

15/77

UNIVERSITE D'ALGER

DEPARTEMENT ELECTRICITE

FILIERE D'INGENIEUR EN ELECTRONIQUE



PROJET DE FIN D'ETUDES

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
المكتبة

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

Télédiffusion Directe
Par Satellites.

SUJET :

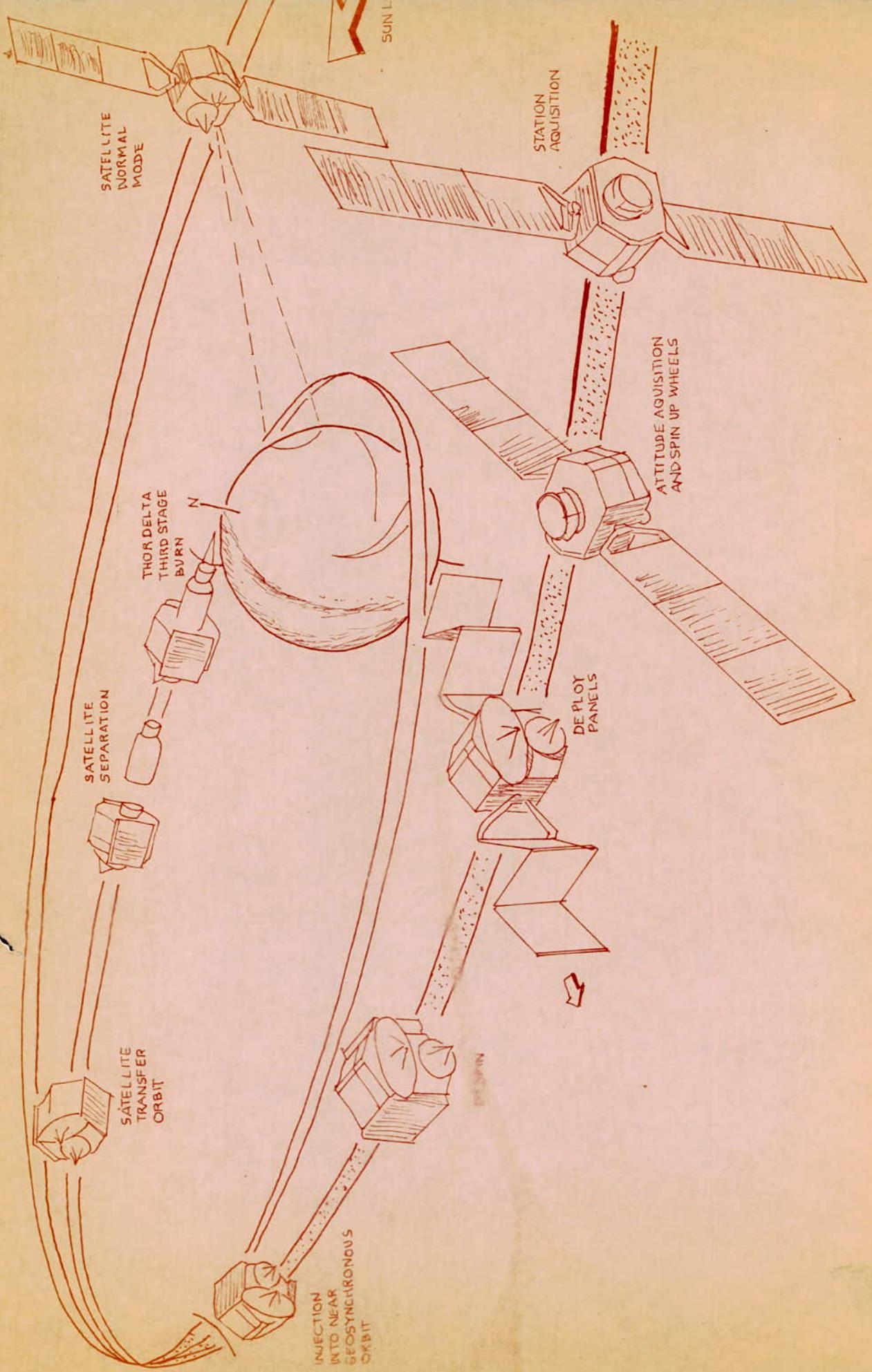
PROPOSE PAR :

Mme Mondon

REALISE PAR :

BOUROUGAA Salah
1977

218

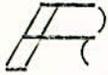


Dédicace

- Aux glorieux Martyrs de la Révolution
- A mon père
- A ma mère
- A ma femme
- A mon frère
- A tous mes amis

Bourougaa Salah

1977



E X E R C I E M E N T S

*_**

Que ~~tous~~ les professeurs qui ont contribué à ma formation, ~~veillent~~ bien trouver ici l'~~es~~pression de ma profonde gratitude.

