



AVEC NOS ÉLÈVES

# Radioastronomie Solaire

## Observations radioastronomiques au moyen d'une antenne pour la TV satellite

René Cavaroz, Aurélie Jeanne, Jacques Leconte,  
Gaëlle Lettier, Aurélie Matteos, Nicolas Robin,  
Cédric Targowski.

Ce mémoire est le fruit de la collaboration de lycéens (du lycée Alain Chartier de Bayeux) candidats aux Olympiades de physique, avec Bernard Darchy, ingénieur au CNRS, au centre de radioastronomie de Nançay. René Cavaroz, proviseur du lycée, a piloté ce travail qui s'est déroulé en plusieurs étapes, dont des missions d'observation du Soleil à Nançay. Lors de la semaine organisée à Bayeux dans le cadre du projet Européen Socrates Comenius les lycéens ont rencontré des élèves norvégiens et anglais.

### I - Notions sur la radioastronomie solaire

L'observation du Soleil par les ondes radioélectriques concerne essentiellement la couronne solaire. Il y règne des températures excédant parfois un million de degrés. En raison de ces hautes températures, le milieu est complètement ionisé : l'émission continue radioélectrique provient de ce gaz dont les électrons sont libres, que l'on appelle plasma.

Dans un plasma, seules peuvent se propager les ondes électromagnétiques dont la fréquence est supérieure à une certaine valeur (appelée fréquence dans le plasma) qui varie comme la racine carrée du nombre d'électrons par unité de volume. Cette propriété générale des plasmas présente un intérêt fondamental pour l'étude du Soleil. En effet, comme la densité de l'atmosphère décroît quand on s'élève en altitude, seules les longueurs d'onde les plus courtes peuvent se propager dans les couches les plus profondes et nous parvenir. A l'opposé, les longueurs

d'onde les plus grandes ne pourront nous parvenir que si elles sont formées dans les couches extérieures du Soleil.

Une conséquence immédiate en découle : quand on fixe la longueur d'onde d'un instrument, on détermine en même temps le niveau coronal que l'on étudie ; ainsi les ondes métriques proviennent d'un domaine de la couronne solaire s'étendant jusqu'à quelques rayons solaires au-dessus du disque visible alors que les ondes kilométriques proviennent du milieu interplanétaire.

Les problèmes abordés grâce à l'observation radioélectrique concernent :

- la structure de la couronne, gouvernée par le champ magnétique qui, en particulier, régit la façon dont s'échappe le gaz qui donne naissance au vent solaire. Ce vent constitue le milieu interplanétaire.

- l'étude de l'activité solaire dont les différentes manifestations sont étroitement associées à la présence des centres d'activité.

## II - Le projet

Il s'agit de régions qui sont caractérisées par des champs magnétiques importants, et dont les effets sont observables à travers toutes les couches du Soleil. C'est dans ces centres actifs que prennent naissance les éruptions, formidables explosions qui s'accompagnent d'éjections de masses de gaz, de particules accélérées et d'émissions de rayonnement, entre autres de rayonnement radioélectrique.

Très schématiquement, on distingue trois composantes dans le rayonnement radioélectrique solaire :

1) le Soleil "calme" dont l'émission est permanente et variable au cours du cycle solaire de 11 ans. Cette émission provient d'une part de régions de champ magnétique ouvert, les trous coronaux, sources principales du vent solaire, et d'autre part des différentes arches coronales qui représentent une multitude de boucles de champ magnétique fermées s'élevant à diverses altitudes.

2) l'émission "lentement variable" qui varie lentement de jour en jour et à l'échelle de l'heure.

Cette émission provient de régions localisées : les condensations coronales surplombant les centres d'activité et les jets coronaux surplombant les protubérances.

3) les sursauts radioélectriques, le plus souvent, accompagnent les éruptions. Leur origine est variée. Ils sont émis au cours de la propagation dans la couronne de jets d'électrons rapides, d'ondes de choc ou de nuages de particules ionisées. Leur durée varie d'une fraction de seconde à plusieurs heures.

L'étude de ces sursauts a traditionnellement représenté à Nançay un domaine de recherche important. L'intérêt de cette étude réside dans la compréhension des éruptions, des mécanismes d'émission du mouvement radio. Ces sursauts nous renseignent également sur la nature des perturbations d'origine solaire qui parviennent dans l'environnement terrestre.

Il s'agit non seulement d'étudier ces perturbations mais également de les prévoir.

C'est le domaine de la prévision de l'activité solaire dont les observations obtenues à Nançay, quotidiennement depuis plus de trente ans, apportent une contribution très précieuse.

