

OBSERVATOIRE DE PARIS

STATION DE RADIOASTRONOMIE DE NANCY

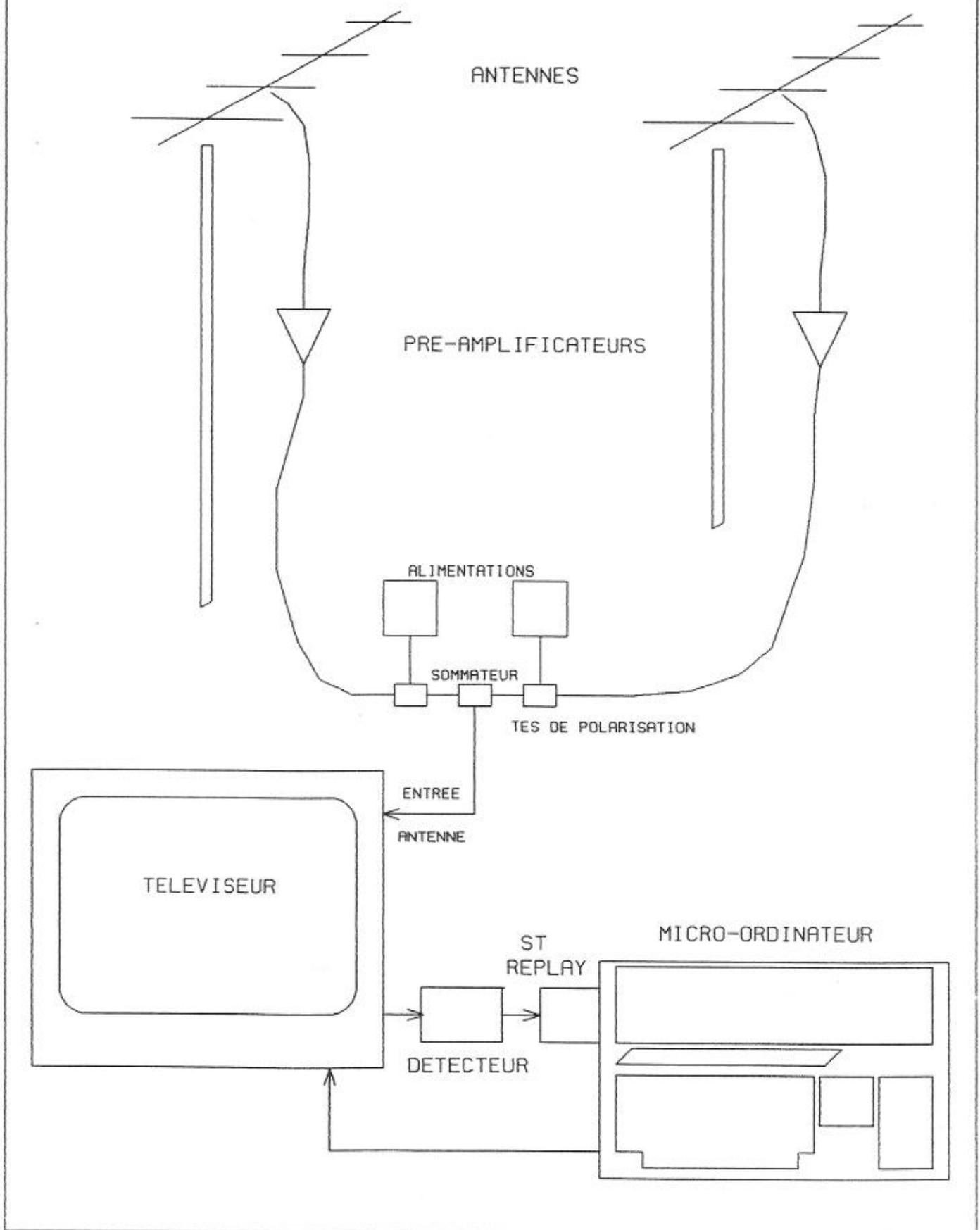
LA RADIOASTRONOMIE D'AMATEURS

UN INTERFEROMETRE SOLAIRE SIMPLE

Conçu par François BIRAUD

Réalisé par Bernard DARCHY

SCHEMA DE PRINCIPE



Petit lexique

On commencera par définir un certain nombre de termes techniques qui vont être fréquemment employés par la suite.

Fréquence - Les ondes électromagnétiques étant des vibrations, la fréquence (F) d'une onde est le nombre de ses vibrations par seconde. Unité de fréquence : le HERTZ. Dans ce qui suit on utilisera communément le MEGAZHERTZ (MHz).

1 MHz = 1 million de vibrations par seconde.

Abréviations : HF - haute fréquence
courantes RF - radio-fréquence
MF - moyenne fréquence
BF - basse fréquence.

Bande passante - La largeur de bande ou bande passante d'un circuit est la gamme de fréquences dans laquelle il est capable de fonctionner.

Longueur d'onde - En même temps qu'elle vibre, l'onde se déplace à la vitesse de la lumière ($c = 300.000 \text{ km/s}$). Sa longueur d'onde (λ) est la distance qu'elle parcourt pendant une vibration.

$$\lambda = c/F$$

Nous travaillerons avec des ondes dont la fréquence sera de 600 MHz, et dont la longueur d'onde sera de 0,5 mètre.

Unités électriques

L'ampère est l'intensité de courant électrique qui transporte en 1 seconde la quantité de courant unité (1 coulomb).

Le Volt est la différence de potentiel -on dit aussi la *tension (électrique)*- existant entre 2 points tels que si une charge de 1 coulomb se déplace de l'un à l'autre, le travail des forces électriques est de 1 joule.

L'Ohm est la résistance d'un conducteur qui est traversé par un courant de 1 ampère si on lui applique une tension de 1 volt.

Le Watt est la puissance d'un système qui fournit ou consomme un travail de 1 joule en 1 seconde. En électricité, le watt est la puissance d'un circuit qui fournit ou consomme un courant de 1 ampère sous une tension de 1 volt.

Abréviations: A = ampère
électriques V = volt
 Ω = ohm
W = watt.

Gain - Le gain d'un circuit électronique est le rapport entre sa puissance de sortie P_s et sa puissance d'entrée P_e :

$$G = P_s/P_e$$

Si G est inférieur à 1, on parle alors d'une *atténuation*.

Le gain est souvent évalué en *décibels (dB)*:

$$G(\text{dB}) = 10 \log_{10}(P_s/P_e)$$

Dans le cas d'une atténuation, G(dB) est négatif.

RECEPTION DANS LES BANDES DE TELEVISION

La Puissance des signaux

Les émetteurs principaux de télévision ont une puissance de l'ordre de 10 kW.