Je remercie tout particulièrement, Madame Georgette MONDON pour les conseils qu'elle n'a cessé de me prodiguer ~~pout~~ au long de cette étude, et Monsieur A. ADANE, Chef du Département Electricité, pour toute la compréhension qu'il n'a hésité de me manifester.

Qu'il me soit permis de remercier également Monsieur A. KHATRAOUI pour sa participation efficace dans l'élaboration de ce projet.

Mes sincères remerciements vont également à Mademoiselle F.HAMIDA.

S. BOUROUGAA.

*_**

TABLE DES MATIERES.

INTRODUCTION.

Premiere partie: generalites.

I /TELEDIFFUSION DIRECTE PAR SATELLITE.....page 5

- introduction
- differeents services.
- definitions.
- classification des satellites
- parametres techniques principaux
- avantages de la TDPS
- inconvenients de la TDPS
- information et education
- aspects juridiques de la TDPS
- realisations et projets de TDPS dans le monde.

II/ LA STATION TERRESTREPAGE 14

- organisation d'une station
- la reception
- l'emission
- pointage de l'antenne poursuite

III/ LE SATELLITE.....page 19

- les satellites de telecommunication actuels
 - les satellites de tele diffusion
- deuxieme partie: etude technique.

I/ CHOIX D'UN SYSTEME DE TRANSMISSION DE LA TDPS...Page 40

- idee generale -introduction
- systeme de modulation numerique
- defaut de la transmission numerique
- puissance d'emission du satellite en PSK et en F.M.
- procede d'amelioration du systeme numerique
- conclusion.

II / LA RECEPTION DIRECTE DE LA T.V. SUR 12 GHZ.....p.40

-INTRODUCTION

-CAHIER DES CHARGES DES STATIONS DE RECEPTION

-DESCRIPTION DES STATIONS DE RECEPTION

-EXEMPLES DE STATION A 12 GHZ

-LA RECEPTION DIRECTE.....EXEMPLES

III/ FIABILITE D'UN SYSTEME DE TDPS.....p 57

-SOMMAIRE

-GENERALITES SUR LA FIABILITE

-FIABILITE D'UN SYSTEME SPATIAL

-FIABILITE DES SOUS-SYSTEMES

-FIABILITE DES COMPOSANTS.

TROISIEME PARTIE. ETUDE ECONOMIQUE.....

I/ EVALUATION DU COUT DE L'INSTALLATION

COMPLEMENTAIRE.....p;66

CONCLUSION.....page. 70

FIN.

4

Le recours à des Techniques avancés dans l'industrialisation et dans l'équipement du pays et à la réalisation d'industries ayant un haut niveau technologique répond parfaitement à l'option du pouvoir National, celle

- Du progrès afin de bâtir un pays moderne
- De la justice pour éliminer l'exploitation de l'homme par l'homme.
- De l'indépendance qui permet de retrouver sa dignité et d'affirmer sa personnalité dans la liberté reconquise.

I - SOMMAIRE

Un intérêt général croissant se manifeste aujourd'hui dans le monde entier pour les systèmes nationaux ou régionaux de communications **Par** satellites. L'évolution et le perfectionnement techniques ont conduit tout naturellement à envisager le cas, limite en quelque sorte, où chaque individu sur terre d'une zone convenablement "éclairée" ait accès, par une installation qui lui soit propre, à l'information véhiculée par le satellite : c'est l'avènement de la télédiffusion directe par satellite.

