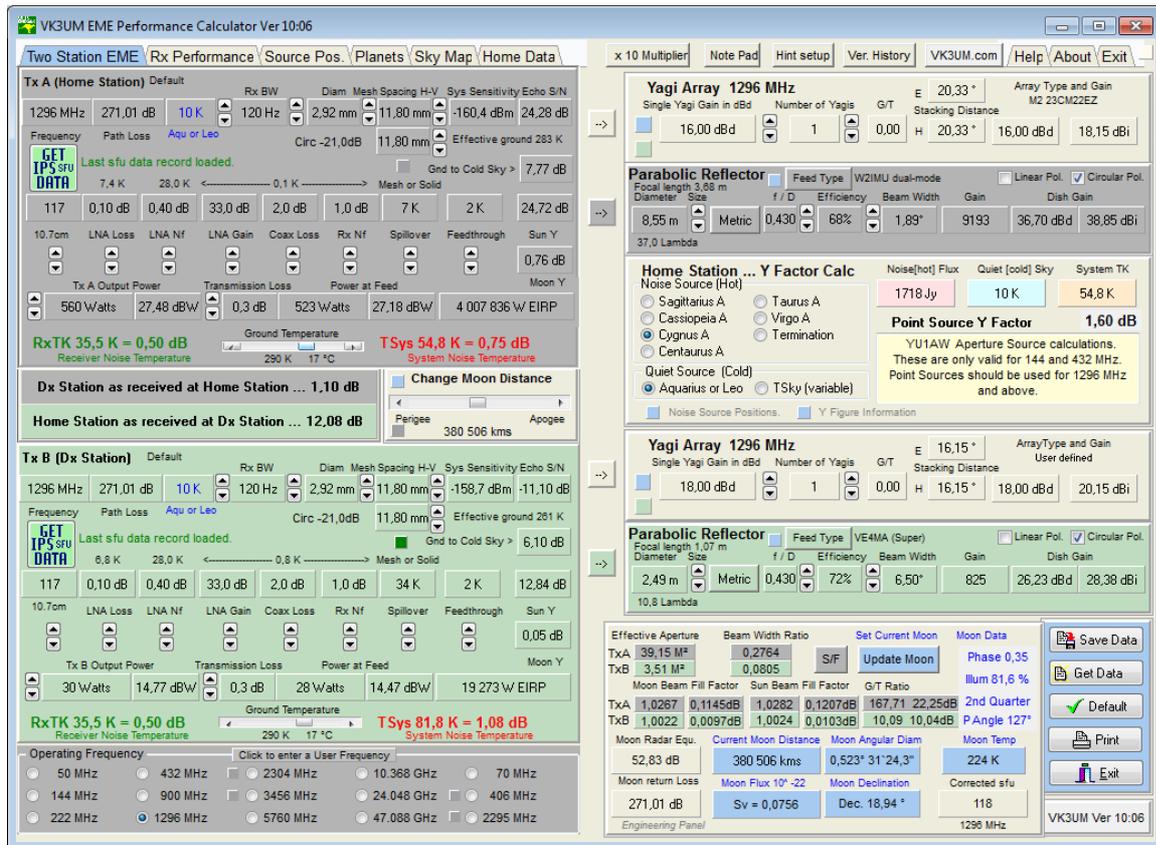
| HOME STATION | F5VLB | Pluzunet IN88ho 149m ASL | Refraction Off |
|---------------------------------------|------------------|--------------------------|----------------|
| Local Standard Time 28 February 2016 | | | |
| 08:47:09 | | | |
| Home Azimuth | | Home Elevation | |
| 233,23 | | 13,86 | |
| Home Doppler | Dx as Rx at Home | Dx Doppler | Spatial |
| -15217 Hz | | | |
| Doppler offset from your Tx Frequency | | Distance | Bearing |
| | | | |
| DX STATION | | Offset | |
| | | | |

| LOCATION | Prefix / Call | UTC | GRID | Hi |
|-------------------------|---------------|-----|--------|----|
| Sov. Mil. Order Malta | 1A0 | 2 | JN61fv | |
| Sprattly Island | 1S | 8 | OJ58wo | |
| Monaco | 3A | 1 | JN33ss | |
| Agalega & St Brandon Is | 3B6,7 | 4 | LH89ho | |
| Mauritius | 3B8 | 1 | LG89sr | |
| Rodriguez Island | 3B9 | 4 | MH10qh | |
| Equatorial Guinea | 3C | 1 | JJ43js | |
| Annobon Island | 3C0 | 1 | JJ28to | |
| Fiji | 3D2 | 12 | RH91fu | |
| Conway Reef | 3D2 | 12 | RG78gf | |
| Rotuma Island. | 3D3 | 12 | RH87ml | |
| Swaziland | 3D6 | 2 | KG53sm | |
| Tunisia | 3V | 1 | JM44ma | |
| Vietnam | 3W,XV | 7 | OL21wa | |
| Guinea | 3X | 0 | IJ39dm | |
| Bouvet | 3Y | 0 | JD15vn | |
| Peter 1st Island | 3Y | 0 | EC41qd | |
| Azerbaijan | 4J,4K | 3 | LN40wj | |
| Mal'j Vysotskij Island | 4J1 | 7 | KP40gp | |
| Georgia | 4L | 4 | LN21jr | |
| Montenegro | 4O | 1 | JN92pk | |
| Sri Lanka | 4S | 5,5 | MJ96ww | |
| ITU HQ Geneva | 4U_ITU | 1 | JN36be | |
| UN HQ Geneva | 4U_UN | 1 | JN36be | |
| Timor - Leste | 4W | 8 | PJ28wr | |
| Israel | 4X,4Z | 2 | KM71os | |
| Libya | 5A | 1 | JM62mu | |
| Cyprus | 5B,C4,P3 | 2 | KM65qe | |
| Tanzania | 5H,5I | 3 | KI93pe | |
| Nigeria | 5N | 1 | JJ16qk | |
| Madagascar | 5R | 3 | LH31sc | |
| Mauritania | 5T | 0 | IK28ac | |

Il donne la température du ciel de fond



La température change en fonction de la fréquence !



Et un logiciel pour calculer les performances de la station

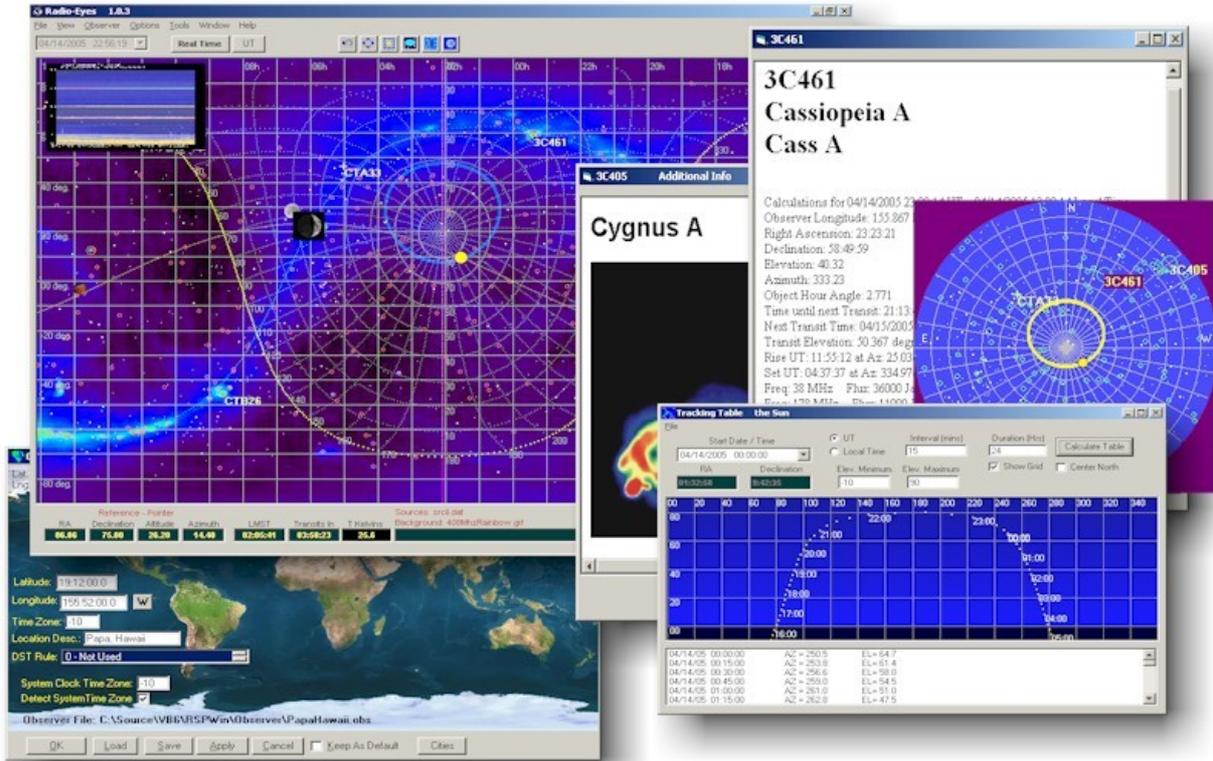
Une autre suite de logiciels, en partie gratuite en partie payante est celle de Jim Sky.

On a déjà parlé plus haut de son interface de digitalisation. Voyons maintenant sa suite logicielle. Allez sur <http://www.radiosky.com/> pour tout savoir. En résumé il propose :

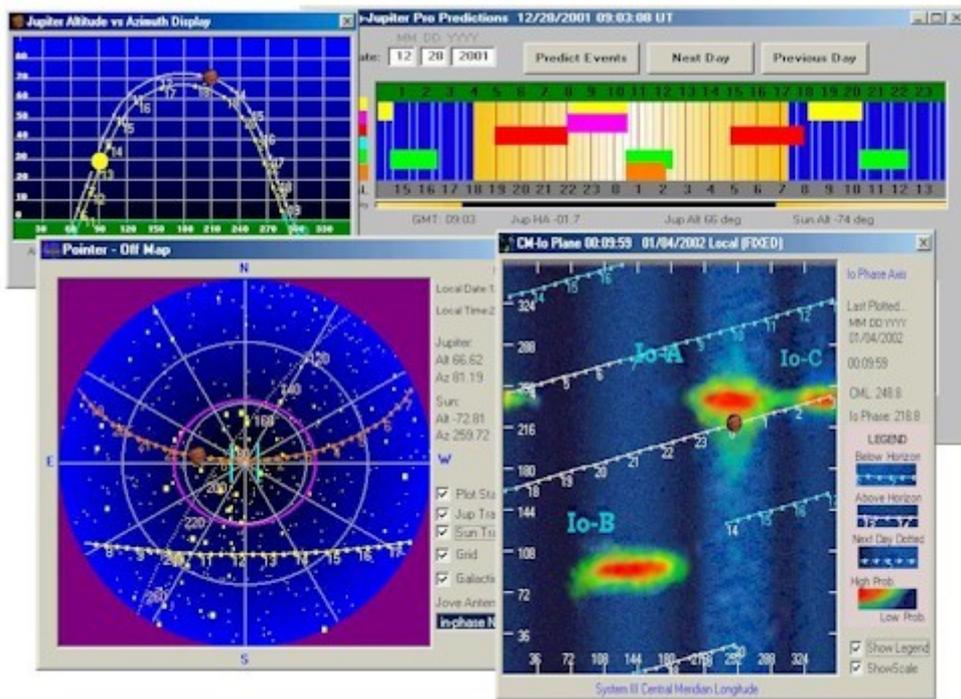
| | |
|-----------------------------------|---|
| Radio-SkyPipe | Traceur de graphique et enregistreur de données |
| Radio Eyes | Simulateur du ciel |
| Radio-Jupiter Pro | Planificateur des sursauts de Jupiter |
| Sidereal Clock | Horloge sidérale gratuite pour le PC |
| More... | Logiciels scientifiques gratuits |

Radio Sky pipe a été vu plus haut

Radio Eyes



Radio Jupiter



L'horloge sidérale gratuite de Jim Sky



Un applet bien utile pour connaître l'ascension droite du lieu. En effet si vous connaissez l'ascension droite d'une source, elle passe plein sud quand l'horloge sidérale indique la même valeur.