A 20 kms de distance, la sphère totale illuminée représente une surface de

$$4\pi R^2 = 5.10^9 \text{ m}^2$$

Si on suppose l'émission omni-directionnelle, chaque mètre carré reçoit une puissance de

$$2.10^{-6} \text{ watts}$$

Dans le même domaine de fréquences, la puissance que nous recevons du soleil vaut environ

$$10^{-22} \text{ watts/m}^2/\text{Hz},$$

soit, dans une bande passante de 5 MHz, qui est celle d'un récepteur de télévision

$$5.10^{-16} \text{ watts/m}^2$$

On voit que la puissance reçue du soleil sera quelques milliards de fois plus faible que celle d'un émetteur TV situé à 20 kilomètres.

Il faut absolument éviter de régler le radiotélescope sur une fréquence utilisée par un émetteur TV proche.

Les Bandes de fréquence

Les bandes de fréquence utilisées par les réseaux de télévision occupent une partie des bandes *VHF* et *UHF*.

La bande *VHF* (Very High Frequency) couvre les fréquences de 30 à 300 MHz et la bande *UHF* (Ultra High Frequency) va de 300 à 3000 MHz. Les parties occupées par la Télévision vont de 160 à 250 MHz en *VHF* et de 470 à 870 MHz en *UHF*.

La bande *VHF* serait sans doute la plus intéressante pour l'étude du soleil dont elle permettrait de capter les sursauts en ondes métriques, mais la température du fond du ciel y est plus élevée et surtout, elle est extrêmement encombrée par des émetteurs terrestres de toutes sortes. C'est pourquoi on a choisi des antennes capables de fonctionner dans la bande *UHF*.

La Polarisation

Comme on le verra plus loin dans la liste des émetteurs de télévision, la grande majorité de ceux-ci émettent en polarisation horizontale, c'est à dire qu'on les capte en disposant les antennes avec les brins horizontaux. Par suite, on aura plus de chances d'éviter la réception de signaux TV en plaçant nos antennes en polarisation verticale, donc avec leurs brins verticaux.

Liste des émetteurs de Télévision autour de Steige

		<u>TF1</u>	<u>A2</u>	<u>FR3</u>	<u>C+</u>	<u>La5</u>	<u>M6</u>
		<i>(numéros des canaux)</i>					
Epinal	<i>Bois de la Vierge</i>	65	60	63	10V		
Forbach	<i>Kreutzberg</i>	47	22	25	28		
Metz	<i>Luttange</i>	37	34	31	05V		
Nancy	<i>Malzéville</i>	23	29	26	08	55	43
Sarrebourg	<i>Donon</i>	40	53	50			
Strasbourg	<i>Nordheim</i>	62	56	43	10V		
Wissembourg	<i>Eselberg</i>	54	48	51			

Les canaux dont le numéro est suivi d'un V sont en polarisation verticale. Tous les autres émettent en polarisation horizontale.

La fréquence de l'émetteur en fonction du numéro de canal, en UHF se calcule par la formule suivante:

$$F = 303,25 + 8N$$

*Emetteurs se trouvant dans la bande des antennes
(entre 500 et 700 MHz)*

<i>Canal</i>	<i>Fréquence</i>	<i>Emetteur</i>	<i>Puissance</i>
25	503 MHz	Forbach	2 kW
26	511	Nancy	10 kW
29	535	Nancy	"
31	551	Metz	25 kW
34	575	"	"
37	599	"	"
40	623	Sarrebourg	2 kW
43	647	Strasbourg	25 kW
47	679	Forbach	0,5 kW
50	703	Sarrebourg	2 kW

On essaiera de trouver une fréquence "calme" entre 550 et 650 MHz en évitant les émetteurs des canaux ci-dessus et surtout celui de l'émetteur du Donon, à 623 MHz qui pourrait être le plus gênant.

Dans une région montagneuse, on a la chance d'être protégé par le relief de beaucoup d'émetteurs lointains. Par contre, il existe une multitude de petits ré-émetteurs locaux dont voici la liste pour ceux qui sont à moins de 20 km de Steige:

(ces stations concernent uniquement les trois premières chaînes. On a noté également leur puissance approximative)

Ste Marie-aux-Mines	<i>Rocher du Coucou</i>	29	35	32	10 W
St Dié	<i>Roche St Martin</i>	49	43	46	10 W
Saales	<i>Moulin de la Bruche</i>	25	22	51	1 W
Maisonsgoutte	<i>Erdbeerberg</i>	37	25	22	0,1 W
Urbeis	<i>Le Perris</i>	46	49	59	1 W
Natzviller	<i>La Haute Goutte</i>	47V	36V	44V	0,1 W
Villé	<i>Le Schramm</i>	55	52	39	1 W
Provençères	<i>Bellevue</i>	62	59	56	10 W
"	<i>Spitzenberg</i>	52	27	33	10 W
Steige	<i>Voiemont</i>	44	47	50	0,1 W

LES ANTENNES - MONTAGE ET POINTAGE

Description des Antennes et du matériel annexe

On utilisera des antennes de télévision ordinaires, du type YAGI, composées d'un dipôle replié en forme de trombone et d'un certain nombre de brins réflecteurs (à l'arrière du dipôle) et directeurs (à l'avant du dipôle).

On a choisi des antennes capables de fonctionner sur les canaux de télévision 31 à 49, soit entre les fréquences 550 et 700 MHz. Elles comportent 16 éléments dont le dipôle, deux brins réflecteurs et 13 brins directeurs. Leur gain est approximativement de 10 dB.

Une antenne possède un gain de 10 dB quand, au lieu d'être également sensible dans toutes les directions (sur 360°), elle est seulement sensible -mais 10 fois plus- sur un angle de 36° autour de son axe.

Sur les antennes seront installés des pré-amplificateurs qui renforceront les niveaux des signaux avant leur transmission vers le récepteur de télévision. Les pré-amplificateurs ont un gain de 24 dB et peuvent amplifier tous les signaux dont les fréquences sont comprises entre 470 et 860 MHz.

Les pré-amplificateurs ne fonctionnent que si on leur fournit un courant continu dit d'alimentation. Chaque pré-amplificateur sera donc alimenté en courant continu par une alimentation 24 volts, 50 milliampères.

Les courants d'alimentation sont envoyés vers les pré-amplificateurs par les câbles coaxiaux servant aussi à transmettre les signaux HF depuis les antennes jusqu'au téléviseur. Ils sont introduits dans les câbles coaxiaux par des tés de polarisation utilisés pour séparer les signaux HF des signaux continus.

Enfin, les antennes sont installées sur des mâts métalliques de 4 mètres de hauteur constitués de 4 tubes d'acier galvanisé de 1 m chacun et qui seront plantés dans le sol à une vingtaine de mètres de distance.