II - JUSTIFICATION TECHNIQUE

En effet, la possibilité actuelle de

- concevoir
- réaliser
- lancer
- placer sur orbite géostationnaire
- orienter avec une grande précision

Un satellite d'un poids suffisant permet

- une couverture nominale de 100%
- une indépendance vis-à-vis des intempéries
- une attribution de nouvelles bandes de fréquences

III - JUSTIFICATION ECONOMIQUE

Il est tout indiqué que dans les pays

- non encore équipés d'une infrastructure de télécommunications et de radiodiffusion.
- dont l'étendu et le relief occasionnaient un coût trop élevé.

La radiodiffusion directe par satellite est une solution de moindre coût économique.

On a tout d'abord pensé à un satellite de distribution de la télévision seulement mais il s'avère qu'un tel système "uniquement pour la télévision" n'est pas économiquement viable : il faudrait alors un système mixte à satellite pour.

- la télévision
- la téléphonie

IV - ASPECT JURIDIQUE

Il est très clair qu'avec un tel atout de diffusion de l'information et de la culture, la compréhension internationale devrait s'améliorer, ceci à condition d'instituer une réglementation à l'échelle mondiale : L'ETAT, maître du satellite, pourrait agir librement en déterminant unilatéralement ce qui est le bien et l'intérêt de tous les pays.

Il apparaît donc de plus en plus urgent et nécessaire de faire appel à une juridiction internationale.

V - CONCLUSION

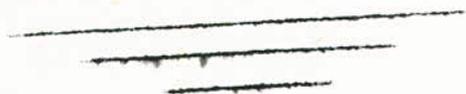
La télédiffusion directe par satellite posera certainement des problèmes.

- aux techniciens
- aux économistes
- aux juristes

Mais cela ne devrait en aucun cas nous amener à abandonner cette nouvelle source

- d'information
- de connaissance
- de progrès

GÉNÉRALITÉS



I - INTRODUCTION

La possibilité actuelle de placer sur l'orbite géostationnaire un satellite d'un poids suffisant et de stabiliser son orientation avec une grande précision autorise l'étude d'un tel support pour émettre quelques programmes de télévision vers les antennes des téléspectateurs. C'est la télédiffusion directe, très différente des liaisons actuelles de télécommunication point à point qui demandent aux stations de réception au sol de compenser par leur complexité la faiblesse du signal reçu. Les programmes émis doivent être captés par une antenne individuelle bon marché. L'avantage obtenu de cet éclairage par le haut consiste dans le fait que le seul émetteur peut couvrir à presque 100 % l'ensemble d'un pays aussi vaste que l'Algérie.

Le satellite est une station intermédiaire. Le signal d'image lui est transmis à partir d'une station au sol et cette liaison point à point, très directive, est la liaison montante.

Le satellite est aussi un émetteur qui rayonne le signal de télévision vers la terre et plus précisément, vers le pays considéré : l'antenne est tout juste directive pour couvrir le pays considéré, ni plus ni moins. C'est la liaison descendante.

Etant donné que le signal doit être reçu par une antenne simple, la puissance d'émission doit être élevée et, le système de modulation doit permettre une démodulation simple et bon marché; La modulation d'amplitude, la plus simple, demande une puissance d'émission trop grande. La modulation de fréquence est maintenant considérée comme la meilleure solution.

II - DIFFERENTS SERVICES

Suivant l'usage qui est fait d'un satellite de télédiffusion on distingue :

- Les satellites de contribution: liaison point à point (INTELSAT)
- Les satellites de distribution: les programmes sont reçus par des installations associées à des émetteurs terrestres qui retransmettent vers les récepteurs particuliers; (ALGERIE)
- Les satellites de diffusion: (des stations terrestres légères)
 - Soit individuelle (diffusion individuelle)
 - Soit collective (diffusion communautaire)

La figure 1 représente un type de télédiffusion directe par satellite.

