

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

**S U J E T**

**Antenne  
Parabolique  
Pour la TVDS**

Proposé par :

A \_ ZERGUERRAS

Etudié par :

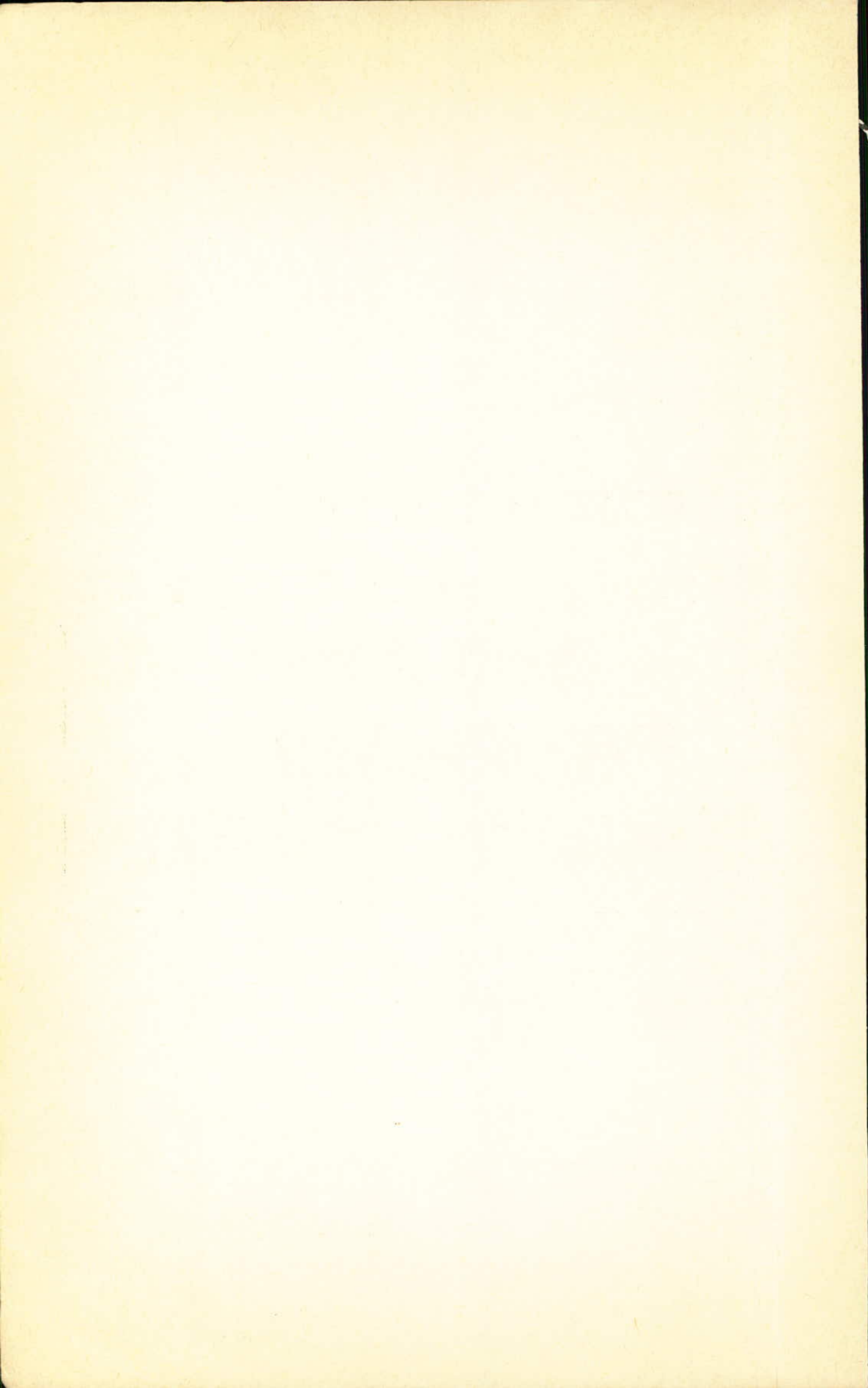
ZOUATNI \_ KARIMA

KADI \_ A \_ E \_ R

Dirigé par :

A \_ ZERGUERRAS

PROMOTION : JUIN \_ 86



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

**S U J E T**

**Antenne  
Parabolique  
Pour la TVDS**

Proposé par :

A \_ ZERGUERRAS

Etudié par :

ZOUATNI - KARIMA  
KADI - A - E - R

Dirigé par :

A \_ ZERGUERRAS

PROMOTION : JUIN 86

THE  
LIBRARY OF THE  
MUSEUM OF MODERN ART  
1000 MUSEUM AVENUE  
NEW YORK, N. Y. 10028



Je dédie ce projet de fin d'étude  
à toute ma famille et en particulier à  
la mémoire de mon grandpère Monsieur  
Bouzid Mustapha

Kadi Abderrahmane

Je dédie ce modeste travail  
à ma mère, pour tout son courage et  
son affection.

À mon père.

À mes frères et sœurs.

À tout mes ami(e)s.

Louatni Karima.



## Remerciements

Que tous les professeurs de l'école nationale polytechnique d'Alger qui ont contribué à notre formation trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude et de nos remerciements les plus sincères, en particulier Monsieur A. Zerquerras notre promoteur et Monsieur Trabelsi

Qu'il nous soit permis de remercier également:  
Monsieur Kadi Khoudir  
Monsieur Malaouini Mohamed

100-100000-100000  
100-100000-100000  
100-100000-100000

# ... SOMMAIRE

Chapitre (I): (page 1)

I) - Introduction.

II) - Les Satellites.

III) - Fonctionnement des satellites.

IV) - Les Satellites de Télécommunication.

V) - Listes des satellites Géostationnaires.

Chapitre (II): (page 18)

Problématique des liaisons par satellite.

Chapitre (III): de Réception (page 31)

I) - Les antennes

II) - Description des stations de réception

Chapitre (IV): Les antennes dans la réception à 12 GHz. (page 6)

I) - Réseau de dipôles replié

II) - Antennes parabolique.

Chapitre (V) Réalisation et expérimentation. (page 94)

Chapitre (VI): CONCLUSION. (page 106)



1875  
1876  
1877  
1878  
1879  
1880  
1881  
1882  
1883  
1884  
1885  
1886  
1887  
1888  
1889  
1890  
1891  
1892  
1893  
1894  
1895  
1896  
1897  
1898  
1899  
1900

## CHAPITRE I

### I) INTRODUCTION :

Il y a un siècle, les gens habitant sur des continents éloignés ou séparés par des océans, avaient du mal à communiquer entre eux, de part les faibles moyens de communication qui existaient en ce temps là et les longues distances qui les séparaient.

Avec le progrès de la Technologie, le temps qu'il fallait pour qu'un message parvienne d'un pays à un autre, a diminué.

Actuellement, les communications se font instantanément:

- par fils : ou câbles sous-marins (permet une grande capacité, plusieurs centaines de milliers de voies téléphoniques ou quelques canaux de T.V. jusqu'à des fréquences de l'ordre des GHz).
- par voie radio-électrique : c'est des liaisons à ondes décimétriques dont la qualité est très basse.
- par voie optique : conception moderne de communication ; grande capacité et grande vitesse de transport d'information appelée à de très nombreuses fonctions.

C'est les voies de l'avenir avec les satellites.

La civilisation actuelle et encore plus celle du futur, utilise les télécommunications par satellites.

L'importance des télécommunications par satellite sera ainsi caractérisé par la quantité de l'information transportée, la distance parcourue, et la vitesse de cheminement de l'information.

./...

1. The first part of the document  
describes the general situation  
of the country in 1950.

Aujourd'hui, il est courant de recevoir chez soi, instantanément, l'image d'évènements se déroulant aux endroits les plus éloignés du globe.

L'image étant qu'un type particulier d'informations (et c'est le plus complet), il en existe plusieurs autres types : information verbale, écrite, etc...

Grâce au procédé de transport moderne qui est la voie des ondes, on évite les déplacements par procédé mécanique : avion, bateau, train, etc... Ce qui implique directement une économie d'énergie considérable et des frais limités.

Nous voyons donc, qu'il y a une quantité considérable d'informations à transmettre et celle-ci est en augmentation continue, par conséquent il faut multiplier la capacité de transmission.

La théorie est là pour nous apprendre que la capacité croit avec la fréquence des ondes porteuses, ce qui nous pousse à étudier la technologie des hyper-fréquences (ou micro-ondes) dans les télécommunications.

Vu la géométrie de la terre, le satellite se présente comme étant le relais idéal entre continent.

THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
LIBRARY  
540 EAST 57TH STREET  
CHICAGO, ILL. 60637



## II) LES SATELLITES

Selon la fonction à laquelle est destiné le satellite, on détermine sa structure, sa trajectoire, ses équipements.

Quel que soit le type de satellite, l'une des caractéristiques la plus importante à laquelle il doit répondre est sa fiabilité.

Un satellite fiable est un satellite qui supporte les contraintes auxquelles il est soumis (thermique, mécanique, ect...)

De plus il doit être capable de s'approvisionner en énergie pour alimenter ses instruments.

La construction et la mise en orbite d'un satellite nécessite de gros investissements. Ceux-ci doivent absolument être compatibles avec la durée de vie qu'on exige d'un satellite. Cette durée de vie est imposée par ailleurs par les progrès de la technologie.

Un satellite opérationnel est un satellite qui est mis en orbite. Une orbite est caractérisée par :

- le périhélie : c'est le point de l'orbite le plus proche de la terre.
- l'apogée : c'est le point de l'orbite le plus éloigné de la terre.
- l'inclinaison : c'est l'angle formé par le plan de l'orbite et celui de l'équateur terrestre.
- période : durée nécessaire pour accomplir une révolution complète.

On peut rencontrer plusieurs possibilités de trajectoire :

- Orbite basse
- très allongée
- circulaire

1914  
1915  
1916

## A/ CLASSIFICATION DES SATELLITES

Le développement de la technologie dans la fabrication des satellites nous permet de classer les satellites dans deux grandes familles :

### 1°/ Les satellites passifs (ECHO)

Ce sont de simple réflecteur. L'onde sera réfléchi sans être amplifiée.

Leur avantage essentiel était l'absence d'énergie à bord. Mais leur inconvénient réside dans le fait qu'ils ne peuvent transmettre de larges bandes, et qu'ils peuvent résister aux poussières cosmiques.

### 2°/ Les satellites actifs (TELSTAR)

Ce sont des satellites qui contiennent à bord de l'énergie capable d'amplifier les ondes avant de les émettre à destination, et cela évite l'affaiblissement des signaux (c'est-à-dire de l'information) dans la propagation.

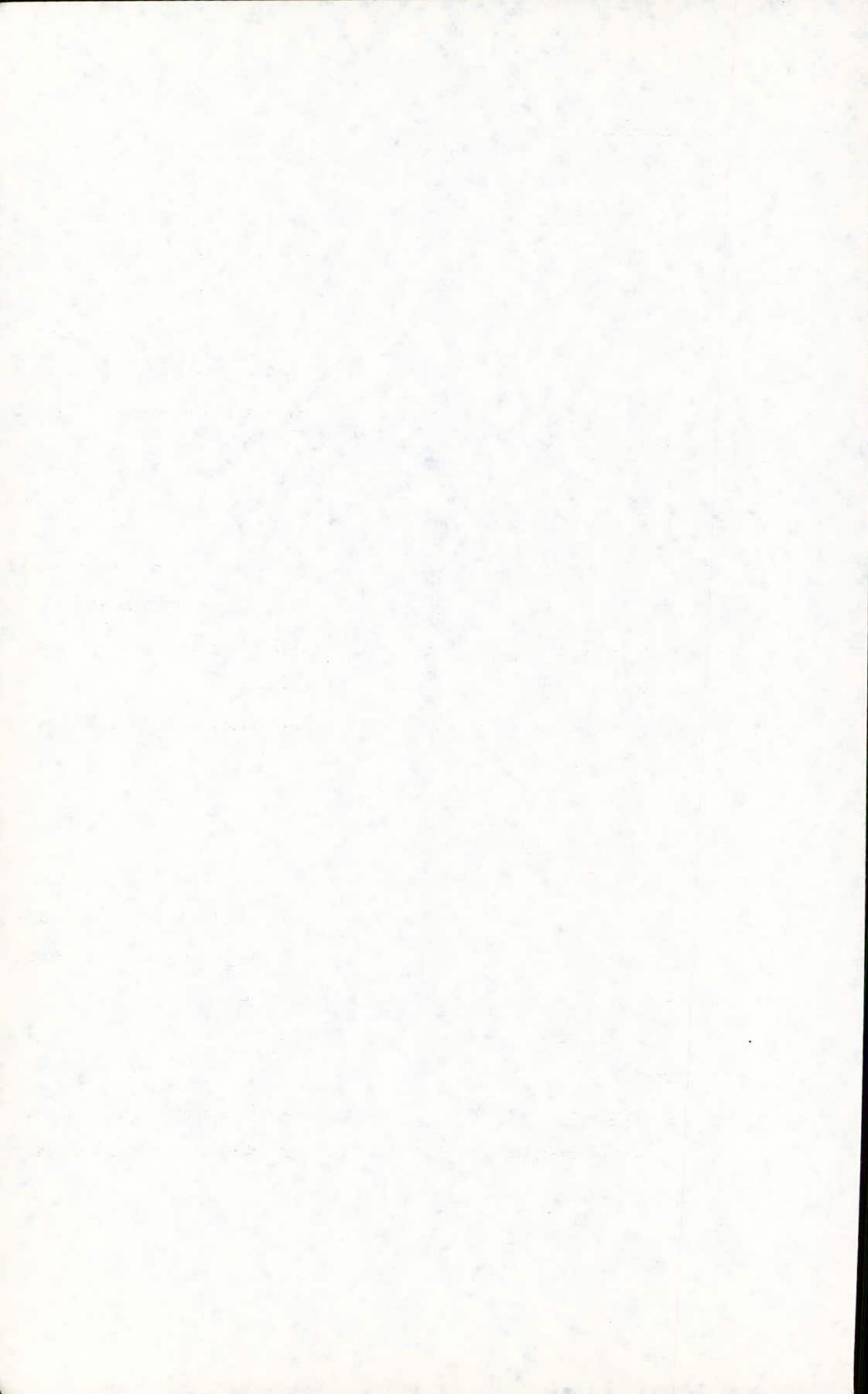
Dans cet ordre de classement, on peut grouper les satellites en deux catégories :

- les satellites à défilement
- les satellites synchrones

### 3°/ Les satellites à défilements :

Les satellites à défilements sont des satellites qui suivent la terre dans son mouvement de translation autour du soleil, mais pas dans son mouvement de rotation autour de son axe.

Ces satellites n'occupent pas une position fixe dans le ciel. Ce qui nécessite un équipement de repérage et de poursuite pour les antennes de réception terrestre.





Exemple :

Parmi les satellites à défilements on peut avoir :

a) les satellites à orbite polaire :

Ce sont des satellites qui gravitent dans des plans qui contiennent les pôles du globe terrestre ou qui passent à leur proximité (inclinaison proche de  $90^\circ$ ). Le mouvement du satellite sur son orbite ainsi que la rotation de la terre sur elle-même, permettent au satellite de couvrir toute la surface terrestre au moins deux fois par jour.

b) satellites hélio synchrone :

La valeur de l'angle d'inclinaison est comprise entre  $96^\circ$  et  $103^\circ$ , ce qui leur donne un caractère polaire. Ces satellites ont la propriété de survoler un lieu de latitude donné à une heure fixe, relativement à cet endroit (heure locale).

Ce type de satellite se prête bien aux études météorologiques et aux observations de la terre.

4°/ Satellite synchrone :

Ce sont des satellites qui suivent la terre dans son mouvement de rotation autour de son axe polaire. La durée de leur révolution est de un jour ; ce qui correspond à une période de 23 h. 56mn 4,1 s.

On peut en rencontrer deux types :

Exemple :

a) Satellite géosynchrone : ils sont caractérisés par la position de leur apogée qui se situe toujours au dessus du même point de la terre.





- b) Satellite géostationnaire : ils sont caractérisés par une orbite circulaire située à près de 36.000 Km dans le plan équatorial. L'intérêt de ce type de satellite est dans le fait qu'il apparaît immobile pour un observateur sur la terre. Le satellite tournant évidemment dans le même sens que la terre.
- .On peut citer quelques applications des satellites géostationnaires

Recherche scientifique :

Prenons pour exemple le satellite d'astronomie IVE lancé en 1978. Le caractère géostationnaire lui confère des avantages considérables.

- Il est en contact permanent avec les stations terrestres, et peut de ce fait être commandé et questionné à tout moment.
- Le champ de visé du télescope embarqué peut être identifié et modifié en direct, et l'astronome peut à 36.000 Km de là, l'utiliser pratiquement comme il le ferait d'un observatoire terrestre.
- Ajoutons un dernier avantage : la portion du ciel accessible aux investigations n'est occultée que dans un cône d'angle égal à  $17^\circ$ , correspondant à l'écran que constitue la terre vue de l'orbite.

Météorologie :

La fixité permet d'observer les déplacements globaux de la couverture nuageuse terrestre. C'est précisément le cas de Météosat : les images qu'il nous envoie sont maintenant couramment diffusées à la télévision et exploitées à des fins de prévisions météorologiques.

Télécommunication : La fixité par rapport à la terre, l'étendue de la zone qu'il "couvre" au sol en font un relais idéal. De plus, les antennes qui au sol servent précisément à assurer la "liaison satellite" demeurent fixes également et ne doivent plus être asservies pour suivre à chaque instant la position du satellite.



## B/ DIFFERENT USAGE DES SATELLITES :

Les satellites occupent une position très importante dans le monde entier (surtout pour les deux grandes forces). Leur utilité est rencontrée dans plusieurs domaines de la vie courante. Ils peuvent même constituer un danger pour l'humanité.

### a) Satellite militaire :

Les deux plus grandes forces mènent une course sans précédent pour la militarisation de l'espace, et cela dans le but de maintenir la paix nucléaire.

Plusieurs raisons les poussent à investir des sommes fabuleuses dans des programmes militaires, et parmi elles on peut retenir deux qui apparaissent essentielles :

La première est juridique : les satellites peuvent survoler n'importe quel espace aérien sans que pour cela violer l'intégrité territoriale. Quant à la deuxième elle appelle à des préoccupations militaires et géostratégiques.

70 % des informations obtenues par les Gouvernements et les Etats-Major proviennent de l'espace, c'est-à-dire, transmise par satellite ou par les avions espions de haute fidélité.

### b) Les satellites de reconnaissance :

Ils recouvrent une très grande gamme de missions parmi elles la photographie aérienne.

Ce sont des satellites à défilement en orbite basse, c'est-à-dire, entre 100 Km et 500 Km d'altitude.

Pour les premiers (100 Km d'altitude), ce sont des satellites de surveillance de zone. Leur trajectoire est définie de façon à survoler plusieurs fois de suite une même zone.

Dans le spectre du visible ils peuvent repérer un objet d'une dizaine de mètres environ.



.Pour les seconds (altitude 500 Km) ce sont des satellites dit "d'inspection rapprochée" ; ils sont là pour affiner l'information obtenue par les premiers, si cela est nécessaire.

c) les satellites d'alertes :

Leur pouvoir de résolution est de 30 cm d'après certains et de 3 mètres selon d'autres.

d) Il existe des satellites appelés "relais" :

Ils sont chargés de transmission de données de satellites à satellites, dans le cas par exemple où le parcours d'une portion d'orbite par ces derniers ne permet pas l'acheminement en "temps réel" d'une information vers un centre de décision.



### III - FONCTIONNEMENT D'UN SATELLITE DE TELECOMMUNICATION

Les satellites de communication comportent un ensemble d'organes d'émission et un ensemble d'organe de réception, des organes d'alimentations et de maintien en orbite.

Les équipements de communication constitue ce qu'on appelle la charge utile du satellite.

Pour assurer le bon fonctionnement des équipements, de la charge utile du satellite, un ensemble d'élément secondaire est adjoint au satellite. On distingue :

#### 1/ Une structure :

C'est la structure mécanique nécessaire pour le maintien des organes formant le satellite. Cette structure doit être assez résistive et assez légère pour supporter les contraintes du lancement. Une telle structure est fabriquée par des matériaux composite en fibre de carbone.

#### 2/ Un contrôle thermique :

Cet ensemble permet de maintenir chaque élément dans la gamme de température correspondant à son bon fonctionnement. Ceci est obtenu en choisissant, les peintures, les rélecteurs solaires, et l'isolation adéquate du revêtement externe du satellite.

Ce contrôle thermique permet aussi la répartition et le contrôle des puissances dissipées à bord du satellite.

#### 3/ Une alimentation électrique :

fournissant jour et nuit la puissance électrique nécessaire, à l'aide d'un générateur solaire, de batteries et circuits de régulation.

4/ Une stabilisation : chargée d'assurer le contrôle de l'attitude du satellite par rapport à la terre et au soleil, ce qui fait que les antennes seront toujours pointées vers la terre et le générateur solaire vers le soleil.

5/ Un système propulsif : chargé de corriger l'attitude et la position du satellite sur son orbite.

6/ Un ensemble de télémessure - télécommande - localisation : chargé d'informer le sol de l'état du satellite, de recevoir des commandes le concernant et de permettre sa localisation dans l'espace.

#### LA CHARGE UTILE

C'est l'ensemble des équipements de communication, donc on peut trouver des éléments chargés de recevoir, traiter et de réémettre les communications, comme les antennes et les répéteurs.

##### Les antennes :

Les antennes transforment l'onde électromagnétique reçue du sol en un signal électrique destiné à être amplifié par le répéteur ceci dans le cas de la réception. Une fois amplifié, le signal sera dirigé vers l'antenne d'émission où il subira la transformation inverse, c'est-à-dire, du signal électrique on retrouve l'onde électromagnétique destinée à être envoyée au sol.

Ce double travail, collecter l'énergie en provenance du sol ou de concentrer l'énergie vers une certaine direction au sol, nécessite la présence d'une source électro-magnétique qui sera placée au foyer d'un réflecteur parabolique.

./...



Suivant la constitution de l'antenne, les communications peuvent couvrir soit :

- l'intérieur d'un faisceau globale (exemple l'ensemble de la terre qui sera vue du satellite d'un angle de  $18^\circ$ )

soit :

- l'intérieur d'un faisceau régional

soit :

- l'intérieur d'un faisceau national couvrant parfois une zone très étroite (spot) dont l'ouverture angulaire est de l'ordre de  $1^\circ$

#### Les répéteurs :

A la sortie de l'antenne de réception, le signal est très faible, donc il doit être amplifié, filtré pour passer aux différents amplificateurs de puissance. Comme on doit lui changer sa fréquence pour qu'elle passe d'une fréquence de réception en une fréquence d'émission, et il sera amplifié pour être réémis.

La constitution simplifiée d'un récepteur est la suivante :

- récepteur : sa caractéristique la plus importante est sa température de bruit ; puisqu'il doit être très sensible pour pouvoir distinguer le signal utile du signal parasite.

La qualité globale de la réception est le rapport G/T (gain de l'antenne sur température de bruit).

./...

- amplificateur à l'entrée de faible bruit, et à large bande passante destiné à amplifier simultanément toutes les porteuses.
- mélangeur de transposition : associé à un oscillateur local, il transpose les fréquences de réception en fréquence d'émissions.
- démultiplexeur : Il est constitué par un ensemble de filtres. Chaque filtre possède une certaine bande passante. Donc, le rôle du démultiplexeur est de répartir les fréquences porteuses à chaque amplificateur de puissance qui lui est destiné.
- amplificateur de puissance : A la sortie du démultiplexeur, le signal doit être amplifié une centaine de milliards de fois pour être réémis avec une puissance suffisante.

On peut distinguer deux types d'amplificateurs :

\* les amplificateurs à T.O.P.

faisant appel à l'interaction de l'onde électrique avec un faisceau électronique.

Les amplificateurs à T.O.P. sont fiables ; ont un rendement de 30 à 40 %, une large bande passante et permettent de délivrer des puissances élevées à haute fréquence (plus de 200 W et 12 GHz)

\* les amplificateurs solides : Ils présentent un certain avantage de <sup>M</sup> passe, de linéarité, d'amplification, de fiabilité, mais ils ont un moins bon rendement ; ils sont limités en puissance de sortie.

\* multiplexeur : Il joue le rôle inverse d'un démultiplexeur ; il recombine après amplification à l'aide d'une série de filtres, les différentes porteuses et les dirige vers l'antenne d'émission

La caractéristique d'un satellite à l'émission est la P.I.R.E. (Puissance isotrope rayonnée équivalente) ; C'est le produit de la puissance de sortie avec le gain de l'antenne et elle s'exprime en décibels par rapport au Watt (DBW).



#### IV - SATELLITE DE TELECOMMUNICATION

##### A/ EVOLUTION DES TELECOMMUNICATIONS

L'évolution des télécommunications est essentiellement guidée par la recherche, comme déjà dit auparavant, de portée et de capacité toujours plus grande.

- en ondes guidées : les guides d'ondes commencent à être beaucoup plus utilisés que les câbles coaxiaux ou autres fils (haute fréquence).
- en radio communication : il a été possible grâce aux réflecteurs ionosphériques, d'assurer des liaisons à grande distance dans la gamme haute fréquence, mais avec :
  - . de faibles capacités
  - . une fiabilité des liaisons insuffisante
  - . une exploitation non aisée

Dès 1945, les faisceaux Hertziens apparurent comme des concurrents valables des câbles métalliques.

Avantages : transmission de plusieurs centaines de voies téléphoniques et quelques canaux de télévision

Désavantage : l'utilisation de fréquences élevées nécessite l'amplification à l'aide de relais instables sur des ponts hauts tous les 50 Kms en visibilité directe.

./...



En 1955, les faisceaux Hertziens transhorizons permettent dans une certaine mesure, de s'affranchir de la rondeur de la terre.

La propagation se faisant par diffusion troposphérique, nous avons :

- une portée : de 400 Kms
- une capacité : quelques dizaines de voies téléphoniques
- terminaux : antennes à grand gain
- émetteurs : de puissance supérieure au Kilo-Watt

Atténuation en diffusion troposphérique : de 20 à 24 dB pour un doublement de distance, alors qu'elle n'est que de 6 dB en espace libre.

Ainsi dès 1957, début de l'ère spatiale, il apparut que les technologies disponibles pour les faisceaux Hertziens troposphériques, permettaient d'assurer les liaisons en utilisant comme relais un satellite artificiel de la terre.

#### B/ INTRODUCTION DES SATELLITES DANS LES TELECOMMUNICATIONS

Les missiles et les micro ondes sont deux techniques (bien que différentes et éloignées) qui ont évoluées grâce à la deuxième guerre mondiale.

La maîtrise atteinte par la suite de ces deux techniques, a permis d'ouvrir l'ère des radiocommunications par satellite.

Ce nouveau service de communication complétait favorablement ceux fournis par les faisceaux Hertziens et les câbles.

L'ère spatiale s'est ouverte officiellement en 1957 avec le lancement du premier satellite artificiel "Spoutnik".

En 1958, le Président EISENHOWER (U.S.A.) a transmis ses voeux de Noël via Score aux troupes mobilisées en Europe.

Le satellite réflecteur Echo et le satellite de transmission différée Courier sont mis en fonctionnement en 1960.

En 1962 c'est l'envoi des satellites répéteurs à larges bandes Telston et Relay.

En 1963 c'est le premier satellite géostationnaire Syncom.

Le premier satellite géostationnaire commercial Intelsat I (ou Early Bird) et le premier satellite de télécommunication soviétique de la série des Molnya, furent envoyés en 1965.

## C/ SATELLITE DE TELECOMMUNICATION

### 1/ Exemple de système de télécommunication par satellite

Actuellement, il existe environ une cinquantaine de systèmes de télécommunication par satellite dans le monde entier. Si les premiers ont été internationaux rapidement certains pays ont voulu se doter d'un système national propre "domestic system".

On peut citer les systèmes internationaux :

#### - Les systèmes Intelsat :

C'est une organisation internationale qui regroupe plus de 100 pays, qui a mis ce système en oeuvre. Celui-ci est destiné aux liaisons internationales.

L'administration d'Intelsat (International télécommunication Satellite Organisation) loue les services rendus à ses membres qui peuvent, soit l'utiliser eux même, soit le sou-louer à d'autres utilisateurs.

Le système Intelsat achemine simultanément des milliers de conversations téléphoniques, de messages télégraphiques, de données numériques et de signaux de télévision.

#### - Le système Européen Eutelsat :

Eutelsat Intérimaire est une organisation qui comprend neuf pays Européens. Celle-ci a développé un système de télécommunication européen par satellite capable d'acheminer une fraction importante du trafic téléphonique, télégraphique, télex intra-européen et d'assurer le relais de programme de télévision diffusé en Eurovision.

Des services plus spécialisés (transmissions de données) téléconférences, communications avec les plates-formes pétrolières) sont envisagés.



- Systèmes des Pays Socialistes :

En 1978, l'U.R.S.S. a constitué avec quelques pays socialistes (CUBA, R.D.A., POLOGNE, ROUMANIE, BULGARIE, et MONGOLIE) un consortium appelé Interspoutnik. Celui-ci utilise un réseau de satellites stationnaires qui constitue une extension du réseau Orbita (Molnya III et géostationnaire Radonga).

Ce réseau est destiné à l'échange des communications téléphoniques et programmes radio ou de télévision en noir et blanc, ou en couleur (procédé SECAM 3 B) entre les différents pays.

Citons aussi le système des pays de la Ligue Arabe ARABSAT.

- Pour les systèmes nationaux on peut citer les pays suivants :

ETATS-UNIS, CANADA, INDONESIE, UNION SOVIETIQUE, FRANCE, INDE, et JAPON.