L'ensemble de ce matériel est distribué par la société Portenseigne, dont l'agence régionale se trouve à l'adresse suivante

2, allée d'Auteuil
Parc d'activités de Brabois
54503 Vandoeuvre-les-Nancy
(Tel. 83.91.36.00)
Tél : 83.59.38.00

Liste du Matériel Portenseigne

<i>Désignation</i>	<i>Référence</i>	<i>Prix HT</i>	<i>Qté</i>
Antenne UHF, type Yagi	413.16.49	174	2
Pré-amplificateur UHF	04.523.00	297	2
Alimentation	01.580.10	123	2
Té coaxial adapté	01.750.01	20	2
Fiches coaxiales femelles	05.751.07	2,5	10
Fiches coaxiales mâles	05.752.07	2,5	10
Câble coaxial	01.776.07	4,58	100m
Élément de mât emboitable	04.650.35	26	8

Prix total HT : 1944 F (TTC : 2305 F).

Installation des antennes

- Procéder d'abord au montage des antennes.
- Les fixer sur l'extrémité d'un des éléments de mât.
- Installer les pré-amplificateurs en raccordant leur entrée au dipôle d'antenne et leur sortie à une longueur de 25 mètres environ de câble coaxial.
- Monter des fiches coaxiales femelles à l'autre bout des deux câbles.
- Les relier aux tés de polarisation ou connecteurs d'insertion des alimentations (attention au sens des tés de polarisation).
- Brancher les tés de polarisation sur les deux entrées d'un té coaxial adapté dont la sortie sera reliée à l'entrée antenne du téléviseur.
- Monter les 4 éléments de chacun des deux mâts et les planter dans le sol ou les fixer sur un support. Il faut choisir une base orientée EST-OUEST et bien dégagée vers le Sud. La distance entre les deux antennes doit être de 20 mètres environ.
- Diriger les antennes vers le soleil. Cette dernière opération n'est pas aussi évidente qu'il y paraît, surtout si le soleil est caché derrière des nuages. On trouvera dans ce qui suit les calculs et la procédure à suivre.

Coordonnées Horizontales et Coordonnées Equatoriales

La direction vers laquelle vise une antenne peut être repérée, dans un système de coordonnées horizontales, par son azimut, a , et son site, h . L'azimut est l'angle entre le méridien du lieu et la projection horizontale de l'antenne. Le site est l'angle, mesuré dans le plan vertical, entre l'antenne et sa projection horizontale.

Par contre, la direction d'un astre est donnée, dans un système de coordonnées équatoriales célestes, en ascension droite, α , et déclinaison, δ . Ou bien encore, dans un système de coordonnées horaires, en déclinaison, δ , et angle horaire, H , tel que:

$$H = T - \alpha \quad (T = \text{Temps Sidéral})$$

L'angle horaire du soleil est relativement facile à déterminer sans faire intervenir le temps sidéral, si on connaît l'heure de passage du soleil au méridien du lieu. Les éphémérides donnent l'heure de passage du soleil au méridien de Paris et il faut lui retrancher environ 20 minutes pour avoir celle du méridien de Steige. A partir de là, il suffit de lire sur une montre le temps qui sépare l'heure courante de celle du passage du soleil au méridien pour avoir l'angle horaire.

SOLEIL. - JUILLET 1990

Jour			Position du Soleil à 0 h UT				A Paris (UT)			
du mois	de la semaine	de l'année	Date Julienne à 12 h UT	Temps sidéral de Greenwich à 0 h UT	Ascension droite		Déclinaison	Lever	Passage au méridien	Coucher
					h	m				
			244	h m s	h m s	°	'	h m	h m	h m
1	D	182	8074	18 35 9	6 38 50	+ 23	8	3 53	11 54,4	19 56
2	L	183	8075	18 39 6	6 42 59	23	4	3 53	11 54,6	19 56
3	M	184	8076	18 43 3	6 47 6	23	0	3 54	11 54,8	19 55
4	M	185	8077	18 46 59	6 51 14	22	55	3 55	11 55,0	19 55
5	J	186	8078	18 50 56	6 55 21	22	50	3 55	11 55,2	19 55
6	V	187	8079	18 54 52	6 59 28	22	44	3 56	11 55,3	19 54
7	S	188	8080	18 58 49	7 3 35	22	38	3 57	11 55,5	19 54
8	D	189	8081	19 2 45	7 7 41	22	32	3 58	11 55,7	19 53
9	L	190	8082	19 6 42	7 11 47	22	25	3 59	11 55,8	19 52
10	M	191	8083	19 10 38	7 15 52	22	18	4 0	11 55,9	19 52
11	M	192	8084	19 14 35	7 19 57	22	10	4 0	11 56,1	19 51
12	J	193	8085	19 18 32	7 24 2	22	2	4 1	11 56,2	19 50
13	V	194	8086	19 22 28	7 28 6	21	54	4 2	11 56,3	19 50
14	S	195	8087	19 26 25	7 32 9	21	45	4 3	11 56,5	19 49
15	D	196	8088	19 30 21	7 36 13	21	36	4 4	11 56,6	19 48
16	L	197	8089	19 34 18	7 40 15	21	27	4 6	11 56,7	19 47
17	M	198	8090	19 38 14	7 44 18	21	17	4 7	11 56,7	19 46
18	M	199	8091	19 42 11	7 48 19	21	7	4 8	11 56,8	19 45
19	J	200	8092	19 46 7	7 52 21	20	56	4 9	11 56,9	19 44
20	V	201	8093	19 50 4	7 56 21	20	45	4 10	11 57,0	19 43
21	S	202	8094	19 54 1	8 0 21	20	34	4 11	11 57,0	19 42
22	D	203	8095	19 57 57	8 4 21	20	22	4 12	11 57,1	19 41
23	L	204	8096	20 1 54	8 8 20	20	10	4 14	11 57,1	19 40
24	M	205	8097	20 5 50	8 12 18	19	58	4 15	11 57,1	19 39
25	M	206	8098	20 9 47	8 16 16	19	45	4 16	11 57,1	19 38
26	J	207	8099	20 13 43	8 20 14	19	33	4 17	11 57,2	19 36
27	V	208	8100	20 17 40	8 24 10	19	19	4 18	11 57,2	19 35
28	S	209	8101	20 21 36	8 28 6	19	6	4 20	11 57,1	19 34
29	D	210	8102	20 25 33	8 32 2	18	52	4 21	11 57,1	19 32
30	L	211	8103	20 29 30	8 35 56	18	38	4 22	11 57,1	19 31
31	M	212	8104 244	20 33 26	8 39 50	+ 18	23	4 24	11 57,0	19 30

Apogée : le 4, à 5 h.