Exemple :

| Object Name | RA (hh mm ss) | Dec (dd mm ss) | Epoch | Flux Density (Jy) | Frequency (MHz) | Other Name |
|-------------|------------------|-------------------|-------|----------------------|--------------------|------------------------|
| 3C 461 | 23 23 24 | 58 48 54 | 2000 | 2477 | 1,420 | SNR-Cassiopeia A |
| CTA 59 | 13 22 28 | -42 46 00 | 1950 | 2010 | 960 | Cent A NGC5128 |
| CTB 42 | 17 42 09 | -28 50 00 | 1950 | 1800 | 960 | Sag A Galactic Nucleus |

Cassiopea A a une ascension droite (RA) de 23h 23' 24" et bien lorsque votre horloge sidérale indiquera 23h23'24" Cas A sera juste dans le sud de votre lieu. Et comme votre antenne est toujours pointée au sud (si vous faite du transit) il suffit de l'incliner pour qu'elle vise 58°48'54"

oui mais comment calculer l'inclinaison ?

hauteur de la source au-dessus de l'horizon = 90° - la latitude votre lieu d'observation + la déclinaison de la source

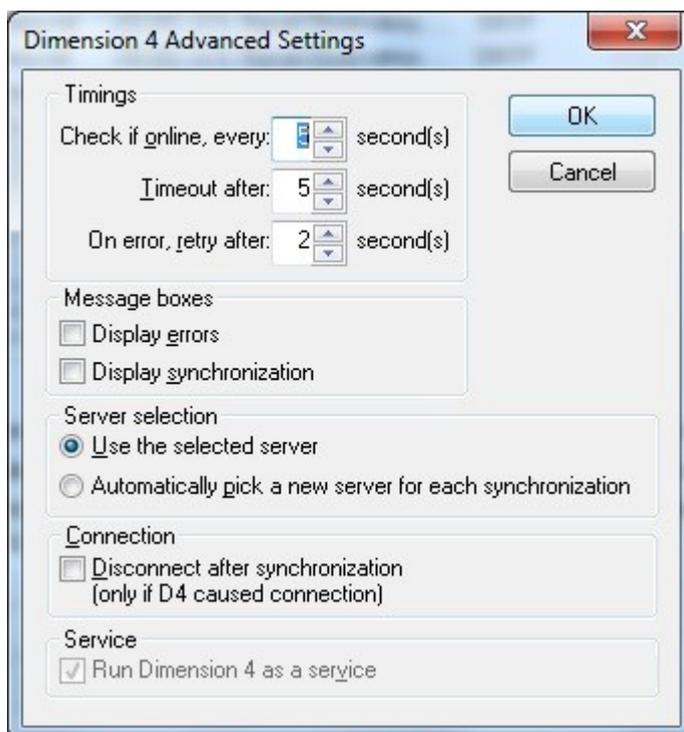
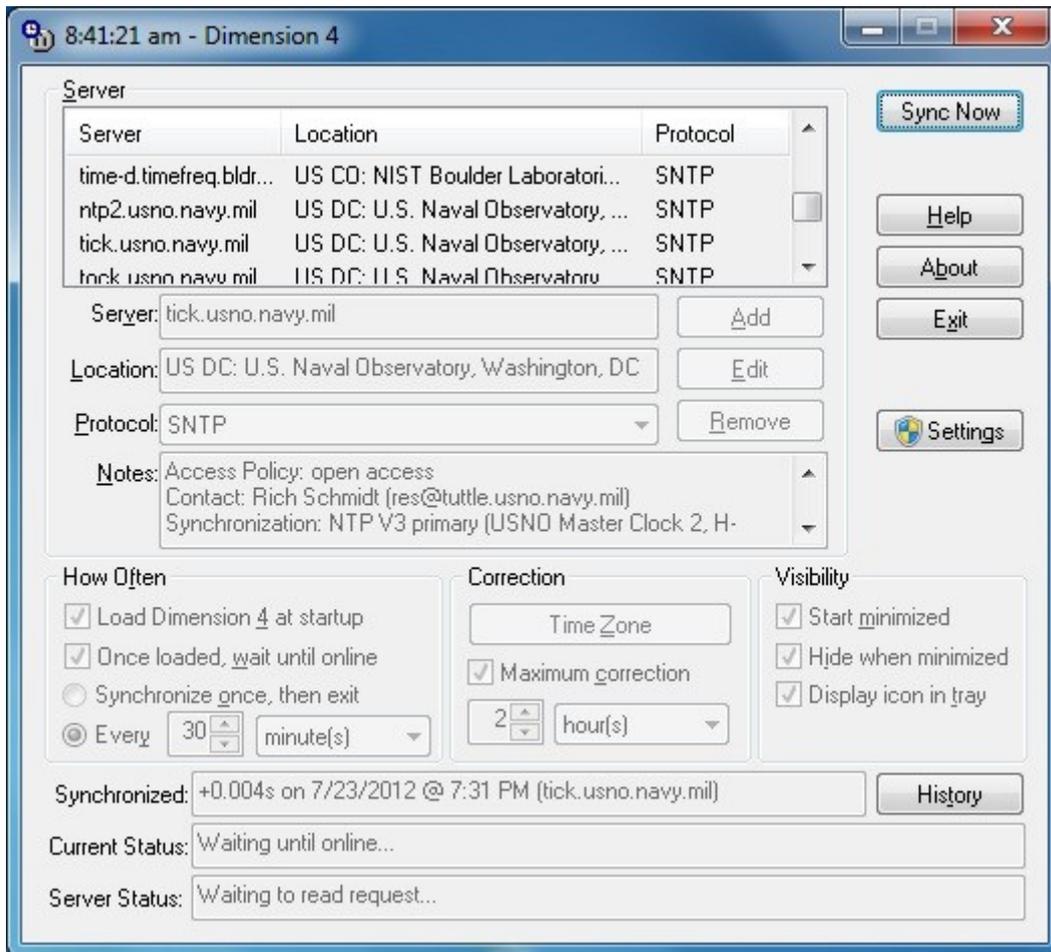
exemple : la déclinaison de la source ci dessus est de $58^\circ 48' 54''$ bon on va s'en tenir à 58° et à une latitude du lieu d'observation de 50°

$90^\circ - 50^\circ + 58^\circ = 98^\circ$ donc pratiquement au zénith

ceci dit avec un des logiciels de VK3UM vous l'auriez eu également sans faire de calcul ...

La mise à l'heure de notre PC

Il existe un logiciel gratuit de mise à l'heure du PC (il y en a plusieurs en fait) mais j'utilise Dimension 4 que l'on peut télécharger gratuitement ici <http://www.thinkman.com/dimension4/>

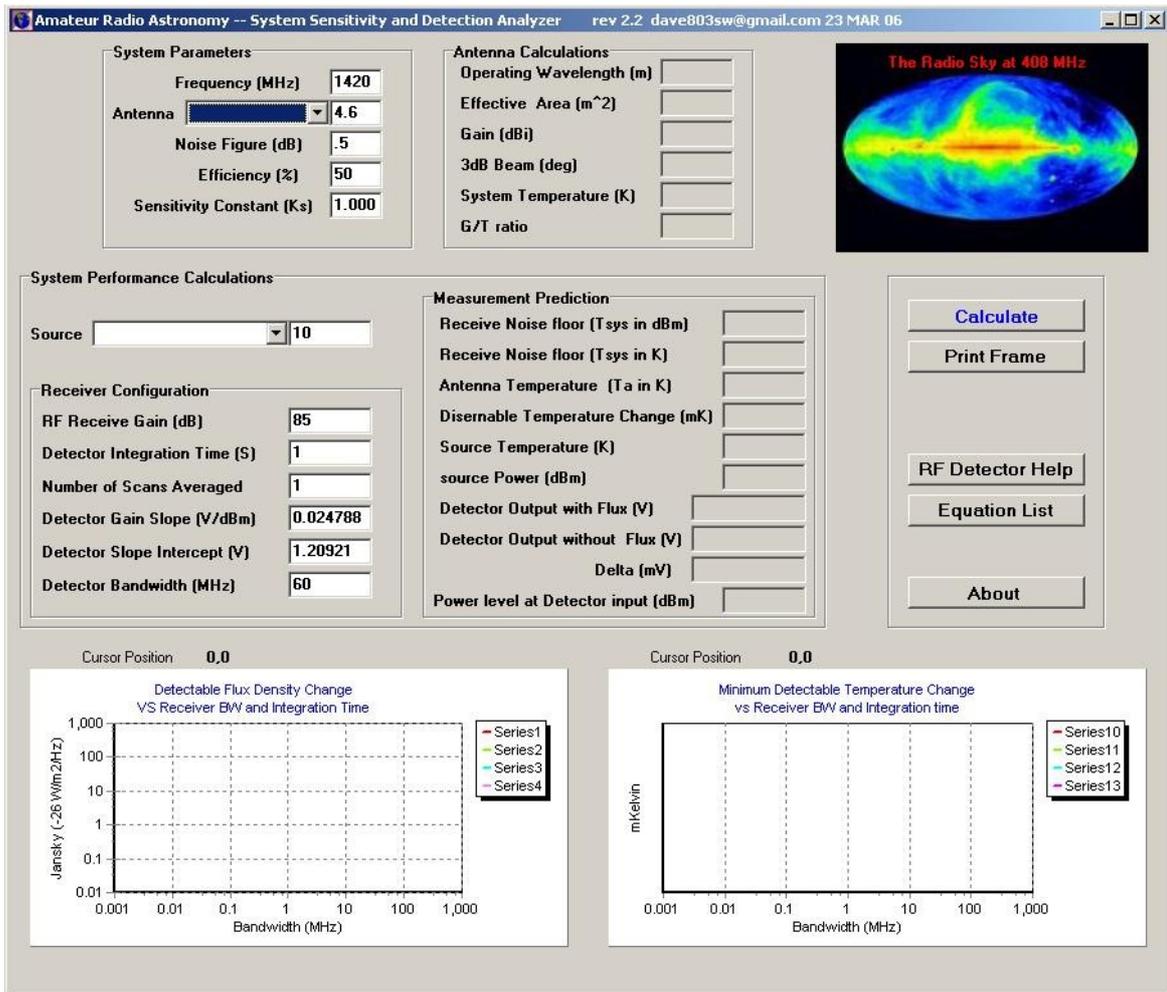


Pourquoi Dimension 4 ?

Dimension 4 est la façon la plus rapide et la plus simple pour synchroniser l'horloge de votre ordinateur si vous utilisez un système d'exploitation basé sur Windows. Une fois que Dimension 4 est installé, vous allez oublier qu'il est en cours d'exécution. Il est automatique.

Une fois installé, vous pouvez être assuré qu'au moins une de vos horloges à l'heure correcte. Il se base sur des serveurs de temps internet actifs depuis plus de vingt ans et donc fiables. (note de F10I, on peut choisir le serveur et donc bien sûr utiliser celui de Paris!!! Cocorico!)

Sensibilité du système



Pour les plus avertis, ce tableau est une mine d'or pour réaliser les calculs spécifiques à la sensibilité du système. Il n'entre pas dans le cadre de ce syllabus d'en expliquer le fonctionnement en profondeur.

