

*« Un radiotélescope est un télescope spécifique utilisé en radioastronomie pour capter les ondes radioélectriques émises par les astres. » Sire Wikipedia.*

# Projet : RADIOTELESCOPE

---

*Asma Beghriche*

*2016*

*But du projet : construire un radiotélescope maison pour l'observation du soleil en ondes radio*

---

# Introduction:

---

Les objectifs de la radioastronomie sont les mêmes que ceux en optique ou dans n'importe quel domaine de longueurs d'onde : il s'agit d'étudier les caractéristiques d'un objet émettant ces ondes.

L'histoire de la radioastronomie débute en 1894 lorsque Sir Oliver Lodge tenta de détecter les radiations solaires en ondes centimétriques, en vain, les techniques de détection n'étant pas assez développées. En 1931 l'ingénieur Karl Jansky détecta une émission radio provenant du centre de notre galaxie . Et aussi rapidement qu'une suite de billes qui tombent les unes après les autres, les observations des ondes radio émises par les astres qui constituent notre univers s'accumulèrent, tant par les chercheurs Penzias et Wilson qui se concentrèrent sur le fond diffus cosmologique, que par de nombreux radioamateurs qui, encore aujourd'hui, observent le soleil.

Observer le soleil en ondes radio en l'espace de quelques mois nécessite de construire un radiotélescope simple en utilisant le matériel disponible sur le marché et donc de choisir la bande de fréquences correspondant à la fois à ce que je voudrais observer \_ c'est-à-dire de l'ordre des fréquences radio non polluées ni utilisées par d'autres radioastronomes et autres services au niveau international \_ et à celles utilisables par la plupart des récepteurs du marché.

Les questions qui se posent alors sont celles qui suivent:

Quelle grandeur physique mesurer? A quelle fréquence? Avec quel matériel construire ce radiotélescope?

Le plan du projet tentera d'y répondre, en distinguant deux sujets à étudier : le fonctionnement du radiotélescope lui-même, et le soleil et son rayonnement.

# Plan:

---

## **I. Pré-requis théoriques**

- 1. Ondes radio**
- 2. Etude du soleil : rayonnement corps noir**
- 3. Détection**
  - 3.1. L'antenne parabolique**
  - 3.2. Le LNB**
- 4. Réception : Le Satfinder**

## **II. Montage et manipulation**

- 1. Montage**
  - 1.1. Schéma et montage**
  - 1.2. Modification du Satfinder**
- 2. Déroulement de la manipulation**
  - 2.1 Diffraction**
  - 2.2 Coordonnées**
- 3. Mesures et résultats**

## **III. Exploitation des résultats**

## **Conclusion**

## **Bibliographie**

# I. Pré-requis théoriques

---

## 1. Ondes radio

Les radiations électromagnétiques sont dues à l'accélération des particules chargées, dont le mouvement crée un changement de champ. Ce changement de champ est la cause de l'énergie portée par les particules et c'est cette énergie qu'on appelle radiation électromagnétique.

Dans le spectre électromagnétique, les ondes radioélectriques correspondent aux grandes longueurs d'ondes, allant du submillimétrique jusqu'à plus de 100 000 km, soit des fréquences de quelques Hz à 300 GHz environ (voire jusqu'à 3 THz). Ce qui signifie que par rapport aux photons optiques, les photons radio ont une énergie beaucoup plus faible, et donc que la méthode de détection radio diffère de celle en optique. Leur énergie étant trop faible pour causer une réaction dans le détecteur, le récepteur détectera non pas la nature du photon mais la nature de l'onde.

La plupart des fortes émissions radio proviennent des étoiles qui sont soit très jeunes, soit très vieilles.

Le Soleil en particulier émet des ondes radio qui proviennent principalement des plasmas constituant la chromosphère et la couronne solaire, détectables entre 200 MHz et 10 GHz.

La bande de fréquences qui nous intéressera ici dépend de celle "émise" par le soleil (comprendons "facilement détectables", car le soleil émet toutes sortes de longueurs d'onde) ET de celle pouvant être reçue par les récepteurs du marché, dont j'expliquerai le fonctionnement plus loin.

Ce choix est aussi influencé par le protocole de L'Union Internationale des Télécommunications qui vise à protéger les fréquences réservées à la radioastronomie des brouillages d'autres services.

Liste des fréquences réservées :

Bandes <a href="#">ITU</a>	Types d'observation
13,36 MHz à 13,41 MHz	<a href="#">Soleil</a> , <a href="#">Jupiter</a>
25,55 MHz à 25,67 MHz	Soleil, Jupiter
37,5 MHz à 38,25 MHz	Jupiter
73 MHz à 74,6 MHz	Soleil
150,05 MHz à 153 MHz	<a href="#">Continuum</a> , <a href="#">pulsar</a> , Soleil

322 MHz à 328,6 MHz	Continuum, <a href="#">deutérium</a>
406,1 MHz à 410 MHz	Continuum
608 MHz à 614 MHz	VLBI
1 330 MHz à 1 400 MHz	Raie HI red-shiftée
1 400 MHz à 1 427 MHz	<a href="#">Raie HI</a>
1 610,6 MHz à 1 613,8 MHz	Raies OH
1 660 MHz à 1 670 MHz	Raies OH
1 718,8 MHz à 1 722,2 MHz	Raies OH
2 655 MHz à 2 700 MHz	Continuum, HII
3 100 MHz à 3 400 MHz	Raies CH
4 800 MHz à 5 000 MHz	VLBI, HII, raies H <sub>2</sub> CO et HCOH
6 650 MHz à 6 675,2 MHz	CH <sub>3</sub> OH, VLBI
10,60 GHz à 10,70 GHz	Quasar, raies H <sub>2</sub> CO, Continuum
14,47 GHz à 14,50 GHz	Quasar, raies H <sub>2</sub> CO, Continuum
15,35 GHz à 15,40 GHz	Quasar, raies H <sub>2</sub> CO, Continuum
22,01 GHz à 22,21 GHz	Raie H <sub>2</sub> O red-shiftée
22,21 GHz à 22,5 GHz	Raies H <sub>2</sub> O
22,81 GHz à 22,86 GHz	Raies NH <sub>3</sub> , HCOOCH <sub>3</sub>
23,07 GHz à 23,12 GHz	Raies NH <sub>3</sub>
23,6 GHz à 24,0 GHz	Raie NH <sub>3</sub> , Continuum
31,3 GHz à 31,8 GHz	Continuum
36,43 GHz à 36,5 GHz	Raies HC <sub>3</sub> N, OH

42,5 GHz à 43,5 GHz	Raie SiO
47,2 GHz à 50,2 GHz	Raies CS, H <sub>2</sub> CO, CH <sub>3</sub> OH, OCS
51,4 GHz à 59 GHz	
76 GHz à 116 GHz	Continuum, raies moléculaires
123 GHz à 158,5 GHz	Raies H <sub>2</sub> CO, DCN, H <sub>2</sub> CO, CS
164 GHz à 167 GHz	Continuum
168 GHz à 185 GHz	H <sub>2</sub> O, O <sub>3</sub> , multiples raies
191,8 GHz à 231,5 GHz	Raie CO a 230.5 GHz
241 GHz à 275 GHz	Raies C <sub>2</sub> H, HCN, HCO+
275 GHz à 1 000 GHz	Continuum, Raies moléculaires

La plupart des récepteurs LNB du marché (que j'appellerai par la suite détecteur pour ne pas confondre avec le récepteur SATFINDER, ce qui n'est peut-être pas très intelligent mais on a pris l'habitude de qualifier le SATFINDER de récepteur) sont conçus pour travailler avec des fréquences de l'ordre de 10 à 12 GHz. Il est donc judicieux d'observer le soleil à 10GHz.

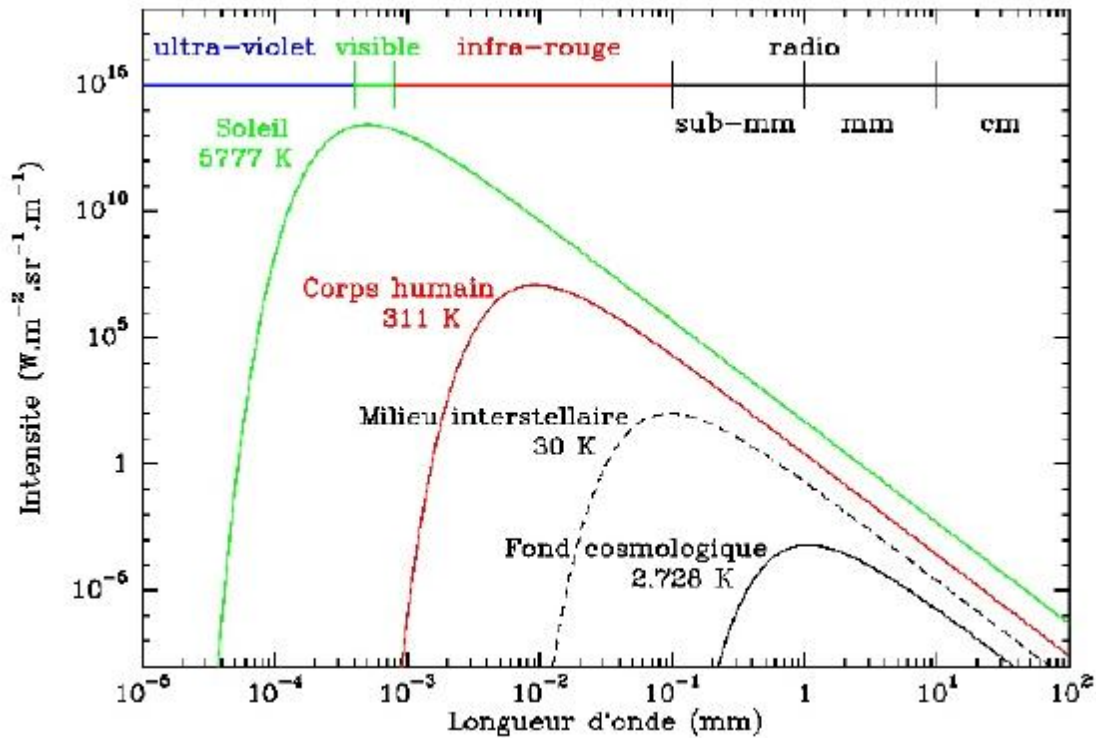
## 2. Etude du soleil : rayonnement corps noir