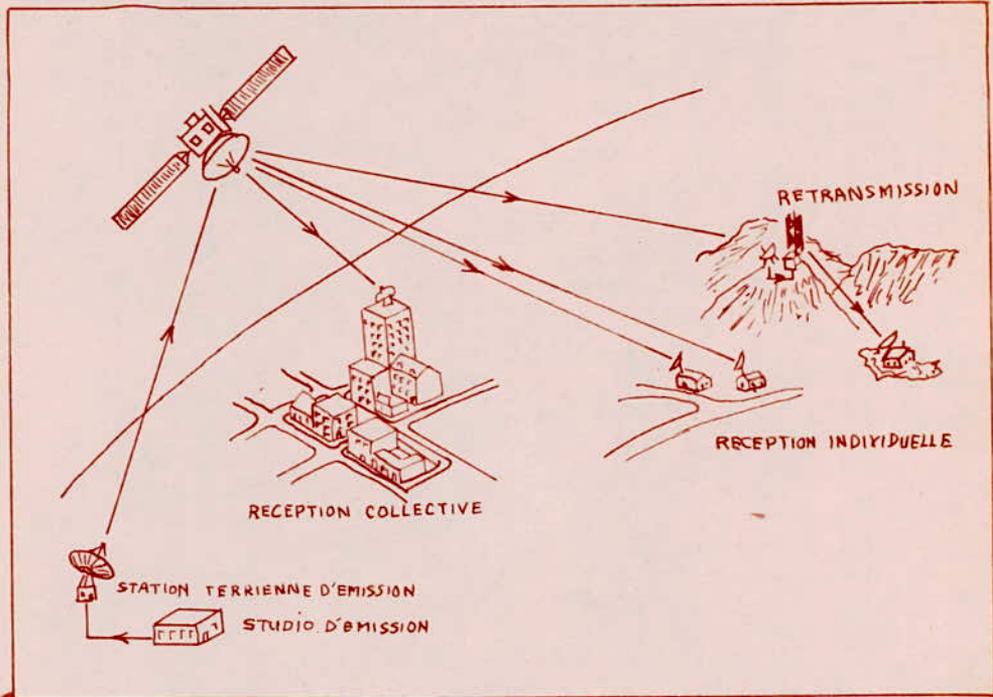


Fig 1 - Télédiffusion directe par satellite

[Handwritten signature]

III - DEFINITIONS

On appelle

- Satellite domestique : un satellite conçu pour couvrir les besoins intérieurs d'un pays (par exemple : anik, au Canada)
- Satellite régional : un satellite qui dessert un groupe de pays, éventuellement distants (par exemple le satellite du Monde Arabe).

IV - CLASSIFICATION DES SATELLITES

On distingue

- Le satellite à défilement : si vu par un observateur fixe de la terre, le satellite n'occupe pas une position fixe dans le ciel (par exemple : Satellites MOLNIYA en URSS). Les antennes de réception sur terre nécessitent un équipement de repérage et de poursuite du satellite au cours de son passage au-dessus de l'horizon.

- Le satellite géostationnaire : si le mouvement du satellite est synchrone de celui de la terre : il se trouve alors en orbite équatoriale à environ 36000 KM d'altitude. Malgré l'inconvénient du caractère unique de son orbite, donc de la limitation de sa capacité le type de satellite géostationnaire est une nécessité pour la télédiffusion car il assure un service continu dans la zone éclairée et autorise une antenne à faisceau étroit (gain important) à la réception.

V - DIFFERENTS TYPES DE SATELLITES

On range les satellites dans deux catégories :

- Les satellites passifs (ECHO) : leur unique fonction était de réfléchir l'énergie reçue. Leur avantage essentiel était l'absence d'énergie à bord. Mais leurs inconvénients étaient.

* L'impossibilité de transmettre de grandes largeurs de bande.

* La difficulté de résister aux poussières cosmiques.

- Les satellites actifs (TELSTAR) ils doivent fournir l'énergie nécessaire pour amplifier les signaux affaiblis par la propagation

VI - PARAMETRES TECHNIQUES PRINCIPAUX

- Orbite : le satellite, pour occuper toujours la même position sur la cote ceste, doit être placé à 36000 km de la terre, sur une orbite circulaire remarquable, dite géostationnaire parce que la durée de la révolution est celle de la journée.

Mais comme, en réalité, la terre ne tourne pas sur elle-même en 24 heures la durée véritable d'une révolution est de 23 heures 56 minutes 4 secondes. Et l'orbite géostationnaire doit valoir, donc, à un satellite d'effectuer sa révolution dans un tel temps, le calcul faisant savoir qu'il doit-être très exactement à 35870km de la terre.