Avec la déclinaison, δ , l'angle horaire, H et la latitude du lieu, λ , on peut passer des coordonnées horaires aux coordonnées horizontales grâce aux formules suivantes:

$$\begin{aligned}\sin h &= \sin \lambda \cdot \sin \delta + \cos \lambda \cdot \cos \delta \cdot \cos H \\ \cos h \cdot \sin a &= \cos \delta \cdot \sin H\end{aligned}$$

Quelques valeurs remarquables :

(Notons que la latitude du lieu est $\lambda = 48^\circ,5$ et que la déclinaison du soleil au début de juillet est $\delta = 23^\circ$)

1 - Angle de site h : il se déduit de la première formule et vaut

$$\begin{aligned}h &= 64^\circ,5 && \text{pour } H = 0^\circ \\ h &= 46^\circ,4 && \text{pour } H = 45^\circ\end{aligned}$$

2 - Angle d'azimut a : quand on a calculé h , on trouve a par la seconde formule

$$\begin{aligned}a &= 0^\circ && \text{pour } H = 0^\circ \\ a &= 2,14 \cdot H && \text{pour } H \text{ petit } (<10^\circ) \\ a &= 70^\circ && \text{pour } H = 45^\circ\end{aligned}$$

Pointage des antennes

D'après les exemples numériques précédents, on voit que, pour être toujours pointées vers le soleil, les antennes doivent bouger en site et en azimut au cours de la journée.

L'angle d'azimut est mesuré à partir de la position du méridien et l'angle de site à partir du plan horizontal. Ces deux références seront donc soigneusement repérées au préalable, le méridien pouvant être matérialisé par une ligne tracée sur le sol ou un fil tendu.

Le pointage des antennes est heureusement facilité par le fait que leur champ de visée - on dit aussi leur lobe - est relativement large, plus de 30° . Une précision de quelques degrés sur les angles de position des antennes sera largement suffisante. Ces angles peuvent facilement être mesurés au moyen de grands rapporteurs, l'un horizontal et posé sur le sol au pied du mât, pour l'azimut, et l'autre vertical, fixé en haut du mât, pour le site.

Une fois que l'on aura correctement dirigé les antennes vers le soleil, on disposera d'un temps d'observation assez long. Ce temps disponible dépend de la largeur du lobe des antennes et de la vitesse du mouvement apparent du soleil dans le ciel:

- environ 6° par heure pour le site,
- environ 20° par heure pour l'azimut,

dans les conditions des calculs qui précèdent.

Si on se limite à des observations d'une durée de 3 heures de part et d'autre du méridien, il sera possible d'adopter pour l'angle de site une valeur moyenne entre 64° et 46° . On pourra régler l'angle de site à 55° et ce réglage restera valable pendant au moins 6 heures d'observation, sans que l'amplitude des signaux captés subisse de variation notable.

En ce qui concerne l'azimut, le soleil se maintiendra dans le champ des antennes, supposées immobiles, pendant 1h 30 à 2h. Au-delà de cette durée, si on corrige pas la position en azimut des antennes, on verra les signaux décroître lentement puis disparaître.

LE RECEPTEUR DE TELEVISION

C'est le poste de télévision qui va servir de récepteur. Les circuits de réception du téléviseur sont schématisés sur la figure N°1. Voici une description rapide des éléments de ce schéma:

L'amplificateur Haute Fréquence sert à renforcer le niveau des signaux arrivant de l'antenne, ceux-ci étant trop faibles pour être traités directement. Les principales caractéristiques de l'amplificateur HF sont sa bande passante, qui est très large (460-870 MHz, par exemple), et son gain.

Le Mélangeur permet de transposer la fréquence des signaux de la HF vers une fréquence intermédiaire (FI), centrée autour de 38 MHz et beaucoup plus facile à traiter.

L'oscillateur local HF sert à faire fonctionner le mélangeur HF. Sa fréquence détermine la fréquence des signaux HF qui seront analysés par le récepteur dans la bande de fréquence intermédiaire

$$F_{FI} = F_{OL} - F_{HF}$$

On passe d'une chaîne à l'autre sur le téléviseur en modifiant la fréquence de l'oscillateur local. De même, c'est le réglage de l'oscillateur local qui nous permettra de choisir une fréquence de fonctionnement exempte de parasites pour observer le soleil.

Le Filtre FI a pour fonction de délimiter la bande de fréquence analysée par le récepteur. Sa largeur est de 5 MHz autour de 38 MHz.

Le 2^e Mélangeur modifie la fréquence des signaux centrés autour de 38 MHz et les transpose en Vidéo, c'est à dire entre 0 et 5 MHz.

L'amplificateur vidéo augmente le niveau des signaux entre 0 et 5 MHz de façon à leur donner une amplitude finale de l'ordre de 1 volt.

LE CIRCUIT DETECTEUR

Le détecteur est le seul élément de ce radio-télescope solaire qui nécessite de réaliser par soi-même un petit montage électronique. Ce montage constitue un intermédiaire indispensable entre la sortie vidéo du téléviseur et l'entrée du convertisseur analogique-numérique. Il remplit plusieurs fonctions dont le schéma synoptique est représenté sur la figure N°2. Les différentes parties du détecteur sont les suivantes:

L'atténuateur sert à ajuster le niveau du signal qui entre dans le détecteur afin de faire travailler les autres éléments dans leurs meilleures conditions.

Le Filtre Passe-Bande laisse passer seulement une partie du signal vidéo. Il est accordé à 4,5 MHz environ, avec une largeur de bande de 1 MHz. Il contribue fortement à éviter les perturbations dues aux signaux parasites.

L'amplificateur 5 MHz a un gain de 20 dB. Son rôle consiste à augmenter le niveau du signal vidéo pour rendre possible sa détection par une diode peu coûteuse. Cet amplificateur est constitué par un transistor de type 2N2222A et quelques composants supplémentaires.

La Détection est réalisée au moyen d'une diode qui supprime les alternances négatives du signal, puis d'un filtrage qui produit une tension continue proportionnelle à la valeur moyenne des alternances positives. La diode de détection est du modèle OA202.

L'amplificateur continu augmente l'amplitude de la tension détectée (quelques millivolts) pour l'amener dans la plage de fonctionnement du convertisseur analogique-numérique, vers 1 ou 2 volts. On utilise pour cela un amplificateur opérationnel type LM308A.

Un schéma électrique détaillé du détecteur, avec la liste de ses composants, est donné sur la figure N°3.