Un corps noir est un corps qui absorbe idéalement toute l'énergie électromagnétique qu'il reçoit, pour toutes les longueurs d'ondes. Ce type de corps peut réémettre de la lumière sous l'effet de l'augmentation de sa température. C'est ce qui s'appelle le rayonnement du corps noir.

Le Soleil en est un, et suit donc comme tout corps noir sa propre loi de Planck (qui dépend de la température de ce corps) :

$$B(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2 \left[ \exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1 \right]}$$

où  $B_\nu$  est la luminance (en  $\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\text{Hz}^{-1}$ ),  $h$  la constante de Planck  $6,62.10^{-34}$  J.s,  $\nu$  la fréquence en Hz,  $c$  la vitesse de la lumière dans le vide  $2,99.10^8$  m.s<sup>-1</sup>,  $k$  la constante de Boltzmann  $1,38.10^{-23}$  J.K<sup>-1</sup>, et  $T$  la température en Kelvins.



Dans notre cas nous sommes dans le régime de Rayleigh-Jeans :  $h\nu \ll kT$

La luminance eut donc s'écrire (en  $\text{W/m}^2/\text{sr/m}$ ) :

$$B(\lambda, T) \approx \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{k\lambda T}{hc} = 2 \frac{ckT}{\lambda^4}$$

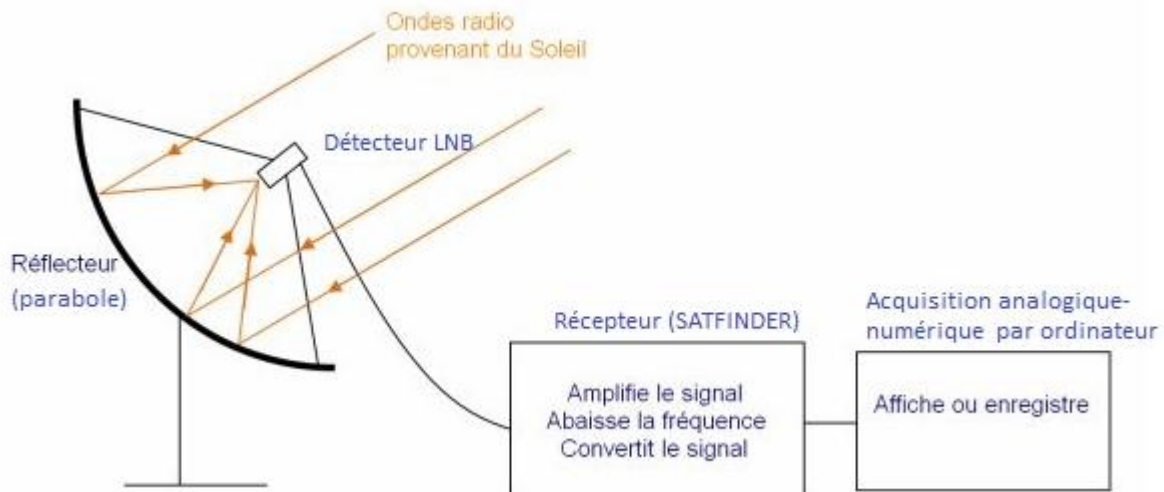
Les grandeurs ont parfois des noms différents et mènent à l'ambiguïté. Sont à distinguer ces grandeurs radiométriques :

- Le flux énergétique (ou puissance rayonnée totale) en W
- L'intensité énergétique en W/sr
- La luminance énergétique (ou radiance) en  $\text{W/m}^2/\text{sr}$
- L'éclairement énergétique (ou irradiance, ou densité de flux) en  $\text{W/m}^2$
- L'excitance (ou émittance) en  $\text{W/m}^2$

La grandeur qu'on pourrait directement observer est le flux (mesure de la puissance émise par le corps) émis par le soleil en Watt, auquel on peut en déduire la température, ou inversement.

### 3. Détection

#### 3.1. L'antenne parabolique



Un radiotélescope est constitué d'une antenne, qui reçoit les ondes électromagnétiques réfléchies par la parabole et, par l'effet de l'excitation des électrons dans le matériau de l'antenne, crée un champ électrique produisant le signal ainsi traité. La taille de cette antenne dépend de l'onde reçue : plus l'onde étudiée est grande, plus la taille de l'antenne doit être grande.

Il existe plusieurs types d'antennes ; la plus adaptée pour observer des ondes à 10GHz est l'antenne parabolique : une antenne dipolaire contenue dans le détecteur, et équipée d'un réflecteur parabolique en métal.

Le réflecteur parabolique ici choisi est une parabole de TV numérique. J'ai choisi la parabole la plus large possible rentrant dans le budget : parabole SCHWAIGER de 80cm de diamètre (cf illustration dans la partie II-Montage).

Ce qui facilite le choix du détecteur "LNB" puisqu'il est directement vendu avec la parabole.



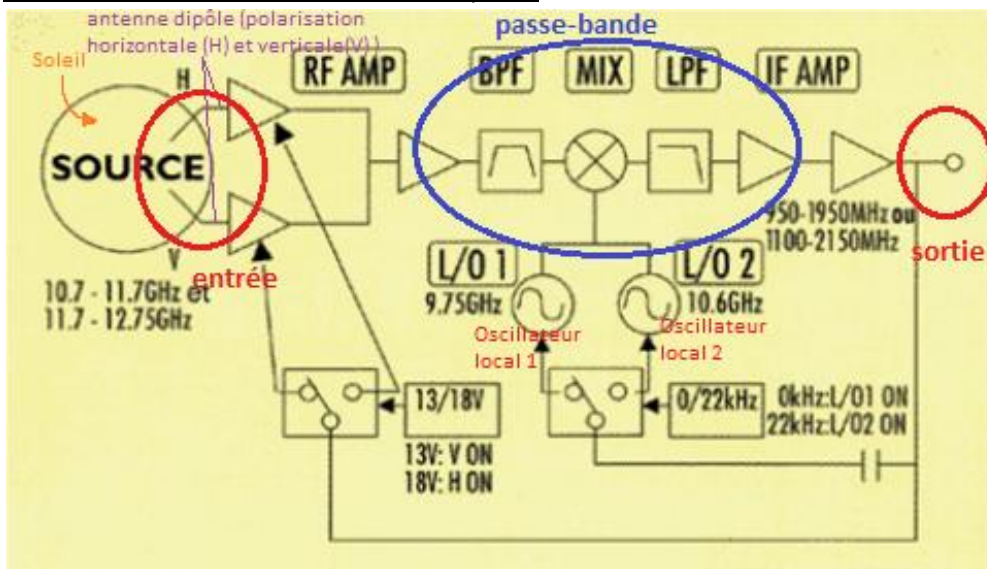


### 3.2. Le LNB

Le LNB fonctionne en détection hétérodyne, c'est-à-dire qu'il transpose l'énergie d'une partie du spectre à plus basse fréquence avant de la détecter, pour pouvoir amplifier et démoduler plus facilement.

Il est constitué d'un cornet aux dimensions correspondant à l'antenne métallique (qui mesure quelques centimètres si l'onde détectée est de l'ordre de 10GHz, soit de 3 cm), d'un pré-amplificateur, et d'un dispositif de conversion de fréquence, formé d'un passe-bande.