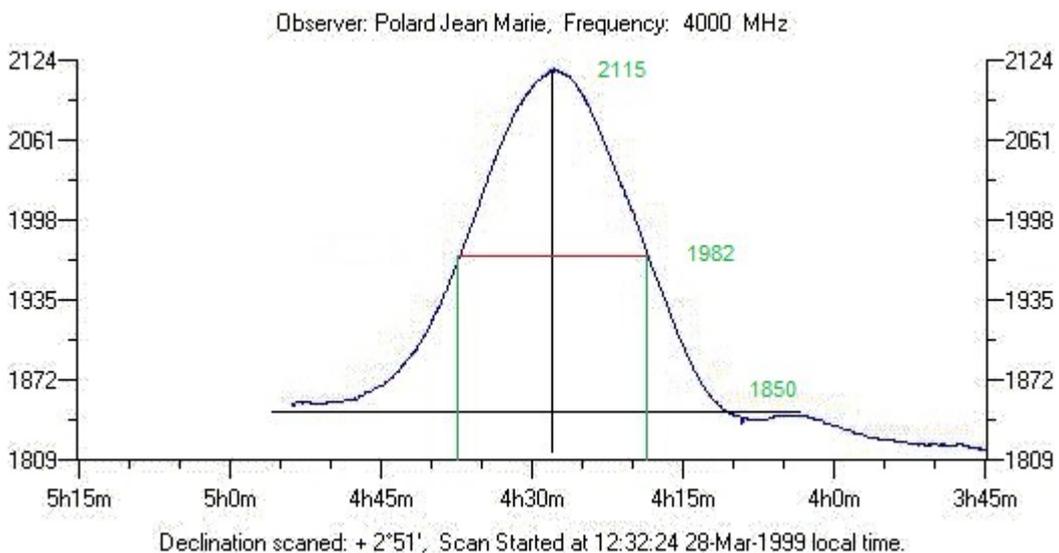
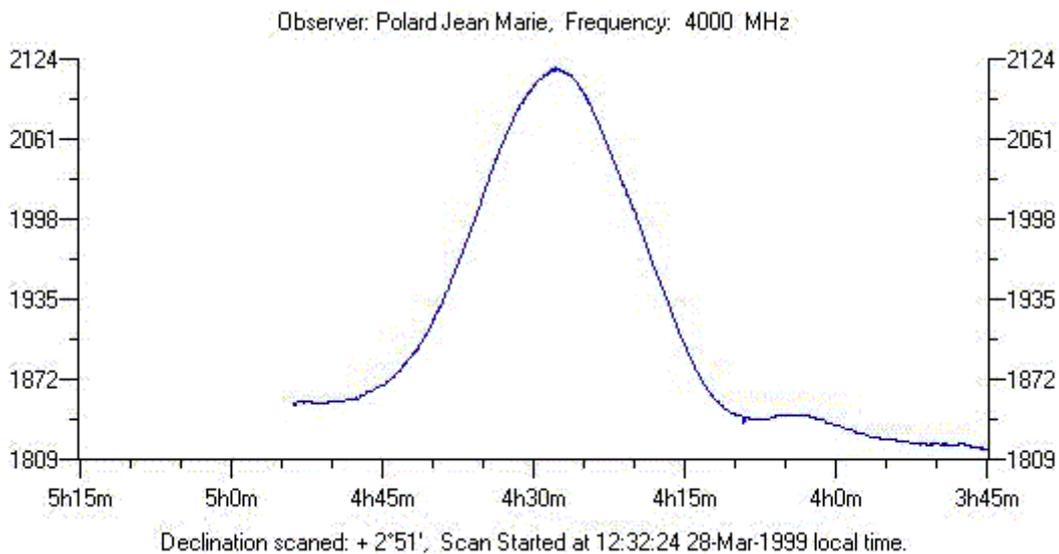
Ce programme Windows bien utile calcule la limite inférieure théorique de la puissance du signal qui peut être détecté par un radiotélescope. Plusieurs paramètres sont nécessaires, ce qui donne des graphiques pour diverses largeurs de bande et des temps d'intégration différents.

Ce programme est gratuit! écrit par Dave Halley, l'auteur. Il faut noter que tout le soutien technique pour ce programme est fourni par son auteur. Il n'y a pas de programme d'installation, il suffit de télécharger le programme à un endroit pratique (tel que votre bureau) et l'exécuter. Il est téléchargeable ici [Téléchargement](#)

Le dépouillement

En radioastronomie, pendant que l'antenne travaille, le long travail de dépouillement commence. Il s'agit d'examiner les graphiques générés, et d'en ressortir les informations qui nous intéressent.

Commençons par un transit du soleil



Que pouvons nous déduire de cette courbe ?

Pour rappel l'antenne fait 1,55m, 630mm de focale, ouverture à mi puissance 2,77° gain 33,5dBi (voir page 12)

1 – la ligne de base varie avec le temps ± 1850

Cela est dû à l'échauffement du LNB au foyer de l'antenne parabolique pleine . La température monte à cause de la focalisation des rayons du soleil (parabole pleine, blanche) et cela peut même faire fondre la coupelle de protection contre les intempéries du LNB. Si le LNB chauffe les amplis chauffent et donc le signal varie. On devra en tenir compte dans les mesures. Un moyen de palier à cela est de contrôler thermostatiquement le LNB. Soit en le protégeant des rayons directs du soleil, soit en le re-

froidissant avec un bloc Peltier. Une parabole avec grillage ne présente pas autant de variations de température. Avec une parabole grillagée, le phénomène est réduit.



Protection de LNB brûlée par le soleil

Note de Palancade Jean Pierre F1OI : Les origines de la dérive sont souvent dues à une variation de l'hygrométrie des couches atmosphériques (nuages entre autre). La stabilisation en T° peut être obtenue par une mise à poste longtemps avant le transit.

2- le transit total dure environ 30 minutes. Et 18 minutes à mi puissance. Ce qui signifie que le soleil met 30 minutes pour parcourir le lobe de l'antenne, cela va nous donner l'ouverture de l'antenne (parce que l'on connaît l'angle sous tendu par le soleil) et une fois l'ouverture connue on pourra déterminer l'étendue des autres radio-sources.

3- on a une petite bosse à droite (entourée par un cercle) Alors soit c'est une autre source, mais plus probablement c'est un lobe de l'antenne ou un décalage du LNB par rapport au foyer.

4- l'amplitude du signal est de $2124 - 1850 = 274$ unités .

On a là un exemple typique de transit obtenu avec un radio télescope amateur.

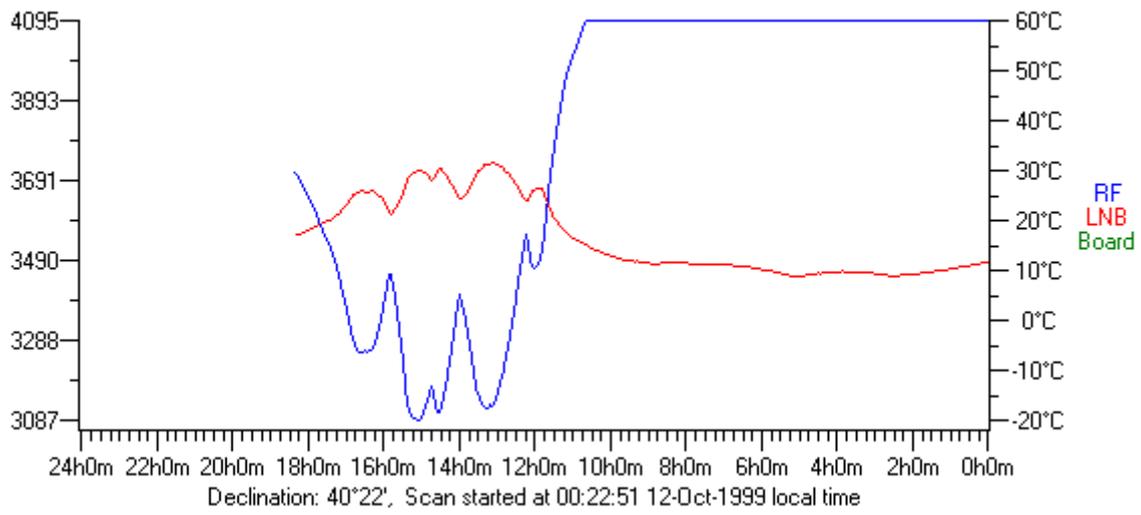
Cela met en évidence le problème de la température extérieure qui influence les mesures et des lobes secondaires d'une parabole.

Quant à la mesure proprement dite, on a une belle courbe du transit du soleil.

Maintenant il va falloir extraire une valeur de cette courbe. Mais on va vite comprendre que l'appareil voit trouble . En effet avec ce diamètre et cette fréquence la source est plus petite que le pouvoir séparateur. Calculons

Avant cela un aparté sur la variation de t° et la mesure ... par un exemple.

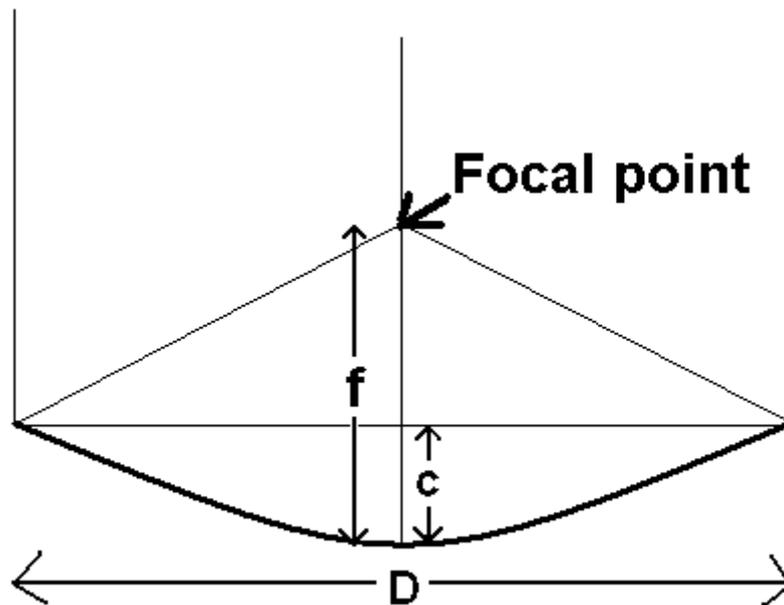
Observer: John M. POLARD - MERLIN Observatory, Frequency: 4000 MHz



note : sur ce transit (en bleu) j'ai enregistré la t° du lnb (en rouge) la corrélation est vite faite !

La vérification de l'angle d'ouverture

Mon antenne est une 1,55m de diamètre (D) avec un rapport focal/diamètre de 0,4. Elle a un gain de 42,3dBi à 11 GHz et une focale de 630mm. Je travaille à 4GHz soit 0,075 m de longueur d'onde, son gain théorique est de 33,5dBi (voir avec la feuille de calcul présentée plus haut p12).



Le pouvoir séparateur d'un instrument dépend du diamètre ET de la longueur d'onde. On sépare deux étoiles lorsque leur distance est au moins égale à 0,85 fois le rayon de la tache de diffraction. Cette valeur provient d'une étude de la répartition de la lumière pour deux étoiles de même éclat, ni trop faibles, ni trop brillantes. Si l'on veut tester les propriétés d'un instrument, il faut donc se placer dans ces conditions-là. Bien sûr, les conditions atmosphériques doivent être très bonnes... Par analogie, cela s'applique aux radio sources.