LISTE DES SATELLITES GÉOSTATIONNAIRES  
DE TÉLÉCOMMUNICATIONS ET DE TÉLÉVISION

LOCALISATION	DATE DE MISE EN SERVICE	IDENTIFICATION	ORIGINES	Fréquences en GHz										P.I.R.E dBW	OBSERVATION	
				<1	3	4	6	7	11	12	14	>15				
0	81	MÉTÉOSAT	- A.S.E - CSG(F)	X	X											Satellite météorologique envoie des images de la Terre
1	84	INTELSAT 5F9	- INTELSAT - CSG(F)		X	X	X		X						21/29	- TELECOM - TV : 2 répéteurs
1	74	INTELSAT 4F8	- INTELSAT - ETR(E-U)		X	X	X								>20	- TELECOM - TV : 2 répéteurs 19 RTP, Portugal 24 AFRTS *sera remplacé par 5F3
1	72	INTELSAT 4F2	- INTELSAT - ETR(E-U)		X	X	X								>20	- TELECOM - TV : 2 répéteurs
4P ↑ (17 Est)	84	INTELSAT 4AF2	- INTELSAT - ETR(E-U)		X	X	X								20/23	- TELECOM - TV : 2 répéteurs
7	84	TELECOM 1A	- FRANCE - DGT - CSG(F)		X	X	X		X				X		<34,5 43	- TELECOM-TV Française - TRAFIC Militaire (Syria) - Affaires / Videocommunication et répéteurs tous à l'EUTEL
10	85	TELECOM 1B	- FRANCE - DGT - CSG(F)		X	X	X		X				X		idem	idem.
11	85/86 P	G·D·L 1 (GRAND Duché du Luxembourg)	LUXEMBOURG S.L.S (Société luxembourgeoise de satellites) - n.d				X		X	X			X		>60	- TVDS - TELECOM 16 répéteurs - Affaires P : incertain
11	75	SYMPHONIE	- FRANCE : DGT - RFA : DBP	X	X	X	X								>30	- TELECOM - RADIO
13,5	80	STATIONARY RADUGA	- URSS - BAI(URSS)		X	X	X								n.p.	- TELECOM - TV

LONGITUDE OUEST 0° → 18,5°



14	79	GORIZONT (FOPN 30HT)	- URSS - BAI (URSS)			X	X	X							> 40 > 20 (2 et 3)	- TV programmes RUSSES - 1 programme - 2 programme - 3 programme F : HORIZON
18,5	83	INTELSAT 5F6	- INTELSAT - ETR (E-U)			X	X	X	X	X					21/29	- TELECOM - TV : 2 répéteurs (infos/sport)
18,5	84	INTELSAT 5F8	- CSG (F)												21/29	- TELECOM - TV : 2 répéteurs
19	85	TDF 1	- FRANCE : TDF - CSG (F)							X					64	- TVDS 5 répéteurs dont 2 éventuellement loué à la C.L.T.
19	85	TV SAT	- A.F.A : DBP - G.S.G. (F)							X					64,5	- TVDS 5 répéteurs dont : ARD - ZDF + RADIO
19	86 P*	LUX-SAT	LUXEMBOURG C.L.T (Compagnie luxembour- geoise de Télédiffusion)							X					≈ 60	TVDS : 2 programmes - RTL TELEVISION (Fr) - RTL PLUS (All.) P* : incertain
19	86/87	INTELSAT ou HELVESAT	SUISSE SSR : Société Suisse de Radiodiffusion - C.S.G.							X					≈ 60	TVDS : 3 programmes - SSR - (Fr) - SRG - (All) - TSI (ITA)
19	86	LARGE SAT OLYMPUS	ASE ↓ EUTELSAT - C.S.G. (F)							X	X				> 60	- TVDS - TELECOM - AFFAIRES
21,5	79	INTELSAT 4 AF4	- INTELSAT - ETR (E-U)			X	X	X							≈ 20 global ± 2 semi	- TELECOM - TV : 2 répéteurs 1 SAT : ARABIE SAOUDITE 2 TV NIGER/Soudan/Zaire
21,5	P	INTELSAT 5A	- INTELSAT - nd			X	X	X	X	X					20/29	- TELECOM - TV : 2 répéteurs
24,5	81	INTELSAT 5F3	- INTELSAT - ETR (E-U)			X	X	X	X	X					20/29	- TELECOM - TV : 2 répéteurs
24,5	84/85	INTELSAT 6	- INTELSAT - nd			X	X	X	X	X					20/29	- TELECOM - TV : 2 répéteurs

LONGITUDE OUEST 14° — 24,5°



24,5	P	INTELSAT 6	- INTELSAT - nd			X	X	X	X	X		n.p	- TELECOM - TV
24,5	80	RADUGA/ STATIONAR	- URSS - BAI (URSS)			X	X	X				n.p	- TELECOM - TV
25	84	LOUTCH P1	- URSS - BAI (URSS)						X	X		n.p	- TELECOM - TV
25	80	RADUGA/ STATIONAR	- URSS - BAI (URSS)			X	X	X				n.p	- TELECOM - TV
25	P	VOLNA	- URSS - nd									n.p	- TV : chaînes russes
27,5	80	INTELSAT 4F4	- INTELSAT - ETR			X	X	X				>20	- TELECOM - TV : 2 répéteurs
27,5	82	INTELSAT 5F3	- INTELSAT - ETR			X	X	X	X	X		21/23	- TELECOM - TV : 2 répéteurs
27,5	82	INTELSAT 5F4	- INTELSAT - ETR			X	X	X	X	X		21/23	- TELECOM - TV : 2 répéteurs en bande C (3 répéteurs en bande <small>KU pour U.C.P grande Bretagne</small> )
27,5	P	INTELSAT 6	- INTELSAT - nd			X	X	X	X	X		n.p.	- TELECOM - TV
31	86/87	UNISAT	- GRANDE-BRETAGNE - nd						X	X		66	- TV DS 6 répéteurs BBC <sup>1</sup> - BBC <sup>2</sup> - ITV
31	77	INTELSAT 4AF1	- INTELSAT - ETR (E-U)			X	X	X				- 23 Global - + 4 semi	- TELECOM - TV : répéteurs (9-10) RTM (Maroc) 24 ATC (Argentine)
31	P	INTELSAT	- INTELSAT - nd			X	X	X	X	X		n.p	- TELECOM - TV 2 repeteurs
34,5	81	INTELSAT 5F2	- INTELSAT - ETR (E-U)			X	X	X	X	X		20/23	- TELECOM - TV : 2 répéteurs (9-10) RTVE 1/ RTVE 2
34,5	77	INTELSAT 4AF4	- INTELSAT - ETR (E-U)			X	X	X				20/23	- TELECOM - TV : 2 répéteurs (11) TV Brésilienne
34,5	P	INTELSAT	- INTELSAT - nd			X	X	X	X	X		n.p	- TELECOM - TV : 2 répéteurs

LONGITUDE OUEST

24,5° — 34,5°



40,5	83	TDRS EST	- E-U - CSS - ETR (E-U)			X	X	X				X	15	26	- TELECOM SAT. Poursuite et de relais de données. *Space communication
40,5 (79)	P	TDRS 1	idem			X	X	X					15	44/47	- TELECOM - TV: 2 répéteurs Programmes incertains
40,5	P	TDRS 2	idem			X	X	X					15	47/52	- TELECOM - TV: 2 répéteurs Programmes incertains
40,5	80	INTELSAT 4F3	- INTELSAT - ETR (E-U)			X	X	X						>20	- TELECOM - TV
42	P	GRENADA 1	- GRENADE - nd								X			n.p	- TVDS
42 (33)	77	INTELSAT 4F7	- INTELSAT - CS G(F)			X	X	X						>20	- TELECOM - TV: 2 répéteurs
43	85	INTELSAT 5	- INTELSAT - nd			X	X	X	X		X			21/23	- TVDS - TELECOM
45	85	SATS A1	- BRESIL - BRESILSAT - nd			X	X	X	X					≅ 65	- TELECOM - TV: 2 répéteurs
50	P	INTELSAT 5A	- INTELSAT - nd			X	X	X	X		X			n.p	- TELECOM - TV: 2 répéteurs
52,5	75	INTELSAT 4F1	- INTELSAT - ETR (E-U)			X	X	X						>20	- TELECOM - TV: 2 répéteurs
53	P	INTELSAT 5...	- INTEL SAT - nd			X	X	X	X		X			21/23	- TELECOM - TV: 2 répéteurs
57	87/88	DIGI SAT	- E-U - DIGITAL TELSAT - nd			X	X	X						37	- TV 24 répéteurs

LONGITUDE OUEST

40,5° — 75°

60	P	SBTSA4	- BRÉSIL - BRÉZISAT - nd			X	X	X	X				≈ 65	- TELECOM - TVDS
65	P	SBTSA2	idem			X	X	X	X				idem	idem
65	P	SBTSA3	idem			X	X	X	X				idem	idem
67	85	SATCOM	- E-U - R-CA - nd			X	X	X					34	- TVDS 24 répéteurs
69	84/85	SPARENET	- E-U - G.T.E. - C.S.G			X	X	X					33/36	- TVDS 12 répéteurs
70	P	CANADA BSS	- CANADA						X				≈ 65	- TVDS
71	P	URUGUAYSAT	- URUGUAY						X				≈ 65	- TVDS
72	84	SATCOMF2R	- E-U - R-CA - ETR			X	X	X					34	- TVDS 24 répéteurs
73	86	SATCOL 1	- COLOMBIE			X	X	X	X				≈ 30 ≈ 65	- TECOM - TV
74	84	GALAXIE 2	- E-U - HUGES - ETR (E-U)			X	X	X					35	- TV: 24 répéteurs
76	85	TELSTAR 3A	- E-U - AT.T - ETR (E-U)			X	X	X					32/35	- TV: 20 répéteurs
77	77	CONSTAR F1	- E-U - CONSTAR - GENERAL - ETR (E-U)			X	X	X					32	- TV: 24 répéteurs

LONGITUDE OUEST 60° → 77°



77	78	CONSTAR F2	idem			X	X	X							32	idem	
77	87	SATCOM K1	- E-U - RCA - nd			X	X	X							45	- TV: 16 répéteurs	
78	85	WESTAR 6	- E-U - W.U.T - ETR (E-U)			X	X	X							34	- TV: 24 répéteurs	
79	77	WESTAR F2	idem			X	X	X							33	- TV: 12 répéteurs	
1	77	INTELSAT 4FB	- INTELSAT - ETR (E-U)			X	X	X							>20	- TELECOM - TV: 2 répéteurs	
4	P*	TELECOM 1C	- FRANCE - DGT - CSG (F)			X					X	X			voir TA1	- TELECOM - TV VIDEOCOMMUNICATION TRAFIC MILITAIRE de reserve au d	
5 ↑ 10	78	OTS	ASE ↓ EUTELSAT								X	X			40	- TELECOM - TRAFIC UER/CEPT Conférence Européenne des Postes et Télécommunications	
7	86/87	TELEX (NORD SAT)	- SUEDE - CSG								X				≈ 65	- TVDS: 5 répéteurs	
7	P*	GDL 3 Grand Duché du Luxembourg	- LUXEMBOURG - SLS			X	X	X			X	X			43 ≈ 65	- TELECOM./AFFAIRES * TVDS * INCERTAIN	
7	P*	ECS 3 ↓ EUTELSAT 1F3	ASE ↓ EUTELSAT								X	X			43 maxi	* de reserve	
7* ↑ 10	84	ECS 2 ↓ EUTELSAT 1F2	ASE ↓ EUTELSAT - CSG (F)								X	X			43 maxi	- TELECOM/TV: 9 répéteurs AFFAIRES-VIDEO COMMUNICA- TION UER-CEPT FEN 14: 7° EST	

LONGITUDE EST 1° — 7°

13	83	EUTELSAT 1F1 (ex. ECS 1)	- EUTELSAT - CSG											X	X			43 maxi	- TV: 8 programmes. - TRAFIC UER* / LEPT * Union Européenne des radiocommunications
----	----	-----------------------------	---------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	---	--	--	------------	--

sigles:

- BAI : Baïkonour
- ASE/ESA : Agence Spaciale Européenne
- CSG : Centre Spatial Guyannais
- ETR : Eastern Test Range (ETATS-UNIS)
- nd : non défini

- X : n° du canal
- P : prévision
- INTELSAT : Organisation internationale des télécommunications par satellite.
- F : France.
- E-U : États-Unis.



## CHAPITRE II

### A Problematique des satellites

#### I La problematique des liaisons par satellite

##### a) Les liaisons terre-satellite-terres.

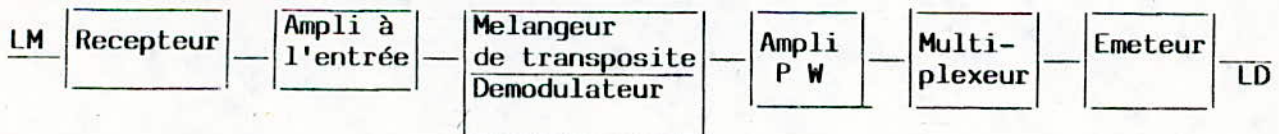
La liaison entre deux stations terrienne par l'intermediaire d'un satellite relais se compose de deux tronçons, le tronçon satellite-terre ou liaison descendante, et le tronçon terre-satellite ou liaison montante.

A chaque liaison(montante, descendante) surgissent des problèmes propres et des problèmes commun.

La qualité final de l'information reçus au sol resulte des caracteristiques de la liaison montante, du repeteur, et de la liaison descendante.

Le repeteur comme déjà cité au chapitre(I) a deux rôles fondamentaux: amplifier les signaux, et changer de frequence pour faciliter la séparation des sens de transmission,il peut aussi avoir une fonction suplemetaire qui est de modifier le proceder de modulation. Vue l'influence du repeteur dans la qualité de l'information reçus au sol, les problèmes causés par celui-ci peuvent être considerer comme étant des problèmes commun au liaisons montantes et descendantes.

##### Schéma synoptique du repeteur:



La caracteristique convenable dechaque bloc pour leur association, leur haute precision et leur faible bruit conduisent à une reémission de l'information avec une bonne qualité.

Chaque bloc peut entrainer une diminution de la qualité si celui-ci presente une defaillance structural.



**b)Autre problèmes commun au liaison:**

**1) Influence du milieu de propagation**

Dans le vide une onde électromagnétique se propage en ligne droite et subit seulement l'atténuation d'espace libre, tout autre milieu introduit des perturbations, dont les effets les plus importants en ce qui concerne les télécommunications par satellite, sont les suivantes:

- Absorption
- Diffusion (ou diffraction)
- Emission propre
- Refraction
- Rotation du plan de polarisation de l'onde électromagnétique

En excluant les espaces cosmiques dont l'effet est négligeable au dessus de 2GHZ, les 2 milieux à considérer entre un satellite géostationnaire et une station au sol sont l'atmosphère et l'ionosphère.

Les épaisseurs tout autour de la terre étant à peu près constante et l'action du milieu étant proportionnel à la longueur du trajet, les effets seront d'autant plus importants que la direction de propagation sera plus inclinée sur l'horizontale locale de la station au sol.

**c) Effet de l'atmosphère.**

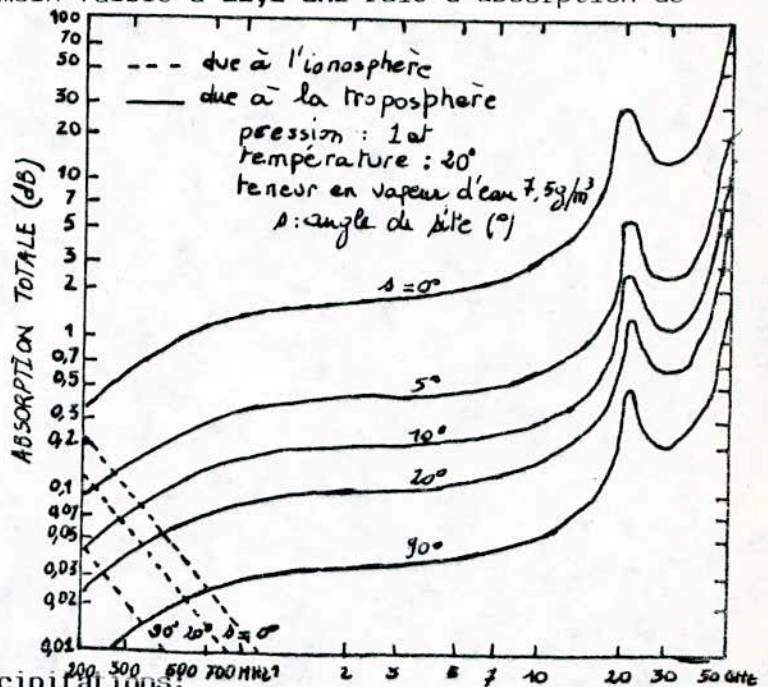
L'atmosphère présente un certain nombre de "fenêtre spectrale" dans lesquels l'atténuation subie par une onde électromagnétique est très faible; la transmission est en particulier très bonne aux fréquences inférieures à 10GHZ (3cm) .

### 1) Absorption par les gaz atmospheriques:

L'absorption par les gaz atmospheriques est due aux transitions des atomes et des molecules ainssi qu'aux transitions de rotation et de vibration des molecules. Les principaux gaz concernés sont l'oxygene, l'eau, l'azone, le gaz carbonique, l'azote et l'oxygene atomique.

La raie d'absorption de l'oxygene à 60GHZ, limite la première "fenêtre" aux environ de 50GHZ.

L'absorption y est un peu moins faible à 22,2 GHZ raie d'absorption de la vapeur d'eau.



### 2) Absorption par les precipitations:

L'absorption par la pluie dépend de la fréquence, du taux de précipitation, du diamètre des gouttes de pluie et de la distribution des gouttes à l'intérieur de la cellule de pluie.

Pour un trajet oblique, on multiplie l'affaiblissement linéique par la longueur du trajet équivalent à travers la cellule de pluie.

### 3) Diffusion par les Precipitations:

Cette diffusion peut créer un couplage entre les signaux émis par les antennes des stations terriennes et de terre, et jouer un rôle important dans le brouillage réciproque des deux services.



#### 4) Contribution à la température de bruit de ciel:

Les formations météorologiques augmentent la température du bruit du ciel par rapport à la valeur par temps clair.

#### 5) Scintillation et refraction troposphériques:

La diminution de l'indice de refraction avec l'altitude entraîne une augmentation de l'angle de site apparent d'une source extraterrestre. De plus les fluctuations de l'indice de refraction entraînent des variations de position apparente d'une station spatiale terrestre.

#### 6) Transpolarisation due aux précipitations:

Dans son trajet atmosphérique, une partie de l'énergie rayonnée avec une polarisation donnée se retrouve avec la polarisation orthogonale. Ce phénomène entraîne une dégradation par brouillage entre voies lorsqu'on recourt à des polarisations orthogonales pour augmenter par "réutilisation de fréquences", la capacité de la liaison sans augmenter la bande passante.

#### d) Effet de l'ionosphère:

L'ionosphère est une zone de forte densité électronique qui s'étend de 80 à 1000 km d'altitude.

L'ionisation de la haute atmosphère est provoquée par le rayonnement solaire: la densité électronique est donc plus forte que la nuit et aussi en période d'activité solaire importante. <sup>le jour</sup>

Un signal électrique qui se propage dans l'ionosphère subit un certain nombre de perturbations dues à l'anisotropie et aux turbulences du milieu. Ces différentes dégradations sont:

- l'atténuation
- la refraction
- la rotation du plan de polarisation (effet de Faraday)
- le ralentissement de la vitesse de propagation.
- l'erreur sur l'effet Doppler.
- des scintillations sur l'amplitude, la fréquence et la phase.



D'une façon général, ces effet sont negligeebles au-dessus de 2GHZ, mais doivent être pris en considération au frequence inférieures (ondes metriques).

**1) Fluctuation des niveaux reçus:**

Il y a lieu de rappeler que le trajet des ondes radioelectriques dans l'atmosphère étant très court, le niveau, à l'entrée d'un repeteur sur satellite, ou d'un recepteur au sol est très stable du moins aux frequerces inférieures à 10GHZ. De ce fait, il n'est pas necessaire d'utiliser un limiteur. Le limiteur permet cependant de lutter contre le brouillage.

**2) Conclusion:**

Le mileu de propagation apporte une attenuation negligeeble ou faible pour de frequence comprise entre 300MHZ et 15GHZ .

Pour les frequences inférieurs à 300 MHZ il faut tenir compte de l'attenuation ionosphérique. Pour les fréquences comprise entre 15GHZ et 30GHZ il faut tenir compte de l'attenuation apporté par la pluie et aux frequences superieur de l'absorption dûe à la vapeur d'eau et l'oxygene.

## B) Problematique du à l'environnement spatial:

### I) Nature de l'environnement spatial

#### a) Champ gravifiques:

Le satellite est avant tout soumis au champ gravifique terrestre qui, compte tenu de la vitesse, détermine le mouvement de son centre de masse.

L'intensité de ce champ varie avec l'altitude si bien que les parties du satellites les plus éloignées du centre de la terre sont moins attirées que les parties les plus proches.

La résultante de ce gradient de gravité ne passant pas par le centre de masse du satellite, il y a création d'un couple.

**b) Vide:** Le vide est une caractéristique essentielles de l'environnement spatial. Avec l'altitude, la densité des particules (atomes, ion, électrons) diminue très rapidement, à 36000Km, la pression est inférieure à  $10^{-13}$  Torr (millimètre de mercure).

La traînée peut être considérée comme négligeable si l'altitude du satellite est suffisante.

**c) Rayonnement:** L'espace rayonne comme un corps noir à environ 5K ( $K = 398\ 603\ \text{Km}^3 / \text{s}^2$ ); il se comporte comme un "puits de froid" d'absorption égal à 1; toute l'énergie thermique émise est complètement absorbée.

Les rayonnements reçus par le satellite proviennent principalement du soleil et de la terre.

#### 1) Rayonnement solaire:

Les caractéristiques du rayonnement solaire sont:

- Son intensité:  $1400\ \text{W/m}^2$
- Sa répartition spectrale d'énergie qui est voisine de celle d'un corps noir à la température de 6000Kelvins.
- Son diamètre apparent = 32 minutes.



2) Rayonnement terrestre: Il résulte du rayonnement solaire réfléchi et de son rayonnement propre: ce dernier correspond sensiblement à celui du corps noir à 250K (Infrarouge  $10^{-12}\mu$ ). Pour un satellite géostationnaire, l'intensité totale est inférieure à  $40W/m^2$ , elle est donc négligeable comparée à celle du soleil.

d) Particules cosmiques: Les particules cosmiques sont des particules chargées, principalement constituées d'électrons et de protons à haute énergie, elles sont émises par le soleil et par diverses sources de l'espace.

La densité de l'énergie de ces particules dépend:

- de l'altitude
- de la latitude
- de l'activité solaire.
- de l'heure.

Les particules étant chargées, elles subissent l'action du champ magnétique terrestre et tendent à constituer des ouvertures dites courbures de Van Allen, qui les tiennent prisonnières (particules piégées: "trapped particles"). La concentration de protons s'y trouve maximale vers 2500Km d'altitude. La concentration maximale d'électrons se situe plus haut vers 5000Km.

e) Météorites: La terre est entourée d'un nuage de météorites (débris matériels: roches, cailloux,...) dont la densité est de plus en plus faible lorsque l'altitude augmente.

Les météorites les plus fréquentes ont des masses comprises entre  $10^{-4}$  et  $10^{-1}$  gramme; leur vitesse peut atteindre 30Km/s.

f) Attraction de la lune et du soleil:

La lune et le soleil créent également un potentiel de gravitation qui influence sur la position du satellite son fonctionnement et donc sur les liaisons par satellite.

g) Eclipses

Presque tous les satellites utilisent des cellules solaires comme source



a une grande importance pour ces satellites, d'où faut en tenir compte lors de la conception de ceux-ci.

### Durée d'une éclipse

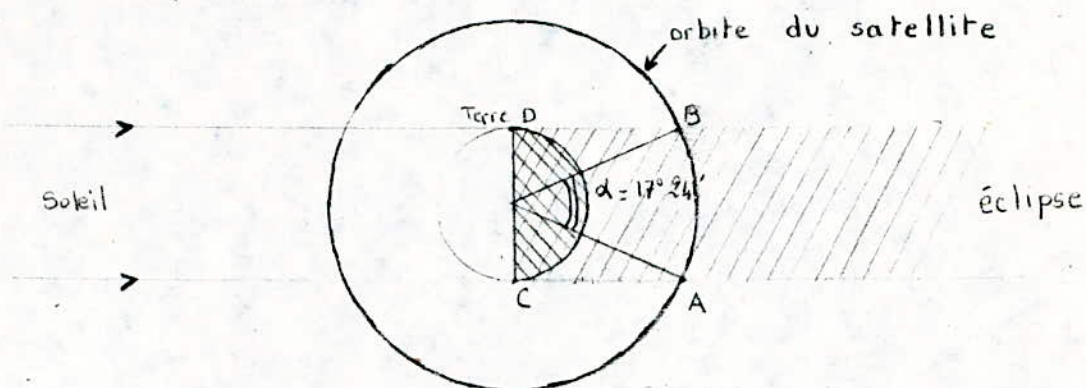


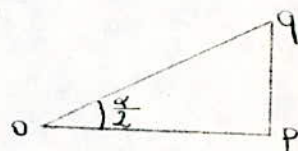
fig. a.

avec  $p = 6\,371\text{ km}$  (rayon de la terre)

$op = 42\,371\text{ km}$  (altitude du satellite).

$$\text{donc } \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 0,1503 \Rightarrow \frac{\alpha}{2} = 8^{\circ},33'04''$$

$$\text{d'où } \alpha = 17^{\circ} 11'$$



Le satellite décrit une orbite perpendiculaire au plan de la figure: aux solstices, le satellite est toujours éclairé par contre aux équinoxes, il y a éclipse sa durée est alors maximal; elle est de 70 minutes.

Le premier jour d'éclipse avant l'équinoxe du printemps correspond à la position relative du soleil telle que le rayon tangent à la terre passe par l'orbite du satellite (figb).

Le dernier jour correspondrait à une figure symétrique par rapport au plan de l'équateur.

Le triangle BDT est égale au triangle correspondant de la figure .

Le premier jour d'éclipse avant l'équinoxe, l'inclinaison du soleil sur l'équateur est de  $8^{\circ}33'$  il faudra donc 21 jours pour atteindre l'équinoxe.

La figure C donne la durée journalière d'éclipse.

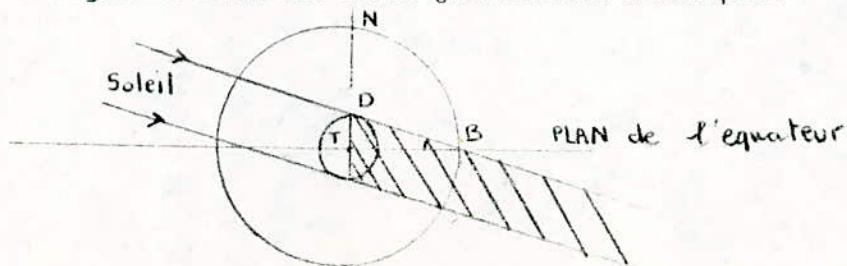
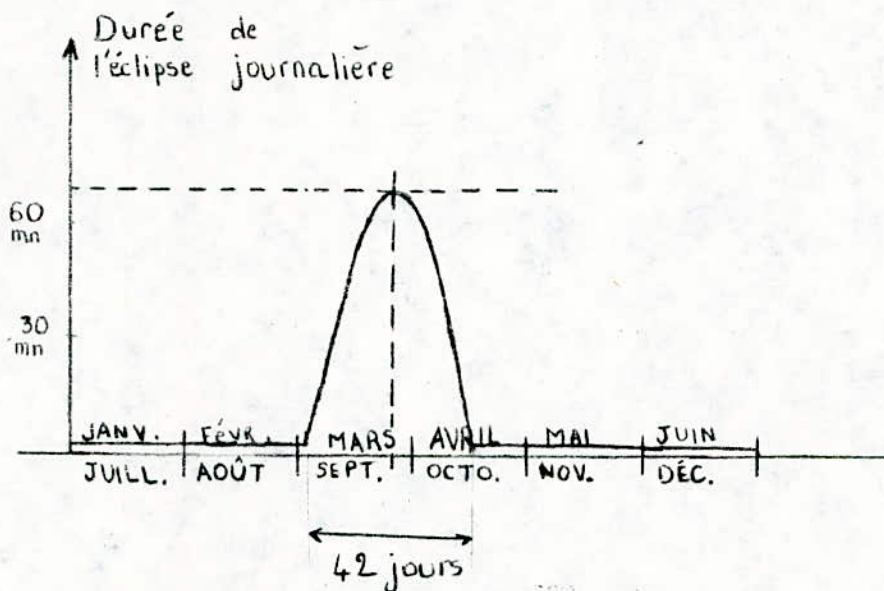


fig b.

-Premier jour de l'eclipse avant l'equinoxe de printemps  
(plan de l'equateur perpendiculaire au plan de figure).



A moitié de cette durée journalière, le satellite est dans le plan formé par le soleil et l'axe de la terre.

Il est donc minuit à la longitude du satellite.

Si le satellite n'est pas doté de batteries, les interruptions de services se produisant la nuit.

## II Action mécanique:

### a) Influence de la dissymétrie du potentiel terrestre:

Le potentiel perturbateur donne naissance à une accélération tangentielle orienté positivement selon les longitudes croissantes.

Cette accélération engendre une variation de la vitesse du satellite sur son orbite, ce qui provoque une dérive en longitude.

### b) Effet du gradient de gravité terrestre:

Le gradient de la gravité terrestre a pour effet d'aligner l'axe de plus faible inertie du satellite sur la verticale locale. Le couple correspondant est utilisé pour stabiliser les satellites placés sur orbite basse,



est difficile à mettre en oeuvre pour la stabilisation des satellites stationnaires c'est dire qu'il est aisé de rendre ses effets négligeables.

**c) Influence de l'attraction de la lune et du soleil:**

Cette influence se manifeste par un mouvement perpendiculaire au plan de l'équateur.

Il a pour effet de faire tourner l'inclinaison du plan de l'orbite de 1 degré par an ( 0,3 degré dû au soleil et 0,7 degré dû à la lune).

**d) Influence de la pression aérodynamique:**

Celle-ci est liée à la présence d'une atmosphère résiduelle, les faces aérodynamiques n'influencent pas sur les satellites géostationnaires à poste. Cependant elles prennent de l'importance pour les satellites à défilement qui gravitent à basse altitude. C'est le cas par exemple pour l'orbite de transfert d'un satellite géostationnaire avant la mise à poste. On peut minimiser les effets de la pression aérodynamique en étudiant la forme de l'engin spatial pour réduire la traînée.

**e) Influence du champ magnétique terrestre:**

Bien que la plus importante et bien que constante la composante de l'induction perpendiculaire à l'équateur produit l'effet le plus faible : le couple correspondant est dans le plan de l'équateur et si le satellite est stabilisé par rotation autour d'un axe par tour est nulle. Si le satellite est stabilisé " trois axes " et fait un tour complet par jour autour de son axe parallèle à l'axe des pôles, la somme des couples s'annule toutes les 24 heures.

Le moment magnétique global d'un satellite résulte des moments rémanents, des moments dus aux courants électriques dans les câblages, des moments induits proportionnels au champ magnétique terrestre. Ces moments peuvent être réduits ou compensés avant le lancement pour atteindre assez facilement  $10^{-4}$  N.m.

**f) Influence de l'impact des météorites:**

La quantité de mouvement imprimée au satellite par le choc d'une météorite



des météorites de différentes masses heurter le satellite et par la grandeur résultante du transfert de quantité de mouvement.

**g) Couple d'origine interne:** Le mouvement relatif des antennes, des panneaux solaires, du carburant donne naissance à des couples qui s'exercent sur le corps principal du satellite.

Par ailleurs le maintien en position des satellites stationnaires nécessite périodiquement l'application des forces au centre de masse du satellite.

Dans un satellite comportant des réservoirs de propergol qui se vident au cours de la mission, il est impossible d'avoir un centre de masse rigoureusement fixe par rapport au corps du satellite et donc par rapport aux tuyères.

Les forces correctrices de maintien en position ne vont donc pas s'appliquer exactement au centre de masse:

Un couple perturbateur de maintien en altitude va se manifester pendant ces corrections.

**h) Effet des émissions de télécommunication:**

C'est la pression de radiation qui crée ce phénomène. Lorsque la puissance émise est importante le rayonnement radioélectrique des antennes crée une pression qui est non négligeable.

La perturbation n'est importante que dans le cas où la puissance émise est grande et est concentrée dans un faisceau étroit; il faut alors que l'axe d'antenne passe par le centre de masse ou disposer de deux antennes d'axes symétriques par rapport à ce centre.

### EFFET SUR LES MATERIAUX

**1) Effet du vide:**

Dans le vide, les matériaux et les semi-conducteurs se subliment. La perte de masse correspondante dépend de la température: 1000 Å/an à 110°C,  $10^{-3}$  cm/an à 170°C et  $10^{-1}$  cm/an à 240°C pour le magnésium. Comme les températures supérieures à 200°C sont faciles à éviter et à condition de ne pas employer des revêtements trop minces, ces effets ne sont pas importants. La possibilité de condensation des gaz sur des surfaces froides est

(courts-circuits sur les surfaces isolantes); il faut donc éviter l'emploi de matériaux trop facilement sublimables comme le zinc et le césium. Par contre, un gros avantage du vide est d'épargner aux métaux les phénomènes de corrosion.

Par ailleurs, les polymères ont tendances à se décomposer en produits volatils.

Des surfaces propres, mises en contact, peuvent se souder; il en résulte une usure des paliers et une force de friction plus grande. Il est donc nécessaire de maintenir les pièces mobiles des enceintes pressurisées étanches. Lorsque ce n'est pas possible les lubrifiants utilisés devant avoir un faible taux d'évaporation ou de sublimation.

#### **j) Effet du rayonnement solaire:**

Les rayonnements dans l'ultra-violet dont le spectre s'étend de 100 à 1000 Å<sup>0</sup> produisent des ionisations dans les matériaux; elles se traduisent par une augmentation de la conductivité des isolants et des modifications des coefficients d'absorptivité et d'émissivité des revêtements thermo-optiques. Ces effets sont importants sur les cellules solaires dont les rendements baissent au cours du temps (3% pour les cellules au silicium et 11% pour les cellules au sulfure de cadmium au bout de 5 ans).

Aux longueurs d'ondes supérieures à 1000 Å<sup>0</sup>, les solides peuvent être excités; les polymères sont décolorés et leurs propriétés mécaniques sont affaiblies. Au dessus de 3000 Å<sup>0</sup>, les effets sur les métaux ou les semi-conducteurs sont pratiquement nuls.

#### **2) Effet des météorites:**

L'impact des météorites crée une érosion des matériaux d'environ 1 Å<sup>0</sup> par an à l'altitude des satellites stationnaires (200 Å<sup>0</sup> aux basses altitudes). Ces impacts créent une perforation des toiles trop minces, ce qui peut être désastreux pour la survie du satellite.

#### **1) Effet des particules cosmiques:**

Soumis à des particules chargées, les métaux et les semi-conducteurs subissent des excitations des niveaux électroniques des atomes, les plastiques sont

Les émissions solaires agissent surtout sur les porteurs minoritaires dans les semi-conducteurs, sur la transmission optique de verres et sur certains polymère.



La réception :

La réception, ou l'émission d'information transportée par ondes électromagnétique se fait à l'aide d'antennes.

Il existe plusieurs types d'antennes, différentes par leur taille, par leur géométrie suivant leur utilisation spécifique. Quant à nous, nous allons étudier les antennes à larges bandes.

1°) - Les antennes à larges bandes :

Une antenne à trois rôles principaux résultant de sa situation qui sont :

- Assurer une bonne adaptation entre l'équipement radioélectrique et le milieu de propagation ;
- Concentrer l'énergie dans une direction privilégiée ;
- Assurer une transmission fidèle dénuée de distorsions.

a) Adaptation :

C'est le premier rôle de l'antenne. Il consiste à prélever d'une part (cas émission), le maximum d'énergie à l'émetteur par une adaptation de son impédance à l'impédance de sortie de l'émetteur et d'autre part, à céder toute l'énergie au milieu de propagation ; ceci par une adaptation au milieu.

Le mécanisme à la réception est inverse. Il consiste à prélever du milieu de propagation toute l'énergie possible (très bonne adaptation d'impédance entre le milieu et l'antenne), et à céder toute cette énergie au récepteur (très bonne adaptation d'impédance entre l'antenne et le récepteur).

Le rapport d'onde stationnaire (R.O.S.) mesuré aux bornes d'accès de l'antenne, traduit la qualité de l'antenne lorsque l'impédance de sortie de l'émetteur (ou d'entrée du récepteur) est égal à l'impédance de l'antenne vue à son accès.

b) Concentration de l'énergie :

L'antenne excitée par l'énergie délivrée par un émetteur doit rayonner cette énergie dans une direction privilégiée. L'idéal consisterait à ne rayonner que dans cette direction. Or, cette concentration parfaite est impossible pour les deux raisons suivantes :

- Les dimensions des antennes ne peuvent être infinies (même comparativement à la longueur d'ondes).

- La faible largeur du faisceau et une fixation d'une stabilité nécessairement imparfaite peuvent entraîner des dépointages sous l'effet du vent.

c) Transmission fidèle :

Le troisième rôle de l'antenne concerne la fidélité dans la transmission du signal radioélectrique. Placé en bout de chaîne, l'antenne se doit de garder intacte la qualité du signal.

Dans cet ordre d'idée, trois paramètres importants interviennent :

- La polarisation
- Le découplage
- La variation du temps de propagation de groupe.

La polarisation :

- Définition : On appelle polarisation d'une antenne sa sensibilité à une direction donnée du champ radioélectrique. On distingue des polarisations rectiligne, circulaire et elliptique.

En théorie, toute polarisation peut-être ramenée à une polarisation elliptique.

- Polarisation elliptique :

Une polarisation est dite elliptique, quand un observateur placé devant l'antenne et regardant dans le sens de la propagation, l'extrémité du vecteur champ décrit une spirale aplatie et que sa trace sur un plan P perpendiculaire à l'axe de propagation est une ellipse ; et dans ce même cas, on peut avoir deux sens de polarisation, une dextrogyre (dans le même sens que les aiguilles d'une montre), une levogyre (dans le sens inverse des aiguilles d'une montre).



- Polarisation rectiligne :

Peut-être considérée comme une polarisation elliptique à taux d'ellipticité très grand.

Quand un T E est d'au moins 25 dB, la polarisation est bien linéaire.

Dans la polarisation rectiligne, on distingue la polarisation rectiligne verticale (elle correspond à un vecteur champ de direction perpendiculaire à l'horizontale du lieu) et la polarisation horizontale (elle correspond à un vecteur champ de direction parallèle à l'horizontal du lieu).

- Polarisation circulaire :

Peut-être considéré comme une P.E avec un taux d'ellipticité nul de même que pour la polarisation elliptique on définit la polarisation circulaire à gauche et à droite.