Schéma de fonctionnement (circuit simplifié)



circuit [www.bctech.fr](http://www.bctech.fr)

Le signal entre dans le LNB à 10GHz. C'est une fréquence trop élevée pour être transmise directement vers un oscillateur : il faut l'abaisser afin qu'elle soit compatible avec celles que peut exploiter le tuner du

terminal (ici l'oscillateur), soit entre 950 et 2150 MHz. Un oscillateur local, intégré au LNB, le permet en effectuant une soustraction :

"MIX" est le mélangeur qui agit comme tel :

Soit la somme du signal d'entrée  $E\sin(2\pi\nu_s t + \delta_s)$  et de l'oscillateur local  $V\sin(2\pi\nu_L t + \delta_L)$ . L'intensité de sortie vaut, après utilisation de formules trigonométriques simples :

$$I = 1/2\alpha (E^2 + V^2) \quad (\text{composante continue constante})$$

$$-1/2\alpha E^2 \sin(4\pi\nu_s t + 2\delta_s + \pi/2) \quad (\text{seconde harmonique du signal d'entrée})$$

$$-1/2\alpha V^2 \sin(4\pi\nu_L t + 2\delta_L + \pi/2) \quad (\text{seconde harmonique de l'oscillateur local})$$

$$+\alpha VE \sin[2\pi(\nu_s - \nu_L)t + (\delta_s - \delta_L + \pi/2)] \quad (\text{différence des fréquences})$$

$$- \alpha VE \sin[2\pi(\nu_s + \nu_L)t + (\delta_s + \delta_L + \pi/2)] \quad (\text{somme des fréquences})$$

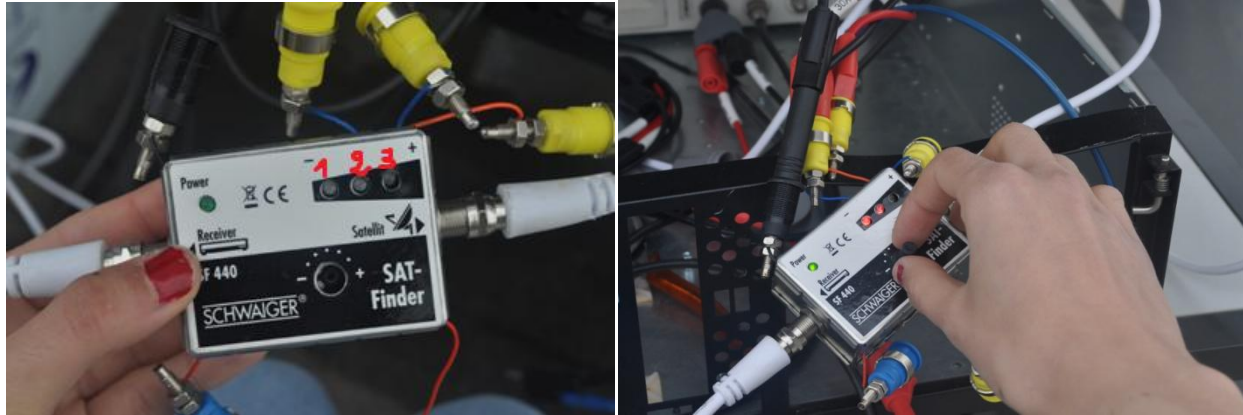
Il est évident que pour avoir une plus basse fréquence, il faut filtrer les 3 termes non surlignés. Le terme surligné où apparaît la différence des fréquences (11.7 - 10.7 GHz et 12.7 - 11.7 GHz = 1 GHz) laisse donc passer en sortie du LNB un signal de 1 GHz.

## 4. Réception

Le signal sortant du LNB passe ensuite dans le récepteur appelé SATFINDER (marque du récepteur) généralement utilisé pour pointer le satellite qu'on veut détecter pour la TV.

En alimentant le détecteur, la diode "Power" verte s'allume, puis les 3 diodes numérotées s'allument en rouge progressivement en fonction du bon ou mauvais pointage du soleil : la diode 1 s'allume en première tandis que la diode 3 s'allume en dernière. Lorsque toutes les diodes sont allumées, cela signifie que les rayons du soleil convergent bien vers le LNB, on "est dans le soleil".

Juste en-dessous il y a le réglage de sensibilité : tourné au maximum de gain, toutes les diodes s'allument, et ce n'est pas pratique si on veut savoir si on pointe bien le soleil ou non. La sensibilité est donc tournée à un minimum de gain tel qu'il soit assez faible pour jouer sur seulement l'allumage des premières diodes, et assez fort pour ne pas avoir un signal nul à l'écran de l'oscilloscope.



C'est cet appareil que je vais utiliser pour réellement obtenir le signal qui me donnera le flux du soleil. Le Satfinder convertit l'onde entre 1 et 2 GHz en un signal quasi continu proportionnel à la puissance, grâce aux propriétés de la diode en détecteur quadratique.

Le courant qui passe dans la diode vaut :

$$I = I_s [ \exp(V_d/nV_T) - 1 ]$$

En faisant un développement limité au deuxième ordre on a :

$$I = I_s (1 + V_d/V_T + 1/2(V_d/V_T)^2)$$

Les oscilloscopes ne peuvent pas détecter un signal alternatif à une fréquence aussi rapide que 1Ghz ( $T=0.1s$ ). Il moyenne donc le signal en intégrant l'équation précédente. Le premier terme linéaire moyenné sur un temps caractéristique de  $1/2\pi$  sera nul, tandis que le second terme sera constant.

La tension de sortie ainsi mesurée est donc proportionnelle à la puissance.

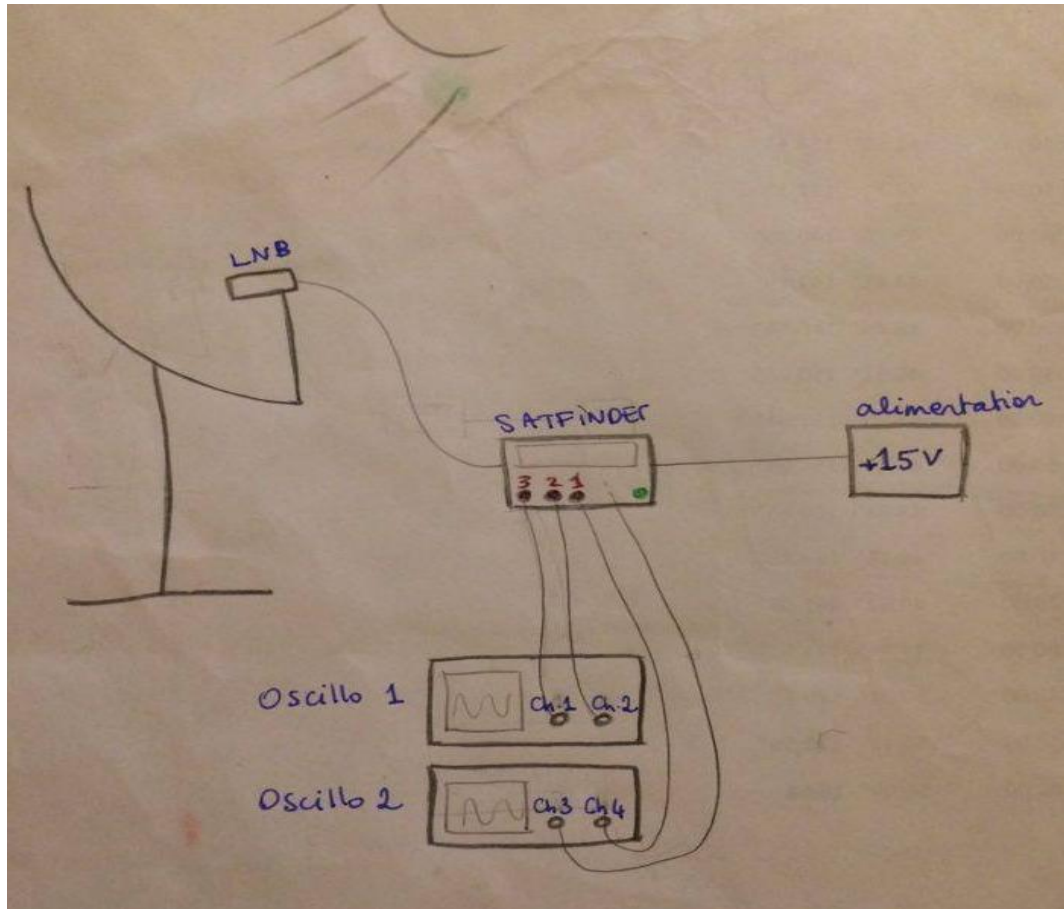
## II. Montage et manipulation

---

### 1. Montage

#### 1.1. Schéma et montage

Schéma simplifié du montage :



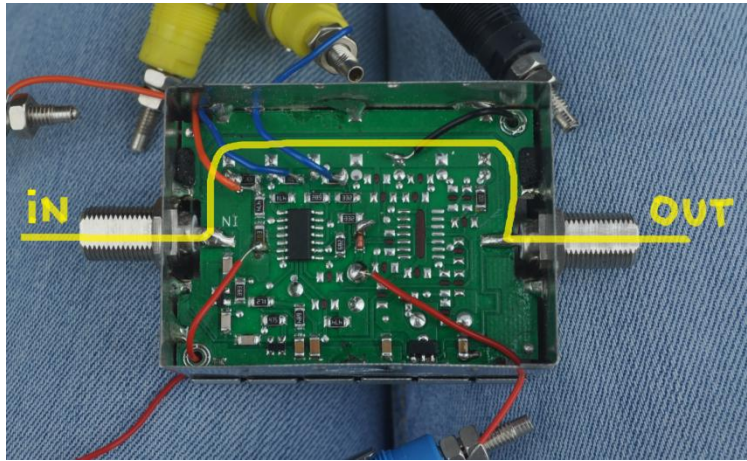
Montage :