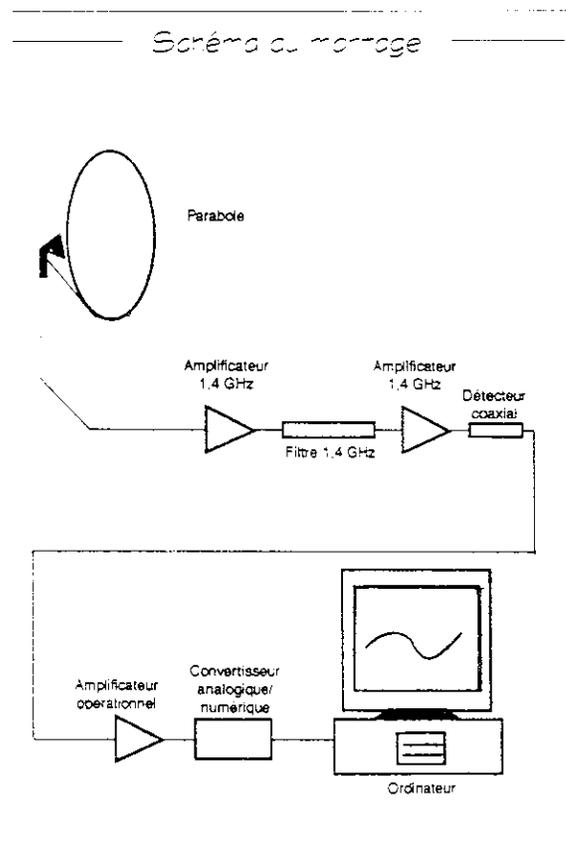
Les instruments solaires de Nançay permettent l'étude de ces trois composantes. Ils confèrent à cette station une position de choix car ils sont complémentaires : couvrant un domaine de fréquence s'étendant des ondes centimétriques aux ondes décimétriques, ils autorisent le sondage sur une zone étendue de la couronne depuis une fraction de rayon solaire au-dessus du disque visible jusqu'à quelques rayons solaires.

D'autre part, on obtient d'un même phénomène à la fois des images et des spectres..

### I - Objectifs

Il s'agit de mesurer le **diamètre apparent** du disque solaire et la **température de brillance** du Soleil à l'aide d'un dispositif comprenant une antenne pour la TV satellite

### 2 - Description de la parabole TV satellite



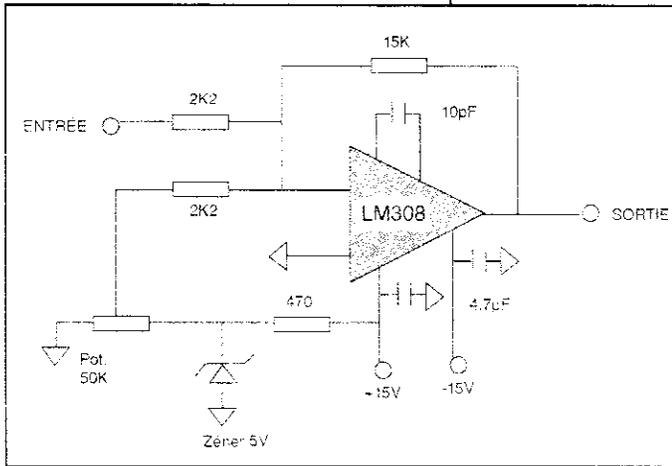
#### Généralités sur le kit TV satellite

Les antennes pour la réception de la télévision par satellite sont conçues pour fonctionner entre 10,5 et 11,5 GHz.

Elles sont équipées d'un changeur de fréquence placé juste derrière le cornet focal. Ce changeur de fréquence abaisse la fréquence des signaux captés par l'antenne et les transpose entre 950 et 2050 MHz.

Le tiroir démodulateur vendu avec la parabole est évidemment indispensable pour recevoir les signaux TV mais il n'est pas utilisable pour la réception des ondes émises par les astres. En effet, il n'est sensible qu'à des signaux transportant une modulation spéciale pour laquelle il a été conçu et cette modulation n'existe pas dans les signaux astronomiques.

## Schéma du boîtier amplificateur opérationnel



Ce montage est réalisé sur une plaque de circuit imprimé de  $50 \times 25$  (mm) et inséré dans un petit boîtier Pomona, de dimensions  $55 \times 35 \times 25$  (mm), avec des connecteurs BNC pour l'entrée et la sortie.