2°)- Le découplage :

Le découplage en local est défini comme étant le niveau de séparation des signaux entrant ou sortant des différents accès de l'antenne.

En pratique, on obtient dans le cas de la polarisation rectiligne des découplages en locale atteignant jusqu'à 55 dB, dans le cas des polarisations circulaires ou elliptique de 20 à 30 dB.

Les variations du temps de propagations de groupe :

Pour que la transmission d'un signal soit fidèle, il est nécessaire que les composantes spectrales soient retardées du même temps. Or, plusieurs phénomènes situés à l'intérieur même de l'antenne peuvent perturber la propagation de ces composantes :

- Réflexion multiple et importante
- Création de modes supérieurs.

Toutes ces perturbations ont pour conséquence de mélanger le signal utile qui se propage à une vitesse de groupe bien définie, à d'autres signaux indésirables se propageant à d'autres vitesses de groupe, le signal résultant est en général distordu.

.../...



1 - 1) La bande passante :

La bande passante d'une antenne est la bande de fréquences pour laquelle elle présente des caractéristiques particulières. Une antenne peut donc avoir autant de bandes passantes que de caractéristiques radioélectriques contenues dans certaines limites.

Ces caractéristiques peuvent être par exemple :

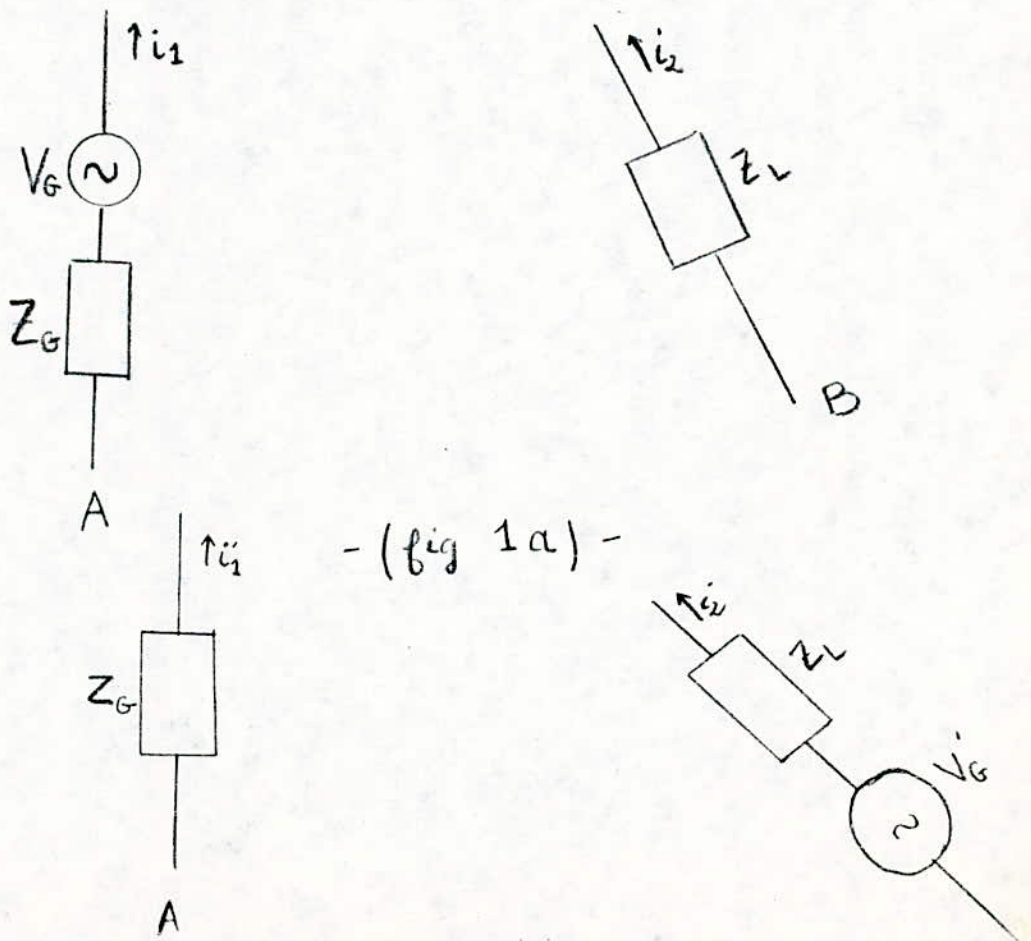
\* L'impédance de rayonnement dont la considération est fondamentale pour le transfert d'énergie d'un émetteur vers l'espace libre et de l'espace libre vers un récepteur.

\* Le diagramme de directivité : en particulier la directivité maximale et le niveau du rayonnement secondaire.

\* La polarisation et en particulier le niveau de composante croisée lorsqu'il s'agit d'une antenne polarisée linéairement.

1 - 2) Théorème de réciprocité appliqué aux antennes :

Une f - e - m VG, à l'entrée d'une antenne A, provoque le courant  $i_2$  à l'entrée de l'antenne B (fig. 1a). Cette même f - e - m VG appliquée à l'entrée de l'antenne B (VG = VG') provoque le même courant  $i'_1 = i_2$  à l'entrée de l'antenne A (fig. 1 b).



\* Le théorème de réciprocité entraîne l'identité des diagrammes de directivité d'antenne en émission et en réception :

A & B deux antennes dont l'orientation est quelconque. En émettant avec l'antenne A excitée avec une f - e - m VG et en tournant A, le courant  $i_2$  dans l'antenne B fixe varie suivant le diagramme de directivité à l'émission de l'antenne A.

Le courant de réception de l'antenne A tournante varie de la même façon, si l'antenne fixe B est alimentée avec la f - e - m VG. Les diagrammes de directivité à la réception et à l'émission de l'antenne A sont donc identiques.

\* Le théorème de réciprocité entraîne également l'identité entre les impédances de rayonnement en réception et en émission :

Une antenne de réception, excitée par un champ extérieur E, à un courant à ces bornes d'entrée égal à :

$$i = \frac{V_0}{Z_L + Z_{AR}}$$

Avec  $V_0$  = tension à vide aux bornes de l'antenne de réception rapportée à ses bornes d'entrée.

$Z_L$  = impédance de charge de l'antenne

$Z_{AR}$  = impédance interne de l'antenne de réception rapportée à ses bornes d'entrée

Si on ajoute une tension  $V = -V_0$  en série avec  $Z_L$  on aura un courant global nul. Et si on supprime maintenant le champ extérieur E, il reste un courant :  $i_s = \frac{V}{Z_L + Z_{ae}}$

qui correspond à l'émission avec une impédance d'antenne à l'émission qui est  $Z_{ae}$ .

Puisque  $i_r + i_s = 0$

et  $V = -V_0$  on aura  $Z_{ae} = Z_{ar} = Z_a$

L'impédance de l'antenne de réception est égale à l'impédance de la même antenne à l'émission toutes deux rapportées aux mêmes bornes d'entrée.

Par contre, la distribution des courants dans les différentes parties d'une antenne n'est pas la même dans les deux cas.



### 2 - 3) Antenne active :

Une antenne active par définition est une structure qui rayonne, ou absorbe de l'énergie électromagnétique et comprend des éléments actifs incorporés. Ces derniers peuvent être des semi-conducteurs comme les transistors ou les diodes tunnel.

On distinguera les antennes actives à l'émission et à la réception.

Les éléments actifs d'un réseau ont chacun un "gain électronique". La modification de ces derniers permet par exemple par une variation des tensions de polarisation de faire varier la directivité du rayonnement.

Pour une antenne active de rayonnement, les éléments actifs contribuent par leur bruit propre à accroître la température de bruit de l'antenne. Les antennes actives se comportent des systèmes non linéaire pour les forts signaux et sont l'objet de phénomène d'intermodulation.

### 2 - 4) Directivité et gain :

#### a) - Directivité :

La directivité d'une antenne passive est la même, si celle-ci travaille à l'émission ou à la réception.

La directivité dans une direction donnée définie par  $\theta$  &  $\phi$  sera définie par :

$$D(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{P_t / 4\pi} \quad D_{dB} = 10 \log_{10} D$$

avec :  $P(\theta, \phi)$  = Puissance rayonnée à grande distance par unité d'angle solide.

$P_t$  = la totalité de la puissance rayonnée.

$D(\theta, \phi)$  exprime l'accroissement de puissance rayonnée dans la direction  $\theta$  et  $\phi$  par rapport à la puissance moyenne rayonnée par unité d'angle solide dans toutes les directions, ou par rapport à une source isotrope de même polarisation et même puissance totale.



$$r = \frac{D(\theta, \phi)}{D_M}$$

représente dans l'espace, le diagramme de directivité normalisé dont on peut effectuer des sections.

directivité, diagramme de directivité et puissance rayonnée par Unité d'angle solide sont liés entre eux par :

$$r(\theta, \phi) = \frac{D(\theta, \phi)}{D_M} = \frac{P(\theta, \phi)}{P_M}$$

avec  $P_M$  : puissance rayonnée par unité d'angle solide dans la direction de la directivité Max  $D_M$

$$\text{ou } P_e = \int_0^{4\pi} P(\theta, \phi) d\Omega = P_M \int_0^{4\pi} r(\theta, \phi) d\Omega$$

$$\text{d'où } \frac{P_M}{P_e} = \frac{1}{\int_0^{4\pi} r(\theta, \phi) d\Omega} = \frac{D_M}{\frac{4\pi}{P_e} \int_0^{4\pi} P(\theta, \phi) d\Omega} = \frac{D_M}{\frac{4\pi}{P_e} \times P_e} = \frac{D_M}{4\pi}$$

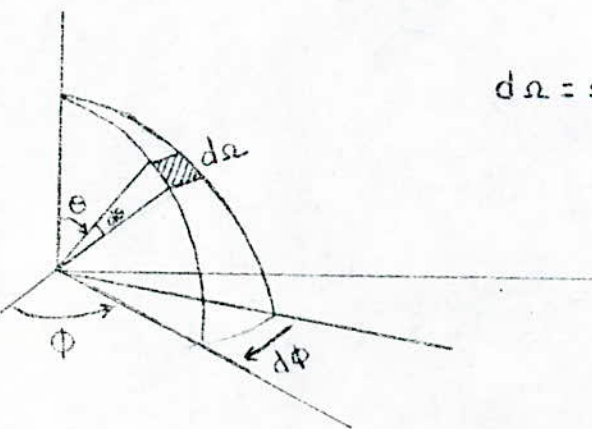
$$\text{d'où } D_M = \frac{4\pi}{\int_0^{4\pi} r(\theta, \phi) d\Omega}$$

- Remarque : Dans le cas où l'on a qu'un seul lobe de rayonnement

$$\int_0^{4\pi} r d\Omega = \theta_{3dB} * \phi_{3dB}$$

$$D_M = \frac{4\pi}{\theta_{3dB} * \phi_{3dB}} \quad (\text{avec } \theta_{3dB} \text{ et } \phi_{3dB} \text{ sont donnés en stéradian})$$

$$\text{Ou } D_M = \frac{41253}{\theta_{3dB} * \phi_{3dB}} \quad (\theta_{3dB} \text{ et } \phi_{3dB} \text{ sont en degrés}).$$



$$d\Omega = \sin\theta d\theta d\phi$$

$$D_M = \frac{4\pi}{\int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} r(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi}$$

$$\text{Si } r(\theta, \phi) = r_1(\theta) \cdot r_2(\phi) \implies D_M = \frac{4\pi}{\int_0^{\pi} r_1(\theta) \sin\theta d\theta \int_0^{2\pi} r_2(\phi) d\phi}$$

exemple : Un élément de courant de faible longueur par rapport à la longueur d'onde et constant sur cette longueur, appelé doublet de Hertz disposé le long de OZ à pour diagramme de directivité  $\mathcal{D}_1(\theta) = \sin^2\theta$  et la directivité  $D_{MD} = 1,5$  ou  $1,76$  dB.

b) - Gain :

La directivité pour chaque direction  $\theta, \phi$  est liée directement au diagramme de directivité. On a :

$$r(\theta, \phi) = \frac{D(\theta, \phi)}{D_M} = \frac{P(\theta, \phi)}{P_M} = \frac{E^2(\theta, \phi)}{E^2_{max}}$$

$$\text{d'où } D_M = \frac{4\pi E^2_{max}}{\int_0^\pi \int_0^{2\pi} E^2(\theta, \phi) \sin\theta \, d\theta \, d\phi}$$

Pour une antenne avec perte par désadaptation, par effet Joule dans les conducteurs, pertes dans les diélectriques), ou le gain  $G$  :

$$G = K D$$

avec  $K$  = Facteur d'efficacité inférieur à 1.

- La directivité  $D$  peut-être évalué en intégrant graphiquement les diagrammes de directivité mesurés. Le gain lui pourra être mesuré par comparaison avec une antenne étalon (arnet, doublet demi-onde, etc...).

2 - 5) - Aire de captation et hauteur effective :

a) - On définit une aire de captation de l'antenne par  $S_a = \frac{P_a}{N}$

où  $N$  est la puissance par unité de surface dans l'onde incidente que nous supposons plane en l'absence d'antenne et dont le champ électrique a pour module  $E$ .

$S_a$  est la fonction de  $\theta$ , et  $\phi$

et  $P_a$  = la puissance réelle absorbée par la charge.

Une antenne peut-être représentée entre deux points de branchement quelconques par une force électromotrice  $U$  d'impédance de rayonnement  $Z_A = R_r + jX_r$  (on néglige les pertes) travaillant sur une charge  $Z_L = R_L + jX_L$  à l'adaptation, on a :  $R_r = R_L$

$$X_r = X_L$$

donc

$$P_a = \frac{U^2}{8 R_r}$$

.../...



Or la puissance moyenne par unité de surface est donné par :

$$N = \frac{E^2}{2} \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}}$$

$$\text{d'où } S_a = \frac{U^2}{8 R_r} * \frac{2}{E^2} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \left(\frac{U}{E}\right)^2 * \frac{1}{4 R_r} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$$

2 - 7) - Température thermodynamique d'une antenne :

2 - 7 - 1 - Rappel de thermodynamique statistique :

A) Rayonnement dans une enceinte fermée isotherme à l'équilibre :

Une enceinte fermée isolée à un état d'équilibre pour lequel toutes les parties sont à la même température. Cet état se conserve indéfiniment car le système ne reçoit pas de travail et n'est en relation qu'avec une seule source de chaleur.

- Toute surface interne de l'enceinte est traversée par du rayonnement en tous sens (état stationnaire).

La surface  $dF$  traversé par un rayonnement d'intensité  $E dF$  rayonne dans les directions contenues dans un cône d'axe MN, perpendiculaire à  $dM$  et d'angle solide  $d\omega$ , une puissance :

$$dW = E \cdot dF \cdot d\omega.$$

La partie de cette puissance transportée par des radiations de longueurs d'ondes comprises entre  $\lambda$  et  $\lambda + d\lambda$  est :

$$dW = E_\lambda \cdot dF \cdot d\omega \cdot d\lambda \quad \text{avec } E = \int_0^{+\infty} E_\lambda d\lambda$$

$E$  = intensité spécifique total du corps noir à la température  $T$ .

$E$  = lumineuse spectrale

à l'intérieur de cette enceinte et à l'équilibre thermique est indépendante de la substance des parois supposées parfaitement réfléchissantes et indépendante de la direction d'onde  $\lambda$ .

Densité d'énergie rayonnante :

$$u = \frac{4\pi}{c} \int_0^{+\infty} E_\lambda d\lambda = \frac{4\pi}{c} \cdot E$$

.../...



B) - Nombre des modes d'ondes stationnaires dans une enceinte fermée, dans un intervalle de fréquence  $df$  :

Supposons une enceinte en forme parallélépipède rectangle d'arêtes A, B, C, Les différentes fréquences d'oscillations sont données par l'expression :

$$f^2 = c^2 \left[ \frac{n_1^2}{(2A)^2} + \frac{n_2^2}{(2B)^2} + \frac{n_3^2}{(2C)^2} \right]$$

$$n_1, n_2, n_3 \in \mathbb{N}$$

à chaque triplet  $(n_1, n_2, n_3)$  correspond un mode ou vibration stationnaire. On suppose la cavité vide.

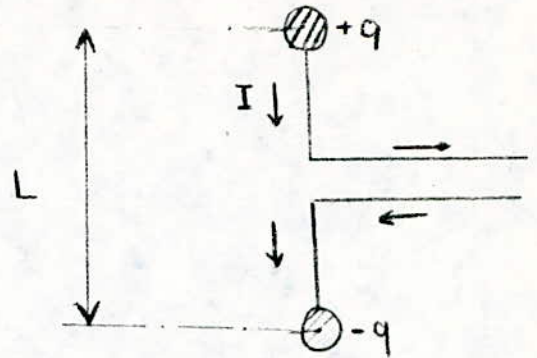
- A chaque mode on peut faire correspondre deux états de polarisation orthogonaux.

On montre que le nombre de "mode" d'ondes stationnaire de la cavité dans un intervalle de fréquences  $df$  au tour de la fréquence  $f$  est donnée par :

$$dn = \frac{8\pi f^2}{c^3} df$$

\* Pour le doublet de HERTZ, de longueur  $L \ll \lambda$  et parcouru par un courant constant  $I e^{j\omega t}$ , la résistance de rayonnement est donné par l'expression :

$$R_r = \frac{2\pi}{3} \left(\frac{L}{\lambda}\right)^2 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$$



Or à la réception on a :  $E = \sqrt{L}$

d'où :  $S_a = \frac{3\lambda^2}{8\pi}$  où  $\lambda$  est la longueur d'onde dans le milieu  $\mu, \epsilon$ .

La directivité max. d'un doublet est :  $\frac{D_{MD} = 1,5}{}$  (par rapport à une source isotrope polarisé linéairement).

Les aires de captation de deux antennes sont dans le même rapport que les directivités.

Si l'une des antennes est une source isotrope ( $D_m = 1$ ) d'où la surface de captation de la source isotrope sera de :

$$\frac{S_{ai}}{S_{aD}} = \frac{D_i}{D_D}$$

$$S_{ai} = S_{aD} \times \frac{D_i}{D_D} \implies S_{ai} = \frac{1}{1,5} \times \frac{3\lambda^2}{8\pi}$$

$$\text{d'où } S_{ai} = \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

En résumé : Une antenne quelconque de directivité  $D$  dans une direction  $\theta, \phi$ , c-à-d fournissant par unité d'angle solide, une puissance  $D$  fois plus grande que l'antenne isotrope, aura comme aire de captation :

$$S_a(\theta, \phi) = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot D(\theta, \phi)$$

relation qui lie pour une antenne réciproque (du type passif) la directivité  $D(\theta, \phi)$  à l'émission avec l'aire de captation  $S(\theta, \phi)$  à la réception.

b) - Hauteur effective :

Par définition la hauteur effective de l'antenne sera égale à :

$$h_{eff} = U/E.$$

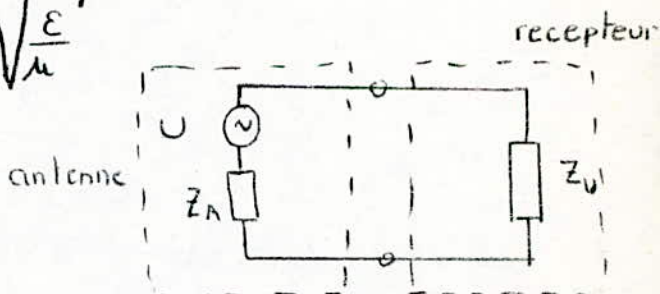
Cette hauteur effective est rapportée à la zone où l'on considère la force électromotrice équivalente à l'antenne et dépend de l'orientation de l'antenne par rapport à l'onde incidente. Elle est liée à la résistance de rayonnement rapportée à cette zone et à l'aire de captation par la relation :

$$h_{eff} = \frac{U}{E} = 2 \sqrt{S_a \cdot R_r \cdot \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}}}$$

On a déjà :  $S_a = \frac{P_a}{N} = \left(\frac{U}{E}\right)^2 * \frac{1}{4 R_r} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$

$$\implies \frac{U}{E} = \sqrt{S_a * 4 R_r \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}}} = 2 \sqrt{S_a \cdot R_r \cdot \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}}}$$

$$\frac{h_{eff}}{\lambda} = \sqrt{\frac{D(\theta, \phi) \cdot R_r}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}}}$$



d'où la hauteur effective max. sera :

$$\frac{h_{eff} \text{ Max}}{\lambda} = \sqrt{\frac{D_M R_r}{\pi} \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}}}$$

Quelques exemples :

1) Doublet de Hertz de longueur L pour lequel on :

$$D_M = 1,5 \quad \text{et} \quad R_r = \frac{2\pi}{3} \left(\frac{L}{\lambda}\right)^2 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \implies h_{effM} = L$$

2) Doublet demi-onde :

$$D_M = \frac{16}{\pi^2}$$

$$h_{effM} = \frac{\lambda}{\pi}$$

$$S_{aM} = \frac{4\lambda^2}{\pi^3}$$

.../...

$$R_r = \frac{\pi}{16} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$$



C) - Densité spectrale d'énergie dans une enceinte portée à la température absolue T. Loi de Max Planck. Hypothèse de Rayleigh - Jeans.

Rayleigh et Jeans assimilent à un oscillateur linéaire chaque mode de la cavité. Par la quantification d'énergie, Max Planck démontre que l'énergie moyenne  $\bar{W}$  par oscillateur à la température T est la suivante :

$$W = \frac{h f}{\exp. (h f / k T) - 1}$$

Pour  $\frac{h f}{k T} \ll 1 \implies f \ll \frac{k T}{h}$

$$\boxed{\bar{W} = k T}$$

\* La densité spectrale d'énergie est :

$$d u_f = \frac{8 \pi k T \nu^2}{c^3} d f$$

dans le cas général elle sera de :

$$d u_f = \frac{8 \pi h \nu^3}{c^3} * \frac{1}{\exp(h \nu / k T) - 1} d f$$

$$u_f = \frac{d u_f}{d f} = \frac{8 \pi h \nu^3}{c^3} * \frac{1}{\exp(h \nu / k T) - 1}$$

« Loi de Planck »

.../...

$$u_\lambda = \frac{du_\lambda}{d\lambda} = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp(hc/\lambda kT) - 1}$$

densité spectrale d'énergie

$$E_\lambda = \frac{c}{4\pi} \cdot u_\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp(hc/\lambda kT) - 1}$$

- luminance spectrale ou  
- pouvoir émissif spectrale

$$u = \frac{\pi^4}{15} \cdot \frac{8\pi k^4 T^3}{c^3 h^3}$$

- densité d'énergie total dans  
l'enceinte thermodynamique

$$u = \int_0^{+\infty} u_\lambda d\lambda$$

(1) - Cette expression traduit la loi de Stefan :

$$w = \sigma T^4 \qquad \sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3}$$

2 - 7 3 - Antenne soumise au rayonnement noir à la température T :

Une antenne enfermée dans une enceinte thermodynamique supposée à la température absolue T.

La puissance absorbée par l'antenne et correspondant au rayonnement noir est :

$$P_a = \frac{1}{2} \iint_{\Omega} S(\theta, \phi) \cdot E \cdot d\Omega = \frac{\lambda^2}{8\pi} \iint_{\Omega} D(\theta, \phi) \cdot E d\Omega$$

E == Puissance de rayonnement diffus arrivant suivant la direction  $\theta, \phi$  par unité de surface et par unité d'angle solide.

S ( $\theta, \phi$ ) = représente l'aire de captation de l'antenne dans la direction  $\theta$  et  $\phi$

2 - 7 - 3) Définition de la température thermodynamique d'une antenne :

Dans le cas où température thermodynamique n'est pas constante ; mais dépend de la direction  $\theta$  et  $\phi$  soit  $T(\theta, \phi)$  on aura pour la puissance absorbée par l'antenne est :

$$dP_a = \frac{K df}{\lambda^2} \iint_{\Omega} S(\theta, \phi) \cdot T(\theta, \phi) d\Omega$$

$$dP_a = \frac{K df}{4\pi} \iint_{\Omega} D(\theta, \phi) \cdot T(\theta, \phi) d\Omega$$

$$dP_a = \frac{K df}{4\pi} \cdot D_M \iint_{\Omega} r(\theta, \phi) \cdot T(\theta, \phi) d\Omega$$

à partir de cette puissance absorbée, on peut définir une température thermodynamique moyenne  $T_A$  de l'antenne :

par :  $dP_a = K T_A df$  avec la formule précédente

on aura : 
$$T_A = \frac{D_M}{4\pi} \iint_{\Omega} D(\theta, \phi) \cdot T(\theta, \phi) d\Omega$$

Remarque : 1°) La température thermodynamique  $T_A$  de l'antenne définie peut être entachée de terme supplémentaires (ex : atténuation dans l'atmosphère, présence au tour de l'antenne d'un radome qui absorbe surtout en présence de pluie).

Supposant que l'antenne est entourée par une couche absorbante de c oéf. d'affaiblissement  $L_c$  porté à  $T = T_C$ , comme par exemple radome ou l'atmosphère terrestre.



\* Si on fait intervenir la luminance spectrale  $E_\lambda$ , on pourra avoir la puissance absorbée par l'antenne qui correspond à des longueurs d'onde comprises entre  $\lambda$  et  $\lambda + d\lambda$

$$dP_a = \frac{1}{2} \iint_{\Omega} S(\theta, \phi) \cdot E_\lambda \, d\Omega \cdot d\lambda$$

Si on suppose que  $E_\lambda$  et  $S(\theta, \phi)$  sont constants dans l'intervalle  $\lambda$  et  $\lambda + d\lambda$  et que  $E_\lambda$  est indépendant de la direction d'arrivée du rayonnement.

$$dP_a = \frac{E_\lambda d\lambda}{2} \iint_{\Omega} S(\theta, \phi) \, d\Omega = \frac{E_\lambda \lambda^2 d\lambda}{8\pi} \iint_{\Omega} D(\theta, \phi) \cdot d\Omega$$

$$\text{or } \iint_{\Omega} D(\theta, \phi) \, d\Omega = D_M \iint_{\Omega} r(\theta, \phi) \, d\Omega = 4\pi$$

$$\text{d'où } dP_a = \frac{E_\lambda \lambda^2}{2} d\lambda$$

$$\text{or pour } \beta \ll \frac{kT}{h} \text{ on a } E_\lambda = 2c \frac{kT}{\lambda^4}$$

$$\text{d'où } dP_a = \frac{CKT}{\lambda^2} d\lambda \quad \text{or } \lambda = c/\beta$$

$$d\lambda = -\frac{\lambda^2}{c} d\beta$$

$$\text{donc } dP_a = KT d\beta \quad \text{avec } d\beta < 0$$

.../...

exemple : Supposons un récepteur du type amplificateur paramétrique dont la température de bruit est  $T_R = 22^\circ \text{ K}$  ; la température de l'antenne est de  $T_A = 40^\circ \text{ K}$ . La perte dans les circuits hyperfréquences supposés à la température ambiante est de  $0,2 \text{ dB}$ , ce qui correspond à  $L_c = 1,05$

d'où  $T = 40 + 0,05 * 300 + 22 * 1,05 = 40 + 15 \approx 23$

$$\boxed{T = 78^\circ \text{ K}}$$

Remarque 3 :

Si le facteur d'efficacité  $K$  de l'antenne n'est pas égal à 1, la contribution des pertes dans l'antenne à sa température de bruit s'écrit :

$$\boxed{\Delta T_2 = (1 - K) T_0}$$

avec  $T_0$  est la température thermodynamique à laquelle est effectivement portée l'antenne.

2 - 8 - Facteur de qualité d'une station de réception :

On définit le facteur de qualité par le :

rapport :  $\boxed{Q = 10 \text{ Log } \frac{G_M}{T}}$  avec  $G_M$  est le gain max de l'antenne,

rapporté à l'entrée de l'amplificateur froid.

Le facteur propre à l'antenne est :

$$\boxed{Q = 10 \text{ Log } \frac{G_M}{T_A}}$$

La température de contribution terrestre est donnée par :

$$\Delta T_1 = \frac{(L_c - 1)}{L_c} * T_c$$

exemple : Un radôme dont l'atténuation est de 0,1 dB ( $L_c = 1,02$ ) à la température  $T_c = 290$  ° K donnera une contribution du  $\Delta T_1 = 6$  ° K.

Remarque 2 :

Dans le cas d'un système de réception comprenant une antenne, des circuits passifs de transmission, un récepteur on peut définir une température de bruit T par :

"La température de bruit T du système, est la température d'une source remplaçant l'antenne et qui donnerait la même puissance de bruit globale à la sortie du système, le récepteur et les circuits passifs étant alors portés au zéro absolu. Elle est donnée par l'expression suivante :

$$T = T_A + (L_c - 1) T_c + L_c (F_R - 1) T_o.$$

$T_A$  : Température de bruit de l'antenne et qui tient compte éventuellement d'une atténuation atmosphérique de la présence d'un radôme et de son rendement propre.

$L_c$  : est l'atténuation des circuits passifs supposés à la température thermodynamique  $T_c$

$T_R = (F_R - 1) T_o$  est la température de bruit du récepteur, ou  $F_R$  représente son facteur de bruit et  $T_o$  la température thermodynamique à laquelle il se trouve réellement porté.



avec  $T(\theta, \phi)$  déjà définie, température thermodynamique de tous les points du ciel et de la terre.

- Le facteur de qualité d'une antenne dépend :

Essentiellement de son diagramme de directivité et en particulier de son rayonnement diffus.

On peut mesurer le facteur de qualité d'une installation par une technique internationale ; on mesure le bruit rapporté à l'entrée du récepteur pour les 2 cas suivants :

1) - Antenne pointée au voisinage d'une source radioélectrique connue :  
On note une puissance de bruit à la sortie du récepteur correspondant à une température de bruit  $T$  de la station ramené à l'entrée du récepteur.

2) - Antenne pointée vers la source radioélectrique :  
On note une puissance de bruit à la sortie du récepteur pour une température de bruit  $T + \Delta T$ .

le rapport  $\frac{GM}{T}$  de la station est définie par :

$$\frac{GM}{T} = \frac{8 \pi K}{N} * \frac{\Delta T}{T}$$

avec  $K =$  constante de Boltzmann égal à  $1,38 \cdot 10^{-23}$

$N =$  densité d'énergie émise par la source et mesurée à l'endroit de l'antenne. Elle est exprimée en Watt/m<sup>2</sup>/HZ

dans la première mesure, la puissance de bruit est égale à  $K \cdot T \cdot df$  alors que dans le 2e cas on a :  $K (T + \Delta T) df$

La différence provient de la puissance émise par la source et qui est égale à  $\frac{1}{2} N S_M df$  donc :

$$K T df + \frac{1}{2} N S_M df = K (T + \Delta T) df$$

$$\frac{1}{2} N S_M df = K \cdot \Delta T \cdot df$$

or

$$S_M = \frac{G_M \lambda^2}{4\pi} \implies \frac{1}{2} N \frac{G_M \lambda^2}{4\pi} = K \cdot \Delta T$$

$$G_M = K \cdot \Delta T \cdot \frac{8\pi}{N \lambda^2} \quad \text{et} \quad \frac{G_M}{T} = \frac{8\pi K}{\lambda^2 N} \cdot \frac{\Delta T}{T}$$

d'où

$$Q = 10 \log_{10} \frac{8\pi K}{\lambda^2 N} + 10 \log_{10} \frac{\Delta T}{T}$$

### La réception :

Aujourd'hui il est possible de capter de nombreuses chaînes de TV transmises par des satellites géostationnaires situés à 36000 km d'altitude, au dessus de l'équateur.

Ces satellites diffusant des programmes anglophone, germanophone francophone ou italophone, peuvent être reçus avec un équipement adéquat, devant être judicieusement installé et réglé avec soins.

### Fonctionnement de la T.V. par satellite :

Un satellite de télévision peut être comparé à un émetteur de télévision qui serait placé à 36000 km d'altitude au dessus de l'équateur, tournant à la même vitesse angulaire avec la terre.

Ce satellite est dit géostationnaire, donc il apparaît immobile depuis notre globe. L'antenne au sol est par conséquent considérée comme fixe.

Un satellite transmet plusieurs canaux (dans des fréquences différentes) à partir d'un rayonnement en forme de faisceau et plus précisément en profil de cône. C'est au centre de cette figure géométrique dessinant une ellipse sur la surface terrestre que le signal est le plus fort, d'où des plus petits diamètres ( $\emptyset$ ) de parabole. Plus on s'éloigne du centre de l'ellipse, plus l'intensité diminue, d'où la nécessité d'installer des paraboles de plus en plus grandes captant ainsi le même "volume" ou intensité de signal indispensable à un bon fonctionnement.

Le satellite appelé EUTELSAT, d'origine européenne et géré par L'EUTELSAT (Organisation Européenne de Télécommunications par satellite), diffuse douze programmes TV, principalement en couleur PAL.

Le second est le satellite Intelsat (Organisation Mondiale des Télécommunications par satellite), envoie cinq programmes anglophones en couleur PAL.

Le diamètre de parabole (apportant le gain de l'antenne exprimé en dB) est variable selon le satellite reçu (puissance d'émission du satellite), mais surtout d'après la zone où est effectuée la réception des signaux.

.../...



## Fonctionnement d'une installation :

Pour recevoir les ondes transmises par satellite de télévision distant parfois de 48000 Km, il faut être équipé d'un matériel sophistiqué (technologie récente), adapté à la bande de télévision et plus particulière à la fréquence transmise. Les ondes de télévision, via satellite, sont classifiées de S.H.F. ou Supra haute fréquence et se propagent à la manière d'un rayon lumineux, c'est à dire que la propagation de ses signaux se fait exclusivement en ligne droite satellite-terre. Cette condition de transmission implique qu'aucun obstacle ne se trouve entre ces deux points.

Sur l'illustration représentée par la figure (1), nous remarquons que les ondes en provenance du satellite sont réfléchies sur le miroir parabolique, en un endroit précis dit : Focus.

Au focus, est placée une miniscule antenne éloignée d'une distance déterminée du paraboloïde.

Cette antenne recueille et dirige les signaux captés vers un boîtier étanche renfermant un amplificateur d'antenne et un convertisseur de fréquence.