## 1.2. Modification du Satfinder

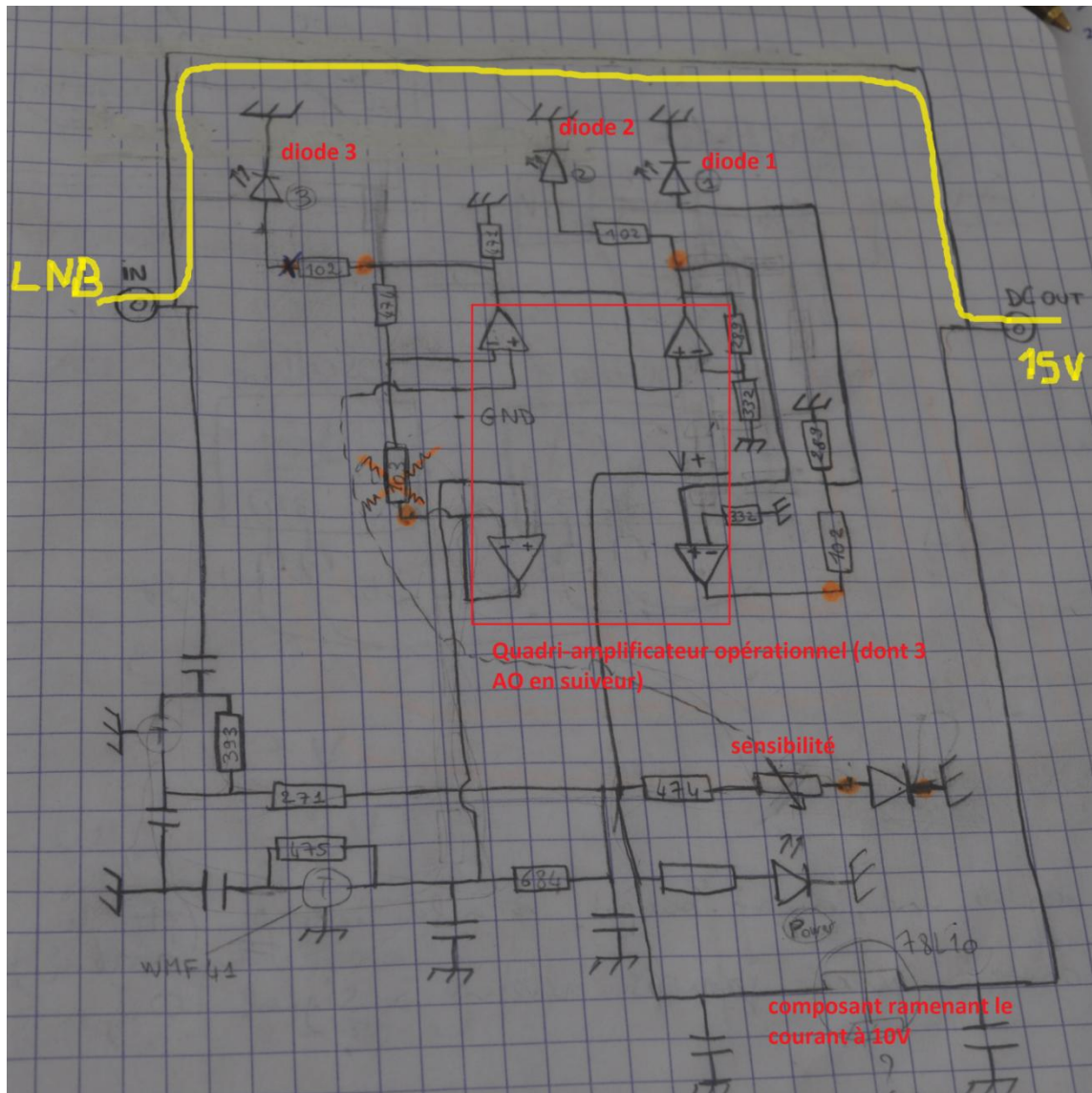
Si on reliait simplement la sortie "satellit" au LNB et la sortie "receiver" à l'oscilloscope le tout alimenté à 15V, tout ce qu'on observerait serait un signal constant égal à la tension d'alimentation, ce qui n'a rien d'intéressant. Ceci est bien montré (en jaune) sur le circuit du Satfinder, après ouverture de celui-ci :



"In" est relié au LNB, donc à la parabole, et "Out" est relié à l'alimentation.

Le premier objectif était donc de savoir où brancher l'oscilloscope pour détecter le signal sortant directement du LNB sans mesurer celui de l'alimentation.

J'ai alors décidé de souder plusieurs sorties (qui apparaissent déjà sur la photo) à plusieurs endroits pour tester les différents signaux que j'aurais, les comparer, et garder le meilleur pour une "belle" acquisition. Pour cela il a fallu étudier ce circuit de près :



Les points orange correspondent aux points de soudure où sera branché l'oscilloscope (2 oscilloscopes à 2 voies chacun).

La résistance barrée sur le schéma était une résistance que j'avais cru avoir grillée en soudant à côté. Fausse alerte puisque mes doigts de fée ne l'ont pas touchée et elle fonctionne!

On observe que le signal entrant dans le Satfinder est d'abord amplifié une première fois par les deux premiers AO avant de passer dans la diode 3 (dernière diode à s'allumer lorsque le soleil est détecté, c'est-à-dire presque pas sensible, donc pas intéressante puisque le signal est toujours quasi nul).

Le signal est ensuite réamplifié avant de passer dans la diode 2 (diode du milieu), puis amplifié une quatrième fois pour entrer dans la diode 1, qui est ainsi ultra sensible et s'allume à la moindre augmentation de sensibilité.

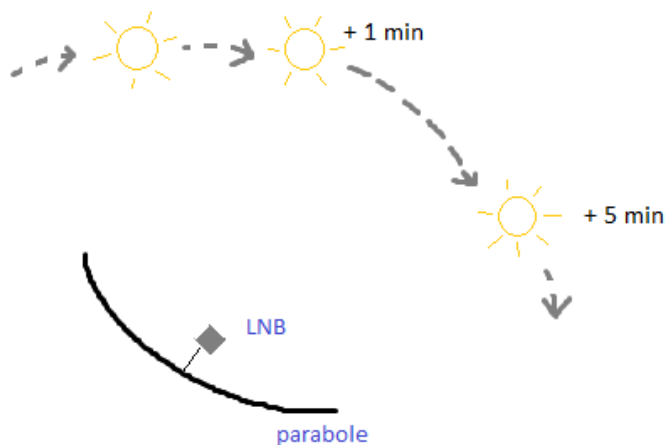
Pour comparer les trois passages du signal je branche chaque voie d'oscilloscope aux bornes d'une des trois diodes avant la résistance qui les précède, pour éviter d'atteindre la tension seuil des diodes et de saturer ou

ne plus rien mesurer. En effet les tensions seuil des LED sont comprises en général entre 1.6 et 2V. Or on aimerait observer une variation de tension significative lors du passage du soleil devant la parabole, donc allant au moins jusqu'à 8V (au-delà le courant sature).

Les autres points de soudure n'ont pas été exploités puisque je ne remarquais pas de différence de signal à ces points.

## 2. Déroulement de la manipulation :

Le principe de la manipulation consiste à laisser passer le soleil devant la parabole pendant quelques minutes et de noter l'augmentation de la tension affichée puis sa diminution quand le soleil quitte le lobe de la parabole.



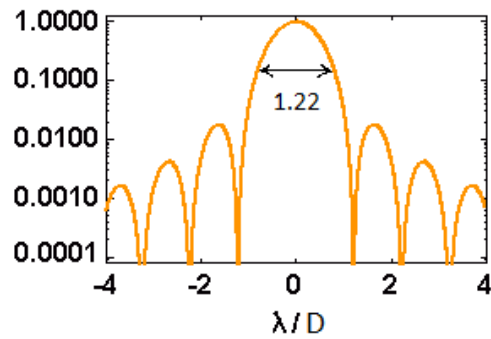
Vue de haut

Mais pour cela, il faut connaître précisément l'élévation et l'azimut (coordonnées) de la position du soleil à chaque instant, ainsi que la résolution angulaire de ma parabole par rapport au soleil.

### 2.1. Diffraction

La convolution de la fonction de réponse de ma parabole avec la fonction d'émission du soleil donne une fonction en sinus cardinal de la puissance en fonction de l'angle  $\theta$ , permettant de connaître la résolution angulaire de la parabole.

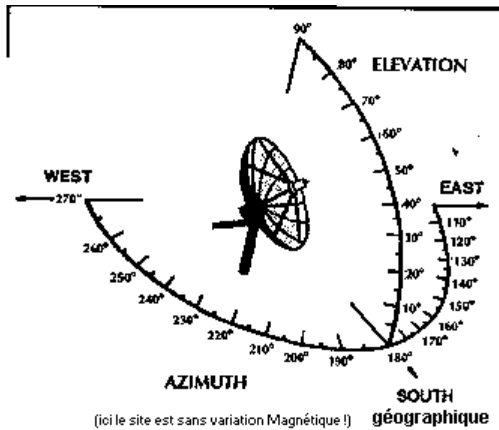
Intensité diffractée par une pupille circulaire de diamètre  $D$  (diamètre de la parabole) :



L'angle que "voit" le lobe de la parabole dans le ciel vaut  $1.22 \lambda / D = 1.22 \times 0.03 \times 0.8 = 0.046 \text{ rad} = 2.6^\circ$

Ce qui signifie que le pointage du soleil doit être très précis (je n'aurais pas le droit à plus de 3 degrés d'erreur).

## 2.2. Coordonnées



Il a fallu construire un système de pointage assez précis qui donne l'élévation de la parabole et l'azimuth.