### Matériel annexe

Le dispositif de réception des signaux radioastronomiques comporte les éléments suivants :

- deux amplificateurs capables de fonctionner entre 1 et 2 GHz ;
- un filtre de quelques dizaines de MHz de largeur entre 1 et 2 GHz ;
- un détecteur coaxial bande large ;
- un amplificateur opérationnel.

Il faut ajouter à ces éléments un enregistreur papier ou un PC équipé d'une carte de conversion analogique / numérique.

## 3- Fonctionnement d'une observation avec la parabole TV

La parabole doit être installée sur une monture orientable. La motorisation n'est pas indispensable pour commencer mais on doit pouvoir pointer la parabole avec précision.

### Largeur du lobe de la parabole

Rappelons que c'est l'angle solide  $\Omega$  à l'intérieur duquel la parabole reçoit des signaux. Or le lobe de la parabole est relativement étroit. La largeur du lobe d'une antenne de diamètre  $D$  fonctionnant à une longueur d'onde  $\lambda$  est environ  $\Omega = \lambda / D$  (en stéradians).

La parabole mesure 0,7 m de diamètre et la longueur d'onde observée vaut :

$$\lambda = c / F = 3 \times 10^8 / 11 \times 10^9 \text{ soit } \lambda = 0,027 \text{ m donc } \Omega = 0,038 \text{ radian ou } 2^\circ 13'$$

La largeur du lobe de l'antenne valant  $2^\circ$  environ, il faut être capable de la pointer avec une précision supérieure à  $1^\circ$  ce qui n'est pas très facile. Le pointage peut aussi être compliqué par le fait que le dispositif focal des paraboles TV est la plus souvent excentré. Il est alors quasi impossible de repérer simplement la direction visée par l'antenne.

### Pointage "optique"

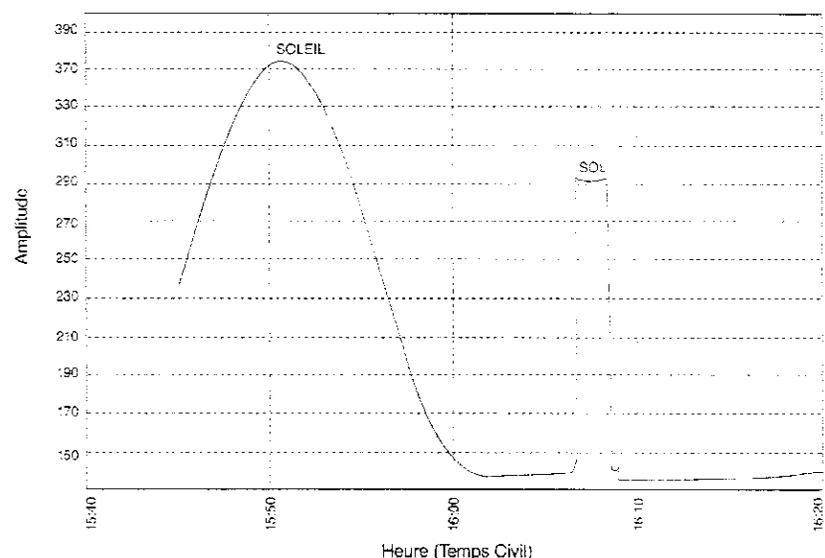
Par beau temps, l'observation du Soleil est grandement facilitée par l'image optique qui se forme au foyer de la parabole ; on voit très aisément, quand l'antenne est bien pointée, que la surface du cornet est éclairée par le rayonnement solaire. Si la parabole n'est pas suffisamment réfléchissante, un morceau de papier blanc collé à la surface de la parabole améliorera le pointage optique. Pour toutes autres radiosources on ne peut évidemment pas profiter de cette possibilité.

### Observation en position fixe

Nous nous limiterons pour commencer à l'observation du Soleil par beau temps ou très peu couvert. On utilise alors le pointage optique. L'observation consiste à placer l'image du Soleil juste au bord droit du cornet et à enregistrer le passage du Soleil dans le lobe de l'antenne en laissant l'antenne immobile et en profitant de la rotation terrestre. Un tel enregistrement doit durer au moins 30 minutes et doit débiter quelques minutes avant l'entrée du Soleil dans le lobe de l'antenne et finir quelques minutes après sa sortie de façon à pouvoir déterminer une ligne de base.

Au début et à la fin de l'enregistrement, il faudra exécuter un étalonnage de sensibilité en pointant l'antenne vers le sol.