OUVERTURE

C'est la zone interceptée sur terre par le faisceau de l'antenne émettrice du satellite. Bien que le satellite géostationnaire est visible à plus d'un tiers du globe, il est techniquement possible de

limiter à terre la zone dans laquelle il sera possible la réception.

Plusieurs type de couvertures ont été considérées comme représentatifs de certains besoins dans le domaine de la télévision

- Une zone circulaire de diamètre 1000 km pour un faisceau de 1°4' .
- Une zone circulaire de diamètre 2000 km pour un faisceau de 2°5'
- Une zone circulaire de diamètre 3200 km pour un faisceau de 5°

On peut augmenter encore le diamètre de la zone de réception, mais il faut augmenter, en conséquence, la puissance d'émission du satellite d'où une augmentation de la masse (et donc du coût) du satellite

• FRÉQUENCE

Deux bandes de fréquences ont été choisies jusqu'à maintenant = 800 MHz et les bandes supérieures à 10 GHz, c'est à dire

- Les bandes de fréquences actuellement utilisées pour les services terrestres de télévisions. Le CCIR de l'UIT a étudié cette perspective et a conclu que, dans de nombreuses parties du monde où la télévision UHF n'a pas pris d'extension ou n'est pas prévue, on pourrait mettre sur pied un système de télédiffusion par satellite. C'est pour les pays qui n'ont pas d'infrastructures au sol dans ces fréquences hautes, à savoir les pays non industrialisés.

- Les bandes de fréquences qui ne sont utilisées intensivement par aucun service de télédiffusion (12 GHz par exemple). Une étude plus poussée des besoins de radiodiffusion et des progrès techniques pourrait conduire à allouer des fréquences de ce genre (SHF) aux services de télédiffusion spatiale c'est pour les pays industrialisés.

• QUALITE D'IMAGE

On constate que la puissance à bord du satellite augmente très rapidement en fonction de la qualité de l'image demandée d'où l'importance de la réception au sol

LIEN ENTRE LA PUISSANCE ET LA QUALITE

La puissance à bord du satellite est limitée car l'énergie nécessaire pour obtenir la puissance électrique qui alimente l'étage de puissance provient de cellules solaires. Donc, si l'on veut augmenter la puissance on devra nécessairement augmenter les surfaces des panneaux solaires, mais on est limité par le problème de la stabilisation du satellite (constance du poids). La stabilisation est assurée par un moteur qui demande un certain carburant. Donc la vie du satellite est fonction des réserves de carburant que le satellite peut contenir (5 à 7ans)