L'azimuth était le plus simple. A l'aide d'une boussole, je repère le Nord et le Sud que je relève sur un cadran fixé au-dessus de la parabole. Celle-ci étant fixée sur pied qui coulisse horizontalement, je n'avais plus qu'à lui faire une rotation en suivant l'azimuth.





Bon, ce n'est pas très propre, mais quand le temps presse et qu'on veut rester concentré et efficace sur tous les fronts, on fait moins attention à l'esthétique... (Remarquez le bout de bois placé au dessus pour fixer le cadran : je n'avais simplement pas le temps de descendre dans les salles de TP chercher du scotch double-face! )



Le système d'élévation était bien plus compliqué (en pratique) à faire.

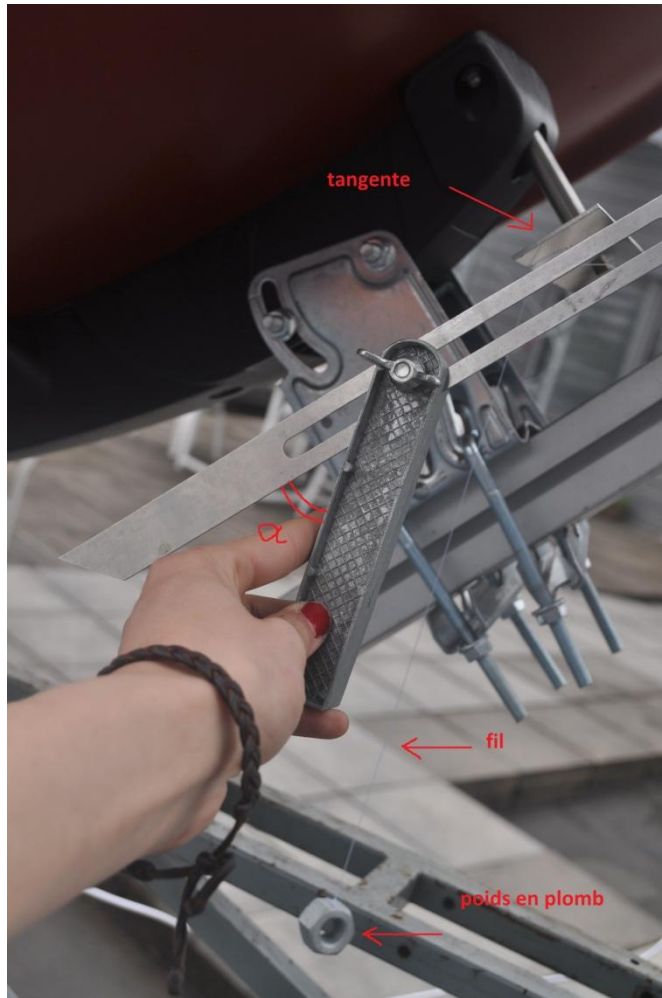
La parabole est vendue avec un système de coulissage en élévation, avec des graduations peu précises sans niveau zéro. A moi donc de trouver un moyen de déterminer l'angle d'élévation expérimentalement.

L'élévation du soleil correspond à l'angle que forme un rayon incident avec l'horizontale, dans le cas particulier où le rayon arriverait au foyer de la parabole. En optique géométrique cela revient à l'angle formé par la tangente à la parabole avec la verticale.

On fixe donc une plaque tangente à la parabole, tandis que la verticale est simplement faite avec un fil tendu au bout duquel est attaché un poids. Et pouf!  $\vec{P} = m\vec{g}$  !



Ainsi, modifier l'élévation revenait à lever/baisser la parabole jusqu'à avoir le bon angle mesuré ainsi :



### 3- Mesures et résultats

Sachant que la Terre tourne de  $1^\circ$  toutes les 4 minutes, et que la parabole a une résolution angulaire de  $2.6^\circ$ , le soleil passe donc devant la parabole en 10 minutes.

Je pointe donc ma parabole avant le passage du soleil, vers le ciel, et j'attends son passage.

Chaque jour le site [sunearthtools.com](http://sunearthtools.com) calcule la position du soleil en fonction de la latitude et la longitude de ma position sur Terre (Bâtiment Condorcet 75013 Paris = 43.48 Nord en latitude et 2.38 Est en longitude).

#### Premières mesures

Rappelons que mon but est d'abord de comparer le signal dans les différentes LED.

Date:	20/05/2016   GMT0	
coordonner:	48.8286599, 2.3829511	
emplacement:	Condorcet, 75013 Paris, France	
heure	Elevation	Azimut
8:30:00	32.19°	94.93°
8:40:00	33.83°	96.92°
8:50:00	35.46°	98.96°
9:00:00	37.08°	101.05°
9:10:00	38.69°	103.2°
9:20:00	40.29°	105.42°
9:30:00	41.87°	107.7°
9:40:00	43.42°	110.08°
9:50:00	44.96°	112.54°
10:00:00	46.47°	115.1°
10:10:00	47.94°	117.77°
10:20:00	49.38°	120.56°
10:30:00	50.77°	123.49°
10:40:00	52.12°	126.55°
10:50:00	53.42°	129.77°
11:00:00	54.65°	133.16°
11:10:00	55.82°	136.71°
11:20:00	56.91°	140.45°

A l'oscilloscope j'observe simultanément les voies 1, 2, 3 et 4 correspondant aux LED 1, 2, 3 et la diode de filtrage au milieu du circuit.

Je vise d'abord le ciel. A sensibilité optimale, j'obtiens :

CH1=2.40 V +/- 0.5 V

CH2= 700mV +/- 50mV

CH3= 30mV

CH4 = 800mV.

Je vise le soleil. J'obtiens :

CH1=7.5 V +/- 0.5 V,

CH2= 2,2V +/- 0.5V

CH3= 560mV

CH4 = - 520mV.

De nouveau hors-soleil, j'obtiens cette fois :

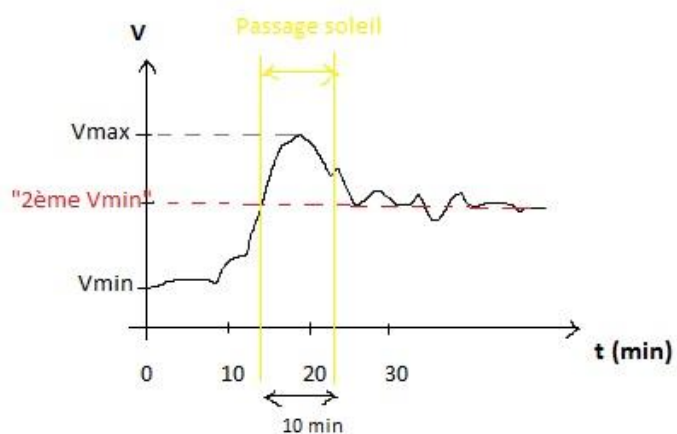
CH1=5.9V +/- 0.5 V

CH2= 1.7V +/- 0.5V

CH3= 380mV

CH4= - 440mV.

J'ai noté plus tard qu'à chaque début d'expérience, le signal garde un certain seuil de tension en dessous duquel il ne baisse plus :

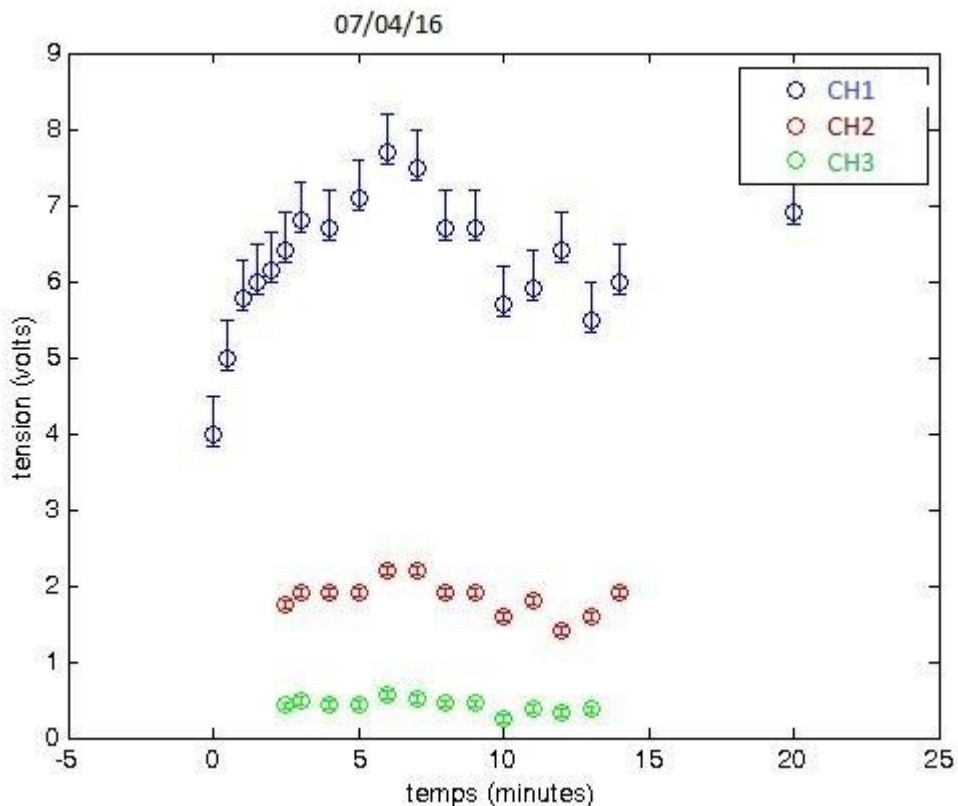


Je pense que le Satfinder acquiert lentement du gain lorsqu'il reçoit du courant.