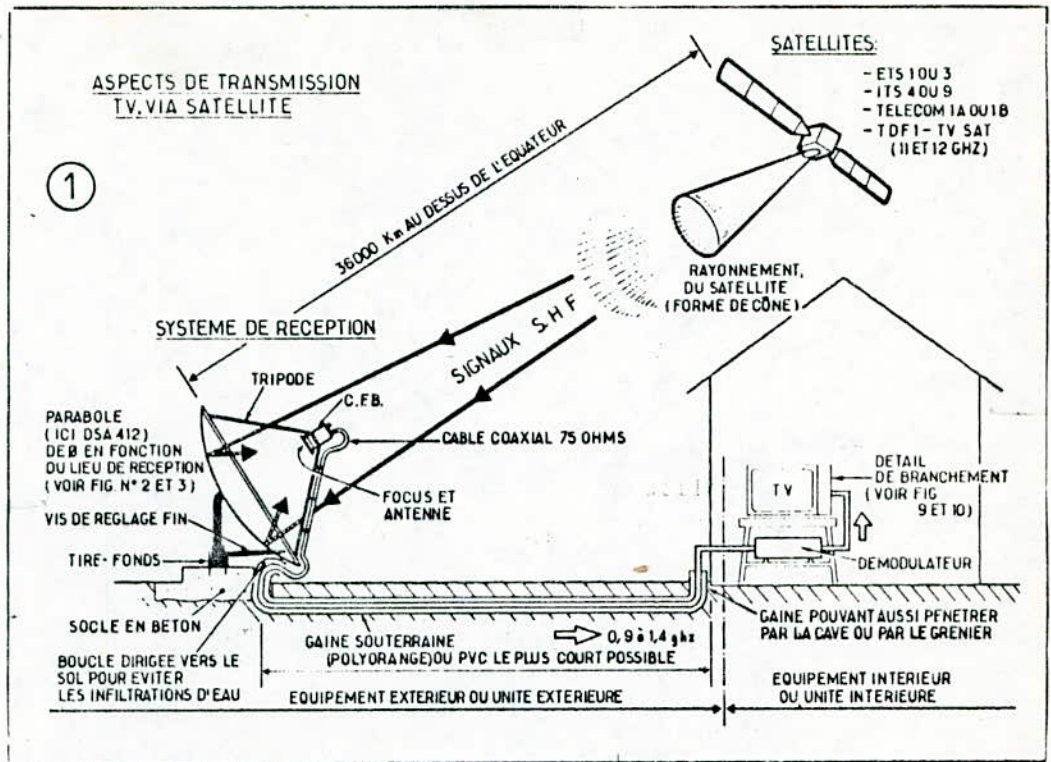
Cette première partie d'électronique porte le sigle de C.F.B (Convertisseur faible bruit), a pour mission d'amplifier le signal, puis de le convertir en une fréquence nettement plus basse, passant de 11 GHz aux environs de 1 GHz. Cet artifice technique est nécessaire afin de limiter les pertes du signal dans le câble coaxial, qui diminue proportionnellement à l'abaissement de fréquence. Le signal arrive, par le biais du coaxial, au second élément indispensable (placé par exemple sur la télé) : le démodulateur / sélecteur.

Ce dernier appareil a pour mission de rendre compatibles les signaux du satellite avec leur utilisation pour le téléviseur.

Il a aussi pour but de sélectionner, par des touches préréglables les différents programmes captables. Pour terminer cette chaîne, le démodulateur/sélecteur est connecté au téléviseur.

Enfin, signalons que la parabole et son convertisseur amplificateur faible bruit fait partie de l'équipement extérieur, et que le démodulateur fait partie de l'équipement intérieur.





Quel téléviseur faut-il pour la réception des chaînes satellitaires

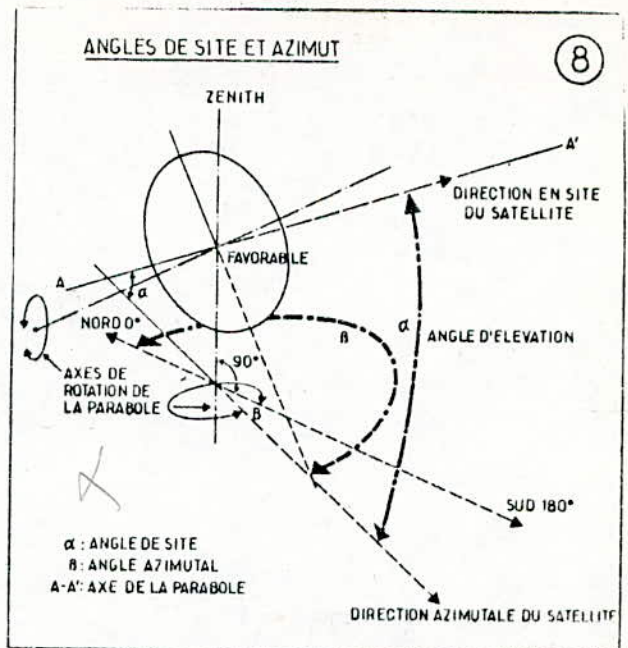
La majorité des programmes retransmis par les satellites de télécommunication sont diffusés en couleur PAL. Pour réceptionner cette norme, il faut un téléviseur multistandard PAL/SECAM. Si le téléviseur n'est équipé qu'en SECAM, alors il est nécessaire de disposer d'un décodeur PAL/SECAM ou d'un monostandard (réception par fiche Peritel P/S).

Comment déterminer la direction d'un satellite :

Lors de l'installation de l'antenne, du choix de site et surtout du pointage de la parabole, il est appréciable et utile de connaître les deux directions par lesquelles les ondes nous arrivent. Ces deux directions sont la direction horizontale site et la direction en élévation dans le plan vertical. Dans le plan horizontal, les signaux d'un satellite nous atteignent entre 90 et 270°, le nord étant à 0°. La graduation de la boussole sert à déterminer la direction de site. L'aiguille indiquant le nord est superposée au 0° de la graduation. L'angle formé entre l'aiguille aimantée et la coordonnée relevée sur l'illustration est l'angle de site.

Dans le plan vertical, c'est la direction par laquelle les signaux du satellite nous parviennent au dessus de l'horizon (le plan théorique de l'horizon étant 0° n'est pas nécessairement le plan visuel) et le zénith qui est à 90° à la verticale du lieu.

Cet angle d'élévation est toujours compris entre 0 et 90°. L'angle formé par l'horizontale et la coordonnée relevée sur l'illustration est de



Installation de l'antenne :

- Définir le choix et prévoir son aménagement :

Les commodités du site définissent le choix de l'emplacement pour l'installation de la parabole, montée sur son support mécanique. Le système peut être installé jusqu'à concurrence de la longueur de câble 75 Ohms disponible, qui ne peut excéder une quarantaine de mètres. Si cette longueur venait à être dépassée nettement, l'écran pourrait présenter une image neigeuse. Mais le préanpli supprime ce désagrément. La parabole et son support peuvent être mis en place, indifféremment, en de nombreux endroits : un balcon, une terrasse, cour, jardin, ou sur une toiture. Une installation sur une toiture en pente est plutôt déconseillée pour des raisons pratiques (l'accès, la fixation, l'étanchéité à assurer et surtout une prise au vent bien plus importante qu'au niveau du sol).

La parabole ~~parabole~~ peut aussi très bien trouver sa place adossée contre un mur (perpendiculaire au sol) ou tout autre support vertical suffisamment large et présentant des garanties de stabilité et de robustesse. Le support mécanique de l'antenne étant fermement fixée contre cette paroi, par l'emploi de moyens adaptés, supportant les contraintes mécaniques à l'arrachement dues aux poids et à la pression du vent dans la parabole.

L'antenne de réception doit obligatoirement "voir" le satellite. Ce principe fondamental doit être respecté à la lettre. Un arbre, une branche, un poteau ou toute autre construction artificielle peuvent affaiblir le signal, voire interdire toute réception.



La parabole doit-êtré placée dans la mesure du possible dans un endroit abrité du vent. Elle peut très bien être disposée sous un abri, hangar, porche, cabane ; à condition de respecter la visibilité directe vers le satellite.

Pour le choix du site, il peut aussi être pris en considération l'aspect esthétique. Effectivement, à proximité d'un pavillon ou sur une pelouse, l'on peut peindre la parabole pour l'intégrer dans le décor et pour protéger le site, l'antenne peut être entourée d'un écran de verdure, par exemple, à l'arrière de la parabole et sur les côtés.

#### Installation du convertisseur faible bruit, appelé aussi tête SHF.

Vu de face, le guide d'onde de la tête SHF présente un orifice rectangulaire, sorte d'entonnoir à ondes. Placé verticalement, il ne capte ou discrimine que les signaux en polarisation verticale et placé horizontalement, il ne capte que les signaux de polarisation horizontale.

#### Réglage de la tête S.H.F. par rapport à la parabole :

La tête SHF, élément le plus performant de toute l'installation, doit être installée et réglée avec grands soins. La tête se situe obligatoirement dans l'axe de la parabole et à une distance D de celle-ci, appelée focale.

Cette focale doit-êtré ajustée à quelques millimètres près dans une plage de 2 cm environ, disponible dans l'installation mécanique. A cet effet, après avoir parfaitement pointé la parabole en site et en azimut, on choisit un canal très faible, comme par exemple SAT 3 (2) (V), pour vérifier et, si nécessairement, ajuster la distance entre la parabole et le guide d'ondes (jusqu'à l'apparition de la meilleure image).

Pendant la manipulation de la tête, notons que la présence de l'opération (différentes parties du corps, même la main) influencent généralement les résultats ; il y a donc lieu à chaque fois de se retirer suffisamment et de contrôler par la suite. Profitant d'utiliser un canal faible, l'opérateur pourra encore vérifier une dernière fois le pointage de la parabole.

Il existe des moteurs faisant pivoter la tête SHF dans la polarisation voulue. Ce petit mécanisme est commandé depuis le démodulateur via un câble d'alimentation.



La ligne coasiale, le câble et son installation :

Le câble :

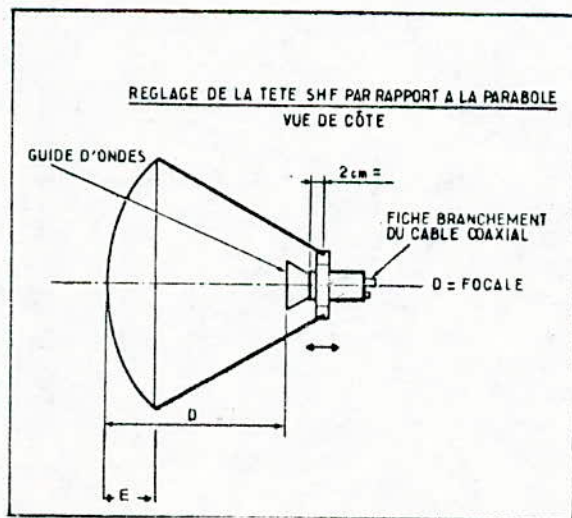
Un câble coasial peut être comparé à un tuyau qui conduirait les ondes à un endroit défini. Le câble utilisé dans une installation satellite est un câble coasial à très faible perte dont l'impédance est de  $75\Omega$ .

Le coasial peut être d'une part de bonne qualité, en bon état et d'une seule pièce et, d'autre part, le plus court possible, compte tenu évidemment des dimensions de l'installation.

Il faut éviter au câble tout écrasement ou torsion ainsi qu'un rayon de courbure inférieur à 3 - 4 cm. Le non respect de ces recommandations peut engendrer un mauvais fonctionnement de l'installation, voire une panne, surtout lorsqu'on sait que le coasial véhicule une tension (24 V) délivré par le démodulateur, en direction de C.F.B. de l'antenne.

Si pour des raisons de dégagement insuffisant en direction du satellite (site), notamment en zone urbaine ou de montagne, on est amené à placer l'antenne sur un point favorable loin du receptr, entraînant une grande longueur de câble et de ce fait, l'importante perte de signal, il devient nécessaire d'utiliser un câble spécial dit "très faible perte" qui autorise un parcours supérieur à 40 m jusqu'à concurrence de 60 m environ. Au-delà de cette distance, il est indispensable d'intercaler un amplificateur de ligne rattrapant ces pertes.

Suivant les caractéristiques et la qualité du câble employé, les longueurs en mètres peuvent être différentes de celles indiquées.



### Installation de la ligne :

Pour l'aménagement de la ligne coaxiale entre, par exemple, l'antenne et le pavillon, distant de plusieurs mètres, servant à l'acheminement des signaux jusqu'au téléviseur, il existe deux solutions.

L'une est la ligne aérienne et l'autre, la ligne souterraine, en aucun cas le câble ne traînera sur le sol.

La ligne aérienne est plutôt à déconseiller. Si cette ligne est toutefois la seule solution, lorsque pour des raisons pratiques il ne peut être procédé à une installation souterraine, vu la présence de bitume, dallage, etc... on place donc le câble parallèlement à un fil de fer galvanisé tendu entre des piquets ou des poteaux. Le câble est solidement maintenu sur ce parcours par des colliers.

Pour un trajet horizontal aérien, on peut utiliser comme support un mur, une bordure etc... sur lequel est fixée le câble. Pour un parcours souterrain, le coaxial est obligatoirement placé dans une gaine protectrice, déposée dans une tranchée suffisamment profonde, notamment dans un potager pour éviter tout risque d'altération ou de destruction.

On assure l'étanchéité aux extrémités de la ligne par l'utilisation d'un produit genre silicone ou mastic. Pour prévenir les infiltrations d'eau dans la gaine (côté antenne), le bout de celle-ci est dirigé vers le sol.

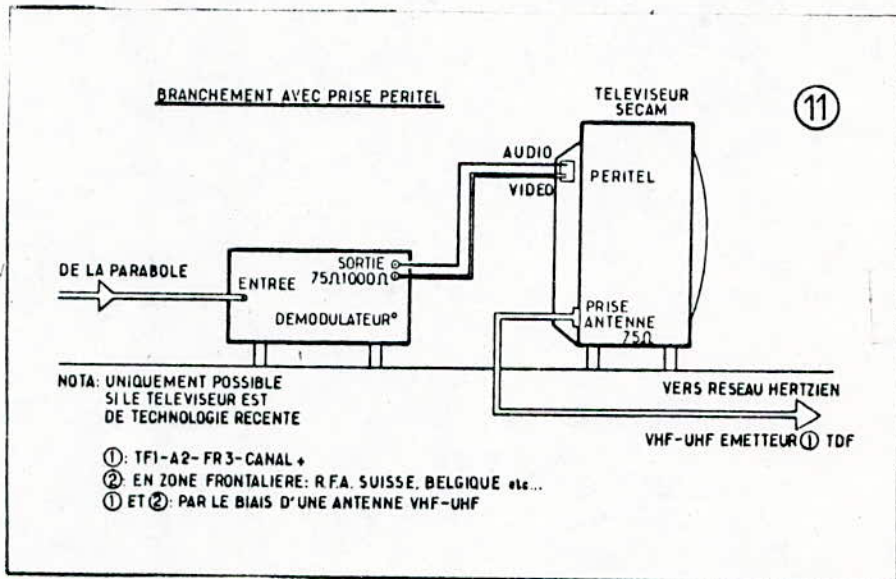
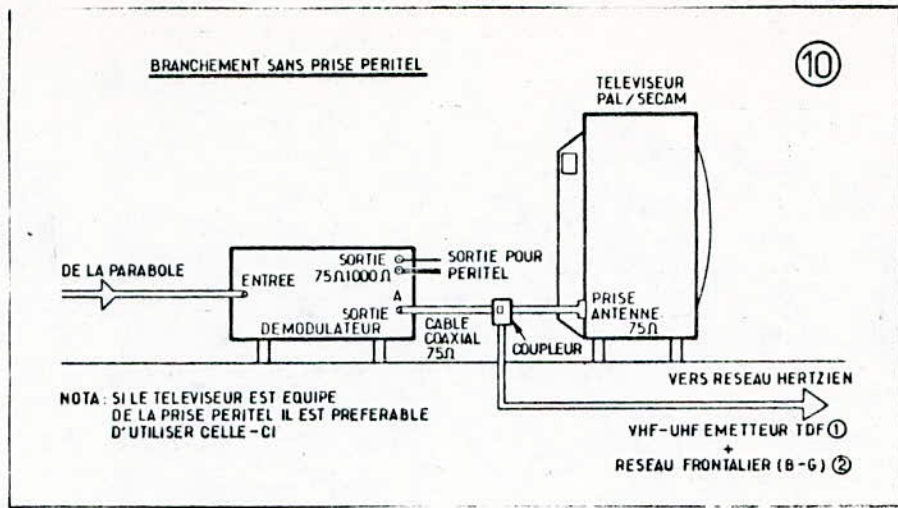
Afin de protéger la seule connexion extérieure (boîtier du C.F.B. / Ligne coaxiale), le connecteur est garni de graisse silicone ou tout autre protège-contact HF.

### Branchement :

L'extrémité du câble, arrivant près du téléviseur est garnie d'un connecteur mal branché sur le démodulateur, à l'entrée repérée par la mention "RF input 75  $\Omega$ ".

La dernière liaison démodulateur-Téléviseur est assurée soit à partir de la sortie repérée par la mention "RF output  $\Omega$ " par l'emploi d'un câble télé de longueur suffisante branché à la prise d'antenne du téléviseur, soit à partir des prises "vidéo output 75  $\Omega$ " et "Audio output 1000  $\Omega$ " en direction de la prise "Peritel" du téléviseur.

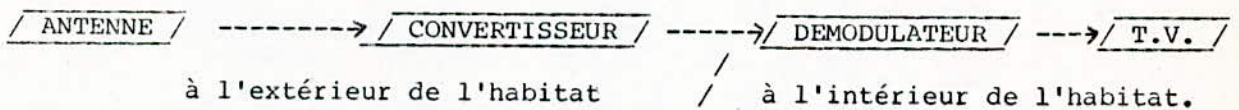




- Description d'une chaîne de réception TVDS :

On peut distinguer deux formes :

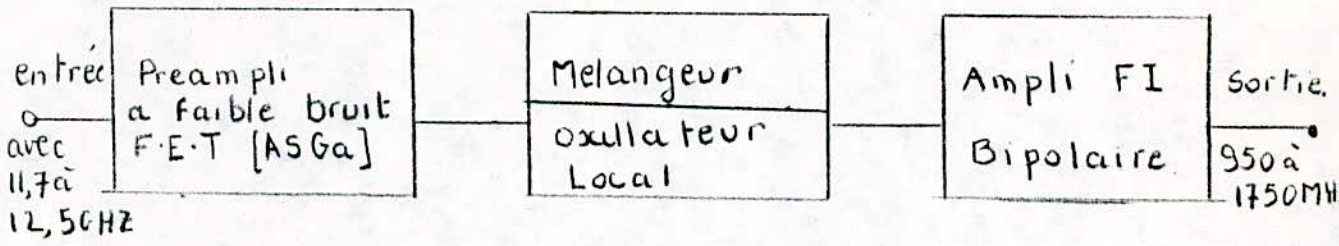
Le schéma synoptique de la 1ère chaîne :



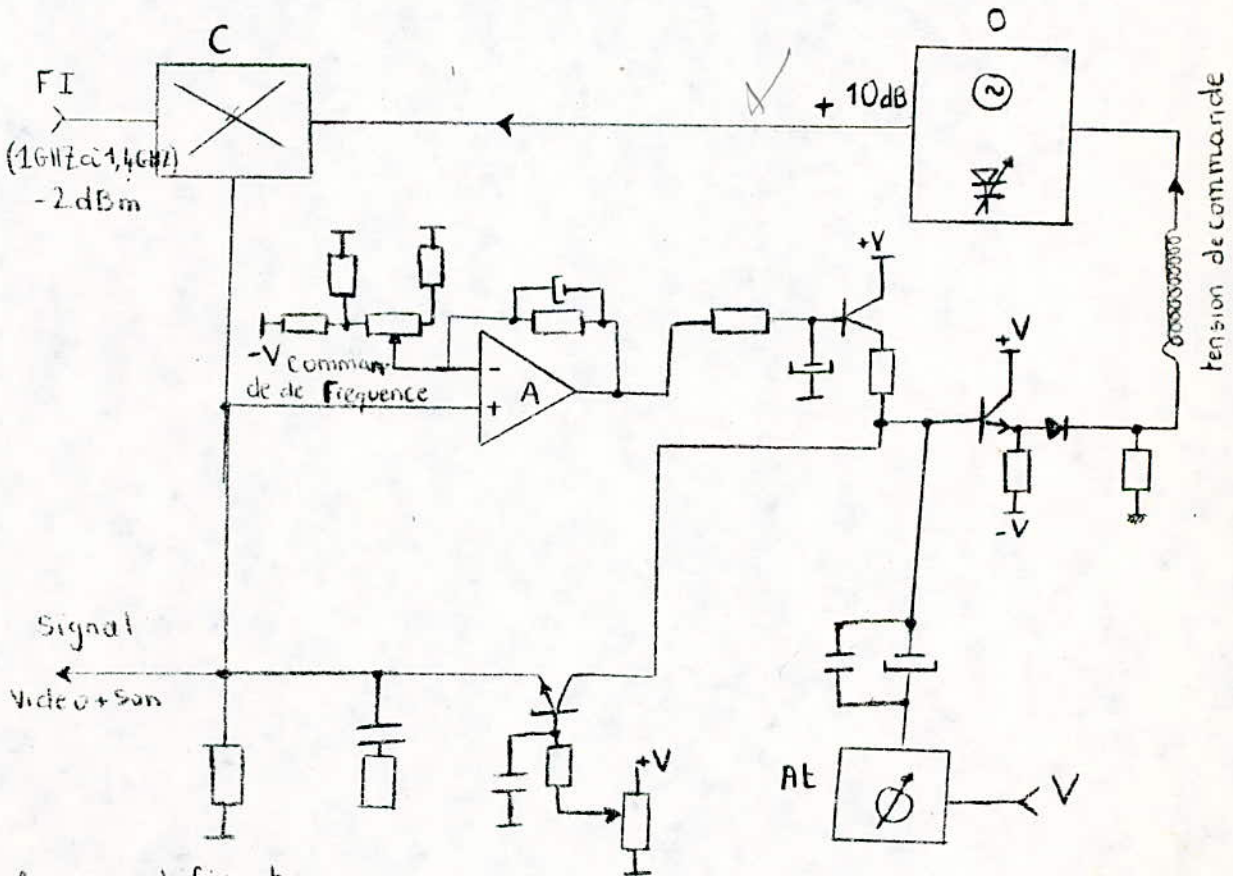
\* Le convertisseur se trouve sur l'antenne.



Le Schéma synoptique d'un convertisseur :



Le Schéma synoptique du démodulateur :



A: amplificateur

AT: atténuateur

C: comparateur de phase.

O: oscillateur contrôlé en tension.

\* Schéma tiré de l'article E 644 3-1 écrit par PAHMTAT DAT - Ingénieur en chef à la direction des études et recherches - Télédiffusion de France (TDF).

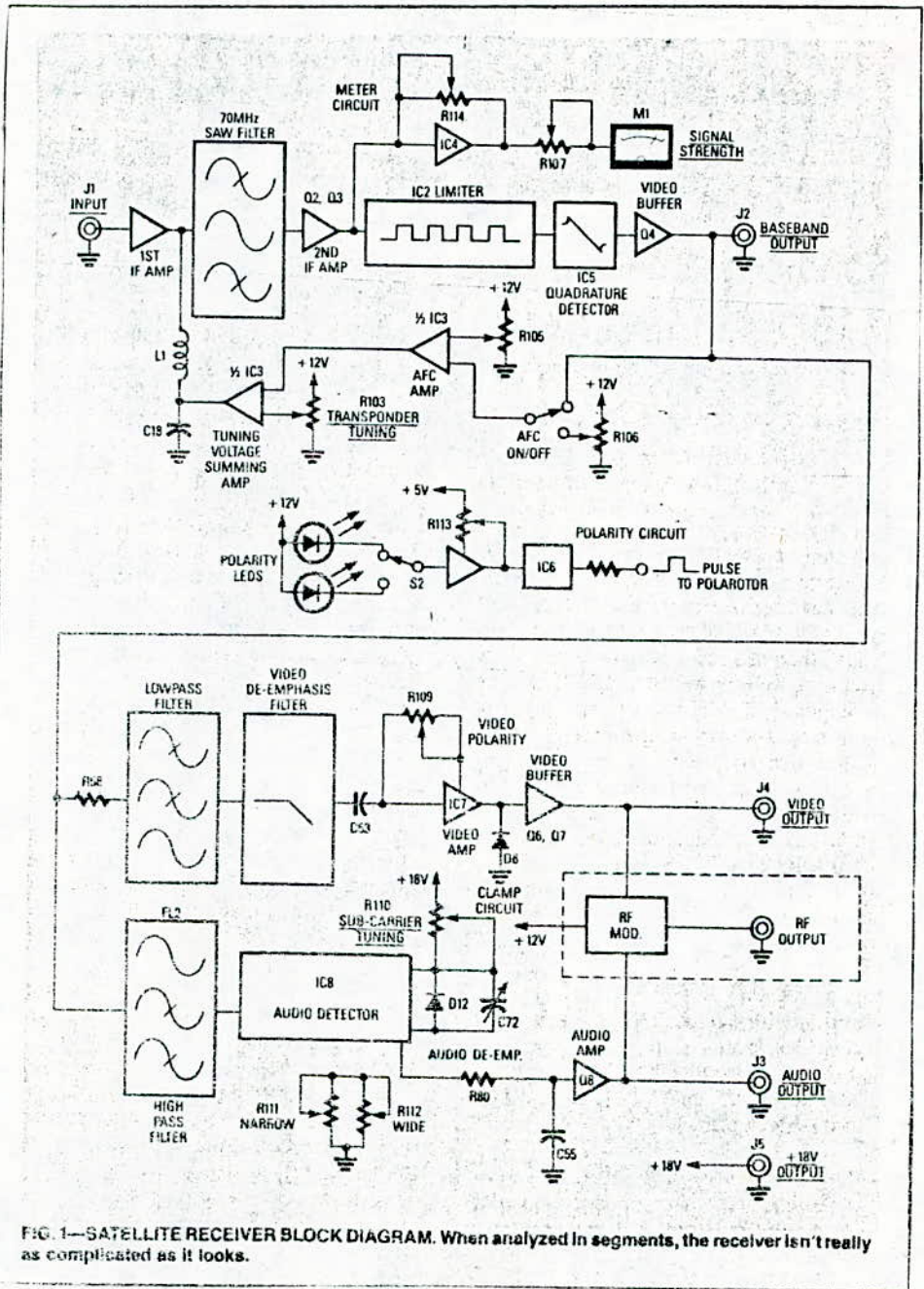


FIG. 1—SATELLITE RECEIVER BLOCK DIAGRAM. When analyzed in segments, the receiver isn't really as complicated as it looks.

Schema synoptique du démodulateur



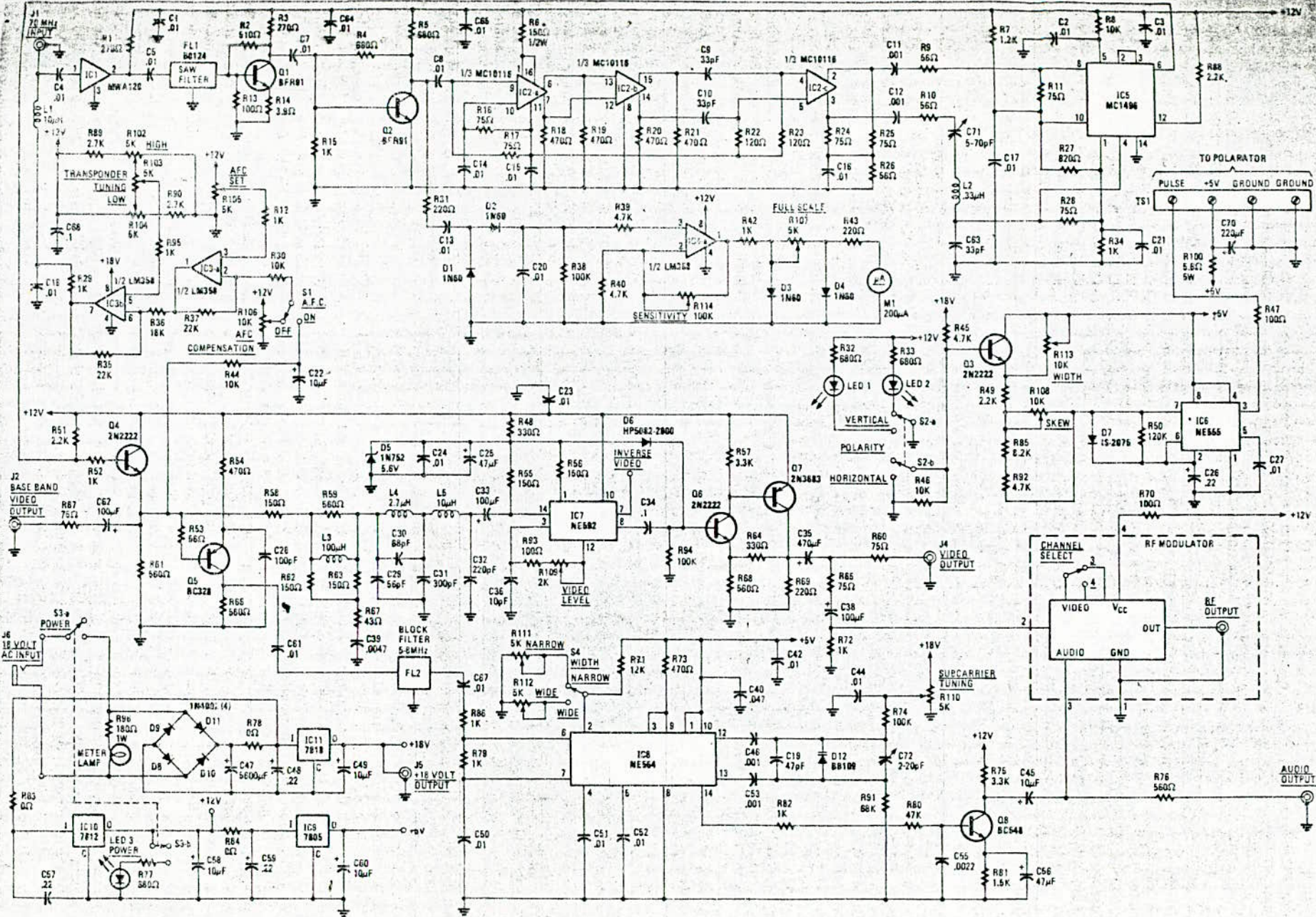


FIG. 2—THE COMPLETE SCHEMATIC of the receiver shows the tuning circuit, the IF section, the video and audio circuits, polarization-control circuit, RF modulator, and power supply. A complete kit is available, and hard-to-find components, including the PC board, are available separately.



## PARTS LIST

All resistors 1/4-watt, 5% unless otherwise specified.

R1, R3—270 ohms  
 R2—510 ohms  
 R4, R5, R32, R33, R77—680 ohms  
 R6—150 ohms, 1/2-watt  
 R7—1200 ohms  
 R8, R30, R44, R46—10,000 ohms  
 R9, R10, R26, R53—56 ohms  
 R11, R16, R17, R24, R25, R28, R60, R65, R87—75 ohms  
 R12, R15, R29, R34, R42, R52, R72, R79, R82, R86, R95—1000 ohms  
 R13, R47, R70, R93, R96—100 ohms  
 R14—3.9 ohms  
 R18—R21, R54, R73—470 ohms  
 R22, R23—120 ohms  
 R27—820 ohms  
 R31, R43, R69—220 ohms  
 R35, R37—22,000 ohms  
 R36—18,000 ohms  
 R38, R74, R94—100,000 ohms  
 R39, R40, R45, R92—4700 ohms  
 R41—unused  
 R48, R64—330 ohms  
 R49, R51, R88—2200 ohms  
 R50—120,000 ohms  
 R55, R56, R58, R62, R63—150 ohms, 1/2-watt  
 R57, R75—3300 ohms  
 R59, R61, R66, R68, R76—560 ohms  
 R67—43 ohms  
 R71—12,000 ohms  
 R78, R83, R84—0 ohms (jumper)  
 R80—47,000 ohms  
 R81—1500 ohms  
 R85—8200 ohms  
 R89, R90—2700 ohms  
 R91—68,000 ohms  
 R96—180 ohms, 1 watt  
 R97—R99, R101—unused  
 R100—5.6 ohms, 5 watts  
 R102, R104, R105, R107, R111, R112—5000 ohm trimmer potentiometer  
 R103—5000 ohm linear potentiometer  
 R106, R113—10,000 ohm trimmer potentiometer  
 R108—10,000 ohm linear potentiometer  
 R109—2000 ohm trimmer potentiometer  
 R110—5000 ohm linear potentiometer

R114—100,000 ohm trimmer potentiometer

### Capacitors

C1—C5, C7, C8, C13—C18, C20, C21, C23, C24, C27, C42, C44, C50—C52, C61, C64, C65, C67—0.01  $\mu$ F, ceramic disk  
 C6, C37, C41, C43, C54, C59, C66—unused  
 C9, C10, C63—33 pF, ceramic disk  
 C11, C12, C46, C53—0.001  $\mu$ F, ceramic disk  
 C19—47 pF, silver mica  
 C22, C45, C49, C58, C60—10  $\mu$ F, 25 volts, tantalum  
 C25, C56—47  $\mu$ F, 16 volts, tantalum  
 C26, C48, C57, C59—0.22  $\mu$ F, 30 volts, tantalum  
 C28—100 pF, ceramic disk  
 C29—56 pF, ceramic disk  
 C30—68 pF, ceramic disk  
 C31—300 pF, ceramic disk  
 C32—220 pF, ceramic disk  
 C33, C38, C62—100  $\mu$ F, 16 volts, electrolytic  
 C34, C68—0.1  $\mu$ F, ceramic disk  
 C35—470  $\mu$ F, 16 volts, electrolytic  
 C36—10 pF, ceramic disk  
 C39—0.0047  $\mu$ F, ceramic disk  
 C40—0.047  $\mu$ F, ceramic disk  
 C47—5600  $\mu$ F, 40 volts, electrolytic  
 C55—0.0022  $\mu$ F, ceramic disk  
 C70—220  $\mu$ F, 25 volts, electrolytic  
 C71—5–70 pF, variable  
 C72—2–20 pF, variable

### Semiconductors

IC1—MWA120, hybrid small-signal amplifier  
 IC2—MC10116, triple differential line receiver  
 IC3, IC4—LM358, dual op-amp  
 IC5—MC1496, video detector  
 IC6—NE555, timer  
 IC7—NE592, video amplifier  
 IC8—NE564, phase-lock loop  
 IC9—7805, 5-volt regulator  
 IC10—7812, 12-volt regulator  
 IC11—7818, 18-volt regulator  
 Q1, Q2—BFR91  
 Q3, Q4, Q6—2N2222  
 Q5, Q7—BC328 or 2N3583

Q8—BC548 or ECG548

D1—D4—1N60  
 D5—1N752, 5.6-volt zener diode  
 D6—HP 5082-2800 or 1N6263 Schottky diode  
 D7—1S2075  
 D8—D11—1N4002  
 D12—BB119 tuning diode  
 LED1—standard green LED  
 LED2, LED3—standard red LED's

### Other components

J1, J5—"F" connector  
 J2, J3, J4—RCA phono jack  
 J6—coaxial power input jack  
 TS1—4-position screw-terminal strip  
 L1, L5—10  $\mu$ H  
 L2—0.33  $\mu$ H, six turns on a 1/4-inch form.  
 L3—100  $\mu$ H  
 L4—2.7  $\mu$ H  
 S1, S4—SPDT, toggle switch  
 S2, S3—DPDT, toggle switch  
 FL1—BO124 SAW filter  
 FL2—5–8 MHz block filter (Dick Smith L-1600)  
 M1—200  $\mu$ A edge-reading meter  
 RF modulator  
 T1—18-volt AC power transformer

Liste des composants du démodulateur.