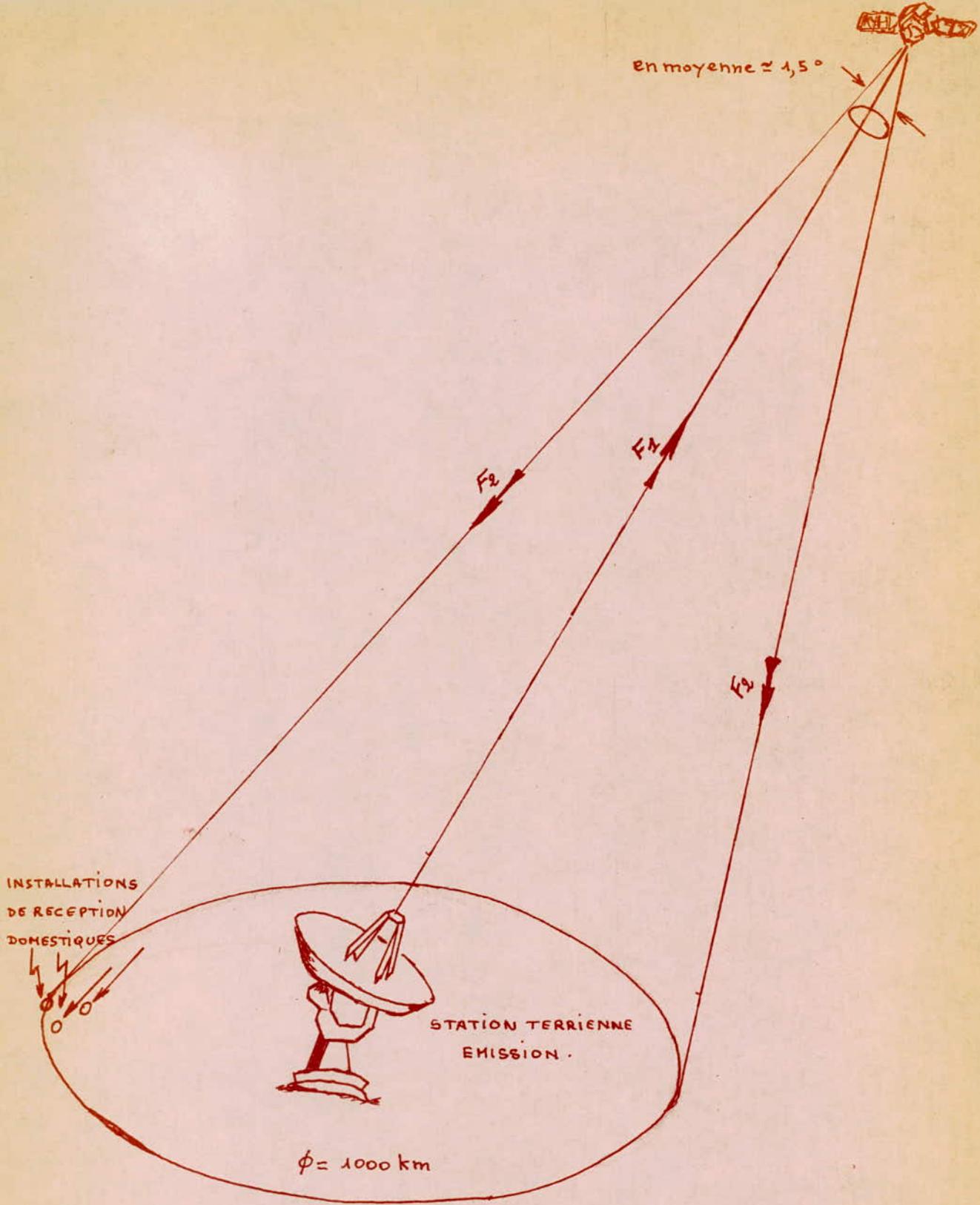


FIG. 1.

Handwritten signature

- INSTALLATION (U) (OL)

Si l'on veut augmenter le gain de l'antenne au sol il faudra augmenter sa directivité ($\approx 1^\circ$), il serait donc pratiquement impossible de recevoir plusieurs satellites, même voisins et fonctionnant de façon techniquement identiques.

L'antenne au sol doit être de faible diamètre et sans besoin de suivre le satellite. L'équipement électronique complémentaire pour les récepteurs actuels. Une nouvelle antenne et un pré-amplificateur.

- (ROUILLAGE)

Dans le but d'en interdire l'écoute, il existe

- (ROUILLAGE (EMISSION))

Il est donc possible d'émettre vers le satellite un signal perturbateur sur la même fréquence que le signal utile. La réception est ainsi brouillée. Mais un tel brouillage n'est possible que pour le pays d'où vient l'émission principale. Par exemple une émission qui vient des USA, aucun pays autre que l'AMERIQUE ne peut attaquer le satellite.

- (ROUILLAGE (A) (RECEPTION))

Le signal perturbateur est émis directement vers les particuliers. Mais un tel brouillage n'est efficace que ~~que ce signal~~ perturbateur est émis à partir d'un autre satellite ayant même couverture

- VII - (VANTAGE DE LA TELEVISION (DIRECTE))

1 - LIMITATIONS DE LA RADIODIFFUSION TERRESTRE

Jusqu'à présent et dans les pays développés la télévision atteint le public au moyen d'émetteurs classiques, mais elle commence à entrevoir ses limitations celles-ci sont de deux ordres.

- (GEOGRAPHIQUES)

La couverture des régions géographiquement écartées ou accidentées, ou encore faiblement peuplées n'est pas encore déjà une belle performance. Mais ce sont les derniers pourcents qui sont de loin les plus difficiles, et donc les plus chers. Par contre un seul émetteur à bord du satellite couvre plus du tiers du globe. Les seules limitations du satellite seraient les zones d'ombre des montagnes et des bâtiments élevés, particulièrement à plus de 60° de latitude où le satellite est vu à moins de 20° au-dessus de l'horizon.