Je vérifie en éteignant l'alimentation puis en la rallumant. Sans rien toucher et sans être sur le soleil, j'observe la tension en CH1 augmenter de 2.80V à 4.42V en une minute environ.

En réalité, il pourrait y avoir plusieurs causes, dont le fait que ce soit la température d'antenne et des composants qui augmentent lors du passage du courant.

#### Courbe1.



Ici j'ai changé les voies des oscilloscopes : CH1 = diode 3 (la première qui s'allume), CH2 = diode 2, CH3 = diode 1 (la dernière à s'allumer, peu sensible).

La diode qui pourrait clairement me montrer le passage du soleil est la diode 3, je décide donc de ne garder que la voie 1 (CH1).

Comme on l'a prédit, on a bien un pic de tension durant 10 minutes, correspondant à la résolution de la parabole.

#### Mesures suivantes :

Je rencontre des problèmes dont j'ai du mal à cerner l'origine.

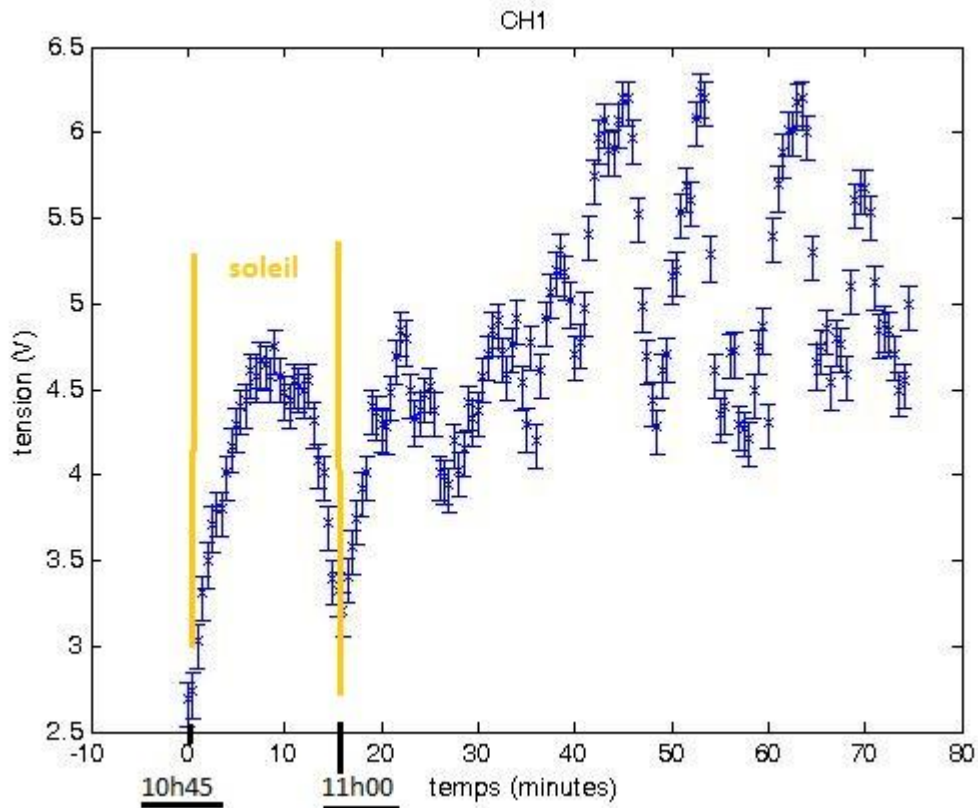
Premièrement, admettons que le soleil à 11h00 est à 44.49° d'élévation et 140° azimuth.

Sachant que le soleil passe en 10 min devant ma parabole, je me pointe aux coordonnées de 11h00 et commence à prendre les mesures 15 min avant, à 10h45. Donc  $t=0$  à 10h45 et j'active mon chronomètre.

Je relève la tension toutes les 30 secondes.

Voilà ce qu'il se passe :

Courbe 2.



Incertitude sur  $V$  :  $dV=0.03V$

Incertitude sur  $t$  :  $dt=10s$

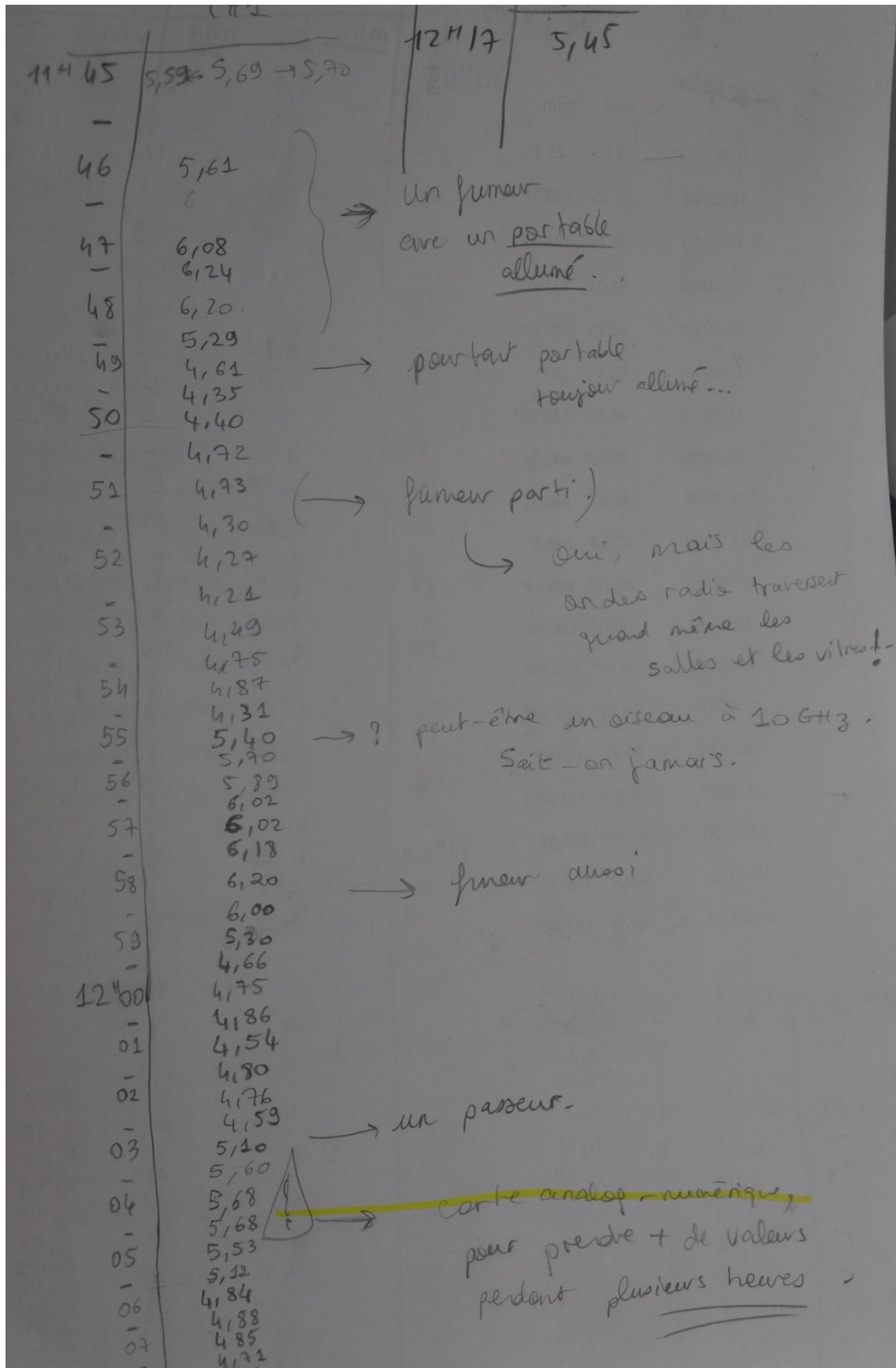
Le soleil passe visiblement sur le LNB 5 minutes avant ce que j'avais prédit.

Deuxièmement, après net passage du soleil, le LNB a l'air de recevoir d'autres ondes qui ne viennent pas du soleil.

Hypothèse : en supposant que mon satfinder fonctionne correctement, qu'il n'y pas de charge/décharge inattendue des composants, et que mon pointage est plus ou moins correct, on peut émettre l'hypothèse de lobes parasites.

En attendant je relève chaque petite perturbation (avec une pointe d'humour lié à mon agacement en relevant des valeurs incohérentes) :





Il est à noter que lors des premières séances, on observait une grande variation de tension lorsqu'on s'approchait de la parabole, et ce, en refaisant les tests plusieurs fois.

Quelques séances plus tard, ces variations n'avaient plus lieu. J'allumais la radio de mon portable en face du LNB et rien ne se passait. Tant mieux pour mes futures mesures, toujours est-il que je ne trouve toujours pas d'explication à ce problème.