Pour relier la sortie vidéo du téléviseur à l'entrée du détecteur, il faut la prélever sur la prise *Péritel* qui servira à connecter l'ordinateur au téléviseur. Cette sortie vidéo est disponible sur la broche N° 19 de la prise *Péritel*. On fera donc un branchement particulier afin de faire sortir de la prise *Péritel* un câble blindé ou coaxial dont le conducteur central sera relié à la broche 19 et le conducteur extérieur (la masse) à la broche N° 17.

LE MICRO-ORDINATEUR ET SES ACCESSOIRES

Le rôle du micro-ordinateur est d'enregistrer les signaux sortant du téléviseur et de les visualiser sous forme graphique sur l'écran du téléviseur.

Comme le micro-ordinateur ne peut traiter que des signaux numériques, il faut convertir le signal détecté analogique délivré par le détecteur en un signal numérique. Cette opération est effectuée par le convertisseur analogique-numérique qui reçoit une tension continue comprise entre 0 et 2,5 volts et la transforme en un signal numérique proportionnel qui sera compris entre 0 et 255.

Le micro-ordinateur doit être programmé de façon à lire les valeurs numériques que le convertisseur lui fournit, à les stocker dans sa mémoire et à les afficher sur l'écran. Le but étant de remplacer un enregistreur graphique, on fera afficher les résultats sous forme de courbes, plus faciles à lire et à apprécier que des tableaux de chiffres.

Ces courbes affichées sur l'écran pourront être recopiées sur des feuilles de papier au moyen d'une imprimante reliée à l'ordinateur.

L'un des buts principaux de cette opération étant de réaliser un radio-télescope pour le plus faible coût possible, on a choisi d'utiliser du matériel qui peut se trouver déjà dans de nombreux foyers. Pour cette raison le micro-ordinateur sera un modèle "familial" de préférence à un IBM-PC dont le prix est plus élevé et qui ne peut pas utiliser un téléviseur comme écran de visualisation. Avec un prix actuel de 3500 F, l'Atari 520 ST nous a semblé le mieux adapté à nos besoins par sa rapidité, sa puissance de calcul et sa souplesse d'emploi.

De plus, on trouve facilement dans le commerce le convertisseur analogique-numérique spécial pour les micro-ordinateurs Atari. C'est un module ST Replay qui se branche très simplement sur un connecteur des Atari.

Liste du matériel "micro"

Prix HT

Micro-ordinateur ATARI 520 ST	3500
Module ST REPLAY	790
Imprimante STAR LC-10	2450

Prix total HT : 6740 F (7994 F TTC)

FONCTIONNEMENT DE L'INTERFEROMETRE

Pour son analyse mathématique, on peut assimiler le signal provenant du soleil et capté par une antenne à une fonction sinusoïdale de la forme

$$E = E_0 \sin \Omega t$$

Ω est la *pulsation* de l'onde sinusoïdale, elle est égale à $2\pi F$.

A la sortie du récepteur, le détecteur fera la moyenne de cette fonction E intégrée sur un temps très supérieur à $1/\Omega$. On obtiendra donc un signal de sortie proportionnel à E_0 qui est sensiblement constant. Cela pour un radiotélescope à une antenne.

La situation est différente pour un interféromètre à deux antennes qui se présente selon le schéma de la figure N°4.

Si le signal reçu par l'antenne 1 s'écrit:

$$E_1 = E_0 \sin \Omega t,$$

celui qui est reçu par l'antenne 2 sera de la forme

$$E_2 = E_0 \sin(\Omega t + \phi).$$

En effet, le signal arrive en 2 avec un certain retard, ayant parcouru une distance supplémentaire d qui dépend de la distance D entre les deux antennes et de l'angle θ entre la perpendiculaire à la base et la direction du soleil. On peut dire aussi que le signal de l'antenne 2 est affecté d'un certain déphasage, ϕ tel que

$$\phi = 2\pi d/\lambda \approx (2\pi D \cdot \sin\theta)/\lambda$$

En connectant les deux antennes sur le même récepteur, on effectue l'addition des signaux:

$$E_1 + E_2 = E_0 \cdot [\sin\Omega t + \sin(\Omega t + \phi)]$$

ou

$$E_1 + E_2 = 2E_0 \cdot \sin(\Omega t + \phi/2) \cdot \cos\phi/2$$

Après la détection, on obtiendra un signal proportionnel au carré de l'amplitude, car le détecteur va fournir une tension de sortie V_s proportionnelle à la puissance du signal:

$$V_s = 4E_0^2 \cdot \cos^2(\phi/2)$$

ou

$$V_s = 4E_0^2 \cdot \cos^2[(\pi D \cdot \sin\theta)/\lambda]$$

On voit que l'amplitude du signal résultant de l'addition des signaux des deux antennes est elle-même sinusoïdale et varie en fonction de l'angle θ à mesure que le soleil se déplace dans le ciel.

Quand l'angle θ reste petit, on peut dire que $\sin\theta \approx \theta$ et on voit que l'amplitude V_s se comporte comme la fonction

$$V_s \sim 4E_0^2 \cdot \cos^2(\pi D\theta/\lambda)$$

Cette fonction passe par une succession de maxima et de minima lorsque l'angle θ varie:

- maxima pour $\theta = 0, \lambda/D, 2\lambda/D, \dots, n\lambda/D$
- minima pour $\theta = \lambda/2D, 3\lambda/2D, \dots, (2n+1)\lambda/2D$

La forme de ce signal est représentée sur la figure N°5.

Dans la réalité, les antennes ne reçoivent pas que le signal venant du soleil. Elles reçoivent aussi des signaux ou bruits parasites venant du fond du ciel ou du sol. De plus, le récepteur produit également un bruit parasite. La résultante de tous ces bruits est une tension de sortie d'amplitude $V_{\text{B}} = 4E_{\text{B}}^2$ qui vient se superposer à la tension V_{S} produite par le soleil et qui ne varie pas en fonction de l'angle θ .

En pratique, l'amplitude de bruit, $4E_{\text{B}}^2$, est beaucoup plus grande que le signal solaire, $4E_{\text{O}}^2$, et la somme des deux (figure N°6) est un faible signal sinusoïdal (par exemple 0,1 volt) superposé à un fort signal plus ou moins continu (par exemple 2 volts). C'est ce phénomène qui rend très délicate la réception des signaux de radioastronomie.

CALCUL DE L'INTERFRANGE EN FONCTION DE LA POSITION DU SOLEIL

Pour ce calcul, il faut d'abord exprimer la valeur de l'angle θ en fonction des angles connus que sont l'angle horaire, H, et la déclinaison, δ du soleil.

Dans un système de coordonnées équatoriales (voir figure N°7) où OP est la direction du pôle Nord, ou axe de rotation de la Terre, et WOY le plan équatorial, le vecteur \vec{u} représente la direction du soleil.

- l'angle horaire, H, est l'angle entre OY et la projection de \vec{u} sur WOY.