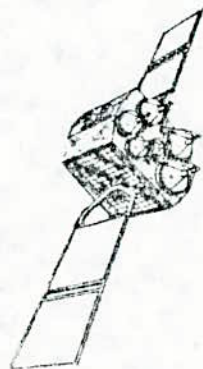
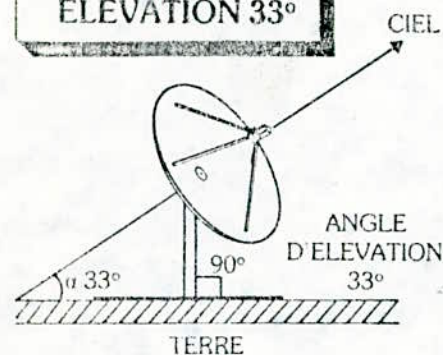


13° Est

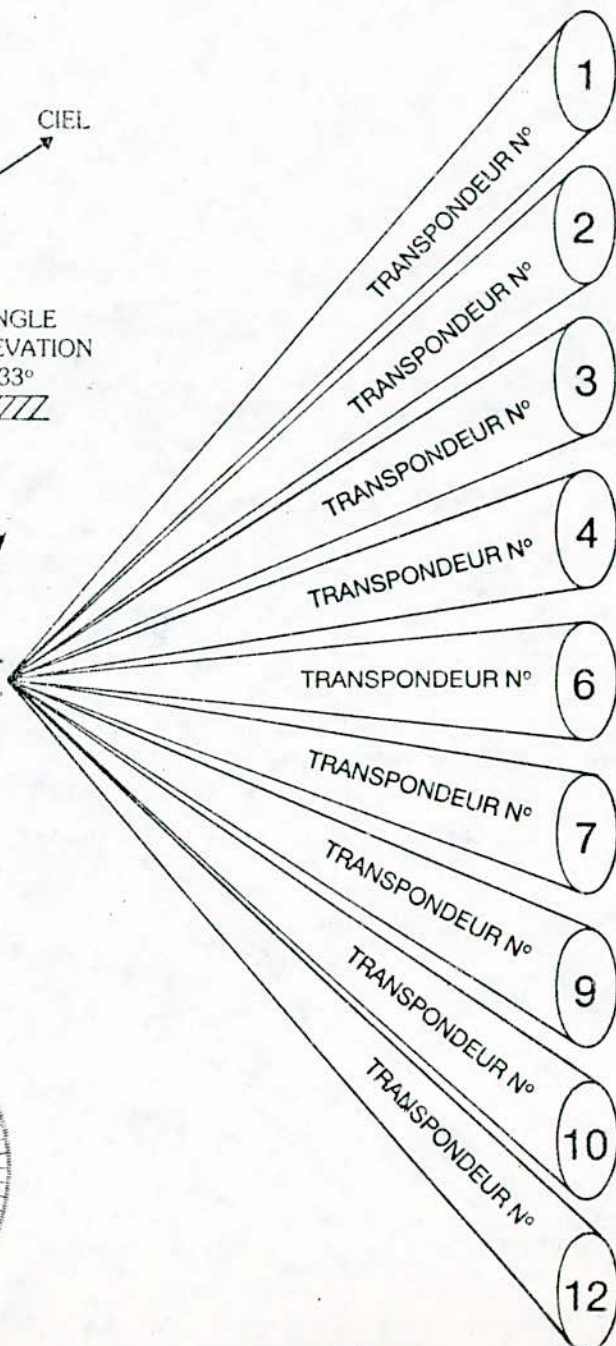
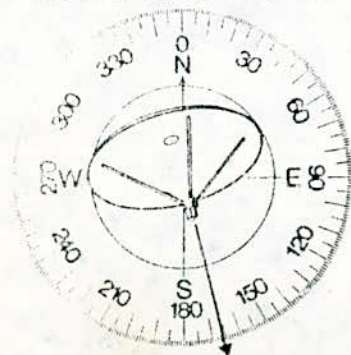
## SATELLITE : EUTELSAT-I-F1

PRÉSENTATION DES CHAINES ET PROGRAMMES QUE VOUS POUVEZ RECEVOIR

ORIENTATION  
pour PARIS  
Site : 166°  
ELEVATION 33°



ORIENTATION EN SITE



T*	POLAR	PAYS	PROGRAMMES	HEURES	DESCRIPTION
4	H (☉)	ITALIE	R.A.I. Uno	10 H 23 H	1 <sup>re</sup> chaîne nationale ITALIENNE
6	H (☉)	R.F.A.	SAT 3		Films - Divertissements en allemand
12	H (☉)	Pays-Bas	OLYMPUS.TV	18 H 1 H mat.	Infos - Films - Divertissement en néerlandais
20	H (☉)	France NORVEGE USA	TV. 5 New World Chanel WORLD NET	19 H 23 H	Infos - Films en français Religion - Divers Infos - Reportages en anglais
24	H (☉)	ANGLETERRE	SKY CHANNEL	24 H/ 24 H	Films - Divertissements en anglais
1	V (☉)	SUISSE	TELECLUB PAY.SAT	16 H 1 H mat.	Films - Divertissements en allemand
7	V (☉)	BELGIQUE USA différé	FILMNET.ATN W.P.N. World Public News	24 H/ 24 H	Films - Divertissements français et anglais Informations USA
19	V (☉)	RFA	SAT 1	16 H 24 H	Divertissements en allemand
23	V (☉)	ANGLETERRE	MUSIC BOX	24 H/ 24 H	Vidéo clips - Pop Infos en anglais



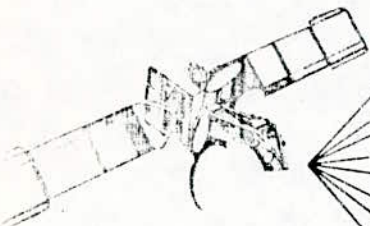
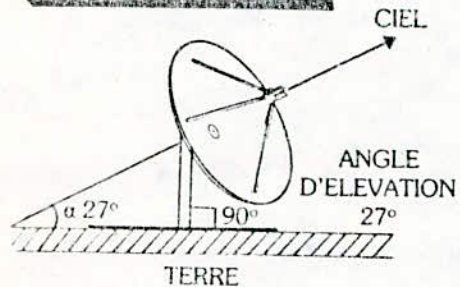
27,5° Ouest

**SATELLITE : INTELSAT-V-F4**

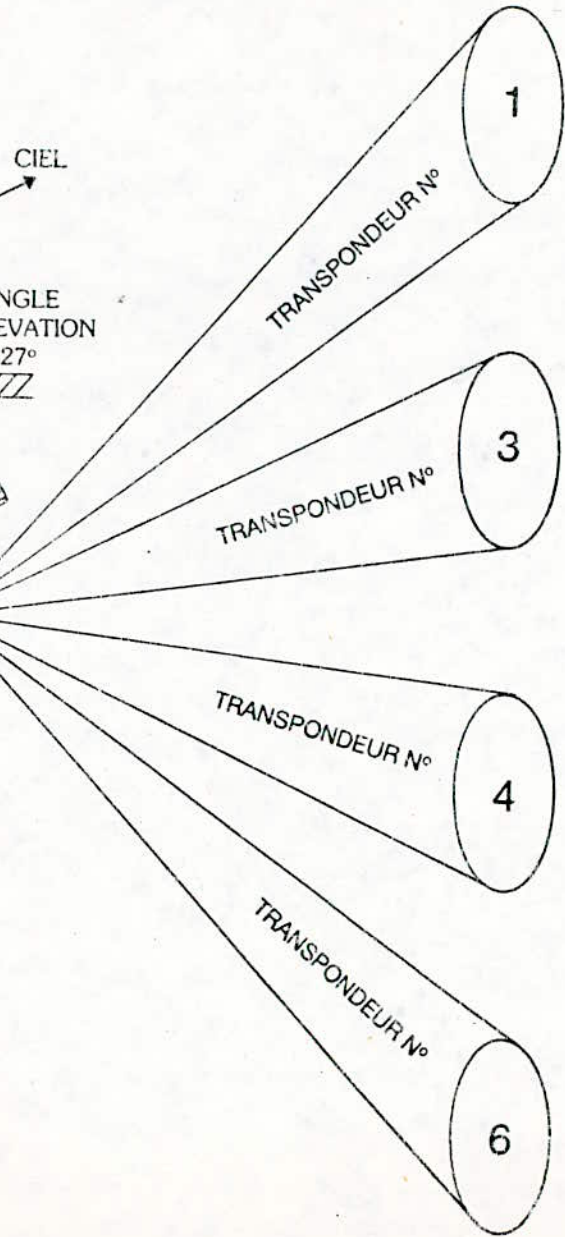
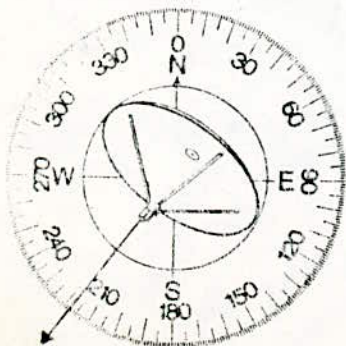
**PRÉSENTATION DES CHÂÎNES ET PROGRAMMES QUE VOUS POUVEZ RECEVOIR**

**ORIENTATION**

pour PARIS  
Site : 217,5°  
ELEVATION 27°



**ORIENTATION EN SITE**



T*	POLAR	PAYS	PROGRAMMES	HEURES	DESCRIPTION
4	H (D)	ANGLETERRE ANGLETERRE	Children Chanel PREMIÈRE	8 H matin 17 H	Dessins animés en anglais Films récents en anglais Très variés
8	H (D)	ANGLETERRE ANGLETERRE	LIVE STYLE SCREEN SPORT	17 H 23 H	Variétés + Films + Infos Tous les sports du monde en anglais
12	H (D)	ANGLETERRE	MIRROR VISION	16 H 24 H	1 film nouveau toutes les 2 H Divertissements en anglais
11	M (D)	U.S.A. Direct Virginie	C.N.N. Cable News Network	24 H/ 24 H	Infos - Films Reportages U.S.A. en anglais

T\* Touche du DÉMODULATEUR



PROGRAMMES SUR L'EUROPE

---

INTELSAT V - F4

---

Ce satellite présente 4 canaux réceptibles dans la majeure partie de l'Europe centrale avec une antenne de 1,20 m en combinaison avec les équipements très sensibles fabriqués par DX ANTENNA.

Pour des systèmes "antenne collective", il est préférable d'acquérir une antenne de 1,80 m afin d'assurer une qualité d'images parfaites.

LES PROGRAMMES :



THE CHILDREN'S CHANNEL

---

Films et dessins animés pour enfants de tout âge.



T.E.N (The Entertainment Network)

---

La chaîne du cinéma en général. Elle propose quotidiennement une sélection de films. De l'action, de l'humour, du romantisme.



PREMIERE

---

La chaîne de Thorn-EMI. Présente un programme varié, des films récents, à voir ou à revoir.



## SCREEN SPORT

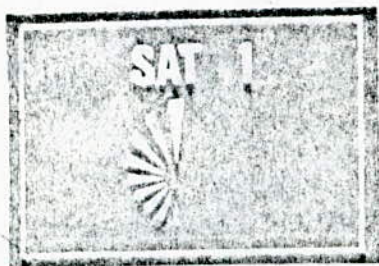
---

De l'action, du sport comme s'il en pleuvait. Sport conventionnel, insolite, tout court, du spectacle assuré.

## E.C.S - F1 (EUTELSAT 1 - F1)

---

Ce satellite arrose l'Europe de programmes télévisés originaires de différents pays. Dans certaines parties de l'Europe, il est possible de réceptionner à l'aide d'une antenne de 1,20 m en combinaison avec l'équipement sensible fabriqué par DX ANTENNA. Pour des systèmes antennes collectives, il est recommandé d'installer une antenne de 1,80 m afin d'assurer une qualité d'images parfaites.



## SAT 1 (ALLEMAGNE)

---

- Divertissements
- Codé
- En Allemand
- PAL



## MUSIC BOX (ROYAUME UNIS)

---

- Vidéo clips pop info
- Pas codé
- En Anglais
- PAL





SKY CHANNEL (ROYAUME UNIS)

---

- Divertissements
- Pas codé
- En Anglais
- PAL



PAYSAT (SUISSE)

---

- Films
- Pas codé
- En Allemand
- PAL



FILMNET (HOLLANDE)

---

- Films
- Pas codé
- En Anglais
- PAL

W.P.N

---

- Informations
- Pas codé
- En Anglais
- PAL
- Partage le canal de FILMNET



LES PROGRAMMES :



R.A.I (ITALIE)

---

- Divertissements
- Pas codé
- En Italien
- PAL

3 - SAT (ALLEMAGNE)

---

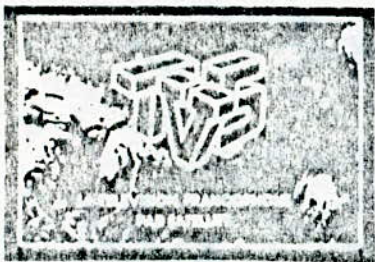
- Divertissements
- Codé
- En Allemand
- PAL



OLYMPUS TV (HOLLANDE)

---

- Informations, divertissements
- Opérationnel en automne.



TV 5 (FRANCE)

---

- Divertissements
- codé
- en Français
- SECAM

## CHAPITRE IV

### Les antennes de reception de la télévision directe par satellite.

Les antennes sont les éléments de la réception les plus important dans les chaînes de télévision directe par satellite (TVDS).

En 1980 les antennes prévues par la TVDS étaient celles dite du type parabolique mais avec le progrès technologique d'autre type d'antennes TVDS ont vu le jour en particulier l'antenne plates réalisé avec des dipôles repliés alignés en réseau.

Nous allons parler de ces antennes plates à travers un article de Monsieur DUBOST paru dans la revue IEEE de Février 1986 sous le titre "large bande passante et gain élevé d'un réseau de dipôles repliés travaillant à 12GHz" en langue Anglaise :

#### A Les antennes plates pour la TVDS.

Le gain élevé du réseau, qui travaille au voisinage de 12,1 GHz dont 6,6 % de la bande passante sont consacré pour les signaux engoyés des satellites géostationnaire pour la radiodiffusion l'alimentation incorporée des ondes progressives et le plan de radiation transversal du réseau sont compatible avec les larges bandes.

Pour obtenir des faibles radiation secondaires et des niveaux de polarisation croisé, il est nécessaire d'utiliser des réseaux d'alimentation blindé.



## 1) Radiation d'un dipole élémentaire.

Ici nous faisons la description du dipole et de son fonctionnement. La pièce rayonnante est composée de 2 plaques large (1,1') voir figure. 1 et 1' sont alimentées en opposition de phase par l'entrefer (2) et deux minces bras repliés (3) qui sont portés par la même face.

La source de rayonnement élémentaire est formée de deux circuits imprimés superposés.

La partie supérieure de l'un des deux circuits imprimés (4) qui possède deux faces, contient la pièce métallique rayonnante du dipole symétrique replié plat et l'un des deux rubans d'alimentation blindé avec son conducteur central (5) supporté par la face inférieure.

L'autre circuit imprimé (6) possède seulement une pièce métallique (7) qui est utilisée comme réflecteur pour la partie métallique rayonnante, et comme une autre alimentation de la ligne ruban blindé.

Une connexion directe n'est pas nécessaire pour le couplage de l'alimentation du conducteur central ligne ruban et la partie métallique rayonnante, ce couplage est réalisé par une ligne ruban quart-d'onde (8) ouverte.

Pour réduire le niveau de polarisation croisée il est nécessaire que les parties métalliques du dipole replié soient parfaitement symétriques, tout comme il est nécessaire d'avoir un bon blindage de l'alimentation.

Ces deux conditions nous mènent à éliminer les radiations de la source. Les fenêtres (9) autour du métal rayonnant ont des surfaces limitées qui assurent la continuité de l'une des deux alimentations blindées ligne ruban, quand plusieurs sources sont utilisées dans l'entourage.



En effet, leur résistance de radiation à la résonance est de l'ordre de 150 Ohms, ce qui n'est pas loin de la résistance caractéristique des lignes rubans ce qui permet une adaptation et une efficacité dans une large gamme de fréquence.

La théorie des approximation basé sur la distribution du courant sinusoïdal, suppose que tout au long des deux plaques et des deux bras repliés ont vérifié les conditions de résonance.

La conduction du courant est surtout localisé sur les bords de la plaque métallique rayonnante, spécialement le long des coupures qui portent les bras repliés séparant les larges plaques.

Une source élémentaire rayonnante a été réalisée et testée entre 11,7 GHz et 12,5 GHz la mesure du gain linéaire et isotrope était supérieur à 7 dB, le rendement était de 83% et le ROS était inférieur à 1,3.

## 2) Réseau de seize (16) dipôles plat replié à 12 GHz

Monsieur Bubost a étudié un réseau de 16 dipôles plats repliés symétrique alimenté par des courants de même amplitude et de même phase qui travail autour de 12 GHz utilisé dans la TVDS (réalisé par divers matériaux) .

Les sources rayonnantes sont alimenté par des réseaux symétrique conçu avec la technologie des lignes rubans.

Plusieurs transformateurs de ligne quart-d'onde sont utilisés pour adapter l'impédance d'entrée apparente du réseau avec le point central.

La bande passante obtenue est d'environ 10 % pour un ROS inférieur à 1,5. La mesure du gain linéaire isotrope est égal à 20,7 dB avec le matériel duroïde 5880.

La composante de la polarisation croisé est inférieure à 35 dB dans la direction de l'axe ou il y a un rayonnement maximal.

Le diagramme théorique déduit des sources non couplées est en accord avec le modèle expérimental, spécialement dans le plan H.

Dans le plan E on note une radiation latéral parasite due au côté ouvert (bords) du réseau.

Le rendement de ce réseau donné par l'expérience (2) est égal à 75,5 %.

### 3) Réseau de 1024 dipôles replié plat à 12 GHz.

#### 3-1 Description.

Récemment un réseau carré à gain élevé avec une large bande passante a été étudié et réalisé. Il est composé de 1024 soit 32 X 32 dipôle plat replié symétrique alimenté par un réseau de ligne ruban.

Comme le dipôle élémentaire rayonnant plat, le réseau est réalisé avec deux, larges plaques de circuit imprimé pressé l'un contre l'autre sans connection directe entre le réseau d'alimentation et les dipôles rayonnants.

En accord avec les normes CCIR, on a choisi une modification de la loi d'amplitude  $(\sin(u)/u)$  pour les dipôles rayonnant plat alimenté par des courants de même phase.

./.



La loi de l'amplitude de l'illumination est donnée par l'expression suivante

$$G(x) = \frac{1}{2} J_0 \left( j * 1,6 * \sqrt{1 - \left(\frac{2x}{L}\right)^2} \right) \quad (1)$$

où  $J_0$  : fonction de Bessel du 1er ordre

$L$  : longueur du réseau carré.

En utilisant cette loi d'amplitude le niveau du premier lobe secondaire est égal à  $-17\text{dB}$ , le gain décroît de  $0,2\text{ dB}$ , ce qui est en accord avec la loi de l'amplitude uniforme.

Pour limiter la complexité du réseau d'alimentation symétrique on a choisi la même amplitude du courant pour quatre dipôles, donc l'énergie sera divisée entre  $16 \times 16$  groupes de 4 dipôles à partir du point central d'alimentation. A cause de cette simplification, le changement du diagramme de rayonnement théorique doit être ignoré.

Le réseau d'alimentation symétrique comprend des distributeurs de puissances à ligne ruban inégaux, relié par des lignes ruban de transmission dont l'impédance caractéristique normalisé est de  $75\Omega$ .

Pour compenser le couplage parasite entre les 2 bras de chaque distributeur, pour assurer leur adaptation et pour réduire la phase et l'amplitude de l'erreur résiduelle du dipôle rayonnant, chaque séparateur est mesuré avec une grande exactitude et est modifié à chaque instant.

La distance entre 2 dipôles adjacents est égal à  $0,89 \lambda_0$  où  $\lambda_0$  est la longueur d'onde de l'air à la fréquence de  $12,1\text{ GHz}$ .

Avec une telle distance le couplage entre dipôle est négligé.

Le réseau (Fig. 2), est industrialisé avec des plaques de conclud 217,  $1,587\text{mm}$  d'épaisseur.

./.



Pour ce modèle les plaques sont non seulement minces mais encore elles sont vissé entre-elles. Les propriétés du réseau ne sont pas modifié si on utilise des vis en métal ou isolantes. La polarisation circulaire est produite par une polariseur se trouvant dans un radome.

### 3-2 Les mesures:

Tableau 1 nous donne la propriété des variations de mesure en fonction de la fréquence.

(Le rendement est :  $\eta/100 = \left[ \frac{\lambda_0^2}{4\pi A} \right] * 10^{0,1} * G_e(\text{dB}) [2$

où A est la surface du réseau rayonnant).

- figure 3 et 4 nous donnent les mesures du diagramme dans le plan E et H à la fréquence central 12,1 GHz.
- figure 5 et 6 nous donnent les même mesure à la fréquence basse c-a-d 11,7 GHz.
- figure 6 nous donne le diagramme du réseau mesuré dans plan d'une diagonale du réseau à 12,1 GHz.
- le niveau du premier lobe secondaire est égal à -29dB et l'ouverture à 3 dB du rayonnement est de 2,05 degrés.

Avec le polariseur incorporé dans le radome, les mesures de l'ellipticité du réseau dans l'axe principal est meilleur que 1,5 dB à la gamme de fréquence.

### 3-3 Discussion :

A chaque fréquence dans le plan H, le niveau du lobe latéral diminue uniformément quand on s'éloigne du rayonnement principal, comme à la polarisation croisée dans le plan E. Ce qui veut dire que le diagramme de la copolarisation dans le plan H et le diagramme de la polarisation croisée dans le plan E, on trouve les mêmes diagrammes encore une fois, ce qui prouve qu'il n'y a pas de perturbations dû au parasite de rayonnement

C.P.L = cross - polar - level axis

Entre parenthèse, le plus faible Max C.P.L dans le plan E doit être noté (tableau 1). Au contraire, le diagramme de la polarisation croisé dans le plan H, et celui de la copolarisation dans le plan E ne sont pas similaire, ce qui prouve qu'il y a des radiations parasites dûs au réseau.

Il est toujours noté dans le tableau 1, pour différentes fréquences le Max C.P.L dans le plan H est meilleur que sur les axes.

Donc on a montré qu'il y a une radiation parasite polarisé qui diminue le niveau des lobes secondaire dans le plan E pour le diagramme de copolarisation et le niveau de la polarisation dans le plan H. On note le même résultat pour le premier réseau (paragraphe 2), dû aux radiations parasites latéral de la partie ouverte de l'antenne.

Du diagramme expérimental en déduit que les parasites électrique sont alimenté à travers les côtés perpenduculaire vers le plan du réseau.

Pour éviter ces petites radiations parasites et pour perfectionner la qualité du réseau dans le plan E, il est nécessaire d'absorber à travers les tranchant l'électricité résiduel des fibres avec un absorbant électromagnétique.

En effet, à cause de la largeur de la bande passante du réseau l'utilisation du blindage tout au long des tranchant du réseau est une règle.

Néanmoins en dehors de la direction  $\pm 90^\circ$  (respectivement  $\pm 130^\circ$ ) le niveau du lobe secondaire dans le plan H (resp. plan E) est inférieur à -60 dB.

./.



Pour justifier l'efficacité du réseau, on doit avoir dans cette ordre, les pertes des lignes rubans doivent être connue.

L'impédance caractéristique de la ligne doit valoir 75ohms et son épaisseur 3,175 mm ( $2 * 1,587$ ); le coefficient d'atténuation par unité de longueur a été récemment mesuré dans la bande 8 à 12,5 GHz.

Le coefficient d'atténuation du cuclad 217 est compris entre 2,5 et 3,6 dB/m. La constante relative du diélectrique est égal à 2,19. Les pertes de la ligne de transmission des points d'alimentation de chaque dipole du réseau, dans la bande passante (11,7 à 12,5 GHz) sont estimés à des valeurs normalisé de 2,45 dB. Tableau II nous donnent les pertes des 2 réseaux; ainsi que leur somme et le rendement du dipole élémentaire qui sera déduit.

#### 4) Conclusion :

On à étudié, réaliser, mesurer un réseau de circuit imprimé de 1024 dipoles replier plat symétrique. Le gain obtenue est de  $36,9 \pm 0,3$  dB dans la bande d'étuligation (11,7 à 12,5 GHz).

Avec 4 réseaux carré de 1024 dipoles chacun , alimenté en parallèle avec plusieurs guide-ondes formant un très large réseau carré de 4096 dipoles rayonnant on peut s'attendre à un gain linéaire isotrope maximum de 43 dB avec un rendement non loin de 50%.

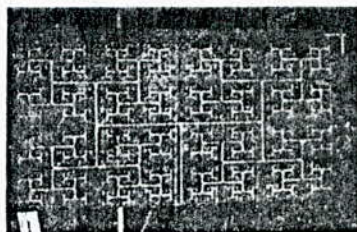


REFERENCES

1. Dubost, G., and Vinatier C., 1980, URSI Symp., 215 A/1 - 215 A/4.
2. Dubost G., and Vinatier C., 1980, Patent.
3. Dubost G., and Vinatier C., 1981, L'Onde Electrique, 61, n° 4, 34-41.
4. Vinatier C., 1981, Thèse Doctorat 3è Cycle.
5. Dubost G., 1981, "Flat Radiating Dipoles and Applications to Arrays". Research Studies Press, John Wiley and Sons, England.



← Array with its radome



Half part of feeding network →

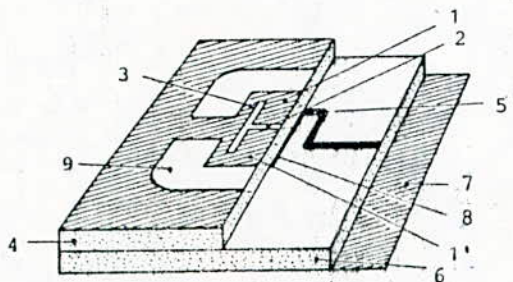


Figure 1 Symmetrical flat folded dipole fed by strip-line (exploded view)



← Partial view of radiating dipoles

Figure 2 - Large bandwidth and high gain Array

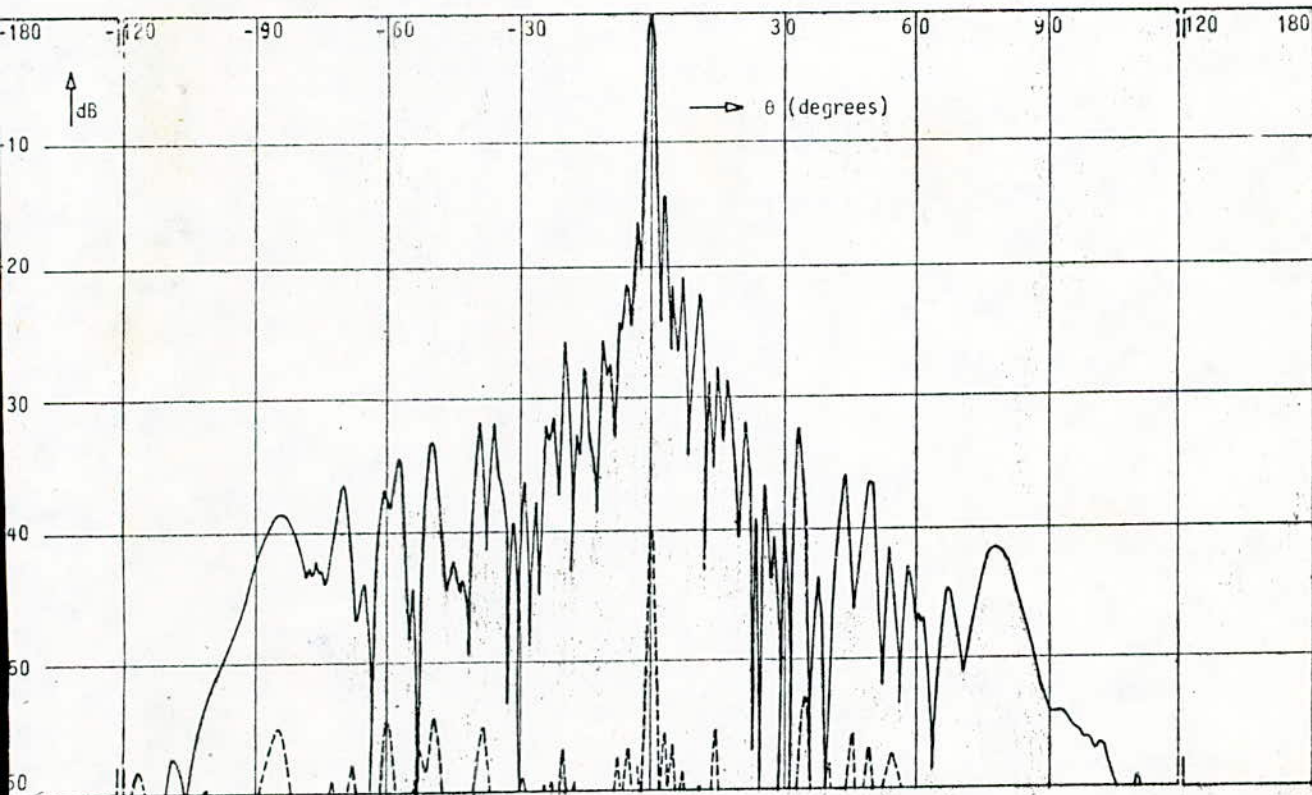


Figure 3 Copolar (—) and cross-polarization patterns (---) in "E plane" at 12.1 GHz

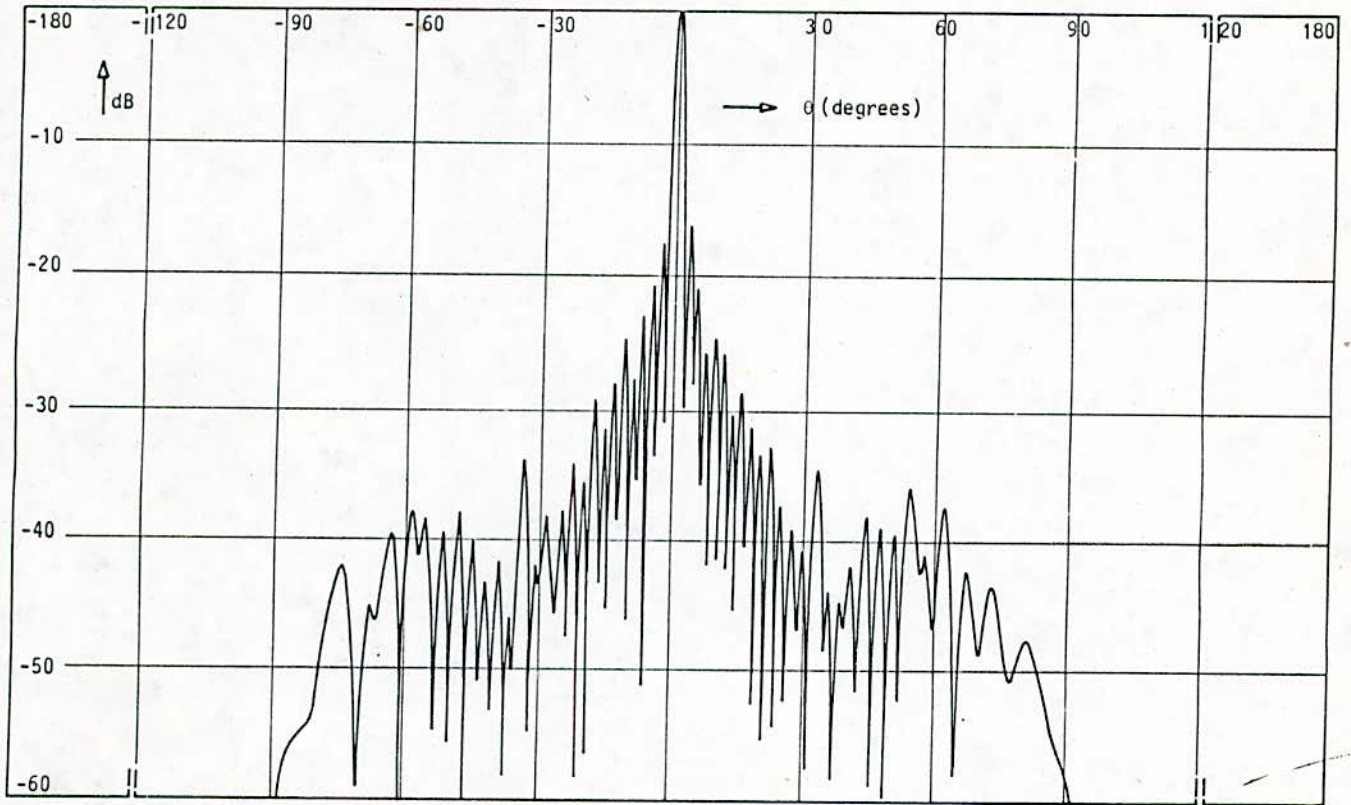


Figure 4 Copolar pattern in "H plane" at 12.1 GHz

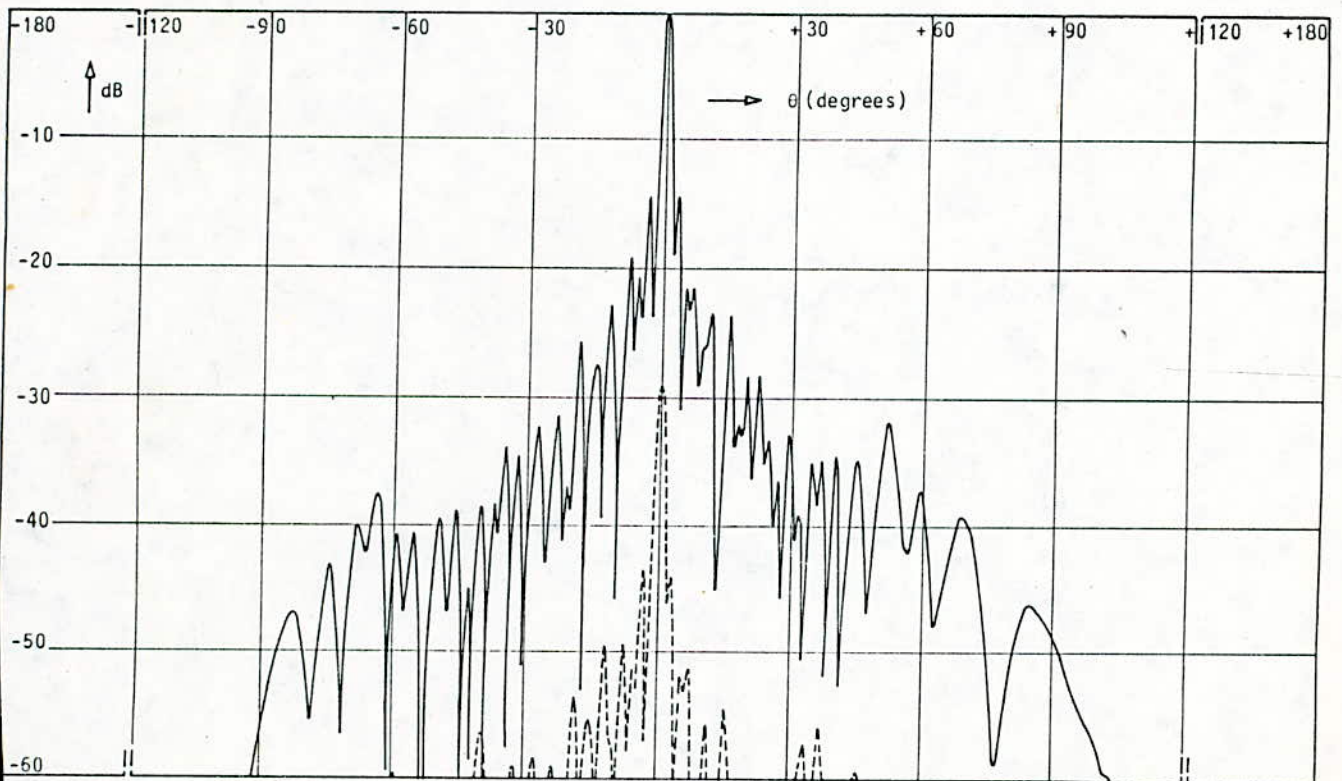


Figure 5 Copolar (—) and cross-polarization (---) patterns in "E plane" at 11.7 GHz