On définit le *pouvoir séparateur théorique* d'un instrument grâce aux indications ci-dessus :

$$\rho = 0,85 \times r = 0,85 \times 1,22 \lambda / D = 1,037 \lambda / D$$

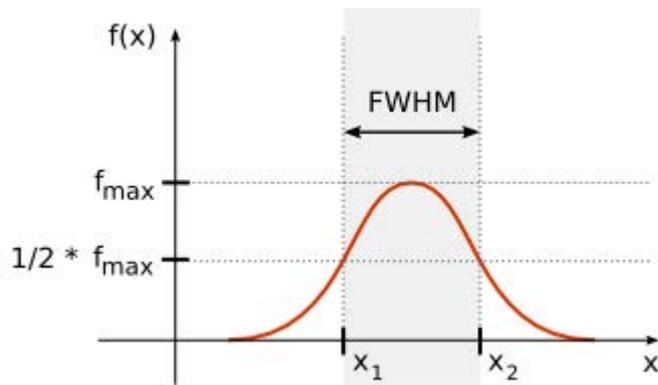
Soient $D=155\text{cm}$ le diamètre de l'instrument et $\lambda=7,5\text{cm}$ la longueur d'onde ; le pouvoir séparateur est donné en radians par :

$$\rho = 1,037 \lambda / D \text{ donc si on travaille à 4GHz (soit 7,5cm de longueur d'onde) } \rho=1,037 \times 7,5\text{cm}/155\text{cm}=0,05 \text{ radian}$$

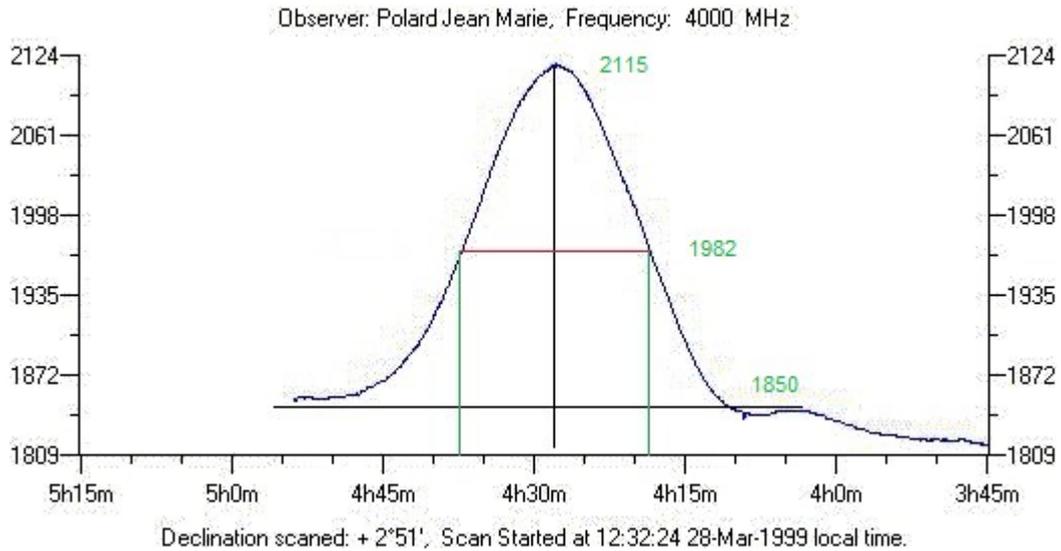
En multipliant par $180 / \pi$ soit 57,34, on obtient la valeur de ρ en **degrés** :

$$\rho = 57,34 \lambda / D \text{ dans notre cas } 2,77^\circ \text{ ou } 2^\circ 46'$$

Ensuite on détermine la largeur à mi hauteur du signal (le FWHM) pour nos mesures.



soit $(2115+1850)/2=1982$



la différence de temps est de 18 minutes

Or nous savons que la Terre tourne de 1° toutes les 4 minutes (360° toutes les 24 heures).

Il y a 24×60 minutes dans une journée, donc $360^\circ / 1440'$ donne $0,25^\circ$ par minute.

Donc 18 minutes de temps représentent une variation angulaire de $18 \times 360 / (24 \times 60) = 4,5^\circ$ (ou $4^\circ 30'$).

Comme la largeur du lobe de l'antenne est de $2,77^\circ$; on en déduirait que la largeur du Soleil est environ de $4,5 - 2,77 = 1,73^\circ = 1^\circ 43' 48''$ or elle est de $\pm 32'$

note : $31,67'$ est l'angle apparent sous lequel on voit la Lune et $31,98'$ est l'angle apparent sous lequel on voit le Soleil ($\pm 0,5^\circ$ environ). La dimension du soleil de $\pm 32'$ est la dimension optique, plus la couronne est impliquée comme source du rayonnement et plus cette dimension est grande sachant que plus la fréquence est élevée et plus on a affaire aux couches internes chromosphère, photosphère...

le lobe principal se caractérise par sa largeur de bande à demi puissance (HPBW – half power band width)

$$\text{HPBW} = 57,34^\circ * \text{longueur d'onde} / \text{Diamètre soit pour mon antenne } 57,34^\circ \times 7,5\text{cm} / 155\text{cm} = 2,77^\circ$$

cela n'est valable que pour des petites valeurs (HPBW inférieur à environ 10°). Cela signifie que, pour avoir une largeur de faisceau inférieure à 1° , l'antenne doit avoir un diamètre supérieur à 60 longueurs d'onde. Pour la bande Ku, avec une longueur d'onde d'environ 2,7 cm, nous avons besoin d'une parabole de 1,62 m de diamètre!

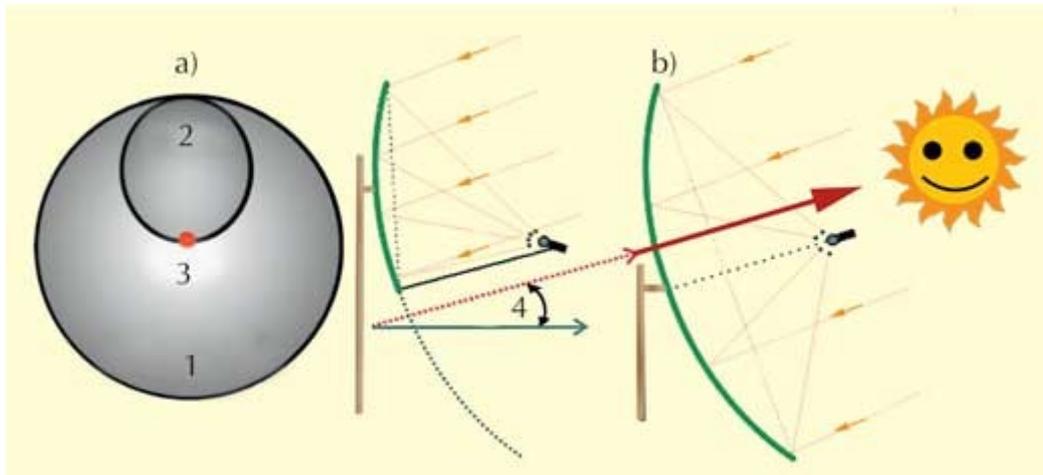
Calcul de la température de brillance à la fréquence de mesure

Pour ce calcul, on va utiliser

- température du sol le jour de la mesure, 27°C soit $275+27=302^{\circ}\text{K}$
- valeur max du Soleil sur la courbe 2115
- la différence entre valeur max du Soleil et valeur du fond du ciel $2115-1850=265$
- rapport de surface entre le Soleil et le lobe de la parabole $2,77^{\circ}/32' = 0,086$

$$T_b = (302 \times 2115 / 1850) \times 1 / 0,086 > T_b = 4015^{\circ}\text{K}$$

Vérification de la position du LNB et de l'alignement de l'antenne



© Szymon Malański

a) Une vue de face des deux types de parabole: parabolique (1) et offset (2), montrant la position du LNB (3)

b) Les coupes d'une antenne parabolique offset (à gauche) et une antenne parabolique prime focus (à droite), montrant l'angle d'élévation (4) par rapport à l'horizontale.

Projets de radio-télescopes

Nous allons passer en revue quelques projets, accessibles aux 'amateurs'. Cette liste n'est pas limitative et seule votre imagination est la limite.

Le Soleil

L'étoile la plus proche de nous, la plus facilement observable avec peu de matériel c'est le soleil.

Matériel employé ; dipole, yagi, parabole

Fréquence : toute la bande de fréquences (depuis les VLF jusqu'à ...)

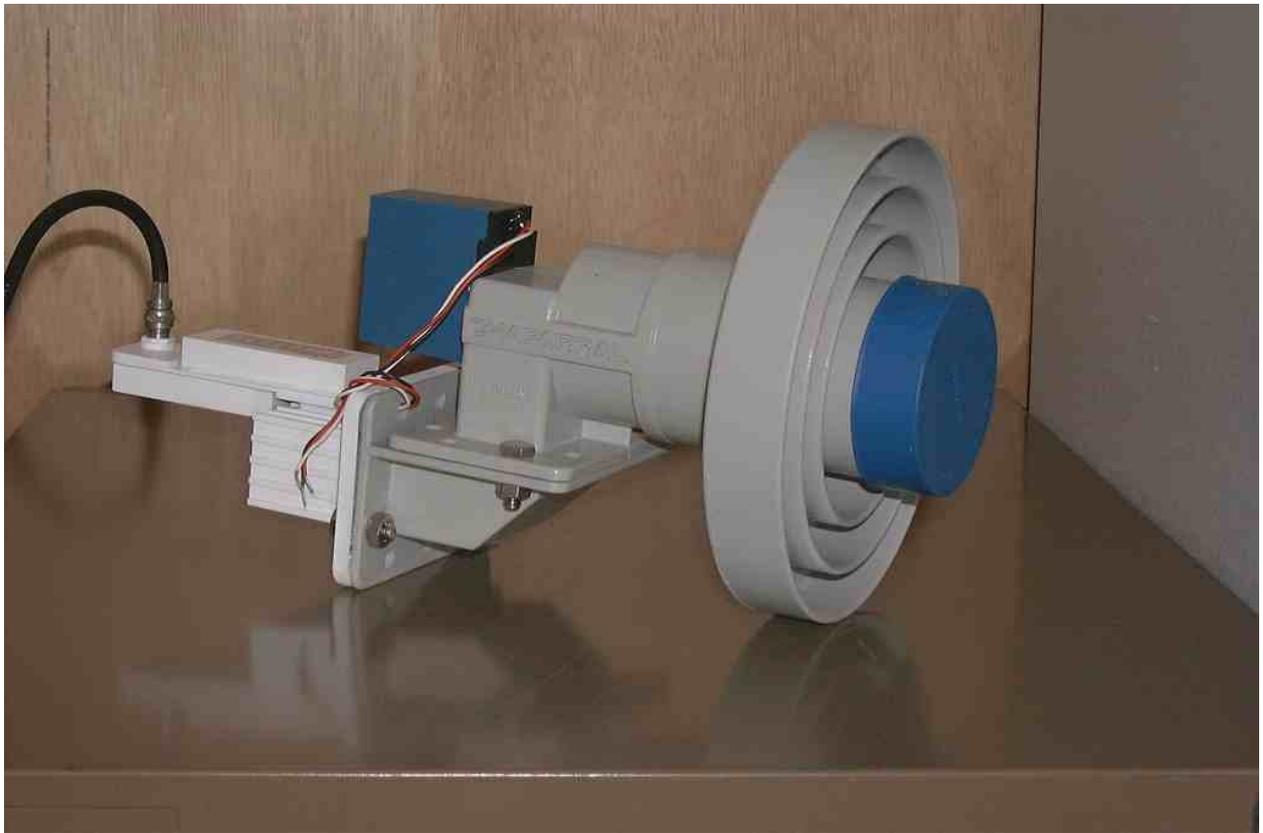
Difficulté : faible

Pour observer le soleil en continu, il faudra utiliser une monture équatoriale. (31.1' \pm 0.6) comme montré ci dessous et réalisé par PA0EHG Hans. Sur une monture équatoriale d'astronomie optique, il a monté une petite parabole avec contrepoids. Le suivi est assuré par le micro contrôleur incorporé au système.



Pour la réception, une tête satellite achetée dans une grande surface ou sur internet. Relire le paragraphe sur le LNB ci dessus ! J'ai opté pour une tête 4GHz car plus haut en fréquence les sursauts solaires ne sont pas détectables.

Un tel radio télescope peut être utilisé pour suivre l'activité solaire pendant un ou plusieurs mois. Les données analysées pour étudier la périodicité liée à la rotation du soleil. Il est à noter que la rotation n'est pas uniforme et dépend de la latitude solaire. Une corrélation avec les taches solaires est à étudier.