#### Améliorations :

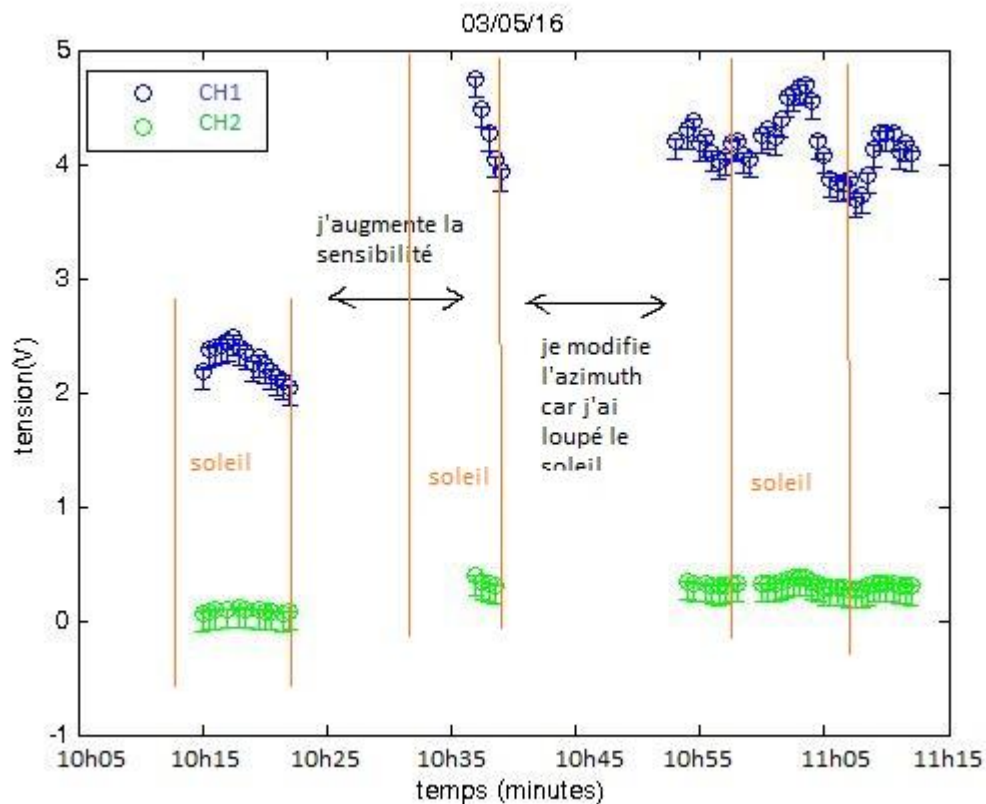
Pour atténuer ce bruit, je recouvre le LNB d'aluminium pour réfléchir les ondes "parasites" dont la longueur d'onde pourrait traverser la paroi en polystyrène du LNB et fausser mes mesures.

Cependant si le LNB sélectionne les fréquences précisément, je ne devrais pas avoir ce problème...

Autre modification pour supprimer d'autres parasites : J'enlève les fiches BNC inutiles que j'avais en trop (et qui formaient un angle droit) au bout du câble coaxial qui relie le Satfinder à l'alimentation, pour éviter les réflexions du signal "dans le vide" à l'intérieur des fiches.

#### Mesures suivantes :

##### Courbe 3.

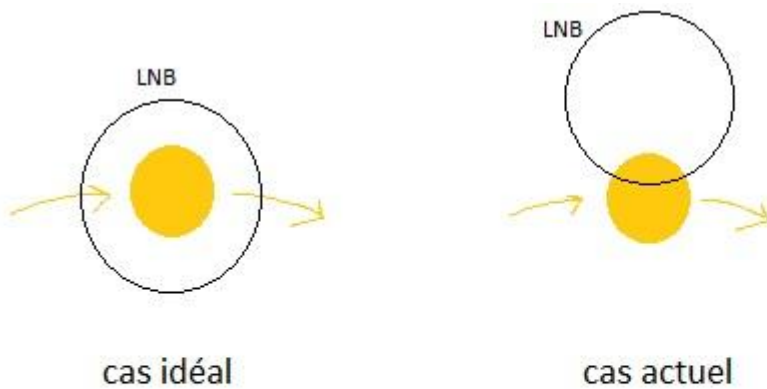


Je note souvent une erreur d'azimut de 10°, que je prends en compte pour les prochaines mesures (je me placerais ainsi 10° de plus à l'ouest)

Même avec une bonne sensibilité, la tension n'augmente pas suffisamment de plusieurs volts comme ce qu'on devrait avoir.



L'hypothèse est que mon pointage en élévation n'est pas très juste, car il se pourrait qu'au lieu d'observer le soleil au milieu du LNB, je n'observe qu'un bout au dessus ou un bout en dessous :



Pourtant mon calcul d'angle est très précis et je n'ai que 2 degrés d'erreur.

On effectue alors un pointage à vue d'oeil : en plaçant un miroir sur la parabole en face du LNB, je suis sûre (s'il n'y a pas de nuages) d'avoir le soleil au centre du LNB.



Je réalise le processus inverse en relevant l'angle de ma parabole, et je note la différence entre cet angle (qui est donc exact par l'expérience) et l'angle donné par le site.

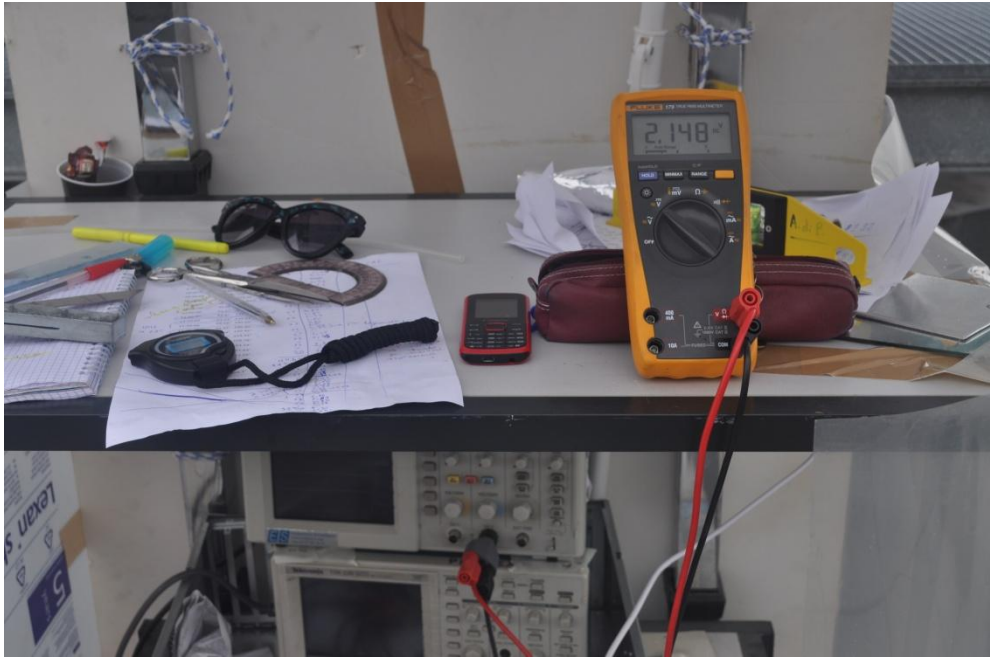
Il y a une différence de 28° !!

Explication :

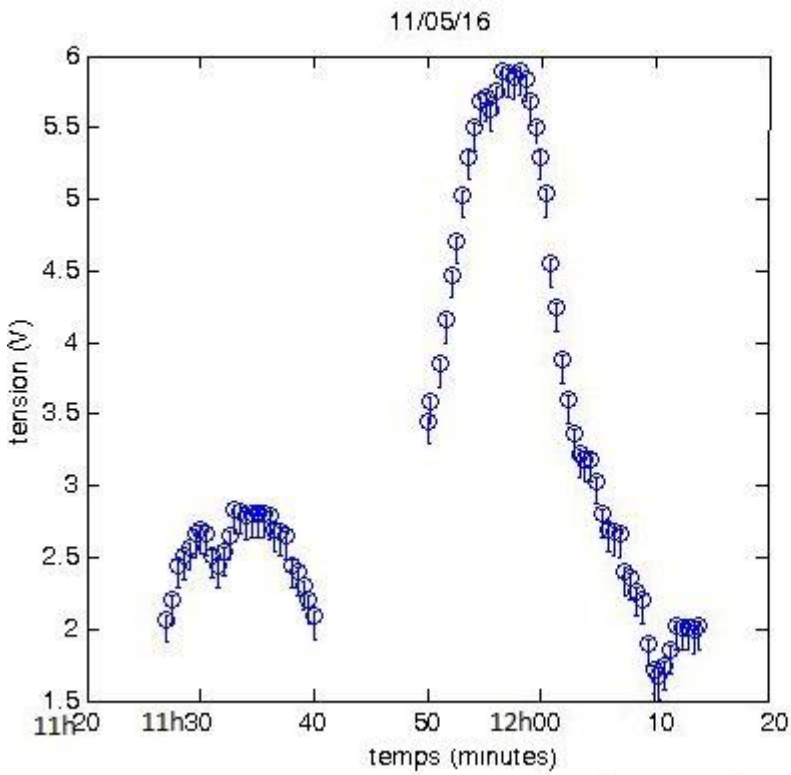
Mon schéma de départ sur la mesure de l'élévation aurait été bon si le foyer de la parabole se trouvait au centre. Or ce n'est pas le cas, les paraboles sont souvent vendues avec un offset .