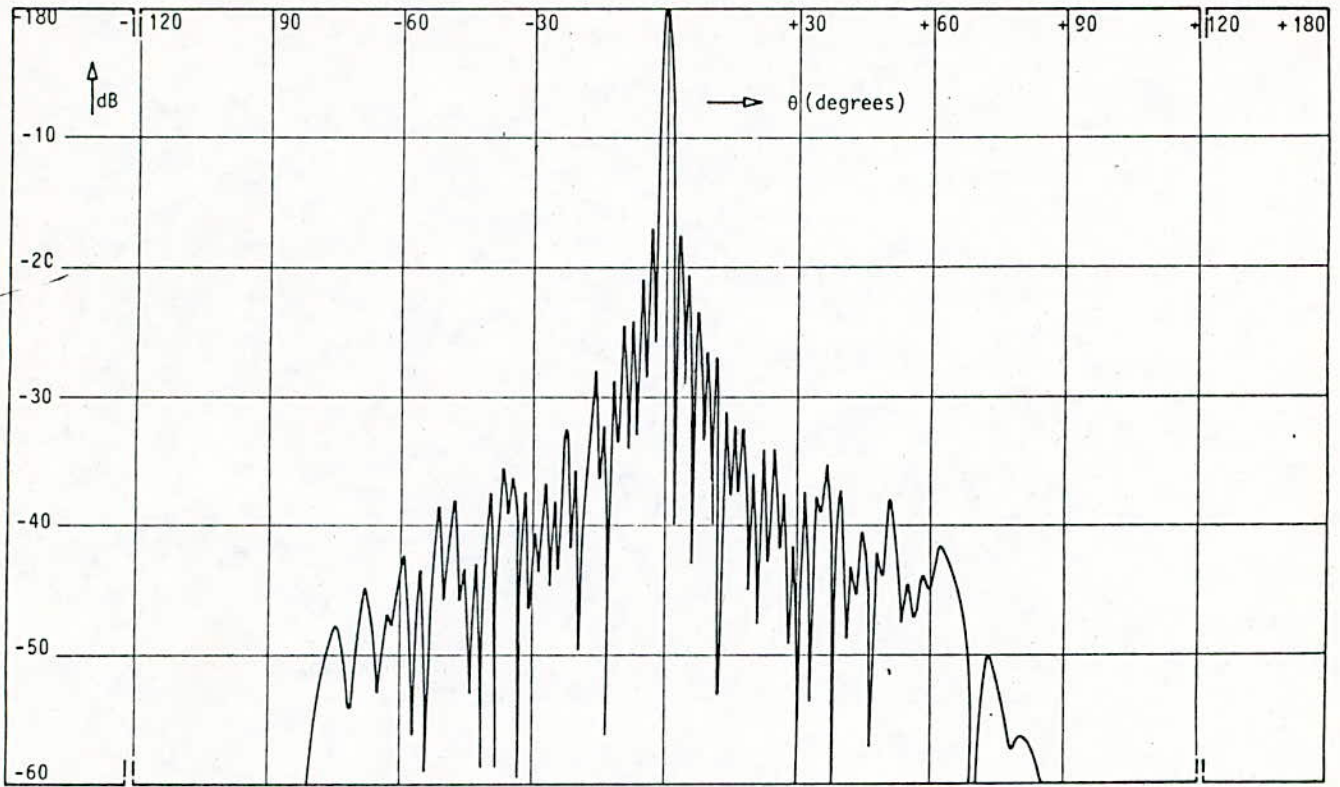


Figure 6 Copolar pattern in "H plane" at 11.7 GHz

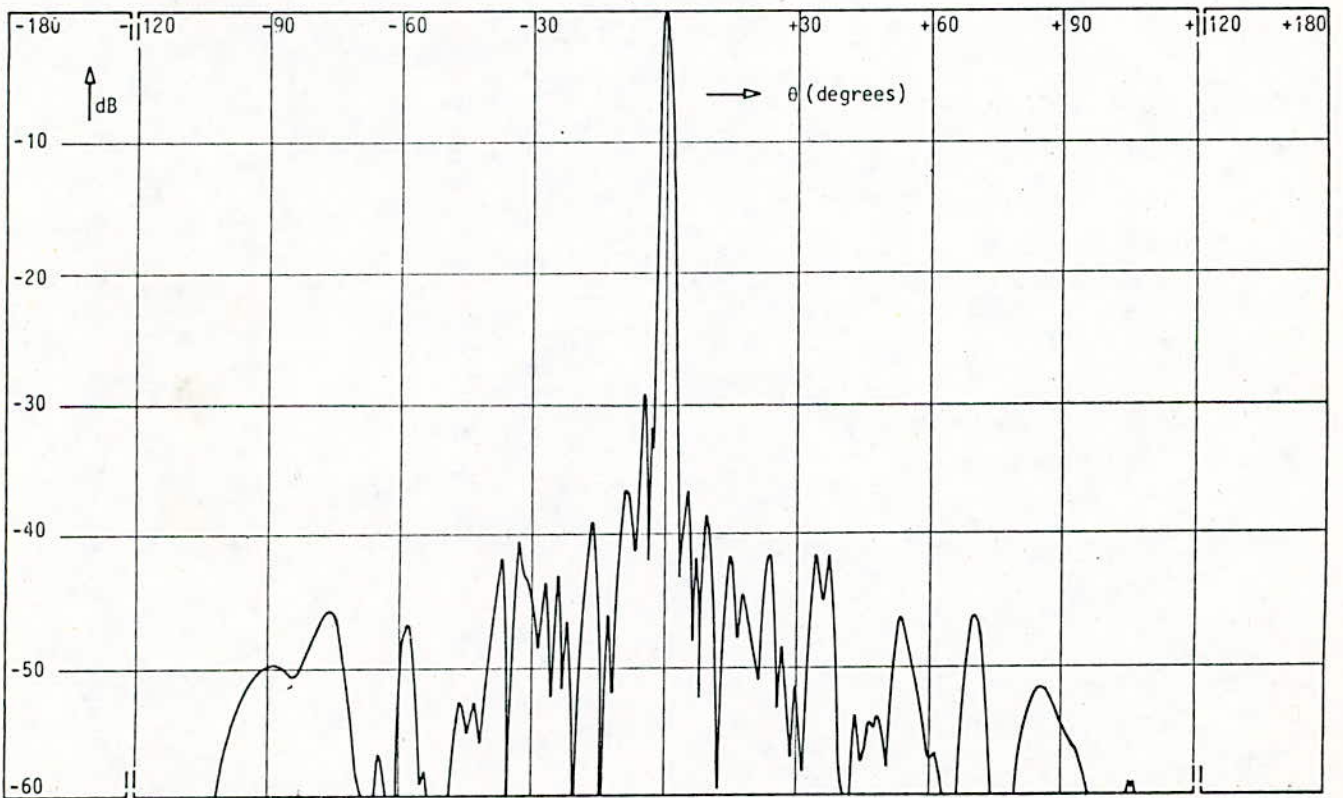


Figure 7 Pattern in a diagonal plane at 12.1 GHz

#### IV - Les antennes.

##### B) Études des antennes paraboliques

###### I- Introduction

Pour la réception des informations en provenance d'un satellite il est nécessaire d'utiliser des antennes très directives, à large bande et dont le gain est suffisamment élevé, d'une part, car les signaux transmis étant à spectre très large et d'autre part car il est important de compenser l'affaiblissement de propagation des ondes.

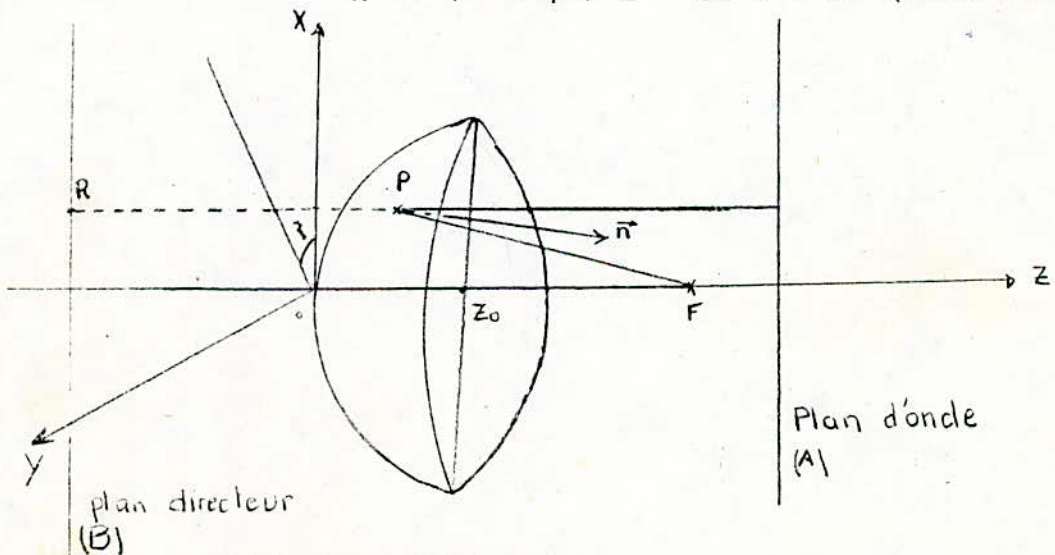
###### II- Définition et propriétés

###### a) définition :

Un paraboloïde est une surface engendrée par la rotation d'une parabole autour de son axe de symétrie.

Tout point du paraboloïde vérifie la relation :

$$X^2 + Y^2 = 4 f Z \quad \text{ou } f = OF \text{ (distance focale).}$$



###### b) Propriétés :

\* Si  $\rho$  est la distance de F à un point P quelconque du paraboloïde et  $\psi$  désigne d'angle  $(\overrightarrow{OF}, \overrightarrow{FP})$  on a la relation suivante :

$$\rho = \frac{2f}{1 + \cos\psi} = \frac{f}{\cos^2(\psi/2)}$$



\* Si  $\vec{n}$  est la normale en P au paraboloïde on a :

$$(\overrightarrow{FP}, \vec{n}) = (\vec{n}, \overrightarrow{PK})$$

\* On a aussi

$$PF + PK = AP + PK = \text{cte}$$

Cette égalité entraîne que :

Quand P se déplace sur la paraboloïde, K décrit le plan (A). La condition  $FP + PK = \text{cte}$  signifie que (A) est une surface d'onde. Donc les ondes symétrique émisent du foyer sont transformer par le paraboloïde en ondes planes et réciproquement toute onde plane venant incider sur le reflecteur se reflechit vers le foyer.

Aux très grandes distances le reflecteur concentre l'énergie dans un angle infiniment petit il est donc très directif.

\* Le reflecteur est décomposé par un plan en  $Z = Z_0$ . de diamètre de l'ouverture ainsi définie sera D et sa surface S.

La forme du reflecteur est fonction du rapport  $(f/D)$  ou de l'angle maximal sous tendu au foyer par le rayon de l'ouverture  $\frac{D}{2}$  et l'axe OZ.

La relation existant en  $f/D$  et  $\psi$  est :

$$\sin \psi = \frac{1}{2} \left[ \frac{D/B}{1 + D^2/16B^2} \right]$$

c) Calcul du champ en un point :

On peut appliquer les lois de l'optique géométrique aux calculs du champ sur une surface située au voisinage immédiat du reflecteur, au lieu de calculer le champ en un point P à partir du champ existant sur la surface du reflecteur.

./.

Le champ au point P cherché, sera alors calculer à partir de celui existant sur l'ouverture ainsi définit.

Soit  $P_T$  la puissance totale rayonnée par la source et  $G(\psi, \xi)$  son gain dans la direction considérée.

La puissance  $P(\psi, \xi)$  rayonnée par unité d'angle solide dans la direction  $(\psi, \xi)$  est :

$$P(\psi, \xi) = \frac{P_T}{4\pi} * G(\psi, \xi)$$

- Le champ électrique incident s'écrit alors en un point  $(\rho, \psi, \xi)$  sur le reflecteur :

$$\vec{E}_i = \left[ 2 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} * \frac{P_T}{4\pi} \right]^{1/2} * \frac{[G(\psi, \xi)]^{1/2}}{\rho} * e^{-jk\rho} \vec{e}_0$$

où  $\vec{e}_0$  est un vecteur unitaire définissant la polarisation de l'onde incidente.

- Le champ réfléchi au même point est de la forme :

$$\vec{E}_r = \left[ 2 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} * \frac{P_T}{4\pi} \right]^{1/2} * \frac{[G(\psi, \xi)]^{1/2}}{\rho} * e^{-jk\rho} \vec{e}_1$$

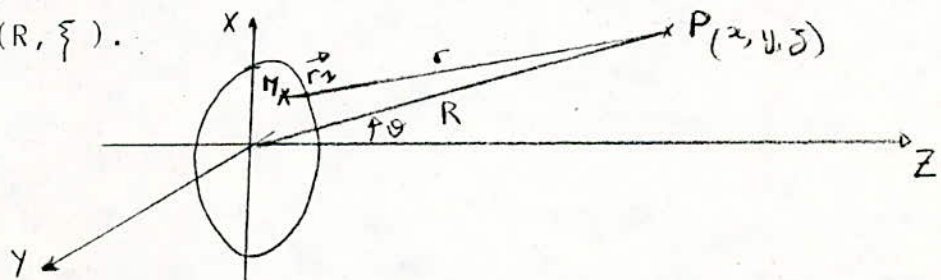
Au point  $Z = Z_0$  on a :

$$E_r(r', \xi) = E_r(\rho, \psi, \xi) e^{-jk(Z_0 - Z_1)} \vec{e}_1$$

Le champ sur l'ouverture s'écrit :

$$E_r(r', \xi) = \left[ 2 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} * \frac{P_T}{4\pi} \right]^{1/2} * \frac{[G(\psi, \xi)]^{1/2}}{\rho} e^{-jk(\rho + Z_0 - Z_1)} \vec{e}_1$$

La distance  $(\rho + Z_0 - Z_1)$  est la distance de F à l'ouverture plan défini en  $Z = Z_0$ , donc ne dépend pas du point  $(R, \xi)$ .



Ainsi connaissant le champ en tout point de l'ouverture  $M(x', y', 0)$ . On peut calculer le champ en un point quelconque  $P(x, y, z)$ .



En négligeant l'effet de l'intégral curvilligne le champ en P s'écrit :

$$E(P) = \frac{-1}{4\pi} \int_S \left[ \psi \frac{\partial E(x', y')}{\partial n} - E(x', y') \frac{\partial \psi}{\partial n} \right] dx' dy'$$

avec  $\psi = \frac{e^{-jkr}}{r}$  où r est la distance de M à P,  $\vec{n}$  la normale à l'ouverture.

$\vec{n}_1$  le vecteur unitaire porté par r :

$$\frac{\partial \psi}{\partial n} = \vec{n} \cdot \nabla \psi = \left[ jk + \frac{1}{r} \right] \vec{n} \cdot \vec{n}_1 \psi$$

avec  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  et  $\frac{\partial E}{\partial n} = -jkE$ .

Le champ E(P) s'écrit alors :

$$E(P) = \frac{-1}{4\pi} \int_S E(x', y') \psi \left[ \left( jk + \frac{1}{r} \right) \vec{n} \cdot \vec{n}_1 + jk \right] dx' dy'$$

aux grandes distances on a pour les amplitudes :

$$r \approx R \quad \vec{n} \cdot \vec{n}_1 = \cos\theta \quad \text{et} \quad \frac{1}{r} \ll k.$$

Pour les termes de phase on a :

$$\begin{cases} X = R \cos\varphi \sin\theta = R\alpha \\ Y = R \sin\varphi \sin\theta = R\beta \\ Z = R \cos\theta \end{cases}$$

et  $r = [(X-x')^2 + (Y-y')^2 + (Z-z')^2]^{1/2}$

Substituant les expressions de x, y, z dans cette dernière

$$\text{on a : } r = R - \alpha x' - \beta y'$$

compte tenu de cette approximation pour les termes de phase on a :

$$E(P) = \frac{j}{2\lambda} \frac{e^{-jKR}}{R} \int_S E(x', y') \left[ (1 + \cos\theta) e^{jk \sin\theta (x' \cos\varphi + y' \sin\varphi)} \right] dx' dy'$$

d) Gain de l'antenne :

La puissance rayonnante par unité d'angle solide dans une direction donnée est :

$$P(\theta, \varphi) = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon'}{\mu}} R^2 |E(P)|^2$$

la puissance totale rayonnée par l'ouverture est :

$$P_T = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon'}{\mu}} \int_S [E(x', y')]^2 dx' dy'$$

Le gain  $G(\theta, \varphi)$  s'écrit :

$$G(\theta, \varphi) = K \frac{P(\theta, \varphi)}{P_T / 4\pi}$$

avec K facteur d'efficacité  $K < 1$ .

d'où

$$G(\theta, \varphi) = \frac{k\pi}{\lambda^2} * \frac{\int_S E(x', y') (1 + \cos\theta) e^{jk \sin\theta (x' \cos\varphi + y' \sin\varphi)} dx' dy'}{\int_S |E(x', y')|^2 dx' dy'}$$

Pour  $\theta = 0 \Rightarrow \cos\theta = 1$  donc

$$G(\theta, \varphi) = k \frac{4\pi}{\lambda^2} * \frac{\left[ \int_S E(x', y') dx' dy' \right]^2}{\int_S [E(x', y')]^2 dx' dy'}$$

Si la distribution d'amplitude est constante donc  $E(x', y') = 1$  on a alors

$$G_0 = \frac{4\pi S}{\lambda^2} k$$

Pour toute autre forme d'illumination on a

$$G < G_0$$

Donc le gain de l'ouverture est maximal pour une distribution d'amplitude constante.

Si une onde plane vient incider dans la direction  $\theta = 0$  la surface d'absorption présentée par le réflecteur à l'onde est :

$$S_a = \frac{\lambda^2}{4\pi} * G_0$$

e) Diagramme de rayonnement :

Posons maintenant :  $x' = \rho \cos\varphi$   $y' = \rho \sin\varphi$  ou  $\varphi = (\overline{OX'}, \overline{OM'})$

Le champ  $E(x', y')$  est désigné dans ce cas par  $E(\rho, \varphi)$ , l'expression du champ  $E(P)$  sera désigné par  $g(\theta, \varphi)$ .

$$g(\theta, \varphi) = \int_0^{2\pi} \int_0^a E(\rho, \varphi) e^{+jk\rho \sin\theta \cos(\theta - \varphi)} d\varphi d\rho$$

En posons encore que :  $r = \frac{\rho}{a}$  et  $u = \frac{2\pi a}{\lambda} \sin\theta$ .

on a

$$g(\theta, \varphi) = g(u, \varphi) = a^2 \int_0^{2\pi} \int_0^1 E(r, \varphi) e^{+j u r \cos(\theta - \varphi)} r dr d\varphi$$

Si la distribution d'amplitude est constante :  $E(r, \varphi) = 1$  on a alors :

$$g(u) = 2\pi a^2 \int_0^1 J_0(u, r) dr.$$



en intégrant sur  $r$  on a :

$$g(u) = \frac{2\pi a^2}{u} \times J_1(u)$$

On  $J_0(u)$  désigne la fonction de Bessel d'ordre zéro et  $J_1(u)$  désigne la fonction de Bessel d'ordre 1.

Le diagramme de rayonnement en puissance est proportionnel au carré du champ

$$P(u) = (g(u))^2$$

1) Diagramme de rayonnement :

Le diagramme de rayonnement d'une antenne parabolique peut être calculer, en l'assimillant à une ouverture circulaire parfaite.

On trouve plusieurs sources qui causent la déformation du diagramme de rayonnement.

On citera les suivantes :

Erreur de phase :

On parle de l'erreur de phase dans l'ouverture du paraboloïde.

Elle peut être créée par différentes sources possibles :

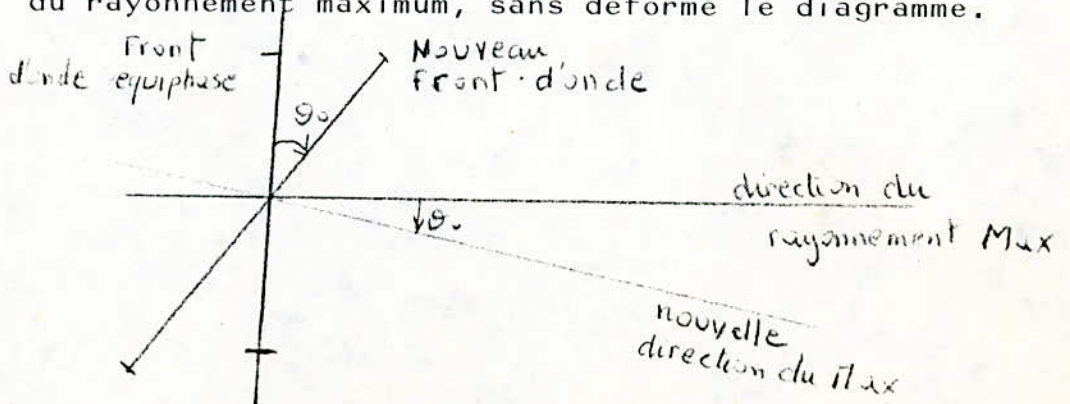
- non sphéricité du front d'onde de la source primaire
- mauvais positionnement de la source primaire (en particulier lorsque son centre de phase ne se confond pas avec le foyer).
- effet de masque dû à la présence de la source primaire devant l'ouverture et des tirants supportant la source.

1) Erreur linéaire :

Elle est causé essentiellement par un mauvais positionnement de la source primaire sur l'axe focale du paraboloïde.

La distribution de cette erreur linéaire  $\psi(x)$  est de la forme :

$\psi(x) = \beta x$ , elle a pour effet de dépointer la direction du rayonnement maximum, sans déformé le diagramme.





avec  $\theta_0$  peut être exprimé par :  $\theta_0 = 1 / \text{Sinc}\left(\frac{\beta \lambda}{\pi D}\right)$

si  $\theta_0$  est faible devant l'ouverture à moitié puissance, le gain reste constant, dans le cas contraire on aura une diminution du gain de la forme :  $G_{\theta_0} = G_{\theta_0} * \cos\theta_0$   
donc quand  $\theta_0 \uparrow$   $G_{\theta_0} \downarrow$

## 2) erreur quadratique :

Elle suit une loi  $\psi(x) = \beta x^2$

Elle a pour effet de :

- combler les creux du diagramme de rayonnement
- d'augmenter la largeur du lobe principal
- élever le niveau des lobes secondaires
- de ne pas modifier la direction du rayonnement max.
- lorsque l'erreur quadratique est importante ( $\beta = \pi/2$ ), on aura la disparition du lobe secondaire, il sera absorbé par le lobe principale.
- On aura une diminution du gain d'environ  $\Delta$  dB ( $\beta = \frac{\pi}{2}$ )
- l'erreur de phase quadratique est essentiellement causé par l'imprecision de fabrication du profil parabolique.

3) l'erreur cubrique : elle est causé par un décentrage excessif de la source primaire.

Elle à pour effet essentielle :

- Déviation de la direction maximum
- Modification importante du diagramme de rayonnement, de tel sorte que :

Le lobe principal s'élargit, le lobe secondaire du côté  $\theta = 0^\circ$  remonte alors que celui de l'autre côté s'abaisse.

./.

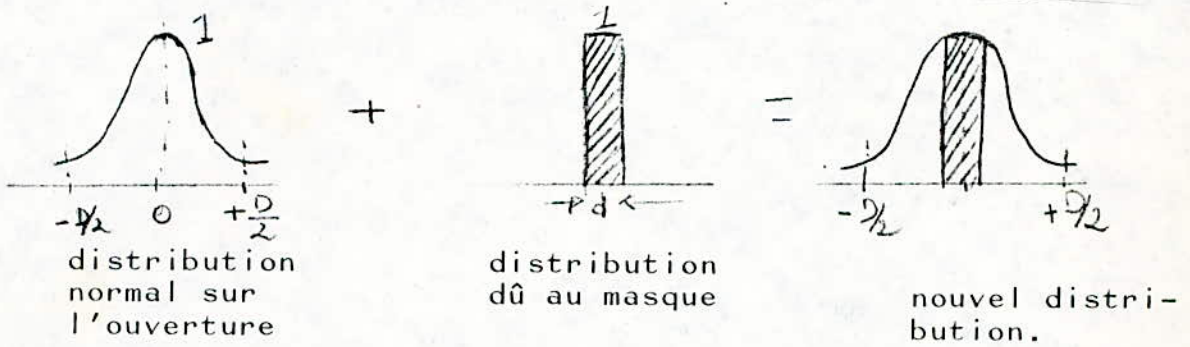
→ diminution du gain de la même manière que pour l'erreur linéaire.

#### 4) Influence du masque :

Le masque est constitué par la présence de la source elle-même et des tirants supports de celle-ci.

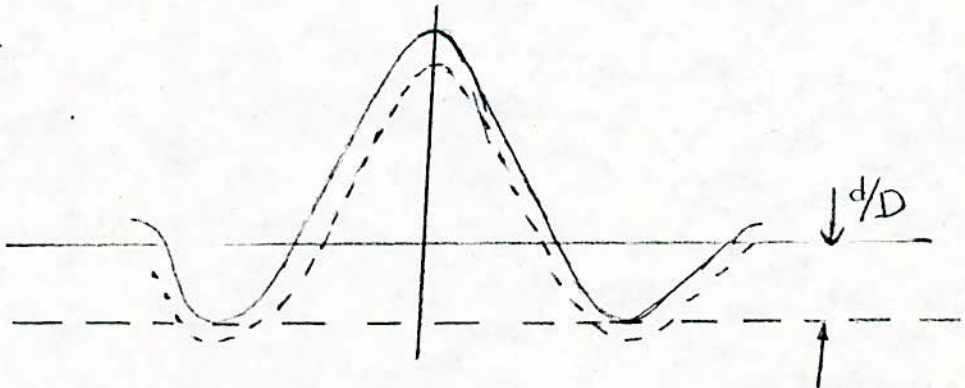
Cette influence est marquée par la présence d'ombre de ces éléments qui sera projeté sur l'ouverture de l'antenne et qui causera une distribution non uniforme d'illumination de la source sur l'ouverture.

On peut voir ceci sur la figure suivante :



avec  $d =$  diamètre du masque.

Le diagramme de cette nouvelle distribution, montre en particulier une remontée du lobe secondaire, comme si le diagramme se trouvait d'une quantité égal à  $d/D$ .



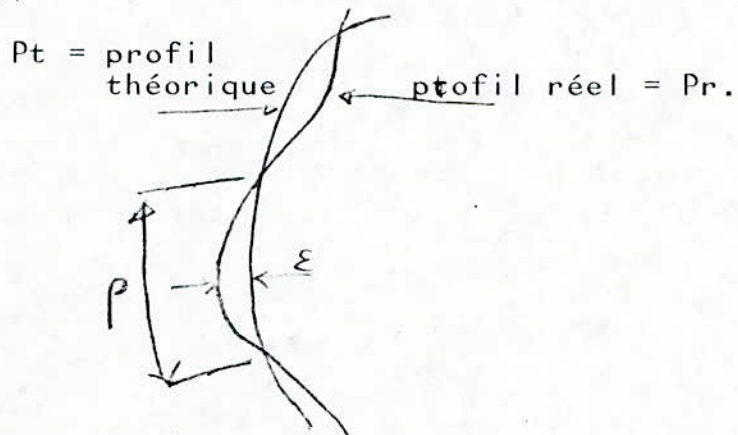
Effet du masque sur le diagramme de rayonnement.

./.

### 5) Influence de fabrication du profil parabolique :

Quelque soit les méthodes de fabrication, on a jamais la coïncidence entre le profil calculé et celui fabriqué.

Alors que la précision du profil est très importante, non seulement pour les caractéristiques de l'antenne mais aussi pour le coût de fabrication (pour la fabrication de différentes antennes on a des technologies qui diffèrent).



Soit  $P_t$  le profil théorique de l'antenne et  $P_r$  le profil réel qui s'écarte du précédent dans un sens ou dans l'autre.

Cet écart  $E$  est appelé tolérance de fabrication

\*  $E$  est la valeur mesuré perpenduculairement à la face concave.

\*  $P$  est appelé rayon de corrélation, il définit la largeur de zone dont laquelle on ne peut trouver qu'un seul point qui possède une amplitude égal à celle de la tolérance du fabrication.

Donc  $E$  n'est que l'amplitude de l'erreur alors que  $P$  est le périodicité de celle-ci.

./.



6) Influence sur le diagramme de rayonnement :

Les erreurs sur le profil entraîne des erreurs sur la distribution de phase sur l'ouverture. Il en résulte une déformation du diagramme

- Influence de la tolérance de fabrication du profil parabolique sur le niveau des lobes diffus.

Cette figure montre la variation des niveau des lobes diffus en fonction de l'imprecision  $\epsilon$  sur le profil.

La dégradation des niveau des lobes diffus se monte à une quinzaine de decibels.

7) Influence sur le gain.

La diminution du gain dans l'axe est fonction de l'imprecision sur le profil. Elle ne dépend que de  $\epsilon$  :

$$\Delta G = \frac{G\epsilon}{G_0} = e^{-\left(4\pi\frac{\epsilon}{\lambda}\right)^2}$$

$$\Delta G_{dB} \approx 107 \left(\frac{\epsilon}{\lambda}\right)^2$$

d'une façon pratique on choisit une valeur de  $\epsilon$  de l'ordre de  $\pm$  /16

./.

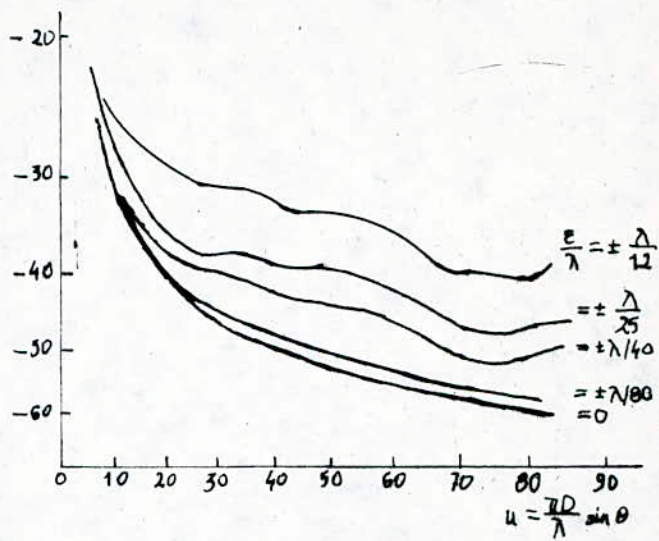
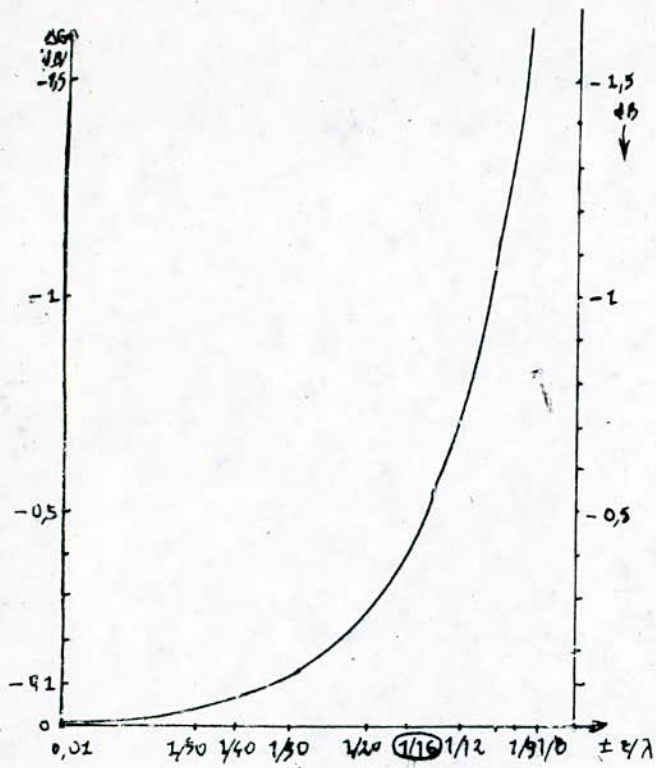


Figure N° 1  
Influence de la tolérance de fabrication du profil parabolique sur le niveau des lobes diffus.