Note : l'emploi d'un préampli n'est pas nécessaire, voir même déconseillé . En effet son bruit propre non négligeable engendre des instabilités.

La Lune

La Lune est le corps le plus proche de nous, on peut l'observer avec peu de matériel et certains communiquent en utilisant la lune comme réflecteur des ondes radio.

Matériel employé ; dipole, yagi, parabole

Fréquence : toute la bande de fréquences

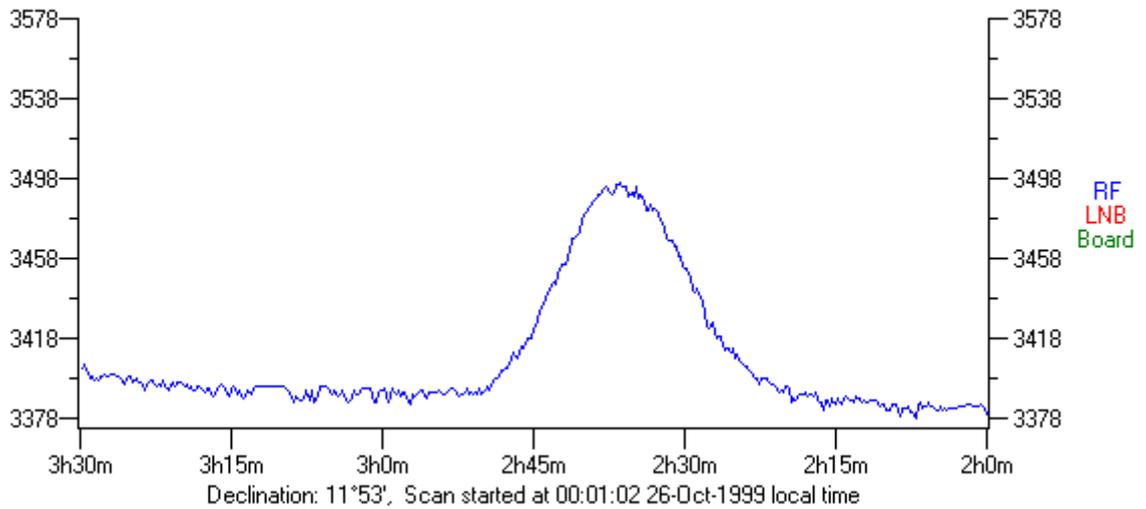
Difficulté : faible

La lune est un corps solide sans aucune atmosphère significative. Elle rayonne donc comme un corps solide froid (rayonnement thermique).

La largeur de faisceau de l'antenne de 1.55m est plus grand que le diamètre angulaire de la Lune de 0,5°. La lune sera donc une source ponctuelle pour l'antenne et un transit de la lune produira une trace avec les propriétés du faisceau d'antenne: à savoir une détection qui est d'environ 2.77°. Toutefois, c'est toujours un exercice intéressant que de tenter de détecter un corps froid rayonnant, purement thermique.

La lune n'a pas un champ magnétique important et aucune atmosphère gazeuse ionisée pouvant contenir des électrons libres, donc il n'y a pas de mécanisme pouvant générer des émissions radio non thermiques.

Observer: John M. POLARD - MERLIN Observatory, Frequency: 4000 MHz



transit de la lune à 4Ghz avec l'antenne de 1,55m

Jupiter

Jupiter, souvent considéré comme une étoile ratée émet dans une large bande du spectre. Le processus d'émission complexe ⁽¹⁾ nous envoie des ondes sous forme de bruit.

Matériel employé ; dipole, yagi

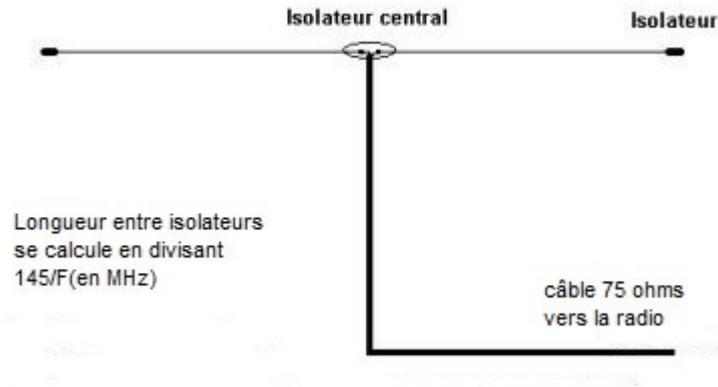
Fréquence : toute la bande de fréquences HF, avec limitations

| Émission | Puissance |
|------------------------|-----------|
| Radio (KOM, <0,3 MHz) | ~1 GW |
| Radio (HOM, 0,3–3 MHz) | ~10 GW |
| Radio (DAM, 3–40 MHz) | ~100 GW |

Difficulté : faible

Pour observer Jupiter ⁽²⁾ le plus simple est un bon dipôle comme cité plus haut, un filtre présélecteur pour éliminer les signaux perturbateurs et un récepteur ajustable de 18 à 40MHz (un dongle avec convertisseur fait aussi l'affaire).

Dipôle horizontal



(1) Lire l'article wikipedia sur la magnétosphère de Jupiter

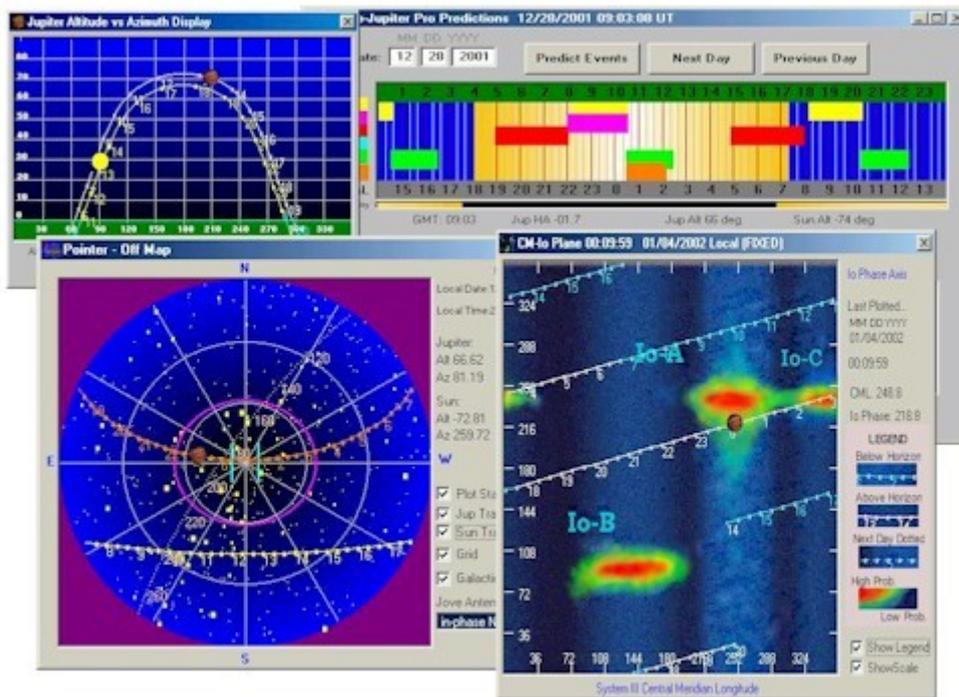
https://fr.wikipedia.org/wiki/Magn%C3%A9tosph%C3%A8re_de_Jupiter

(2) Lire le document de **Jean Louis Rault** sur l'observation de Jupiter

http://files.astrosla.webnode.fr/200000203-b935eba311/radioastronomie_JupiterIo.pdf

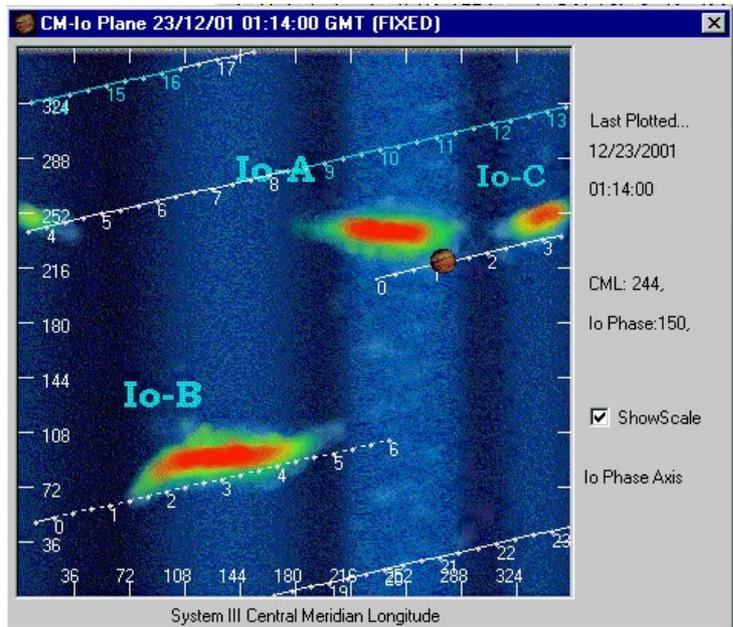
Il existe des logiciels dédiés pour l'observation de Jupiter. Comme ces émissions ne sont pas continues, il faut pouvoir déterminer les fenêtres d'observation.

Je



recommande encore une fois les logiciels de Jim Sky (<http://www.radiosky.com/softwarehome.html>)

Le programme Jove est complet et vous donnera les fenêtres d'observation pour votre localisation et d'autres informations utiles pour réaliser une belle étude de Jupiter en ondes décimétriques,



Les autres planètes

Un très bel article de 14 pages, de Franck Tonna F5SE, peut être lu ici [télécharger pdf](#)



F5VLB et F5SE (à droite) à l'EME 2014 à Pleumeur-Bodou

Les météores

Les échos des météores sont observables avec peu de matériel.

Matériel employé : yagi, récepteur FM ou SSB, logiciel d'analyse de spectre audio

Fréquence : toute la bande de fréquences VHF (mais des essais sont faits en VLF)

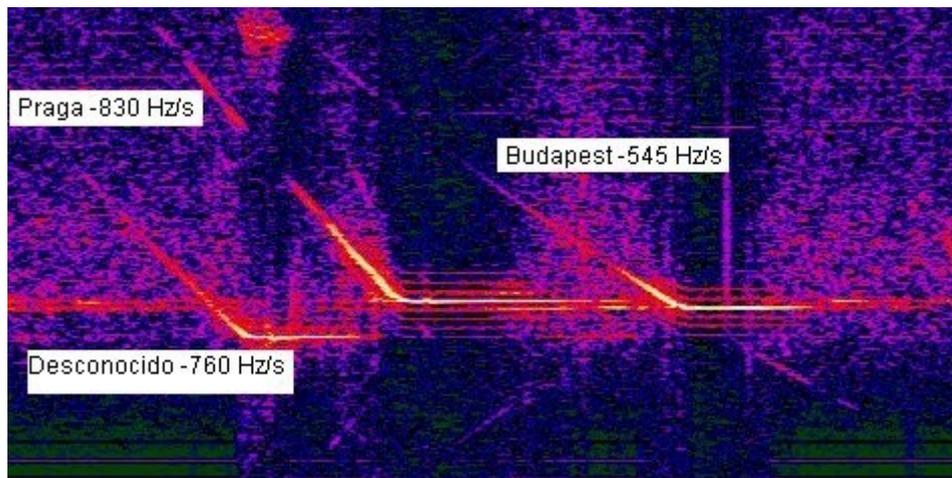
Difficulté : faible

L'observation des météores est sûrement la partie de la radioastronomie amateur la plus accessible.