- la déclinaison, δ , est l'angle entre le vecteur \vec{u} et sa projection sur WOY.

- θ est l'angle entre le vecteur \vec{u} et sa projection sur POY. C'est aussi le complément de l'angle entre le vecteur \vec{u} et OW.

La projection de \vec{u} sur OW a pour valeur:

- en fonction de θ : $\cos(\pi/2 - \theta) = \sin\theta$
- en fonction de H et δ : $\sin H \cdot \cos\delta$

On peut reporter cette valeur de $\sin\theta = \sin H \cdot \cos\delta$ dans l'expression de l'amplitude du signal interférométrique, ce qui donne:

$$V_{\text{S}} = 4E_{\text{O}}^2 \cdot \cos^2[(\pi D \cdot \sin H \cdot \cos\delta) / \lambda]$$

EXERCICES : CALCULER L'INTERFRANGE LORS DU PASSAGE AU MERIDIEN ET POUR H = 45°

Les maxima des franges sont obtenus quand on a :

$$(\pi D \cdot \sin H \cdot \cos \delta) / \lambda = n\pi$$

ou
$$\sin H = n\lambda / D \cdot \cos \delta$$

1° cas - *Passage au méridien*

L'angle H étant petit, on admet que $\sin H = H$. L'interfrange, ou l'écart entre deux maxima successifs sera défini par

$$dH = \lambda / D \cdot \cos \delta.$$

Avec $\lambda = 0,5$ mètre, $D = 20$ mètres et $\delta = 23^\circ$, on obtient :

$$dH = 0,0272 \text{ radian} = 1,56 \text{ degré.}$$

Sachant que l'angle horaire varie de 15° par heure, l'interfrange en temps a une durée de

$$dH(t) = 6 \text{ minutes et } 13 \text{ secondes.}$$

2° cas - *Pour un angle de 45°*

Dans ce cas, on ne peut plus assimiler H à $\sin H$ et il faut tenir compte de l'expression complète :

$$\sin H = n\lambda / D \cdot \cos \delta$$

On obtiendra la variation de H en fonction de n en prenant la "*dérivée mathématique*" de cette expression, soit

$$\cos H \cdot dH = \lambda \cdot dn / D \cdot \cos \delta$$

L'interfrange est la variation dH correspondant à $dn = 1$

d'où
$$dH = \lambda / D \cdot \cos \delta \cdot \cos H$$

donc pour $H = 45^\circ$,
$$dH = 0,0384 \text{ radian} = 2,2 \text{ degrés.}$$

La durée de l'interfrange aura pour valeur :