Le foyer n'étant pas au centre, pour que le rayon se réfléchisse sur le LNB il faut baisser la parabole de 28°!

Je décide de troquer mon oscilloscope contre un multimètre, pour avoir des valeurs plus simples à relever.



Courbe 4.

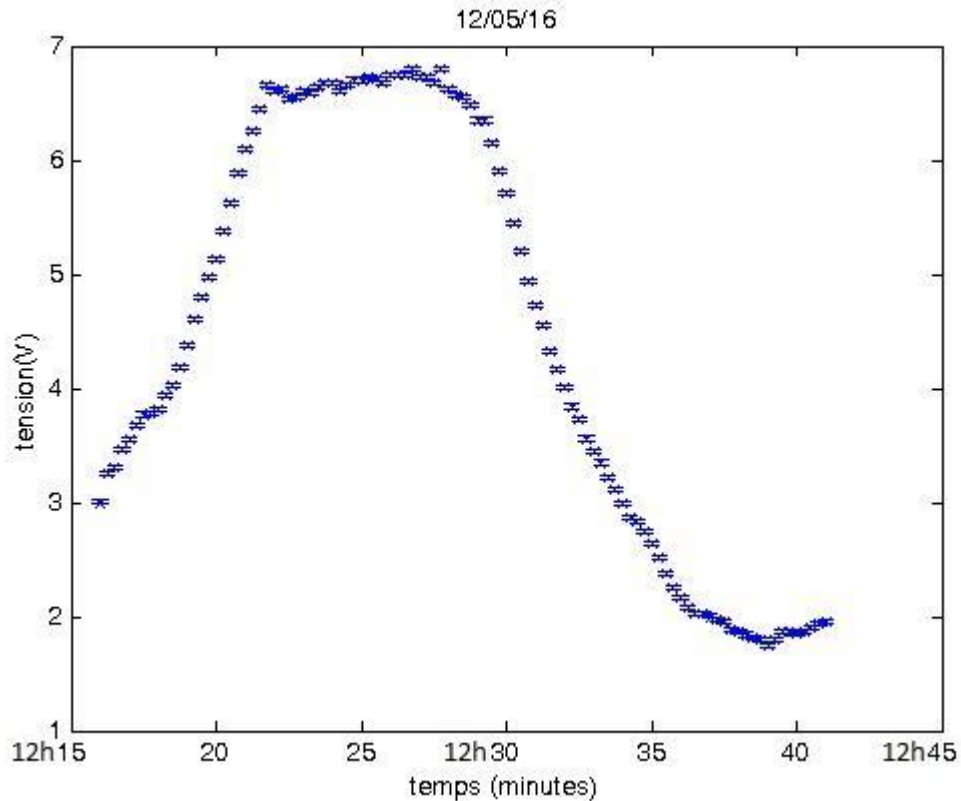


La première courbe à gauche correspond aux mesures faites avant modification de l'élévation. La seconde courbe à droite correspond à celles faites après. On voit bien que le pic est plus, on est donc bien dans le soleil, et la parabole avait bien un offset.

Dernière mesure :

Je relève la tension toutes les 15 secondes cette fois-ci.

Courbe 5.



Il semble y avoir une saturation, pourtant le courant ne saturait qu'à 8 volts.

C'était cependant la dernière mesure que j'ai pu faire.

### III. Exploitation des résultats

---

La puissance reçue par le détecteur vaut  $P = kT_a\Delta\nu$ , avec  $k$  la constante de Boltzmann,  $T_a$  la température d'antenne, et  $\Delta\nu$  la bande de fréquence qui sort du LNB (1 GHz).

Pour avoir la température d'antenne, je calcule la puissance telle que  $V = R \times P$ , avec  $V$  la tension maximale mesurée lors du passage du soleil et  $R$  la réponse du détecteur. Cette réponse est un facteur de proportionnalité que je peux avoir à l'aide d'un étalonnage.

#### Etalonnage :

On avait essayé d'étalonner en prenant comme référence l'azote dont on connaît sa température (77K).

Or la mesure n'avait pas marché, car l'azote n'émettait pas de radiation à 10GHz, mais bien au-dessus.

Ce qui est étrange puisque l'expérience de Penzias et Wilson avait utilisé l'azote pour l'étalonnage.

Je n'ai donc pris que le ciel comme référence, à la température de 293K (il faisait environ 20°C).

La courbe 4 ne présente pas de saturation, donc je note la tension maximale soustraite à celle du ciel (puisque le détecteur recevait la température du soleil mais aussi celle du ciel).

$$V_s = V_{\max} - V_{\text{ciel}} = 5.9 - 2.1 = 3.8 \text{ V } \pm 0.5 \text{ V}$$

#### Calcul de la température d'antenne :

Le lobe de la parabole voit dans le ciel un angle  $\alpha = 0.03/0.8 = 0.0375 \text{ rad} = 2.1495^\circ$ , soit en base 60 :  $2^\circ 9'$ .

Le site [unitjuggler.com](http://unitjuggler.com) m'aide à convertir ces angles.

Je mesure la largeur à mi-puissance : 11,5 min en temps.

Sachant que la Terre tourne de  $1^\circ$  en 4 min, la variation angulaire vaut  $11.5/4 = 2.87^\circ$ , soit  $2^\circ 52'$  en base 60.

La largeur du soleil fait donc  $32'$ , ce qui signifie qu'on peut "mettre"  $n = 32'/2^\circ 9' = 11$  soleils devant la parabole.

Avec une simple règle de trois on aboutit à une température d'antenne :

$$T_a = T_{\text{ciel}} \times (V_s/V_{\text{ciel}}) \times 11 = 300 \times (3.8/2.1) \times 11 = 5971 \text{ K!}$$

Cette valeur s'approche de la température de surface du soleil (5777K).

La puissance qu'on capte en réalité est  $P = k(T_a + T_{\text{bruit}})\Delta\nu$ .

C'est cette température de bruit qui s'ajoute à la température de surface du soleil.

On peut supposer qu'elle vaut  $5971 - 5777 = 194 \text{ K}$  si les erreurs de mesure sont négligeables.

$$\text{La puissance d'antenne vaut ainsi : } P = 1,38 \cdot 10^{-23} \times 5971 \times 10^9 = 8,24 \cdot 10^{-11} \text{ W.}$$

Ce serait donc la puissance que reçoit le détecteur, puissance très très faible.

### Bruit :

Le bruit de fond est produit par l'agitation thermique des électrons dans l'appareil lui-même. Il est donc inévitable, mais peut se soustraire si on connaît les caractéristiques et les températures des éléments du système.

La parabole a un lobe principal, mais il y a aussi des lobes parasites, qui agissent sur la température d'antenne, d'où une partie de la température de bruit. Le bruit peut provenir des réflexions sur le sol, de l'atmosphère, de la température du récepteur, ...

### Commentaires :

J'avais tenté de calculer la puissance et la température autrement en trouvant des liens avec les formules des grandeurs radiométriques, mais les calculs théoriques avaient du mal à être en accord avec les lois de Wien et de Stephan Boltzmann, les dimensions ne correspondaient pas à celles des ordonnées sur les courbes de Planck, et rien n'a été très concluant. Je suis encore actuellement à la recherche de solutions à ces problèmes calculatoires ...

## Conclusion

---

En construisant ce radiotélescope pour observer le soleil j'ai pu en déduire expérimentalement sa température de surface, qui s'approchait de la température connue.

Il ressort de ce résultat qu'avec des moyens simples on a pu réaliser un système plus ou moins performant pour la radioastronomie d'amateur.

En approfondissant les connaissances techniques sur les composants des éléments du système et sur les théories des corps noirs, on pourrait améliorer le radiotélescope pour d'une part connaître le bruit et le supprimer, d'autre part si possible observer des radiations provenant d'autres sources.

Les ondes se propageant dans l'Univers et arrivant jusqu'à nous peuvent nous fournir une incroyable quantité d'information sur l'Univers.

Les ondes radio en particulier ont permis de découvrir des objets comme les pulsars ou les radiogalaxies, dont on ne soupçonnait pas l'existence.

Il sera toujours à la fois passionnant et extrêmement utile de faire évoluer les branches de l'astronomie.

# Bibliographie

---

## Sites Web :

Luxorion : Seti- La détection d'un signal artificiel

Wikipédia : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi de Planck](https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Planck)

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Radiot%C3%A9lescope>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Soleil>

<http://www.astrosurf.com/>

[www.astroplanetes.net/radio-telescope.html](http://www.astroplanetes.net/radio-telescope.html)

[www.radio-astronomie.com/rasimple.htm](http://www.radio-astronomie.com/rasimple.htm)

[www.sunearthtools.com/dp/tools/pos\\_sun.php?lang=fr](http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=fr)

<http://www.haystack.mit.edu/edu/undergrad/materials/tut3.html>

## Documents :

Travaux Pratiques L2 Radioastronomie 2012 (Ph. Salomé, J.Nevau)

Cours de M2 Photodétection 2008/09 (Michel Piat)

Evolutions du Satfinder et observations avec LUCIE 2012 (Laurent Dalbin)

Tools of Radio Astronomy (Second Completely Revised and Enlarged Edition) K. Rohlfs T.L.Wilson