X totalement réalisé. Une couverture à 99% d'un territoire national serait ---

- REQUENTIELLES

Actuellement, l'encombrement des fréquences est tel qu'il ne permet plus d'envisager une nouvelle émission par les moyens classiques sans risque de brouillage. Il convient alors de s'élever dans le spectre. Et la télédiffusion par satellite offre une solution favorable techniquement et économiquement.

2 - (REPONSE) PORTÉE PAR A TELEDIFFUSION DIRECTE

Dans les pays non encore équipés d'une infrastructure de télécommunications et de radiodiffusion, on doit en occasionner un coût trop élevé (ALGERIE), la télédiffusion directe par satellite est une solution de moindre coût économique à partir du moment où elle est techniquement réalisable. C'est ainsi que de nombreux pays s'y emploient. ETATS-UNIS, JAPON, EUROPE, CANADA, Pays ARABES, INDE, AUSTRALIE, INDONESIE, etc..;

VIII - INCONVENIENTS DE TELEDIFFUSION DIRECTE

1) DIFFICULTES TECHNIQUES : L'installation de réception doit être

- fiable
- simple
- miniaturisée
- modérée en prix

Mais on constate que la qualité de réception dépend du type de modulation requis et de la puissance émise par le satellite. Le choix de la modulation de fréquence sera justifié plus loin.

- l'antenne de réception doit être de faible dimension ($\varnothing = 0.60$ à 1 m).
- Puissance à l'émission du satellite = 500 W
- Charge à satelliser en orbite géostationnaire = 800KG
- fréquence voisine de 12 GHz.

2) DIFFICULTES ECONOMIQUES

Il s'agit d'implanter un réseau de télédiffusion par satellite venant en complément du réseau terrestre. L'appareillage doit être compatible avec les récepteurs classiques qui, rappelons le fonctionnement en modulation d'amplitude, dans les bandes VHF et UHF (ondes décimétriques).

Par ce moyen on compte évidemment augmenter le nombre de clients potentiels pour le futur marché. Mais, à l'apposé les difficultés apportés par la compatibilité sont un coût qu'on ne saurait négliger, et l'optimum est mal défini.

IX - INFORMATION T - DUCTION: APPORT DE LA TDPS

La lutte contre l'analphabétisme est un problème extrêmement préoccupant : en l'absence d'instruction, les pays sous-développés ne pourraient même s'ils reçoivent une "aide", que rester sous-développés.

Le problème est très urgent : entre 1960 et 1970, le nombre d'analphabètes est passé, dans le monde, de 700 à 800 millions.

Le remède :

Il semble qu'il faille l'attendre de la technique la télédiffusion directe par satellite, ce moyen de communication peut-être utilisé à :

- l'enseignement scolaire et communautaire
- le développement économique
- la productivité agricole
- la planification de la santé et de la famille
- l'accélération de l'indépendance nationale.

Dans un rapport sur les "arrangements internationaux visant à promouvoir l'utilisation des télécommunications spatiales pour la libre circulation de l'information" (PARIS 1969), L'UNESCO indique.

" La communication par satellites pourrait contribuer à permettre aux services d'enseignement de ne pas se laisser prendre de vitesse et de dispenser une instruction de haute qualité même dans les zones les plus reculées".

Et quant à la compréhension internationale, ne sera-t-il pas plus difficile de parler de guerre quand les êtres humains apparaîtront les uns aux autres comme des hommes, par le biais de vie quotidienne?

X - SPECTS JURIDIQUES DE A TDPS

Il est vrai que le rêve d'une télévision par satellite à l'échelle des continents a suscité chez certains des inquiétudes, voire même la hantise d'émissions de propagande politique ou de publicité dirigées par un pays vers d'autres consentants ou non.

L'URSS et la FRANCE préconisent des obligations fermes et précises dans la réglementation de la TDPS.

- Les USA appuient le principe de la libre circulation de l'information.
- Les pays en voie de développement proposent la création d'un organe institutionnel qui les protégerait contre les émissions spatiales non dévirées provenant de pays plus puissants.

L'égalité d'accès, les émissions illicites restent autant de problèmes à résoudre. Mais le nouveau de satellite à couvertures nationales va peut-être tempérer ces craintes.