Lorsque les émetteurs de TV étaient encore analogiques, on pouvait les utiliser comme source d'émission. Lorsqu'un météore percute la terre, il y arrive à grande vitesse (pouvant atteindre 72km/seconde). De la taille d'un grain de sable (mais il peut y en avoir de plus gros qu'on appelle bolides) il pénètre dans notre atmosphère vers 100km d'altitude et lors de leur trajet, arrachent des électrons et donc ionisent un tube le long du trajet. Ce tube va réfléchir les ondes radios des émetteurs situés sous ou aux alentours. Ce que l'on va détecter, c'est l'onde produite par la réflexion et en déduire la vitesse radiale du météore.

Précision de F6AGR Jean Louis Rault : *En fait, ce n'est pas le fait qu'ils soient passés à la modulation numérique qui fait qu'on ne peut plus les utiliser, mais c'est le fait qu'en passant en numérique, ils ont en même temps abandonné la bande I (50 MHz) et la bande VHF pour passer en UHF. Si on avait encore des émetteurs TV numérique en bande I ou en VHF, on pourrait continuer à les utiliser pour les*

météores, car le spectre d'une émission numérique comprend de nombreuses raies pures et stables (CW). Mais en passant en UHF, on perd la faculté de voir les traînées qui ne sont pas assez denses pour réfléchir les très hautes fréquences.



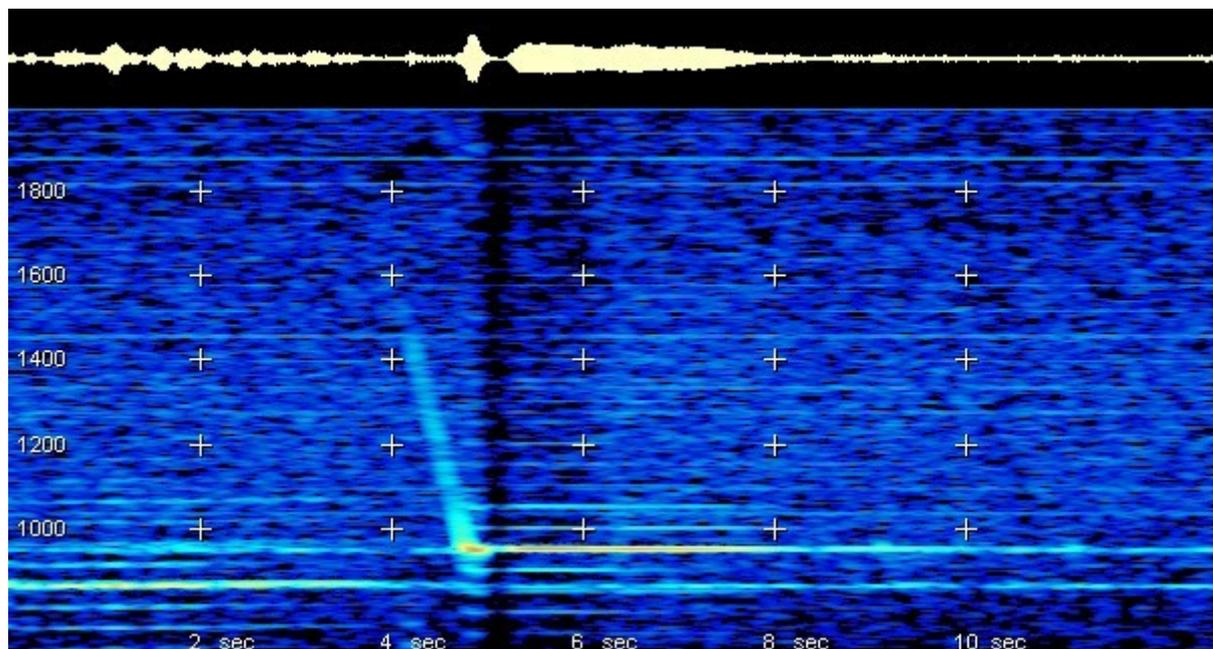
Actuellement on

utilise le radar de Graves. Il émet sur 143,050MHz. Une mine d'information peut être obtenue sur ce lien : <http://f6crp.pagesperso-orange.fr/ba/graves.htm>

Pour résumer ce document, il suffit d'une antenne râteau (yagi) pour la bande 2m (144-146MHz) des radio amateurs, un dongle et un PC. Vous configurez le système sur 143,049MHz en USB et vous pointez votre antenne vers le sud. Les pings que vous allez entendre sont les échos d'entrée de météores.

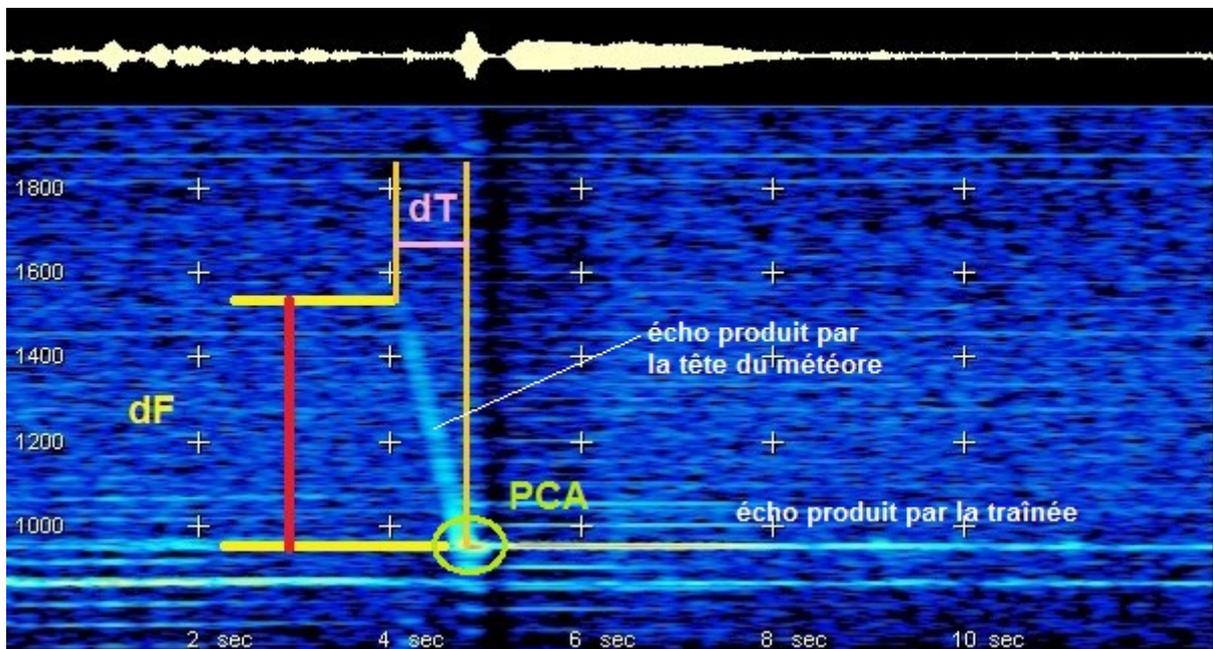
Quand vous en aurez entendu suffisamment, vous allez pouvoir commencer à les étudier.

Si vous utilisez un logiciel comme Spectravue, Argos, Spectrum Lab (voir via Google) vous pourrez obtenir un spectre de ce type :



enregistré sur 49MHz avec (en valeur arbitraire pour l'exemple) un dF de 950Hz et un dT de 1 seconde

le PCA est le point d'approche le plus près de l'observateur



pour estimer la vitesse radiale la formule est la suivante : $V_r = (c * dF / F \text{ porteuse}) / 2$

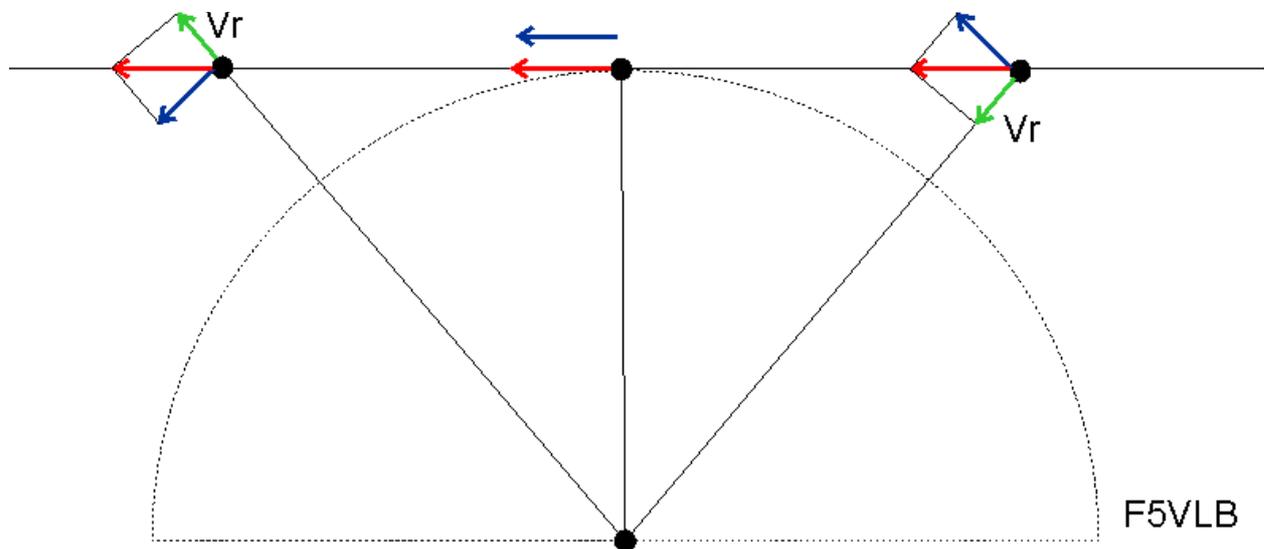
dans notre cas on aura :

$$V_r = (299792458 \text{ m/s} * 900 \text{ Hz} / 490000000) / 2 \text{ en Hz}$$

$$V_r = 2753 \text{ m/sec soit } 9910,8 \text{ km/h}$$

c'est la composante radiale de la vitesse

Par convention, une vitesse radiale positive indique que l'objet s'éloigne et une vitesse négative que l'objet se rapproche.



Ainsi sur le dessin ci-dessus, en suivant le météore se déplaçant parallèlement au sol⁽¹⁾ on ne peut noter que sa vitesse radiale (flèche verte) et non sa vitesse réelle (flèche rouge horizontale). Il est par contre possible de déduire avec une certaine précision la vraie vitesse et direction si la vitesse radiale de la cible est prise à intervalles réguliers. En effet, la composante radiale variant comme le cosinus de l'angle de visée entre l'antenne et le météore, il est possible d'extraire par analyse numérique l'information sur la vitesse réelle.

La connaissance de la vitesse radiale permet ainsi d'estimer le type de météore et de là son origine probable.

Note : ceci est vraiment un résumé, la détermination de la vitesse radiale fait intervenir tellement de paramètres qu'il faudrait plusieurs chapitres pour tout démontrer. Mais cela peut faire un excellent thème de recherche personnelle.

⁽¹⁾ le déplacement est oblique, mais pour la compréhension, on admet le trajet horizontal

Pour terminer, voici quelques données sur les essais de météores

| Nom | Dates | Pic | Ascension droite | Déclinaison | Vitesse (km/s) | THZ (/h) | Intensité |
|-----------------|--------------------------------------|------------|------------------|-------------|----------------|----------|-----------|
| Quadrantides | 1 ^{er} janvier - 5 janvier | 3 janvier | 15° 20' | +49° | 41 | 120 | Intense |
| Gamma vérides | 1 ^{er} janvier - 15 janvier | 5 janvier | 08° 20' | -47° | 35 | 2 | Faible |
| Alpha crucides | 6 janvier - 28 janvier | 15 janvier | 12° 48' | -63° | 50 | 3 | Faible |
| Delta cancrides | 1 ^{er} janvier - 31 janvier | 17 janvier | 08° 40' | +20° | 28 | 4 | Moyenne |
| Alpha hydrides | 5 janvier - 14 février | 19 janvier | 08° 52' | -11° | 44 | 2 | Faible |

ce tableau est dispo sur https://fr.wikipedia.org/wiki/Pluie_de_m%C3%A9t%C3%A9ores

Ce qui retient notre attention ce sont les vitesses. Elles sont données en vitesse réelle ! Donc ce n'est pas la vitesse radiale qui est une des composantes de la vitesse réelle.