Figure N° 2  
Diminution du gain dans l'axe en fonction de l'imprécision de fabrication.

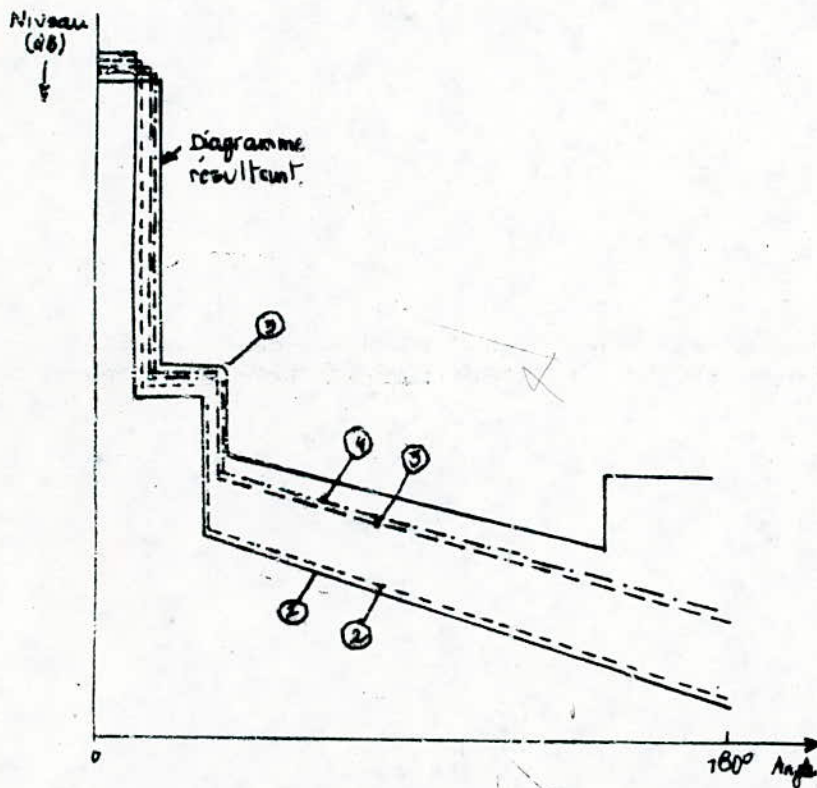
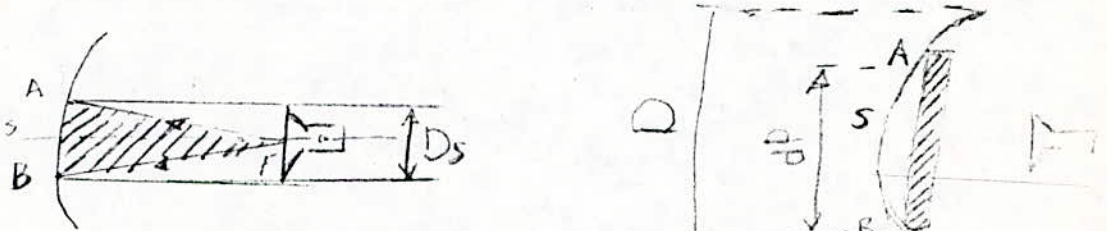


Figure N° 3

- ① Diagramme calculé par la théorie des ouvertures rayonnante.
- ② Diagramme modifié par l'effet du masque.
- ③ Diagramme modifié par l'imprécision du profil.
- ④ Diagramme modifié par la plaque au sommet.
- ⑤ Diagramme modifié par la transparence de la surface réfléchissante.

8) Influence de la plaque au sommet :

Dans les antennes paraboliques illuminés du foyer, il existe une réaction du reflecteur sur les caractéristiques d'élaboration de la source primaire. Elle est due à l'existence d'un "cone d'ombre" du sommet F et du diamètre de base  $\overline{AB} = ds$ , avec  $ds$  l'ouverture de la source primaire



Tous les rayons issus de F se trouvant à l'intérieur de ce cone sont renvoyés vers la source primaire.

Cette énergie réfléchie modifie donc l'adaptation de la source. Pour remédier ce phénomène on dispose d'une plaque métallique au sommet (S, dont les dimensions sont choisies de manière qu'elle permettent d'annuler la réflexion précédente tout en perturbant au minimum les caractéristiques résonnantes de l'antenne.

Le diagramme résultant est le produit de trois diagrammes

Diagramme résultant = (diagramme du paraboloïde D)  
 \* (diagramme de la portion du  $\overline{AB}$ )  
 \*(diagramme de la plaque au sommet).

9) Le diagramme de rayonnement :

Le diagramme de rayonnement final, est un diagramme qui a subit tout les déformations possibles.

La figure suivante résume ce qui a été dit :

(figure page 108 )  
 (NHU -BUI - HAI )

180° amples

diagramme de rayonnement

- (1) (2) (3) (4) (5)



### III - Méthode de calcul du gain d'une antenne parabolique

Le calcul du gain d'une antenne parabolique peut se faire par plusieurs méthodes, on peut citer 3 dont les 2 premières se basent essentiellement sur des calculs.

#### a) Première méthode :

Elle consiste à :

- 1) calculer le diagramme de rayonnement de l'antenne
- 2) intégrer le diagramme de rayonnement pour trouver la directivité  $D$ .
- 3) Multiplier cette directivité par les pertes d'insertion dans la source qui se résume par les pertes de pénétrations de peau ( $\nu_{p.din}$ ) dans les éléments constituant la source primaire (guide d'onde, cornet, ..) et les pertes par désadaptation ( $\nu_{desad}$ ).

$$G = D * \nu_{p.din} * \nu_{desad}$$

#### b) Deuxième méthode : Elle consiste à :

- 1) calculer la directivité pour une illumination uniforme idéal :  $D = 4 \pi \frac{\text{Aire}}{\lambda^2} = \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2$
- 2) Calculer le rendement global de l'antenne
- 3) Multiplier la directivité par le rendement global et on obtiendra le gain.

### IV Calcul du rendement global :

$$\eta_{g2} = \eta_{ill} * \eta_{os} * \eta_{tol} * \eta_m * \eta_{p.s} * \eta_{desad} * \eta_{rad}$$

avec :

- $\eta_{ill}$  = rendement d'illumination
- $\eta_{os}$  = rendement de spill-over
- $\eta_{tol}$  = perte due aux tolérances de fabrication
- $\eta_m$  = influence du masque
- $\eta_{ps}$  = influence de la plaque au sommet
- $\eta_{desad}$  = perte à la désadaptation
- $\eta_{rad}$  = perte d'insertion de la source
- $\eta_{p.din}$  = perte due à la présence d'un radome
- $\eta_p$  = perte due au mauvais positionnement de la source.

a) le rendement d'illumination ( $\eta_{ill}$ ) :

Il est défini pour chaque distribution primaire donnée.

b) le rendement de "spill-over" ( $\eta_{so}$ ) :

Le rendement est définie comme étant le rapport de l'énergie interceptée par le paraboloïde à l'énergie totale rayonné par la source.

c) perte due aux tolérances de fabrication ( $\eta_{fab}$ ) :

En général on choisie une tolérance sur ce profil parabolique  $\epsilon$  de  $1 \pm \frac{\lambda}{16}$ . Pour des antennes de station terrienne dont les performances doivent être très poussés choisie  $\epsilon = 1 \pm \lambda/25$ .

Sur la figure on peut voir la diminution du gain en fonction de la tolérance de fabrication.

d) Influence du masque ( $\eta_m$ ) :

La présence d'un masque devant l'ouverture de l'antenne à pour effet de réduire le gain dans l'axe et de faire remonter le niveau des lobe secondaire.

e) Influence de la plaque au sommet ( $\eta_{P.S}$ ) :

La présence de la plaque au sommet entraîne la diminution du gain dans l'axe de rayonnement Max.

f) Perte due à la décadaptation  $\eta_{desad}$  : 
$$\eta_{ps} = 1 - \frac{\text{Puissance rayonnée par la plaque}}{\text{Puissance rayonnée par la source}}$$

On peut minimiser ces pertes en utilisant une plaque au sommet dont les dimensions sont appropriés.

g) Perte d'incertion de la source : Elle varie suivant le type de source utilisé.

h) Perte due au radome ( $\eta_{rad}$ ) : la plupart des sources primaires sont protégées par un radome.



i) perte due à un mauvais positionnement de la source  
(Np) :

Un mauvais positionnement de la source primaire entraîne une diminution du gain.

Un mauvais positionnement est définie soit par un déplacement de la source de son axe focal d'un angle , ou soit sont déplacement de son centre focal d'une distance "d".

l) perte due à la déformation antisymétrique du  
reflecteur :

Dans le cas de grand reflecteur, celui-ci peut se déformé sous l'effet de son poids, la partie haute se ferme et la partie basse se s'ouvre.

c) Troisième méthode :

Le gain est défini en fonction des performances de la source primaire. On peut le voir dans le programme qui suit.



★

Calcul du gain d'une antenne parabolique de révolution ou excentrée en fonction des caractéristiques expérimentales de la source primaire.

But:

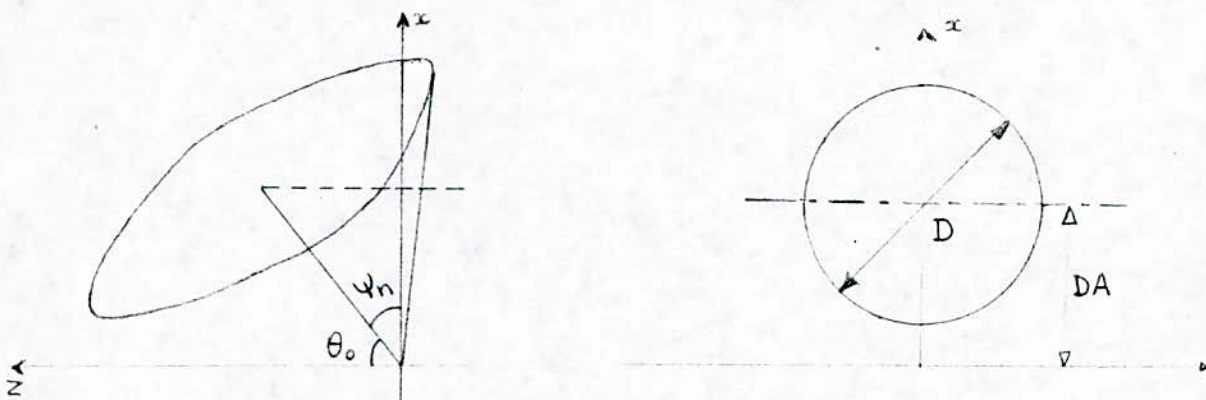
On calcule le rendement d'illumination et le gain d'une antenne parabolique (off-set ou de révolution) à partir du diagramme expérimental de la source primaire à l'aide d'un programme.

Formulation mathématique:

1°) - Le gain:

Les calculs montrent que le gain de l'antenne est exprimé par la formule suivante:

$$G = \left[ \frac{\pi D}{\lambda} \right]^2 * G_0 * \left[ \frac{\cos \theta_0 + \cos \psi_n}{\sin \psi_n} \right]^2 * \left| \int_0^{\psi_n} \frac{f(\psi) \sin \psi}{\cos \theta_0 + \cos \psi} d\psi \right|^2$$



Le rendement d'illumination étant:

$$\eta_{ill} = G_0 * \left[ \frac{\cos \theta_0 + \cos \psi_n}{\sin \psi_n} \right]^2 * \left| \int_0^{\psi_n} \frac{f(\psi) \sin \psi}{\cos \theta_0 + \cos \psi} d\psi \right|^2$$

avec:  $G$  = gain de la source primaire.

$f(\psi)$  = diagramme de la source primaire en champ (normalisé)

$D$  = diamètre de l'ouverture projetée du réflecteur.

$\theta_0$  = inclinaison angulaire de l'axe de la source.

On a les relations suivantes:

$$\cos \theta_0 = \frac{4f \sin \psi_n}{D} - \cos \psi_n$$

$$\psi_n = \text{Arctg} \frac{DA + D/2}{2f} - \text{Arctg} \frac{DA - D/2}{2f}$$

avec  $DA$  = distance entre axe focal de la parabole et axe du cercle constituant la projection de l'ouverture.

Si  $DA=0$  on a :

$$\begin{cases} \psi_n = 2 \text{Arctg} \frac{D}{4f} \\ \theta_0 = 0 \\ \eta_{ill} = G_0 \left( \cotg \frac{\psi_n}{2} \right)^2 * \left| \int_0^{\psi_n} f(\psi) \tg \frac{\psi}{2} d\psi \right|^2 \end{cases}$$

2°) - Calcul du rendement: Pour tenir compte d'une éventuelle dissymétrie dans le diagramme de la source primaire, la méthode de FORTÉ est employée, qui consiste à prendre plusieurs coupes du diagramme primaire et de faire la moyenne des rendements obtenus:

$$\eta_{ill} = G_0 * \left[ \frac{\cos \theta_0 + \cos \psi_n}{\sin \psi_n} \right]^2 * \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ \left| \int_0^{\psi_n} \frac{f_i(\psi) \sin \psi}{\cos \theta_0 + \cos \psi} d\psi \right|^2 \right]$$



Programme:

Données à rentrer:

- D=distance de l'ouverture projeté.
- DA=distance axe focale-axe ouverture en millimètres.
- FOC=distance focale(en millimètres).
- N=nombre de point du diagramme primaire.
- M=pas d'integration.
- K=nombre de coupes du diagramme primaire.
- Ffréquence de travail.
- G=gain de la source primaire(en dB).
- G(L,I)=atténuation du l point du diagramme primaire correspondant à la coupe n°L.

Resultats donné par le programme:

- Le diamètre de l'ouverture projetée.
- La distance focale.
- L'angle d'inclinaison de la source primaire.
- La demi-ouverture angulaire.
- Le nombre de coupes utilisées dans le calcul.
- La fréquence.
- Le gain en dB et le rendement en % de l'antenne.

Le programme écrit en fortran IV sur la machine CII IRIS 80.

// PROGRAMME //

```
DIMENSION G(9,50),H(9,50),HH(9,50)
NAME LIST D,DA,FOC,N,M,K,GO,F
INPUT
PI=3.1415927;ALO=ALOG(10.)
P=ATAN((DA=D/2.)/2./FOC)-ATAN((DA-D/2.)/2./FOC)
CO=4.*FOC*SIN(P)/D-COS(P)
PR=ATAN(SQRT(1.-CO*CO)/CO)
PO=PR*180./PI;PA=F*180./PI
1 FORMAT(33A,'DIAMETRE=','F8.3','MM','18X','FOCALE=','F8.3','MM')
2 FORMAT(30X,'INCLINAISON=','F8.3','DEGRES','10X','OUVERTURE=','F8.3',
'MM')
3 FORMAT(48X,'NOMBRE DE COUPES=','12/48X','FREQUENCE=','F9.3','MHZ')
4 FORMAT(33X,'GAIN=','F6.2','DB','3X','RENDEMENT=','F6.2','POUR CENT')
WRITE(108,1)D,FOC
WRITE(108,2)PO,PA
WRITE(108,3)K,F
DO 5 L=1,K
5 READ(105,10),(G(L,I),I=1,N)
10 FORMAT(10F8.3)
DV=F/(N-1);DU=DV/M;V=W=S=0.
L=1;NN=N-1;MM=M-1
6 DO 8 I=1,NN
H(L,I)=EXP(-.05*ALO*G(L,I));H(L,I+1)=EXP(-.05*ALO*G(L,I+1))
HH(I)=.5*(H(L,I)+H(L,I+1))
DO 7 J=1,MM
FI=(I-1)*DV+J*DU
7 V=V+HH(L,I)*SIN(FI)/(CO+COS((I-1)*DV))
W1=HH(L,I)*SIN((I-1)*DV)/(CO+COS((I-1)*DV))
W2=HH(L,I)*SIN((I-1)*DV+M*DU)/(CO+COS((I-1)*DV+M*DU))
W3=((W1+W2)/2.+V)*DU;V=V+W3
8 W=W+W3
Y=W*W;S=S+Y;W=0.;V=0.
L=L+1
IF(L-K)6,6,9
9 X=((CO+COS(P))/SIN(P))*X2
SM=S/K;ETA=EXP(.1*GO*ALO)*SM*X
C=ETA*(PI*D*F/3.E5)**2;ETA=100.*ETA
GDB=10.*ALOG(C)/ALO
WRITE(108,4)GDB,ETA
END
```

Le programme écrit en basic sur machine 'OLIVETTI'

// PROGRAMME//

```
10 DIM G(9,50), H(9,50), HH(9,50)
30 INPUT "K=";N:INPUT "M=";M:INPUT "K=";K:INPUT "GO=";GO
20 INPUT "D=";D:INPUT "DA=";DA:INPUT "FOC";FOC
40 INPUT "F=";F
50 PI=3.14159:ALO=. LOG(10)
60 P=ATN((DA+D/2.)2./FOC)-ATN(DA-D/2)/2./FOC)
70 CO=4.*FOC*SIN(P)/D-COS(P)
80 PR=ATN(SQR(1.-CO*CO)/CO)
90 PO=PR*180./PI:PA=P*180./PI
100 LPRINT USING TAB(34), 'DIAMETRE:', '###.###', D, 'MM',
SPACE $(18), 'FOCALE:', '###.###', FOC, 'MM'
110 LPRINT USING TAB(31), 'INCLINAISON:', '###.###', PO, 'DEGRES',
SPACE S(10), 'OUVERTURE:', '###.###', PA, 'DEGRES'
120 LPRINT USING TAB(49), 'NOMBRE DE COUPES=', '##', K
130 LPRINT USING TAB(49), 'FREQUENCE=', '###.###', F, 'MHZ'
140 FOR L=1 TO K:FOR I=1 TO N:INPUT 'ENTRER LES VALEURS DE G';
G(L,I):NEXT I:NEXT L
150 DV=P/(N-1):DU=DV/M:V=W=S=0
160 L=1:NN=N-1:MM=M-1
170 FOR I=1 TO NN
180 H(L,I)=EXP(-0.5*ALO*G(L,I))
190 H(L,I+1)=EXP(-0.05*ALO*G(L,I+1))
200 HH(L,I)=5.*(H(L,I)+H(L,I+1))
210 FOR J=1 TO MM
220 FI=(I-1)*DV+J*DU
230 V=V+HH(L,I)*SIN(FI)/(CO+COS(FI))
240 NEXT J
250 W1=HH(L,I)*SIN(I-1)*DV/(CO+COS(I-1)*DV)
260 W2=HH(L,I)*SIN(I-1)*DV+M*DU/(CO+COS(I-1)*DV+L*DU)
270 W3=(W1+W2)/2.+V)*DU:V=0
280 W=W+W3:NEXT I
290 Y=W*W:S=S+Y:W=0:V=0:L=L+1
300 IF(L-K) <= 0 GOTO 170
310 X=((CO+COS(P))/SIN(P))2
320 SM=S/K:ETA=EXP(.1*GO*ALO)SM*X
330 C=ETA*(PI*D*F/300000.)2
340 ETA=100.*ETA
350 GDB=10.*LOG(C)/ALO
360 LPRINT USING TAB(34), 'GAIN=', '###.###', GDB, 'DB', SPACE $(3),
'RENDEMENT=', '###.###', ETA, 'FOUR CENT'
370 STOP
```



Calcul du diagramme de rayonnement d'une antenne parabolique à réflecteur de révolution ou excentré en fonction des caractéristiques de la source primaire.

But: Le programme permet de calculer le diagramme à l'infini d'une antenne parabolique (off-set ou de révolution) à partir du diagramme de la source primaire.

- Le réflecteur doit avoir une ouverture qui se projette suivant un cercle sur le plan focal.

Principe de calcul :

A partir du champ rayonné par la source, on calcul la distribution sur l'ouverture projetée de l'antenne.

Données à rentrer:

D=diamètre de l'ouverture projetée de l'antenne.

DA=distance entre l'axe focal et l'axe de l'ouverture projetée de l'antenne ( DA=0 correspond à un réflecteur de révolution ).

FOC=distance focale.

D, DA, FOC, sont exprimés en mm

T1=angle initial pour le calcul du diagramme

T2=angle final pour le calcul du diagramme

DT=pas de variation pour le calcul du diagramme

PHI1=angle initial pour la coupe du diagramme

PHI2=angle final pour la coupe du diagramme

DPHI=pas de variation pour la coupe du diagramme

FIP=angle donnant la polarisation du champ rayonné

F=frequence de travail (exprimé en MHz)

N=nombre de points du diagramme primaire experimental

M=nombre d'intervalles (pour interpolation entre les points du diagramme experimental)

GE=diagramme experimental de la source primaire ( plan E )

GH=diagramme experimental de la source primaire ( plan H )

Remarque-PHI est compté à partir de l'axe OX (EX: PHI=0 plan site)

Les coordonnées sont celles indiquées sur les figures (1) et (2). Dans les calculs, on appelle polarisation verticale, la polarisation correspondant à un champ électrique parallèle à l'axe OX de la figure(1), et on appelle le plan site, le plan XOZ de la figure(2).

Résultats: L'ordinateur donne:

-Le type du réflecteur(off-set ou de révolution).

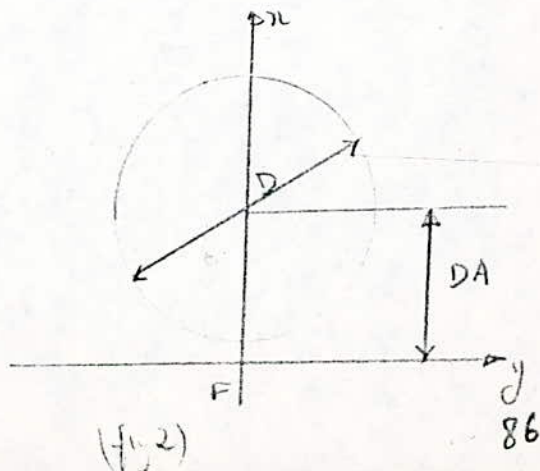
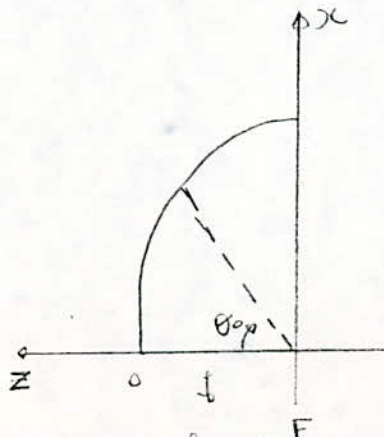
-Les paramètres géométriques du réflecteur.

-La fréquence de travail.

-La polarisation du champ rayonné.

-Le plan de coupe du diagramme.

-Un tableau donnant l'atténuation en dB, en fonction de l'angle en degrés, du champ rayonné.





programme écrit en fortran IV; sur machine C II IRIS 80 .

// PROGRAMME //

```
DILATION GE(50), GH(50)
COMMON DE(50), DH(50), A, B, C1, SI, CO, SO
NAME LIST D, DA, FOC, F, T1, T2, DT, FIP, N, M, GH, GE, PH12, PHI1
INPUT (5)
PI=3.14159
ALO=ALOG(10.)
PSIAR=ATAN((DA+D/2.)/2./FOC)+ATAN((DA-D/2.)/2./FOC)
CA=COS(PSIAR)
CO=4.*FOC*SIN(PSIAR)/D-CA
SO=SQRT(1.-CO*CO)
PSIOR=ATAN(SO/CO)
PSIA=PSIAR*360./PI
PSIO=PSIOR*180./PI
ALPHA=180.-FIP
IF(DA)2,1,2
1 WRITE(6,100)
WRITE(6,101) D,FOC,PSIA
100 FORMAT(26X,22H PARABOLE DE REVOLUTION //)
101 FORMAT(27X,9H DIAMETRE=,F9.3,3H MM/29X,7H FOCAL=,F9.3,3H MM/18X
20H OUVERTURE ANGULAIRE=,F8.3,7H DEGRES/)
GOTO 10
2 WRITE(6,102)
WRITE(6,103)PSIO
102 FORMAT(29X,16H PARABOLE OFF-SET//)
103 FORMAT(16X,22H INCLINAISON ANGULAIRE=,F8.3,7H DEGRES/)
WRITE(6,101)D,FOC,PSIA
10 WRITE(6,103)PSIO
104 FORMAT(25X,25H DIAGRAMMES DE RAYONNEMENT/21X,15H LA FREQUENCE,
F9.3,4H MHZ//)
IF(FIP)4,3,4
3 WRITE(6,105)
105FORMAT(26X,22H POLARISATION VERTICALE/)
GOTO 20
4 IF(FIP-90.)5,6,7
5 WRITE(6,106)FIP
106 FORMAT(21X,12H POLARISATION,F6.3,14H DEGRES GAUCHE/)
GOTO 20
6 WRITE(6,107)
107 FORMAT(25X,24H POLARISATION HORIZONTALE/)
GOTO 20
7 WRITE(6,108)ALPHA
108 FORMAT(21X,12H POLARISATION,F6.3,14H DEGRES DROITE/)
20 DV=PSIAR/(N-1)
DU=DV/M
NN=N-1
MM=M-1
DO 30 I=1,NN
DE(I)=.5*(EXP(-.05*ALO*GE(I))+EXP(-.05*ALO*GE(I+1)))
30 DH(I)=.5*(EXP(-.05*ALO*GH(I))+EXP(-.05*ALO*GH(I+1)))
PIR=PI/180.
AK=4.*PI*FOC*F/3.E5
SP=SIN(FIP*PIR)
CP=COS(FIP*PIR)
A=2.*PI*CP*FOC
B=2.*PI*SP*FOC
PHI=PHI1
15 IF(PHI)9,8,9
8 WRITE(6,109)
109 FORMAT(27X,19H DIAGRAMME PLAN SITE/)
GOTO 40
110 FORMAT(27X,19H DIAGRAMME PLAN SITE/)
```

```

9 IF(PHI-90.)12,11,12
11 WRITE(6,110)
110 FORMAT(26X,21H DIAGRAMME PLAN AZIMUT/)
GOTO 40
12 WRITE(6,111)PHI
111 FORMAT(23X,17H DIAGRAMME COUPE A,F8.3,7H DEGRES/)
40 TR=0
SI=SIN(PHI*PIR)
CI=COS(PHI*PIR)
CALL SOM(RNX,RNY,AINX,AINY,N,M,TH,PSIAR,AK)
RET=RNX*CI+RNY*SI
AET=AINX*CI+AINY*SI
REP=RNY*CI-RNX*SI
AEP=AINY*CI-RNX*SI
EO=2.*SQRT(RET**2+AET**2+REP**2+AEP**2)
WRITE(6,112)
112 FORMAT(24X,12HTTTA(DEGRES),5X,9H CHAMP(DB)/)
T=T1
13 TR=T*PIR
CALL SOM(RNA,RNY,AINX,AINY,N,M,TR,PSIAR,AK)
RET=RNX*CI+RNY*SI
AET=AINX*CI+AINY*SI
REP=RNY*CI-RNX*SI
AEP=AINY*CI-RNX*SI
ET=(1.+COS(TR))*2*(RET**2+AET**2)
EP=(1.+COS(TR))*2*(REP**2+AEP**2)
E=SQRT(ET+EP)/EO
EDB=20.*ALOG(E)/ALO
WRITE(6,113)T,EDB
113 FORMAT(25X,F8.3,8X,F8.3)
T=T+DT
IF(T-T2)13,13,14
14 U=0
V=0
DO 60 I=1,NN
S=DE(I)+DH(I)
AL1=(I-1)*DV
S1=SIN(AL1)
S2=SIN(AL1+L*DU)
C1=COS(AL1)
C2=COS(AL1+M*DU)
W1=S1*S/((1.+C1)*(1.+C2))
W2=S2*S/((1.+C1)*(1.+C2))
DO 50 J=1,MM
PS1=AL1+J*DU
50 U=U+SIN(PS1)*S/((1.+C1)*(1.+COS(PS1)))
W3=(W1+W2)/2.*DU
V=V+W3
60 U=0
UX=-2.*A*V
UY=-2.*B*V
ET=2.*(UX*CI+UY*SI)
EP=2.*(UY*CI-UX*SI)
EOO=SQRT(ET*ET+EP*EP)
ER=20.*ALOG(EOO/EO)/ALO
WRITE(6,114)ER
114 FORMAT(10X,14H APPROXIMATION=,F6.3,3H DB/,
PHI=PHI+DPHI
IF(PHI-PHI2)15,15,16
16 CONTINUE
END

```



```

SUBROUTINE SOM(RX,RY,AX,AY,N,M,TR,PSIAR,AK)
COMMON DE(50),DH(50),A,B,CI,SI,CO,,SO
NN=N-1
MM=M-1
DV=PSIAR/NN
DU=DV/M

```

```

C2I=C1*CI-SI*SI
S2I=2.*SI*SI
C3I=4.*CI*CI-3.*CI
S3I=3.*SI-4.*SI*3

```

```

U=0.
V=0.
W=0.
Y=0.
F1=0.
G1=0.
G2=0.
DO 500 I=1,NN
K=1
AL1=(I-1)*DV
J=1

```

```

410 PSI=AL1+J*DU
SP=SIN(PSI)
CP=COS(PSI)
AA=1.+CO*CP
AB=CO+CP

```

```

OLE=SP/(AC*(AA*AA-(AB*CI)**2))
BETA=AK*SIN(TR)*CI*SO*(1./AC-1./(CO+COS(PSIAR)))

```

```

X=AK*SIN(TR)*SP/AC

```

```

CB=COS(BETA)
SB=SIN(BETA)
BO=BES(0,X)
B1=BES(1,X)
B2=BES(2,X)
B3=BES(3,X)
ADE=AA*DE(I)

```

```

ADH=AA*DH(I)

```

```

CDH=AC*DH(I)

```

```

CDE=AC*DE(I)

```

```

ALP1=AC*(CDE+ADH)*BO+AC*(ADH-CDE)*B2*C2I

```

```

BET1=AC*(ADE-CDH)*B2*S2I

```

```

GAM1=.5*AB*(ADE-CDH)*(B1*CI+B3*C3I)

```

```

EPS1=.5*AB*((CDF+3.*ADH)*B1*SI+(CDE-ADH)*B3*S3I)

```

```

ALP2=AC*(ADH-CDE)*B2*S2I

```

```

BET2=AC*(ADE+CDH)*BO+AC*(ADE-CDH)*B2*C2I

```

```

GAM2=.5*AB*((CDH-ADE)*B3*S3I-(3.*ADE+CDH)*B1*SI)

```

```

EPS2=.5*AB*(CDE-ADH)*(B1*CI+B3*C3I)

```

```

A1=B*BET1-A*ALP1

```

```

D1=A*GAM1-B*EPS1

```

```

A2=A*ALP2-B*BET2

```

```

D2=A*GAM2+B*EPS2

```

```

GOTO (420,440,430),K

```

```

420 U=U+OLE*(CB*A1+SB*D1)

```

```

V=V+OLE*(SB*A1-CL*D1)

```

```

W=W+OLE*(CB*A2-SB*D2)

```

```

Y=Y+OLE*(SB*A2+CB*D2)

```

```

J=J+1

```

```

IF(J-MM)410,410,430

```

```

430 K=2

```

```

J=0

```

```

GOTO 410

```

```

440 UI=OLE*(CB*A1+SB*D1)

```

```

V1=OME*(SB*A1-OB*D1)
W1=OME*(CB*A2-SB*D2)
Y1=OME*(SB*A2+CB*D2)
K=3
J=M
GOTO 410
450 U2=OME*(CB*A1+SB*D1)
V2=OME*(SB*A1-CB*A2-CB*D1)
W2=OME*(CB*A2-SB*D2)
Y2=OME*(SB*A2-SB*D2)
U3=((U1+U2)/2.+U)*DU
V3=((V1+V2)/2.+V)*DU
W3=((W1+W2)/2.+W)*DU
F1=F1+U3
G1=G1+V3
F2=F2+W3
G2=G2+Y3
U=0.
V=0.
W=0.
500 Y=0.
RX=F1
RY=F2
GX=G1
GY=G2
RETURN
END

```

Programme écrit en BASIC sur machine OLIVETTI.

```

10 DEF GB(50),GH(50),DL(50),DR(50)
20 INPUT "D=";D:INPUT"FOC=";FOC:INPUT"F=30 F:
30 INPUT"T1=";T1:INPUT"T2=";T2:INPUT"DT=";DT:
INPUT"FIP=";FIP:INPUT"N=";N:INPUT"M=";M:
INPUT"GE=";GE:INPUT"GH=";GH:INPUT"PHI1=";PHI1
INPUT"PHI2=";PHI2:INPUT"DPHI=";DPHI
30 PI=3.14159
40 ALC=LOG(10.)
50 PSIA=ATN((DA+D/2.)/2./FOC)-ATN((D.-D/2.)/2./FOC)
60 CA=COS(PSIA)
70 CO=4.*FOC*SIN(PSIA)/D-CA
80 SO=SQR(1.-CO*CO):PSIOR=ATN(SO/CO)
90 PSIA=PSIA*360./PI:PSIO=PSIOR*180./PI
100 ALPHA=180.-FIP
110 IF DA#0 GOTO 150
120 LPRINT USING TAB(28),'DIAMETRE=', '#####.###',D,'MM/'
130 LPRINT USING TAB(28),'DIAMETRE=', '#####.###',D,'MM/'
140 LPRINT USING TAB(30),'FOCALE=', '#####.###',FOC,'MM/', 'OUVERTURE
ANGULAIRE=', '#####.###',PSIA,'DEGRES/':GOTO 190
150 LPRINT USING TAB(30),'PARABOLE OFF-SET'
160 LPRINT USING TAB(17),'INCLINAISON ANGULAIRE=', '#####.###',
PSIO,'DEGRES/',SPACE$(28),'DIAMETRE=', '#####.###',D,'MM/'
170 LPRINT USING TAB(30),'FOCALE=', '#####.###',FOC,'MM/'
180 LPRINT USING TAB(19),'OUVERTURE ANGULAIRE=', '#####.###',PSIA,'DEGRES'
190 LPRINT USING TAB(26),'DIAGRAMME DE RAYONNEMENT'
200 LPRINT USING TAB(22),'ALA FREQUENCE', '#####.###',F,'MHZ/',
210 IF FIP#0 GOTO 230
220 LPRINT USING TAB(21),'POLARISATION VERTICALE':
GOTO 280
230 IF(FIP-90.)>=0 GOTO 250