Observation du Soleil lors de la mission à Nançay en septembre 1997



### Largeur à mi-puissance, largeur du Soleil.

La largeur à mi-puissance (de 15 h 45 min à 15 h 56 min) vaut approximativement 11 minutes de temps. Sachant que la Terre tourne de  $1^\circ$  toutes les 4 minutes de temps, 11 minutes de temps équivalent à une variation angulaire de  $2^\circ 45'$ . Comme la largeur du lobe est de  $2^\circ 13'$ , on peut en déduire que le diamètre apparent du Soleil est de  $32'$  environ.

### Température de brillance du Soleil.

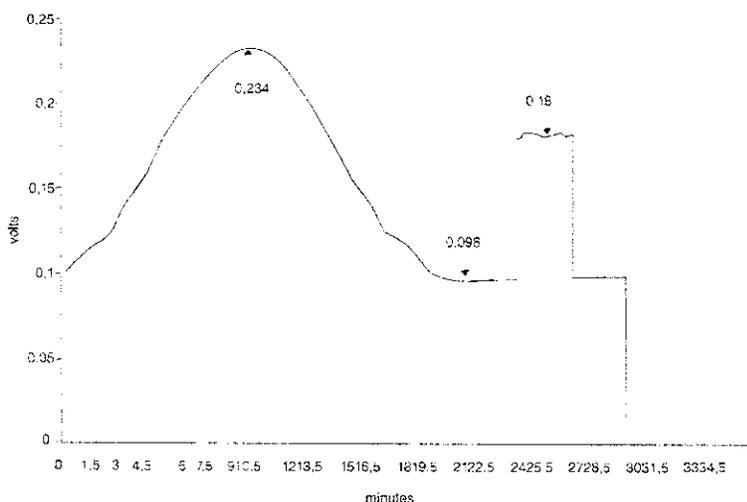
On étalonne le radiotélescope en dirigeant l'antenne vers le sol. On peut alors estimer qu'elle reçoit du sol un signal dont la température est de 300 K et qui couvre la totalité du lobe. La variation obtenue en sortie est environ de 153 divisions par rapport à la ligne de base mesurée sur le fond du ciel.

Lorsque l'antenne est dirigée vers le Soleil, la variation en sortie est de 218 divisions par rapport au fond du ciel mais on doit tenir compte du fait que le Soleil ne couvre pas tout le lobe de l'antenne :  $32'$  sur  $2^\circ$  représentent un rapport de 0,25 en diamètre soit 0,0625 en surface.

Donc la température de brillance du Soleil est environ :

$$(300 \times 218 / 153) \times (1 / 0,0625) = 6850 \text{ K.}$$

Observation du Soleil au lycée Cromer de Baveux  
le samedi 08 novembre 1997



### Température de brillance du Soleil.

Lorsque l'antenne est dirigée vers le Soleil, la variation en sortie est de 136 divisions par rapport au fond du ciel.

Lorsque l'antenne est dirigée vers le sol, la variation en sortie est environ de 84 divisions par rapport à la ligne de base mesurée sur fond du ciel.

La température de brillance vaut environ :

$$(300 \times 136 / 84) \times (1 / 0,0625) = 7770 \text{ K.}$$

D'autres observations sont possibles sur le Soleil : par exemple une poursuite continue pourrait être intéressante. Elle permettrait une surveillance du niveau du soleil calme et une étude des sursauts de type IV, en période d'activité solaire. Mais elle nécessite une motorisation automatisée de l'antenne.

Des radiosources autres que le Soleil devraient être détectables (Cassiopée A, Cygnus A, etc...). Ce point demande confirmation car les signaux captés par l'antenne doivent être extrêmement faibles.

*Noter que la météorologie peut influencer considérablement la réception. La fréquence est élevée et atteint le domaine dans lequel la propagation des ondes est fortement affectée par les nuages et surtout par la pluie.*

## 4 - Bilan provisoire.

### Diamètre apparent du Soleil :

La valeur de la largeur à mi-puissance obtenue lors d'expériences réalisées à Nançay en février et septembre 1997 est de 11 minutes de temps.

Elle varie entre 9,5 et 10 minutes de temps lors des expériences réalisées au lycée Chartier en octobre et novembre 1997 avec une autre antenne (Philips - diamètre 75 cm).

Compte-tenu de l'éclairement non uniforme de la parabole par le cornet d'une part et d'autre part des différences observées lors de ces expériences, il apparaît que la détermination du diamètre apparent du Soleil pose un problème complexe mais néanmoins très intéressant. Il est donc nécessaire d'analyser tous les paramètres et en particulier la fonction d'antenne et la fonction émissive du Soleil.