Note :

1/ Le radar de graves 'rayonne' dans un demi cercle orienté vers le sud.

2/ Avec le radar de Graves, et depuis la Bretagne, j'ai pu entendre des échos sur la lune et ISS. Voir le dossier sur Graves cité plus haut.

La voie lactée et la raie H²

L'étoile la plus proche de nous, la plus facilement observable avec peu de matériel.

Matériel employé ; parabole

Fréquence : 1,4/1,5 GHz

Difficulté : difficile

Pour examiner la voie lactée nous avons plusieurs possibilités :

Dans un **spectre étroit** :

La ligne spectrale de l'hydrogène de 1420 ... 1421 MHz

Dans un **spectre plus large** :

émission thermique : la dispersion d'électrons libres dans de l'hydrogène ionisé produit un spectre d'émission thermique qui peut être soit constant, soit tombé hors de la bande de fréquence en fonction de la t° du gaz.

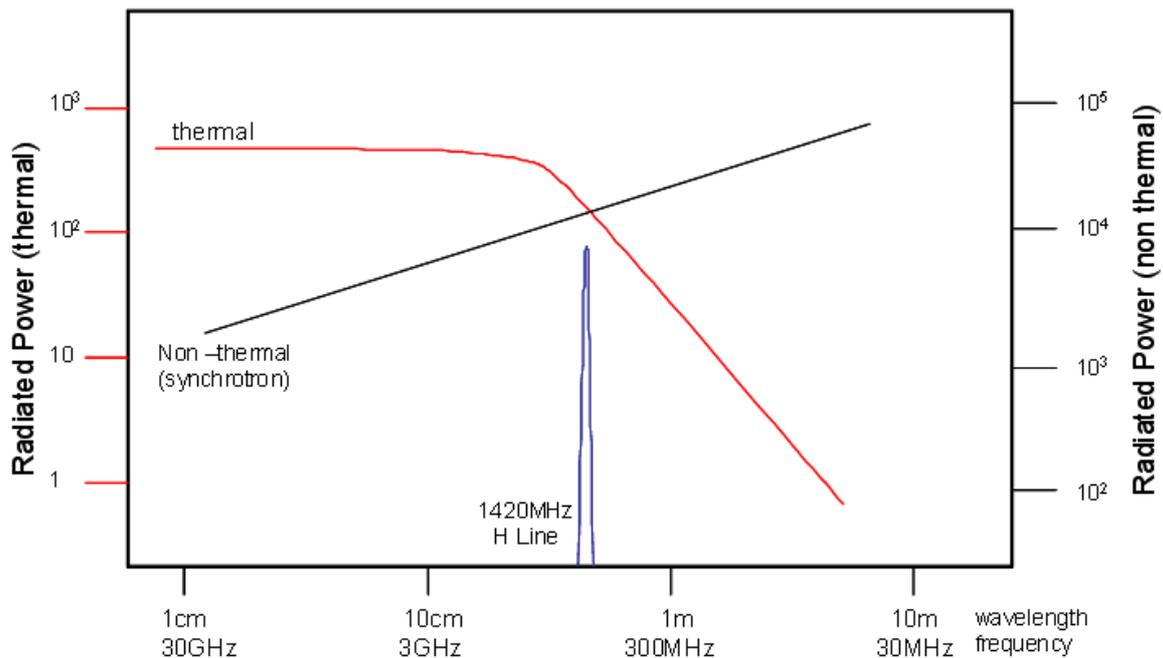


Figure 1 - Typical Radio Emission Spectra (following Hay 1971) ²

émission synchrotron : générée par des électrons se déplaçant à une vitesse proche de celle de la lumière dans un champ magnétique, donnant un spectre non thermique dont l'intensité augmente avec la longueur d'onde

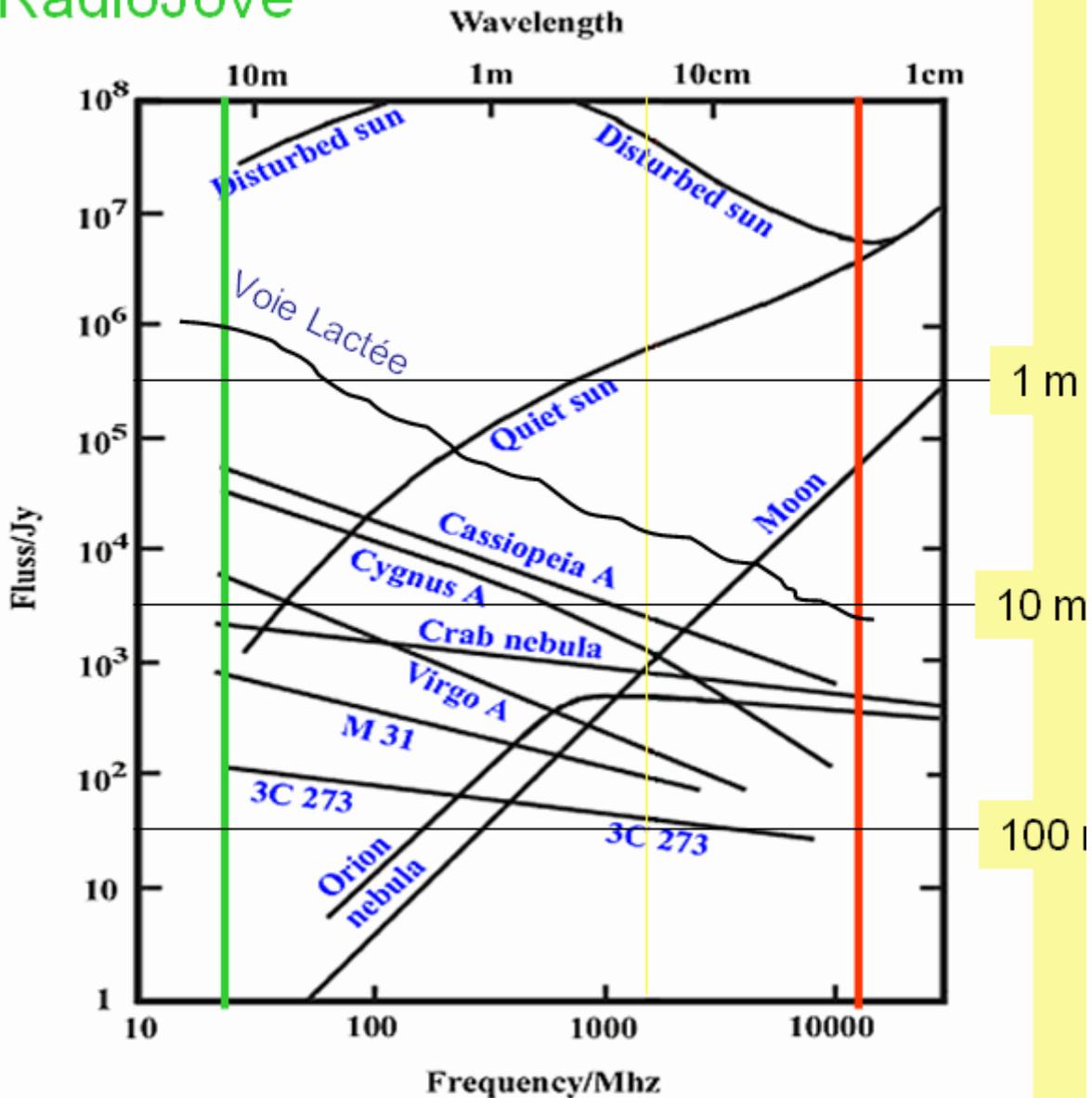
Ces deux mécanismes produisent de larges spectres radio - voir la figure 1 et sont tout à fait distincts de la bande étroite de la 'raie spectrale' produite par l'émission de l'hydrogène neutre (en bleu). Le but de mesurer l'émission à large bande à 1450MHz et l'émission de la raie spectrale à 1420 MHz est d'examiner comment ces sources varient en intensité et leur position dans notre galaxie.

Cette fréquence a été choisie comme étant suffisamment séparée de la fréquence de la raie d'hydrogène et qu'il n'y aurait pas de contribution de cette source, mais assez près pour que la même tête d'antenne et la

configuration du récepteur puissent être utilisés pour mesurer les émissions de la raie H² et la large bande. De plus c'est également une «fréquence tranquille» et pratiquement libre de toute interférence radio.

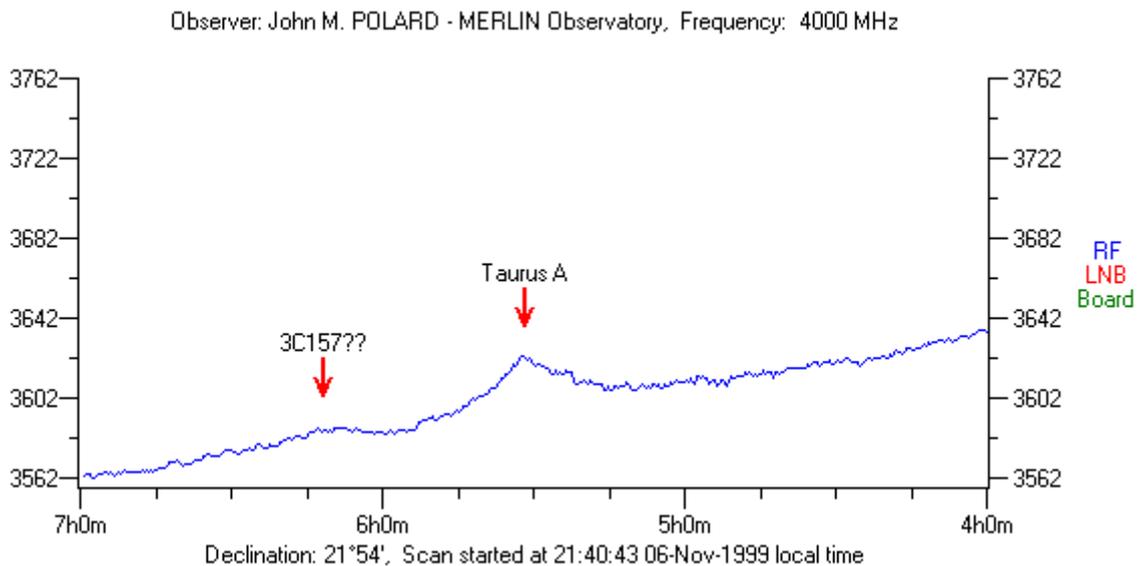
Les radio-sources puissantes

RadioJove



John Kraus (W8JK) nous donne un tableau avec les principales sources et en fonction de la fréquence leur flux en Jansky On voit que plus la fréquence augmente et plus le flux diminue, sauf pour le soleil calme et la lune.

Ci-dessous un exemple de transit du ciel à 4GHz montrant deux 'bumps' et les sources correspondantes.



Les HEP (high energy pulses)

Un projet assez complexe mais pas irréaliste puisque ce sont les amateurs qui ont mentionné ces HEP depuis des années. Il s'agirait en fait d'impulsions brèves semblant provenir du centre de la galaxie. De récentes observations de sursaut dans le domaine gamma venant de la même région laissent à supposer que les amateurs avaient raison. Pour pouvoir les localiser, deux ou plusieurs stations devront s'interconnecter (avec internet c'est devenu plus facile) et coordonner leurs mesures. La description de ce genre d'étude sort du cadre de cet ouvrage, mais il existe de nombreux sites qui en parlent.

Les pulsars

Beaucoup plus délicat, mais pas impossible. Les signaux sont très faibles (<1Jy) donc cela demande des antennes paraboliques de 3m^(*) au moins, du matériel à très faible bruit et des logiciels de post traitement.