```



```

240 LPRINT USING TAB(22), 'POLARISATION', '##.###', ALPHA, 'DEGRES'
      G AUCHE/': GOTO 280
250 IF(FIP-90.) > 0 GOTO 270
260 LPRINT USING TAB(26), 'POLARISATION HORIZONTALE': GOTO 280
270 LPRINT USING TAB(22), 'POLARISATION', '##,###', ALPHA, 'DEGRES'
      DROITES/
280 DV=PSI*R/(N-1)
290 DU=DV/M:NN=N-1:MM=M-1
300 FOR I=1 TO NN
310 DE(I)=.5*(EXP(-.05*ALOXGE(I))+EXP(-.05*ALOXGE(I+1)))
320 DH(I)=.5*(EXP(-.05*ALOXGH(I))+EXP(-.05*GH(I+1)))
330 NEXT I
340 PIR=PI/180.
350 AR=4.*PI*FOC*FX300000.:SP=SIN(FIP*PIR)
360 CP=COS(FIP*PIR):A=2.*PI*CP*FOC
370 B=2.*PI*SP*FOC:PHI=PHI1
380 IF PHI#0 GOTO 400
390 LPRINT USING TAB(28), 'DIAGRAMME PLAN SITE': GOTO 510
400 IF(PHI-90.)=0 GOTO 420
410 LPRINT USING TAB(27), 'DIAGRAMME PLAN AZIMUT': GOTO 510
420 LPRINT USING TAB(24), 'DIAGRAMME COUPE A', '###.###', PHI, 'DERES/
430 TR=0.:SI=SIN(PHI*PIR):CI=COS(PHI*PIR)
440 RNX=RNY=A*INX=A*INY=0.
450 GOSUB 810
460 RET=RNX*CI+RNY*SI
470 AET=A*INX*CI+A*INY*SI
480 REP=RNY*CI-RNX*SI
490 AEP=A*INY*CI-A*INX*SI
500 EO=2.*SQR(RET^2+AET^2+REP^2+AEP^2)
510 LPRINT USING TAB(25), 'TETA(DEGRES)', SPACE $(5), 'CHAMP(DB)'
520 RET=RNX*CI-RNY*SI
520 T=T1
530 TR=T*PIR
540 GOSUB 810
550 RET=RNX*CI+RNY*SI:AET=A*INX*CI+A*INY*SI:REP=RNY*CI-RNX*SI:
      AEP=A*INY*CI-A*INX*SI
560 ET=(1.+COS(TR))^2*(RET^2+AET^2)
570 EP=(1.+COS(TR))^2*(REP^2+AEP^2)
580 E=SQR(ET+EP)/EO:EDB=20.*LOG(E)/ALO
590 LPRINT USING TAB(26), '###.###', 'T', SPACE $(8), '###.###', EDB
600 T=T+DT
610 IF(T-T2) 0 GOTO 530
620 U=0.:V=0.
630 FOR I=1 TO NN
640 S=DE(I)+DH(I):AL1=(I-1)*DV:S1=SIN(AL1):S2=SIN(AL1+L*DU)
650 C1=COS(AL1):C2=COS(AL1+L*DU)
660 W1=S1+S/((1.+C0)*(1.+C1))
670 W2=S2*S/((1.+C0)*(1.+C2))
680 FOR J=1 TO MM
690 PSI=AL1+J*DU
700 U=U+SIN(PHI)*S/((1.+C0)+(1.+COS(PST))):
      NEXT J
710 W3=((W1+W2)/2.+U)*DU:V=V+W3:U=0:
      NEXT I
720 UX=-2.*A*V:UY=-2.*B*V
730 ET=2.*(UX*CI+UY*SI)
740 EP=2.*(UY*CI-UX*SI)
750 E00=SQR(ET*ET+EP*EP)
760 ER=20.*LOG(E00/EO)/ALO
770 LPRINT USING TAB(11), 'APPROXIMATION=', '##.##', ER, 'DB/
780 PHI=PHI+DPHI
790 IF(PHI-PHI2) 0 GOTO 380
800 STOP
810 NN=N-1:MM=M-1:DV=PSI*R/NN
820 DU=DV/M
830 C21=C1*CI-SI>1

```



```

840 S21=2.*SIX*JI
850 C31=4.*CI-3.*CI
860 S31=3.*SI-4.*SI*3
870 U=V=W=Y=FI=CI=F2=G2=0.
880 FOR I=1 TO NN:K=1:J=1:ALI=(I-1) DV
890 PSI=ALI+J*DU:SP=SIN(PSI):CP=COS(PSI)
900 AA=1.+CC*CI:AB=SC*SI:AC=CO+CI
910 OME=SP/(AC*(AA*AA-(AB*CI)^2))
920 EETA=AK*SIN(TR)*CI*SO*(1./AC-1./((CO+COS(PSI*AK))))
930 X=AK*SIN(TR)*SP/AC
940 CB=COS(BETA):SB=SIN(BETA):BO=B1=B2=B3=0
950 B=0.:N=0.
960 GOSUB 1400
970 EO=E:A=1
980 GOSUB 1400
990 B1=B:N=2
1000 GOSUB 1400
1010 B2=B:N=3
1020 GOSUB 1400 :B3=B
1030 ADE=AA*DE(I):ADH=AA*DH(I):CDH=AC*DH(I)
1040 CDE=AC*DE(I)
1050 ALP1=AC*(CDE+ADH)*BO+AC*(ADH-CDE)*B2*C21
1060 BET1=AC*(ADE-CDH)*B2*S21
1070 GAM1=.5*AB*(ADE-CDH)*(B1*CI+B3*C31)
1080 EPS1=.5*AB*((CDE+3.*ADH)*B1*SI+(CDE-ADH)*B3*S31)
1090 ALP2=AC*(ADH-CDE)*B2*S21
1100 BET2=AC*(ADE+CDH)*BO+AC*(ADE-CDH)*B2*C21
1110 GAM2=.5*AB*((CDH-ADE)*B3*S31-(3.*ADE+CDH)*B1*SI)
1120 EPS2=.5*AB*(CDE-ADH)*(B1*CI+B3*C31)
1130 A1=B*BET1-A*ALP1:D1=A*GAM1-B*EPS1
1140 A2=A*ALP2-B*BET2:D2=A*GAM2+B*EPS2
1150 ON K GOTO 1160 1220 1270
1160 U=U+OME*(CB*A1+SB*D1)
1170 V=V+OME*(SB*A1-CB*D1)
1180 W=W+OME*(CB*A2-SB*D2)
1190 Y=Y+OME*(SB*A2-CB*D2):J=J+1
1200 IF(J-JL) 0 GOTO 890
1210 K=:J=0:GOTO 890
1220 U1=OME*(CB*A1+SB*D1)
1230 V1=OME*(SB*A1-CB*D1)
1240 W1=OME*(CB*A2-SB*D2)
1250 Y1=OME*(SB*A2+CB*D2)
1260 K=3:J=L:GOTO 890
1270 U2=OME*(CB*A1+SB*D1)
1280 V2=OME*(SB*A1-CB*D1)
1290 W2=OME*(CB*A2-SB*A1-SB*D2)
1300 Y3=OME*(SB*A2+CB*D2)
1310 U3=((U1+U2)/2.+U)*DU
1320 V3=((V1+V2)/2.+V)*DU
1330 W3=((W1+W2)/2.+W)*DU
1340 Y3=((Y1+Y2)/2.+Y)*DU
1350 F1=F1+U3:G1=G1+V3:F2=F2+W3:G2=G2+Y3
1360 U=V=W=0.
1370 Y=0:NEXT I:RNX=F1:RNY=F2
1380 AINX=G1:AINY=G2
1390 RETURN
1400 IF(ABS(X)-13.)>0 GOTO 1330
1410 Y=X/2.
1420 IF N#0 GOTO 1440
1430 A=1:GOTO 1470
1440 ANF=1.
1450 FOR I=1 TO N:ANF=ANF*I:NEXT I
1460 A=Y N/ANF
1470 W=1.-Y^2/(N+1):V=-Y^2/(N+1)
1480 J=1
1490 R=CY^2/(K+1):V=-Y^2/(N+1)

```



```

1490 R=-Y^2/((N+J+1)*(J+1)):V=V R:W=V+W
1500 J=J+1
1510 IF(ABS(V)-10^-4)>>0 GOTO 1490
1520 B=A*W:RETURN
1530 Y=8.*ABS(X)
1540 K=4*N^2:I=0:U=1.:P=1.
1550 R=-1.*(K-2*I+1)^2*(K-2*I+3)^2/((I+2)*Y^2)
1560 U=U R:P=P+U
1570 IF(ABS(R)-1.)>>0 GOTO 1590
1580 I=I+2:GOTO 1550
1590 Q=(K-1)/Y:I=1:Y=1.
1600 S=-1.*(K-(2*I+1)^2)*(K-(2*I+3)^2)/((I+1)*(I+2)*Y^2)
1610 V=Y+S:Q=Q+V
1620 IF(ABS(S)-1.)>>0 GOTO 1640
1630 I=I+2:GOTO 1600
1640 ALP=ABS(X)-N*PI/2.-PI/4.
1650 IF X<0 GOTO 1680
1660 B=SQR(2./PI/X)*(P*COS(ALP)-Q*SIN(ALP))
1670 GOTO 1690
1680 B=(-1.)^N*SQR(2./PI/ABS(X))*(P*COS(ALP)-Q*SIN(ALP))
1690 RETURN

```

CHAPITRE     V

Méthode de Mesure :

Avant toute chose nous tenons à dire que, nous avons été  
a la foire internationale d'Algerie, au pavillon de la France  
( Société A T S ) tester notre antenne.

Celle-ci ayant exposé la chaine complète de réception  
direct par satellite dans leur stand, il ont été très aimable en  
nous permettant d'utiliser un de leur convertisseur, leur démodu-  
lateur et leur récepteur de télévision " B A R C O Multisystème ".

l'Expérience s'est faite dans les conditions suivante :

le guide d'onde du convertisseur et le convertisseur lui même sont  
d'origine JAPONAISE tandis que notre guide d'onde (celui fixé sur  
notre parabolique) est d'origine SUEDOISE ils n'avaient donc pas les  
même dimension pour les fixer l'un a l'autre, c'est l'un de nos  
camarade que les tenaient l'un et l'autre avec ses mains en ce postant  
presque face a l'antenne ce qui diminuait la surface effectuée de  
notre antenne, il faut dire aussi que les dimensions interieures des



deux guides d'ondes ne coïncidaient pas et malgré ces deux problèmes un signal était perçus à l'entrée du démodulateur.

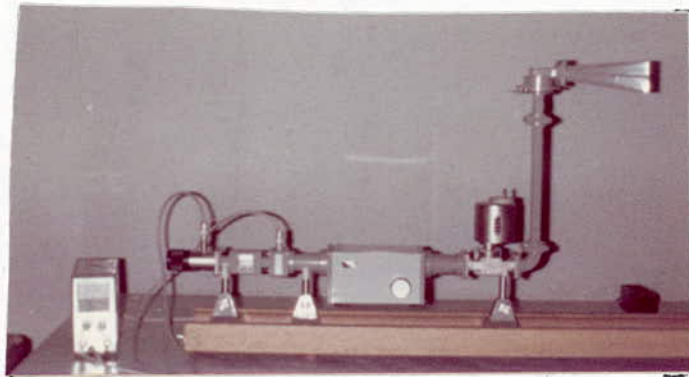
Le signal audio était perçus en permanence (la diode témoin audio sur le démodulateur était en permanence allumée) tandis que pour le signal vidéo il fallait tourner le potentiomètre (relatif aux fréquences) et la diode témoin vidéo s'allumait. Cette expérience s'est faite en présence de témoins que l'on citera plus tard.

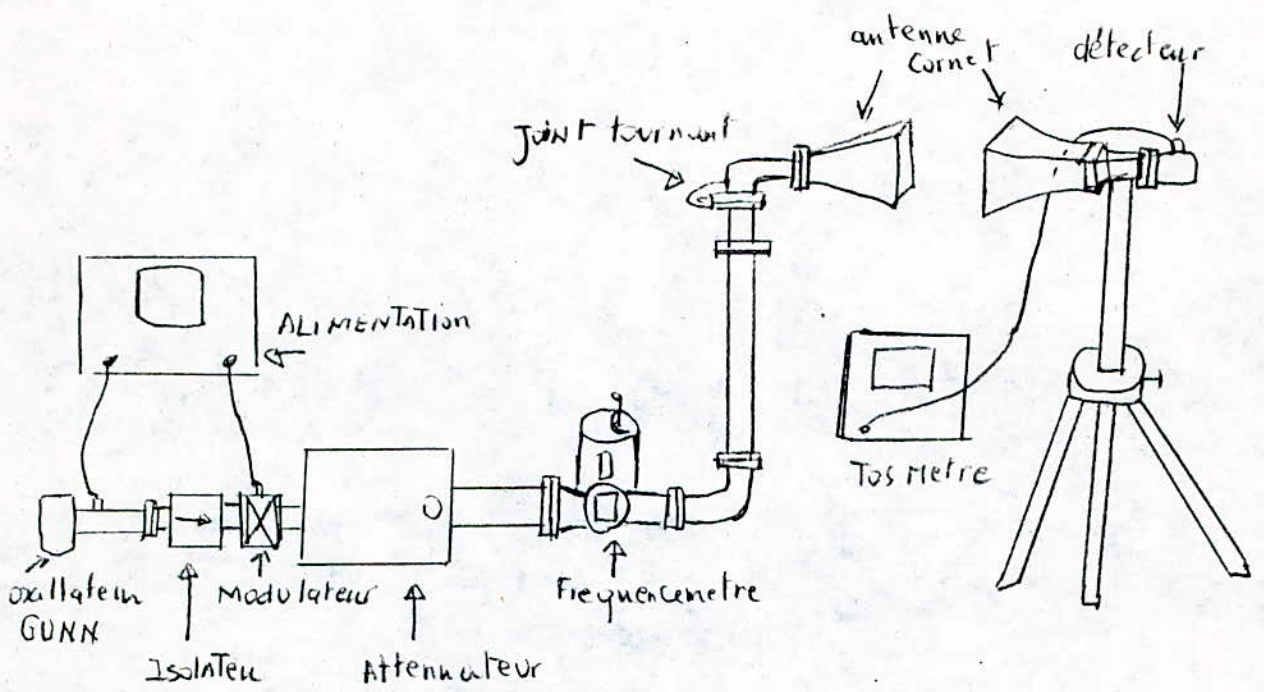
Le responsable du stand ATS nous avait promis de nous envoyer une attestation des que possible

1) Méthode de mesure :

a) But des mesures

Le but de ces mesures est de déterminer le diagramme de rayonnement de notre antenne et son gain.







Pour la mesure des caractéristique des antennes paraboliques remplacer les deux antennes cornet par celle-ci.

Les caractéristiques de l'antenne d'émission sont connus c'est ceux de l'antenne de réception qui sont inconnus et grâce à la manipulation pourra être déterminés.

### C) Rappels

#### \* l'Angle d'ouverture

a 3 dB est l'angle directement correspondant a une perte en puissance de 3 dB par rapport à la puissance nominale.

#### \* Le gain G

Est la puissance maximale du lobe principal comparée à la puissance équivalente d'une source excitant une antenne omnidirectionnelle ou isotropique.

Le gain prend en compte les pertes propres de l'antenne.

A la sortie d'une antenne le champ emis est composé de :

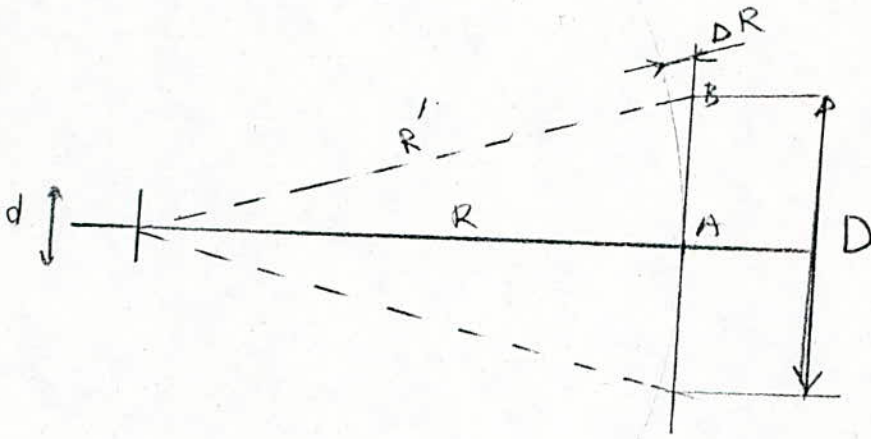
- Le champ d'induction ( proche )
- Le champ de radiation ( éloigné )

Les mesures d'antennes, afin de ne pas être perturbées par le champ d'induction, doivent être effectuées dans le champ de radiation.

On définit comme R la distance entre antennes ou le champ de

radiation prend naissance.

La différence de phase de l'onde reçue est alors inférieure à  $10\lambda_0$  entre le bord et le centre de l'antenne réceptrice.



Distance minimum entre deux antennes

$$R = R_1 - R$$

$$\Delta R \leq \lambda_0 / 16 \text{ en négligeant } D^2$$

Et en utilisant le théorème de Pythagore

Nous exprimons alors R : distance minimale pour être dans le champ de radiation.

$$R \geq 2 D^2 / \lambda_0$$

La puissance reçue  $P_r$ , à l'antenne réceptrice est :

- Proportionnelle à la puissance remise  $P_t$ , au gain de l'antenne émettrice, à la surface équivalente  $A_{er}$  de l'antenne réceptrice.
- Et inversement proportionnelle au carré de la distance séparant les deux antennes.

$$P_r = P_t \times G_t \times A_{er} / 4 \pi R^2$$

La surface équivalente d'une antenne est donnée par la formule

$$A_{er} = \frac{G \cdot \lambda_0^2}{4} \text{ soit } A_{er} = \frac{G R \lambda_0^2}{4}$$



On a alors

$$R = (\lambda_0^4 / 16 \pi R^2) \times P_T \times G_R \times G_T$$

Si les deux antennes sont identiques

$$G_t = G_r = G_0$$

$$G_0^2 = (P_r / P_t) \times (16 \pi R^2 / \lambda_0^2)$$

Seul le rapport  $P_r / P_t$  est à connaître

Si l'on utilise un détecteur dans son régime quadratique ce rapport est aisément mesurable.

La formule donnant le gain devient :

$$G \text{ dB} = \frac{1}{2} [P_r \leftrightarrow P_t] \text{ dB} + 10 \text{ Log} (4 \pi R / \lambda_0)$$

#### \* Calcul d'erreur

Le gain s'exprime de cette façon

$$G_t \times G_r = (P_r / P_t) (4 \pi R / \lambda_0)^2$$

En passant en logarithmes et en exprimant les erreurs en valeur relatives nous obtenons

$$\frac{\Delta G_t}{G_t} + \frac{\Delta G_r}{G_r} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta \lambda_0}{\lambda_0} + \frac{\Delta (P_r / P_t)}{P_r / P_t}$$

$$\text{Si } R = 1,5 \text{ m} \quad \frac{\Delta R}{R} = 0,04 \text{ dB}$$

Cette valeur décroît si R croît

$$\frac{\Delta \lambda_0}{\lambda_0} = 0,0013 \text{ dB} \text{ cette valeur peut donc être négligée}$$

$\frac{\Delta (P_r / P_t)}{P_r / P_t}$  est de l'ordre de 0,5 dB relativement importante.

$$P_r / P_t$$

Cette valeur de plus s'additionne aux erreurs dues à la mesure (reflection ... etc ).

Il faut aussi tenir compte des erreurs dues à la disadaptation du système.

#### D) Manipulations

Préparation :

Après avoir réalisé le montage précédent

- Régler l'atténuateur calibré à 20 dB
- Brancher le TOS mètre sur la sortie BNC à l'arrière du fréquencesmètre
- Enfoncer le bouton 30 dB du TOS mètre et le mettre en utilisation
- Brancher l'oscillateur GUNN à la fiche BNC " MODULATOR " de l'alimentation PM 7815
- Régler le Fréquencesmètre à 9 GHz
- Mettre en marche l'alimentation (9V) et la modulation carré.
- Accorder l'oscillateur GUNN jusqu'à déflexion maximum sur le TOS mètre ( régler l'atténuateur calibré si c'est nécessaire )
- l'oscillateur GUNN doit alors indiquer 9 GHz sur sa propre graduation
- Régler l'alimentation pour avoir une déviation maximale sur le TOS mètre
- Régler le TOS mètre à déviation maximale grace au bouton 1 RHZ et ceci sur la position bande passante 20Hz
- Désaccorder le fréquencesmètre d'un minimum de 150 MHz



## 2) Relevée du diagramme de rayonnement.

Il faut d'abord separer les antennes d'une distance minimal d'un mètre, positionner les deux antennes a la même hauteur l'une face à l'autre, régler le joint trouvant à  $90^\circ$  quand les deux antennes sont alignées.

- Brancher le TOS mètre au détecteur en réglant le potentiomètre de gain obtenir la deviation maximale ( 0 dB ) Si nécessaire régler l'attenuateur calibre.

- Tourner l'antenne émission vers la gauche de  $10^\circ$  en  $10^\circ$  en relevant à chaque fois l'indication du TOS mètre.

Si nécessaire utiliser le calibre inferieur du TOS mètre et ajouter 10 dB à la lecture.

- Faire les mêmes mesures en tournant l'antenne émission vers la droite.

- Reporter les résultats sur l'abaque et tracer le diagramme de rayonnement.

- Remplacer l'antenne d'émission a sa position ( $90^\circ$ , 0dB) tourner l'antenne vers la gauche jusqu'à lecture sur le TOS mètre de 3dB.

Relever l'angle indiqué sur le rapporteur.

- Faire la même mesure en tournant vers la droite porter le résultat sur l'abaque

### 3) Mesure du gain

Pour cette mesure il faut remplacer le joint tournant dans le montage précédent par le coude plan E afin d'éviter toute erreur d'alignement entre antennes car les mesures de gain se font sur antenne fixe.

- Il faut ajuster l'atténuateur calibré à 35 dB.

- Déplacer le support d'antenne horizontalement et verticalement afin d'obtenir la déflexion maximale sur le TOS mètre échelle 40 dB

Les distance minimale entre deux antennes doit être de deux mètres.

- Remplacer l'antenne émettrice par le détecteur connecté au TOS mètre.

- Régler le potentiomètre du gain du TOS mètre afin d'obtenir l'indication 3 dB ( Echelle 40 dB ).

- Connecter le détecteur à l'antenne receptrice tout en conservant le même réglage pour le gain du TOS mètre rebrancher l'antenne émettrice au coude plan E .

- Ajuster l'atténuateur variable jusqu'à indication 3dB sur le TOS mètre. Reporter cette valeur A1 dans le tableau I

- Mesurer la distance R1 contre les deux antennes.

- Ajuster le potentiomètre du gain du TOS mètre pour obtenir la lecture 1 dB

- Presser le bouton ex pend du TOS mètre et reporter la valeur C ds le tableau I



• Refaire les mesures pour une autre distance R2 et pour une autre

fréquence d'émission par exemple  $f = 9,5$  GHz

Eventuellement prendre d'autre valeur pour R1 et R2

TABEAU I

Fréquence GHz	Distance cm	Attenuateur A dB	C dB
9	R 1		
	R 2		
9,5	R 1		
	R 2		

4) Calcul du gain

■

Nous savons que

$$G_{dB} = \frac{1}{2} (P_r - P_t)_{dB} + 10 \text{ Log} \left\{ 4 \pi R / \lambda \right\}$$

Avec  $P_t = 35$  dB

$P_r$  : valeur lue sur l'attenuateur calibré.

Il faut remplir le tableau II ensuite calculer G pour R1 et R2 puis calculer le gain moyen.

$$\bar{G} = \frac{G_1 + G_2}{2}$$

TABEAU II

GHz	$(P_r - P_t)/2$ à R1 dB	$(P_r - P_t)/2$ à R2 dB	$10 \text{ Log}$ $(4 \pi R_1 / \lambda)$ dB	$10 \text{ Log}$ $(4 \pi R_2 / \lambda)$ dB	G 1 dB	G 2 dB	$\bar{G}$ dB
9,0							
9,5							

Pour étudier parfaitement l'antenne que nous avons réalisée, il fallait déterminer son diagramme de rayonnement, calculer son gain, et de ce fait déterminer toutes ses caractéristiques.

Nous avons été au laboratoire d'hyperfréquence pour exécuter les travaux pratiques, précédemment décrits, ceux-ci devaient nous permettre de vous donner gain et diagramme de notre antenne.

Au laboratoire, nous avions qu'une simple antenne cornet à notre disposition, nous avons réalisé le montage indiqué dans le TP en utilisant le cornet comme antenne d'émission.

Nous avons placé notre antenne parabolique (de 96 cm de diamètre) à une distance de 1 m du cornet. Celui-ci illuminait qu'une toute petite surface, de part les dimensions du cornet devant l'antenne parabolique et de part la pièce métallique qui soutient le guide d'onde et le détecteur.

Donc le TOSmètre ne réagissait pas aux très faibles rayonnements qui parvenaient au détecteur.

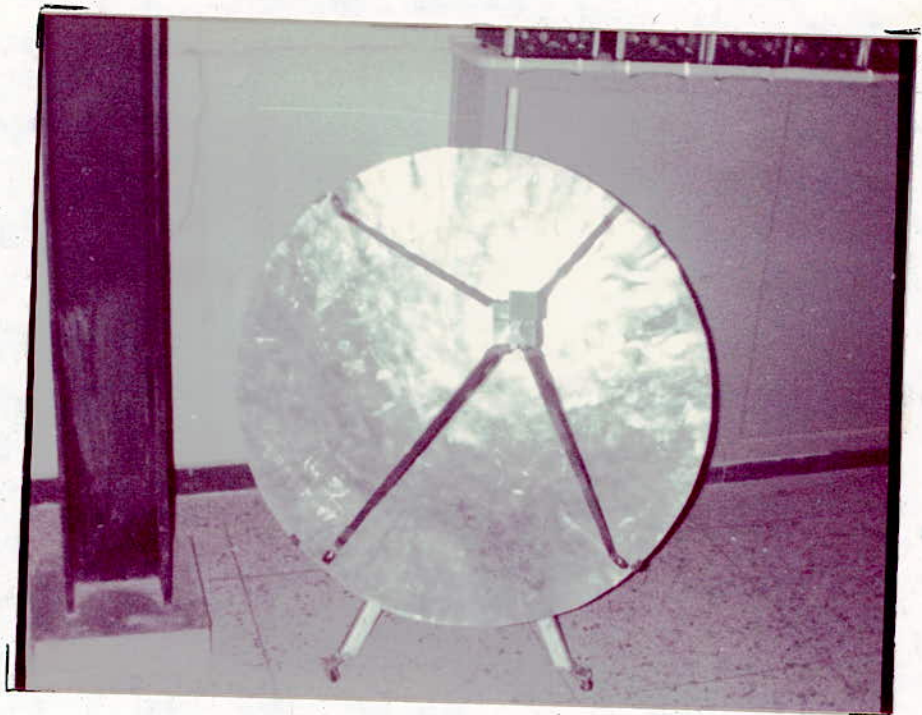


Nous avons essayé toutes les positions du cornet vis à vis de la parabole, nous n'avons obtenu aucune déviation sur le TOSmetre donc rien qui puisse nous permettre de donner les caractéristiques de l'antenne parabolique

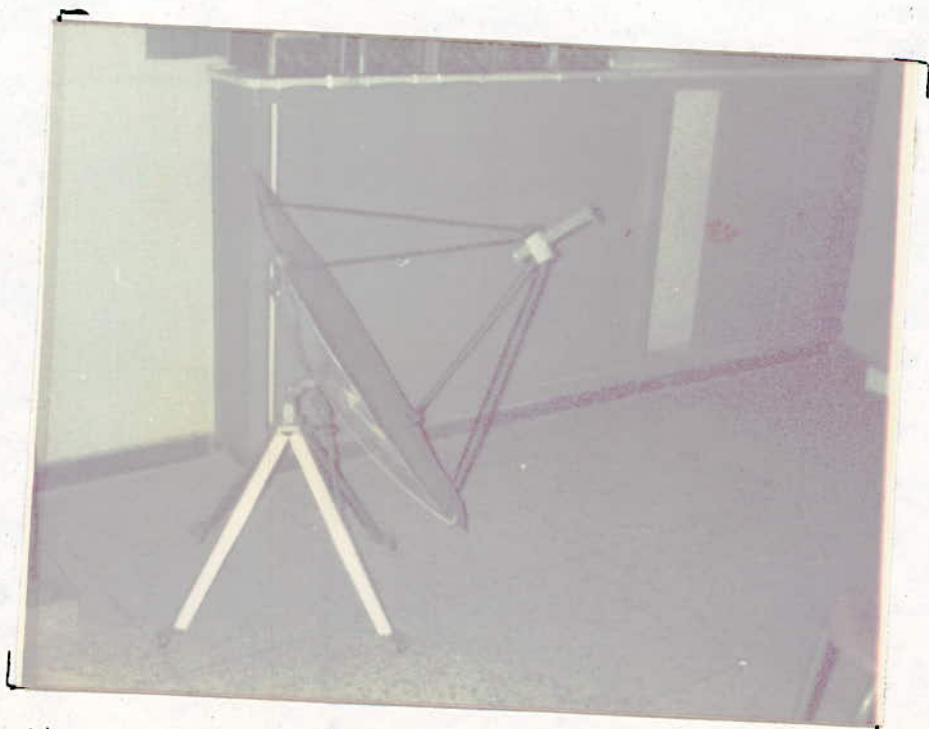
Nous avons pensé à éloigner l'antenne de réception à trois (3) mètres du cornet, dans ces conditions, la surface illuminée était plus grande mais la puissance d'illumination beaucoup plus petite et donc pas de déviation sur le TOSmetre, pas de possibilité de faire des mesures.

Pour pouvoir exécuter le TP il faudrait que l'on puisse disposer d'une antenne parabolique dont les caractéristiques sont connues d'un diamètre d'au moins 40 cm, celle-ci serait utilisée à l'émission et dans ce cas on pourrait avoir des résultats.

Antenne parabolique :

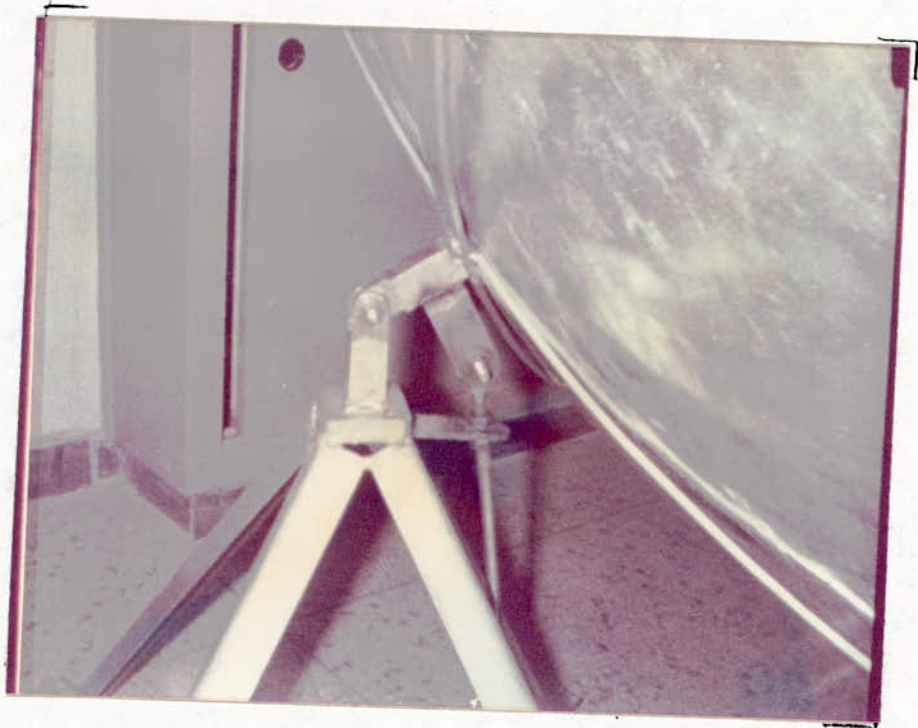


Vue de Face



Vue de profile.





Le systeme d'elevation de l'antenne.



Maquette de l'antenne PLATE

## Bibliographie

- \* Antennes à large bande  
Théorie et application  
de M<sup>r</sup> G. Dubost
  
- \* Les systèmes de télécommunication par satellite  
de G. Maraf, M. Bousquet, J. Pares
  
- \* Antennes Micro-ondes  
Applications aux faisceaux Hertzien  
de M<sup>r</sup> Nhu Bui-Hai
  
- \* Télécommunication par satellite  
de J. Fagot
  
- \* Projets de fin d'études:
  - "TVDS" de M Bourouga
  - "Les satellites de télécommunication"  
de MM Haddadji et Henni-Chebra
  
- \* Revues :
  - "Radio-Plans" n° 443 et 444
  - "Radio-Electronics" de janvier 86



- "IEEE" de février 86

## CONCLUSION

Notre projet de fin d'études nous a permis de faire connaissance avec un domaine qui nous était peu familier.

La réception à l'aide d'antenne parabolique en général :

nous avons ainsi appris, que la réalisation pratique est critique ; en effet la précision mécanique doit être assez précise.

L'antenne parabolique disparaîtra dans un avenir proche, elle-ci - seront remplacées par des antennes plates dont la réalisation s'effectue sur circuit imprimé, par la technique hyperfréquence.