### Température de brillance :

En relevant sur chaque graphique les valeurs des variations en sortie pour le Soleil et pour la Terre, par rapport au fond du ciel et en tenant compte du coefficient de rapport de surface "Soleil antenne" de 0,0625 dans un premier temps et de 0,05 dans un deuxième temps pour tenir compte du facteur de dilution calculé par monsieur Lantos de l'Observatoire de Meudon, on obtient :

$T_{\text{brillance}} =$

$$300 \times (h_{\text{Soleil}} / h_{\text{Terre}}) \times (1 / \text{coeff.}).$$

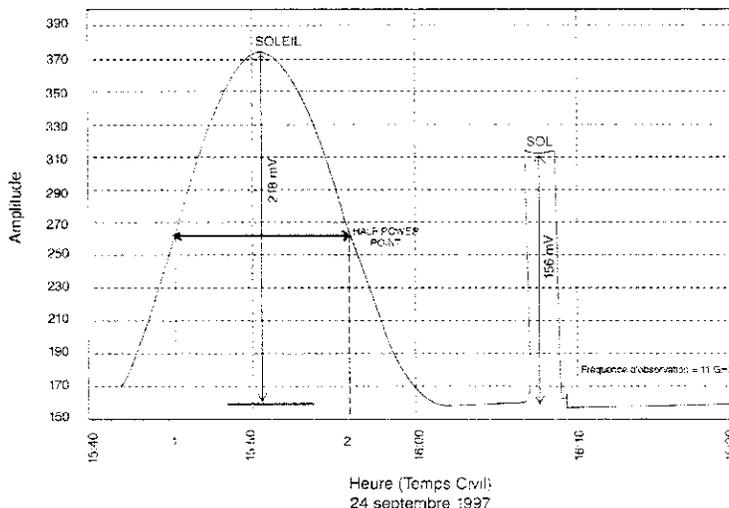
On peut estimer que la température de brillance du Soleil pour la partie basse de la région de transition est de l'ordre de 8 000 à 10 000 K et est donc nettement supérieure à la température de brillance de la photosphère.

La valeur moyenne donnée pour la température de brillance de la région de transition, en période calme est de 10 000 K.

**Complément** : à la suite de la semaine organisée à Bayeux dans le cadre du projet européen Socrates Comenius, Richard Field (Oundle School, Peterborough, UK) a rédigé le document ci-dessous.

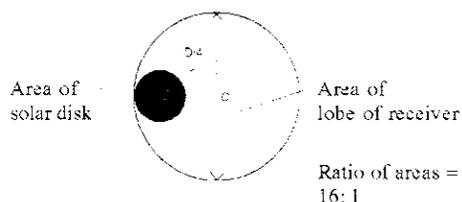
*Solar radio astronomy experiment.*

The satellite TV dish is pointed at the sun and adjusted to obtain a signal directly of the receiver horn. The 11 GHz signal has a bandwidth of 20 MHz and is amplified and integrated to give the datalogged signal shown below. The solar image is approximately one quarter of the diameter of the main lobe of the dish receiver. The receiver is pointed at the ground to calibrate its sensitivity to temperature - this time the signal covers the whole lobe.



**Theory : solar surface temperature :**

- Amplitude of solar signal above signal noise : 218 mV
- Amplitude of soil signal above signal noise : 156 mV
- Soil temperature : 295 mV
- True amplitude of solar signal allowing for fraction of area of lobe covered by sun :  $218 \times 16 = 3488 \text{ mV}$
- Therefore solar temperature :  $(3488 \times 295) / 156 = 6596\text{K}$



**Angular diameter of sun :**

Wavelength of signal,  $\lambda = 3 \text{ cm}$  ; diameter of dish,  $D = 80 \text{ cm}$ . Therefore width of main lobe of receiver (cf. single-slit diffraction) is  $\lambda / D = 3 / 80 = 0.0375$  radians. This is equivalent to  $2^\circ 9'$  of arc.  
 The half-power points of the signal are at 15:45 h and 15:55.9 h (1 and 2 on diagram).  
 So the signal width =  $55.9 - 45 = 10.9'$ .  
 As the sun moves  $360^\circ$  in 24 h, it will move  $1^\circ$  in 4 minutes, and so in  $10.9'$  it would move  $2^\circ 43.5'$  and the sun's width is thus  $2^\circ 43.5' - 2^\circ 9' = 34.5$  minutes of arc.