$$dH(t) = 8 \text{ minutes et } 48 \text{ secondes.}$$

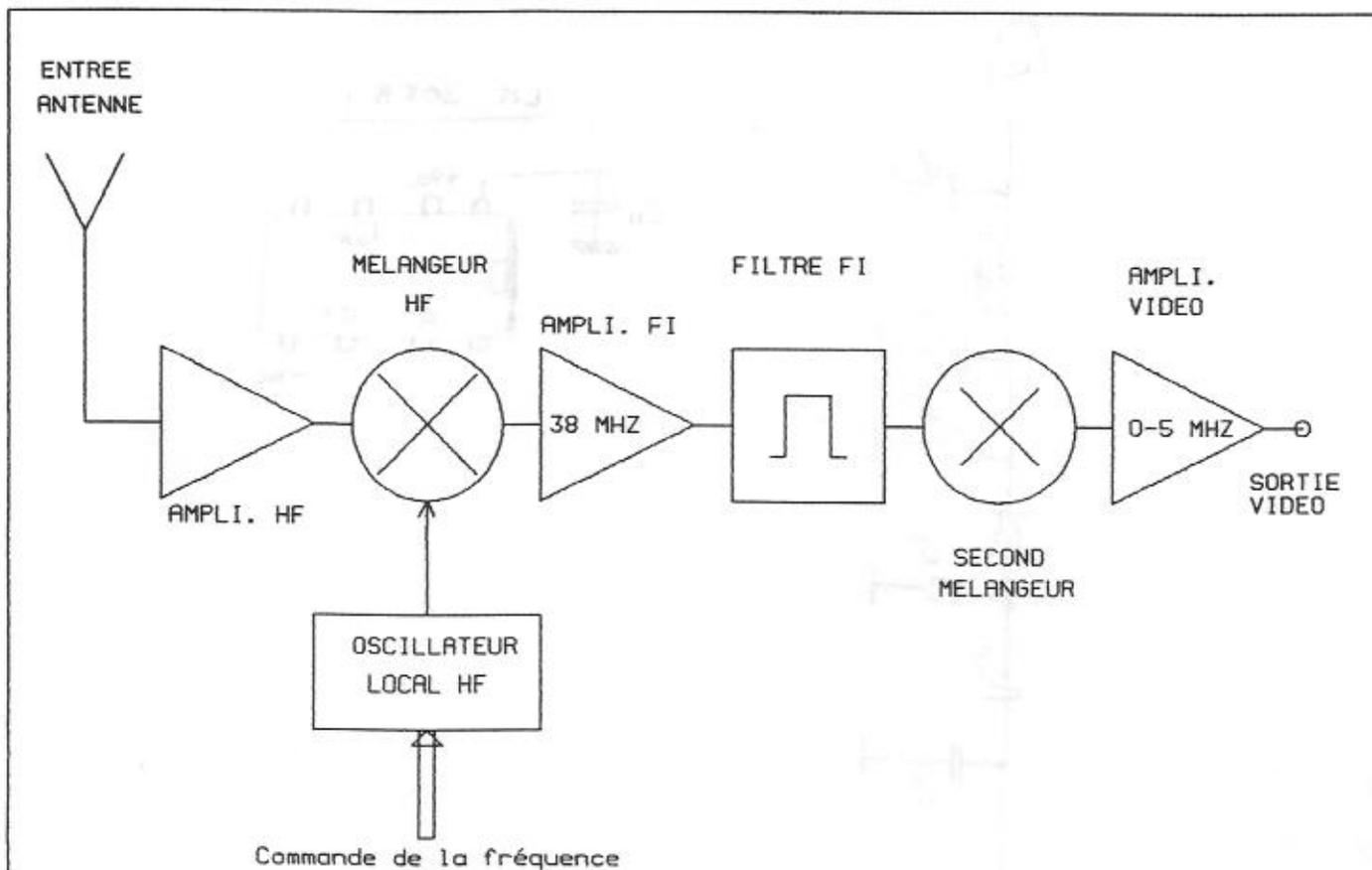


Figure N°1 - *Le Récepteur de Télévision*

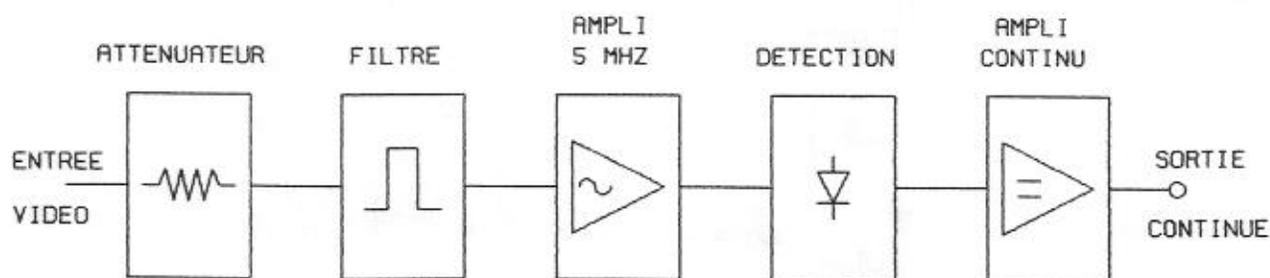
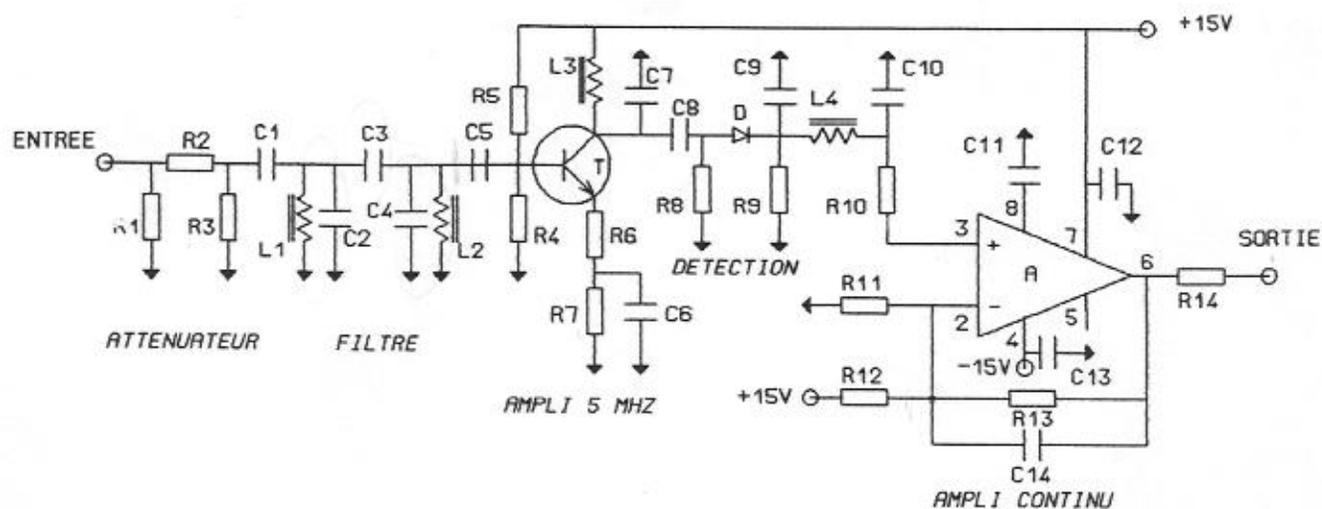


Figure N°2 - *Schéma synoptique du Détecteur*

OBSERVATOIRE DE PARIS STATION DE RADIOASTRONOMIE DE NANCAY		
Désignation:	Récepteur TV	Dessiné:
	et Synoptique du Détecteur	B. Darchy
Fichier:	STEIGEO1.CAD	Date: MARS 90

Figure N°3 - Schéma électrique du Détecteur



LISTE DES COMPOSANTS

<u>Résistances</u>			
R 1	100	Ω	
R 2	68		
R 3	100		
R 4	3300		
R 5	3300		
R 6	15		
R 7	680		
R 8	1000		
R 9	1000		
R10	10000		
R11	10000		
R12	1M		
R13	100000		
R14	220		

<u>Capacités</u>		
C 1	100	pF
C 2	150	pF
C 3	100	pF
C 4	220	pF
C 5	100	nF
C 6	1	μ F
C 7	220	pF
C 8	100	nF
C 9	470	pF
C10	470	pF
C11	100	pF ^x
C12	10	μ F
C13	10	μ F ^x
C14	1	μ F

Inductances L1 à L4 4,7 μ H

Autres
 T transistor 2N2222A
 D diode OA 202
 A amplificateur opérationnel LM308A

Alimentations + 15 volts, 16 mA et - 15 volts, 2 mA

OBSERVATOIRE DE PARIS STATION DE RADIOASTRONOMIE DE NANCY		
<u>Désignation:</u>	Schéma électrique du Détecteur	<u>Dessiné:</u> B. Darchy
<u>Fichier:</u>	STEIGE02.CAD	<u>Date:</u> MARS 90