Voici quelques liens pour ceux que cela intéresse. Ces sites sont en anglais.

<http://moetronix.com/pulsar/index.htm>

http://www.k5so.com/Radio_astronomy_pulsars.html

<http://i1ndp.altervista.org/pulsar.html>

(*) MAINTOUX Jean Jacques F1EHN vient de détecter son premier pulsar avec une antenne de 3,3m voir [ici](#)

Les VLF

Un livre ne suffirait pas pour en parler tant le sujet est vaste. Mais la radio astronomie basse ou très basse fréquence est un champ d'exploration où les amateurs peuvent faire de belles recherches.

Je vous renvoie vers quelques sites ou lien intéressants (mais non exhaustifs) sur ce sujet.

Le site www.vlf.it est sûrement la bible en la matière, idem pour le site de Lionel Loudet sur les [SID](#) ou la présentation de F6AGR [Introduction to VLF](#)

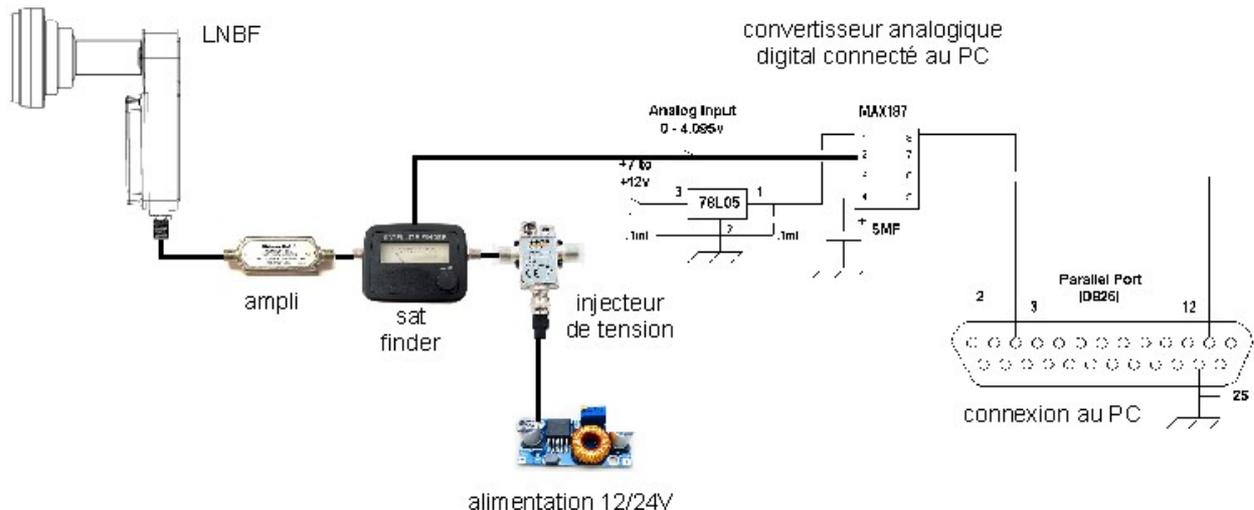
J'utilise une antenne cadre croisée avec 200 spires par branche.



Une fois les essais réalisés, le moment sera venu d'en parler dans un autre syllabus.

Une réalisation parmi d'autres.

Schéma de principe



Achat du matériel

Je vous donne ci-dessous des idées d'approvisionnement des composants, à titre indicatif, sans pub et sans intérêt financier pour moi.

Le LNB

Pour le 3,4-4,2GHz : <http://www.ebay.com/itm/C1W-PLL-lite-C-band-LNB-65db-Gain-Phase-Lock-Loop-Wideband-3-4-4-2GHz-LNB-/141465278659>

Pour le 10-12 GHz : <http://www.ebay.com/itm/Universal-Single-Ku-Band-LNB-0-2dB-FTA-Satellite-Dish-Liner-LNB-Bracket-Holder-/190965196625>

Pour le 2,1-2,3GHz : http://www.aliexpress.com/store/product/High-quality-MMDS-Down-converter-2-1-2-3Ghz-With-1838Mhz-For-Digital-TV/402505_1690180274.html

L'amplificateur

Voir chez Mr Bricolage : <http://www.mr-bricolage.fr/amplificateur-de-ligne-pour-le-satellite.html>

Le sat finder

Voir chez Mr Bricolage : <http://www.mr-bricolage.fr/pointeur-satellite-a-aiguilles-sat-finder-optex.html>

pour la modification voir plus haut la description

L'alimentation

Voir sur Google : Velleman K1823

Le convertisseur analogique digital

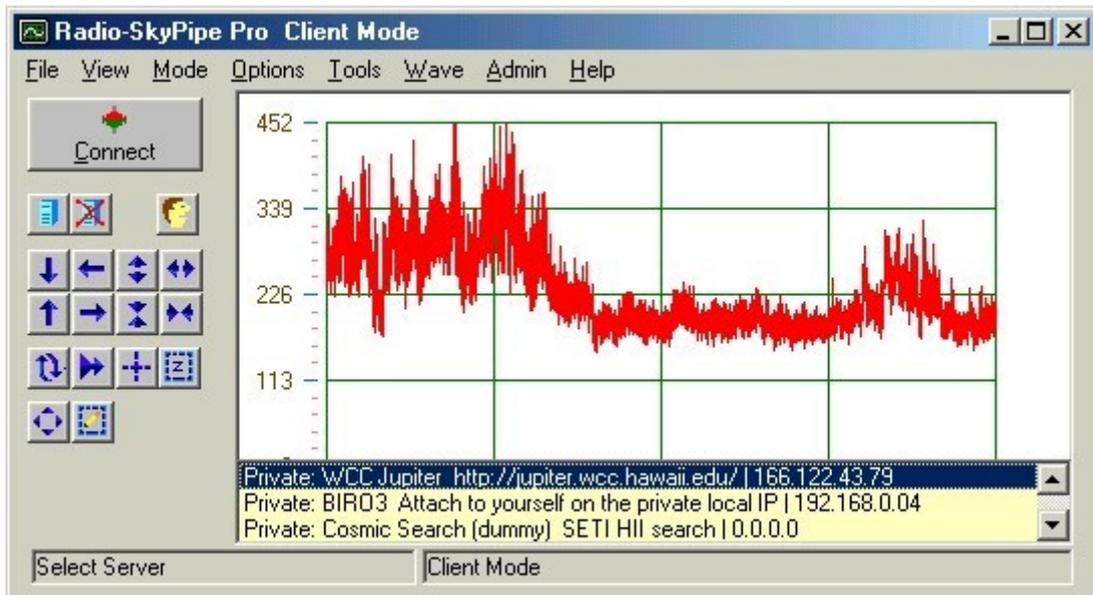
Vous devrez le fabriquer vous même ou alors acheter le kit Velleman :

<http://www.velleman.eu/products/view/?country=be&lang=en&id=350526>

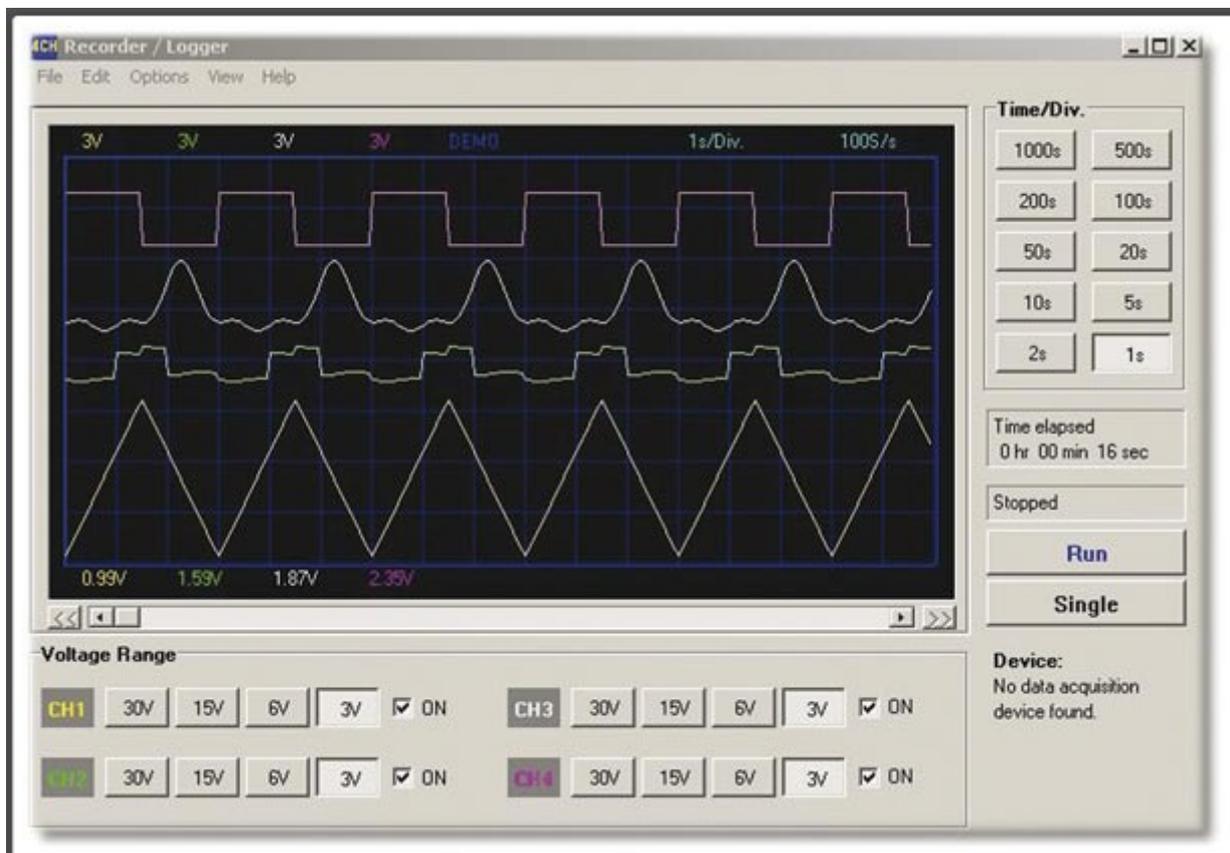
Il est livré avec un logiciel d'affichage voir plus bas

Le logiciel de traçage et d'enregistrement

Soit chez Radio Sky Pipe si vous utilisez l'interface construite par vous même :



Soit le logiciel livré par Velleman si vous utilisez leur carte d'interface



Les raccordements

Achetez du câble de télévision satellite et des connecteurs et suivez la procédure expliquée sur ce wiki

http://bricolage.bricovideo.com/cablage_fiche_F/cables_videos.html

Pour l'alimentation, réglez la tension de sortie pour avoir 14V. Il vous faudra aussi un transformateur pour abaisser la tension secteur 230V vers 30V ainsi votre module pourra sortir entre 12 et 24V suffisamment pour pouvoir utiliser les deux bandes avec le LNBF, mais cela n'est pas une obligation. Si vous avez une alim de 14 ou 15V cela suffira.

Premiers essais

Réglez le satfinder à mi course avec le potentiomètre. Appliquez la tension. Si cela ne fume pas, pointez le LNBF vers le sol puis vers le ciel et regardez si l'aiguille bouge. Si oui, bravo et bienvenue au club. Il ne reste plus qu'à monter le LNB sur la parabole et vous lancer.

Quelques liens pour continuer

Sites à visiter

le groupe radioastronomie sur Facebook : <https://www.facebook.com/groups/radioastro/>

pdf téléchargeables gratuitement

Le bon livre de J.S. Hey (1971)

<https://ia700405.us.archive.org/21/items/TheRadioUniverse/Hey-TheRadioUniverse.pdf>

Il y a aussi des **groupes de discussion** sur la radioastronomie.

sur [Yahoo](#), sur [Facebook](#) n'hésitez pas à chercher sur Google ou internet ...