Figure N°4 - *L'interféromètre à deux antennes*

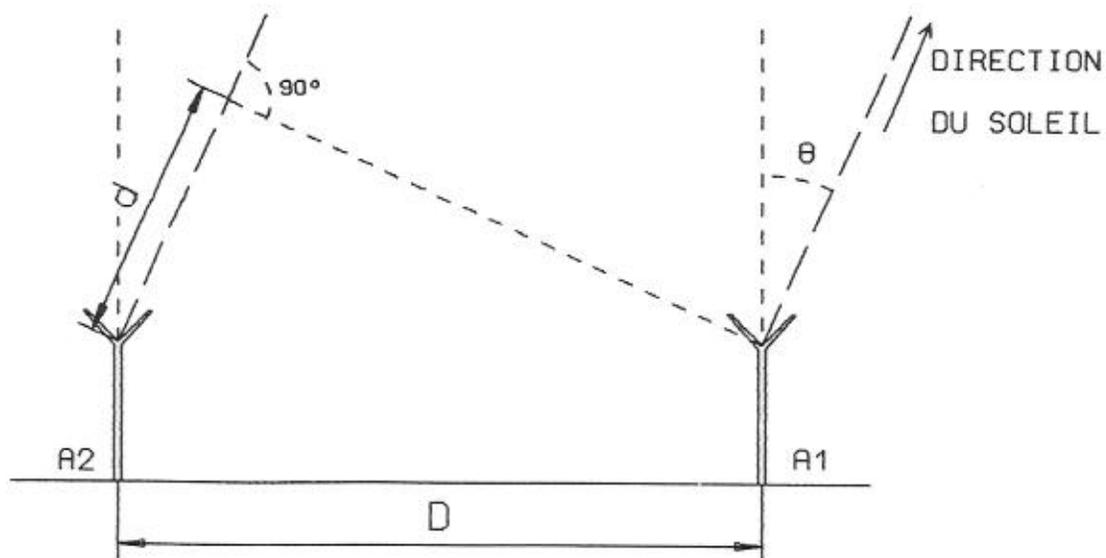
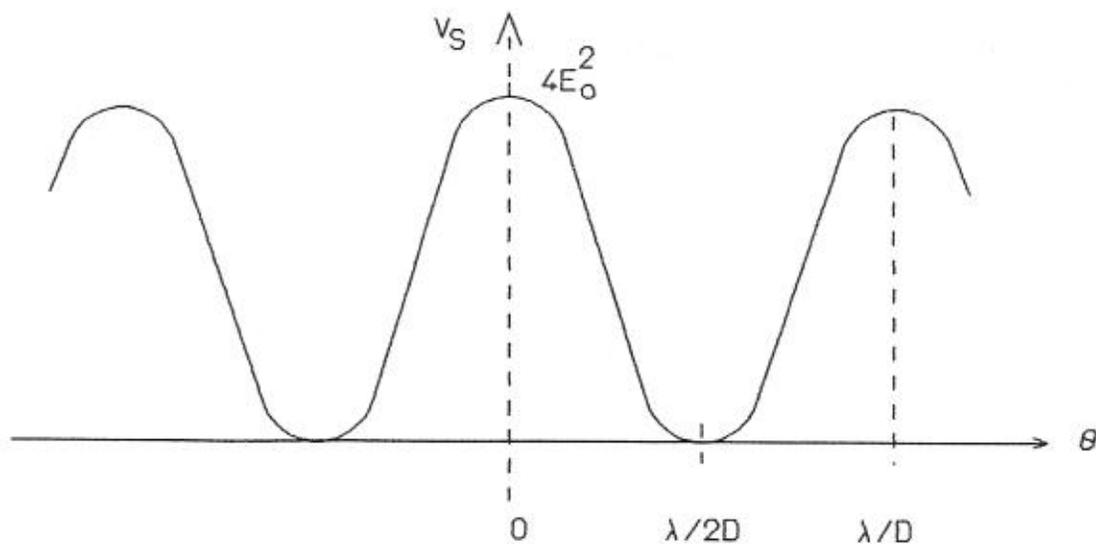


Figure N°5 - *Variation du signal en fonction de θ*



OBSERVATOIRE DE PARIS STATION DE RADIOASTRONOMIE DE NANCY		
Désignation:	Interféromètre	Dessiné:
	et Signal résultant	B. Darchy
Fichier:	STEIGE03.CAD	Date: MARS 90

Figure N°6 - *Le signal interférométrique réel*

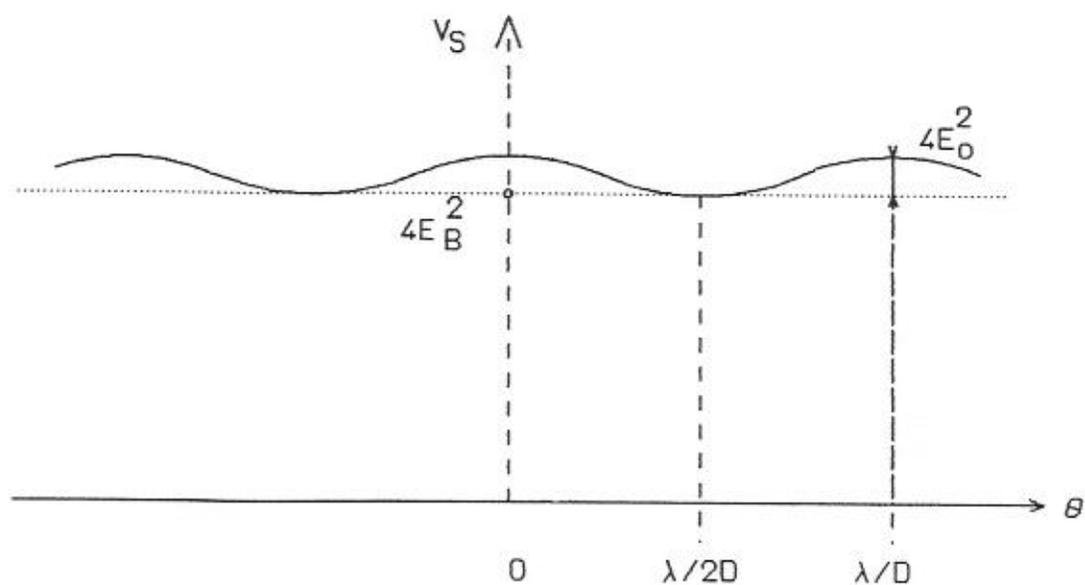
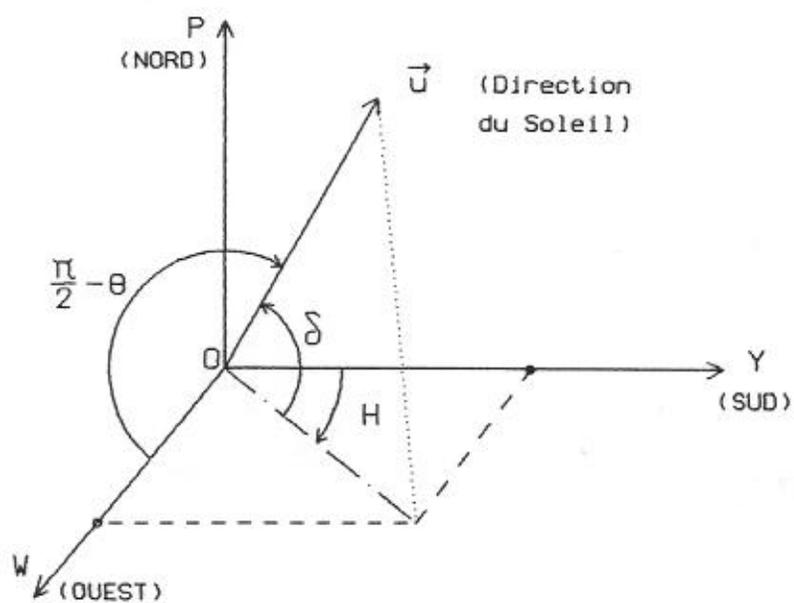


Figure N°7 - *Coordonnées équatoriales et angle theta*



OBSERVATOIRE DE PARIS STATION DE RADIOASTRONOMIE DE NANCY		
<u>Désignation:</u>	Signal réel et Coordonnées équatoriales	<u>Dessiné:</u> B. Darchy
<u>Fichier:</u>	STEIGEO4.CAD	<u>Date:</u> MARS 90