XI - REALISATIONS ET PROJETS DE TELEDIFFUSION PAR SATELLITES DANS LE

MONDE

1) ARIK : LE SATELLITES DOMESTIQUE CANADIEN

Le CANADA : 21 Millions d'habitants, répartis de terre neuve à AKLARIK, sur les 10 millions de kilomètres carrés d'un territoire tout en longueur, cette faible densité d'occupation se doublant d'un dualisme linguistique, de sorte que nulle part dans le monde, le problème de la communication ne se pose d'une façon aussi rigue.

D'où une attention exceptionnelle accordée très tôt aux moyens de transmission de l'information n'a l'espace.

Le CANADA est donc le premier pays à s'être doté d'un système national de satellites de radiodiffusion, dénommé ARIK (frère en esquimau)

2) - ATS - 6 : USA

Début juin 1974 a été satellisé avec succès ATS 6 Il doit servir pendant un an à la diffusion de télévision éducative, d'informations de santé publique pour les montagnes rocheuses, les appalaches, l'alaska, puis il doit être expérimenté, pendant un an, en Inde (TV éducative).

3) MLNIYA : URSS

Le 23 avril 1965 le premier satellite de communication soviétique est lancé : Molniya I prend la route de l'espace.

Ce système est une illustration du cas des télécommunications par satellites à défilement.

L'URSS, couvrant 22 millions de kilomètres carrés, s'étend sur rien moins que 11 fuseaux horaires. La distance entre Kaliningrad et Kamtchatka, c'est deux fois ALGER - NEW YORK. Ainsi, un service soviétique intérieur, c'est plus que le service international (franchissement de l'atlantique).

Fort de leur expérience, les soviétiques envisagent un grand réseau international qu'ils ont déjà dénommé interspoutnik.

Ils mettront à la disposition du tiers monde des satellites lourds et puissants dont les signaux seraient captés par des stations extrêmement économiques (avantage sur le réseau Intelsat).

Une course de vitesse est véritablement engagée entre Américains et Soviétiques et il apparaît que l'enjeu politique est immense.

D'autres projets sont encore à l'étude, dans le monde, par exemple :

- SIRIO à SYMPHONIE - en Europe
- SACI - au Brésil -
- SITE - en Inde -

BESOINS MONDIAUX EN SATELLITES GEOSTATIONNAIRES POUR LA PERIODE 1980. 1990

	A	B		C	D	T OTAL
	Internation- al (INTELSAT)	AMERICAINES		EUROPE	AUTRES PAYS	
		NASA	NON NASA			
TELECOMMUNICATIONS	16	/	29	13	26	84
AVIATION AEROMANTIQUE	21	/	/	/	/	21
METEOROLOGIE	/	1	8	4	8	21
RESSOURCES TERRESTRES	/	9	4	2	2	17
RECHERCHE DEVELOPPEMENT SCIENTIFIQUE	/	3	3	1	/	7
MILITAIRE (TELECOMMU- NICATIONS)	/	/	30	3	/	33
TOTAL GENERAL	37	13	74	23	36	183

GROUPE A - CANADA, JAPON = Mènent une politique de développement et de vente des systèmes spatiaux

- INSTRALIEWINDE, IRAN, INDONESIES, PAYS ARABES = Clients

Potentiels des puissances spatiales.

I - ()RGANISATION D'UNE STATION

L'organisation générale d'une station de télécommunications par satellite n'est pas dans son principe fondamentalement différente de celle d'une autre station de télécommunication et en particulier d'un terminal des faixeaux hertziens; La particularité principale provient du système de poursuite qui peut d'ailleurs, dans certains cas, être particulièrement simple.

La figure 1 représente le schéma fonctionnel d'une station de télécommunications par satellites.

L'antenne est commune

- à l'émission
- à la réception

La séparation des sens de transmission est assurée par un duplexeur, elle est facilitée par la désadaptation des polarisations des deux ondes :

- polarisations circulaires inverses
- Polarisations linéaires croisées.

La taille et la complexité des stations dépendant

- du service à satisfaire
- de la "pire" du satellite.

IL EXISTE DES STATIONS

- simples : par exemples, les stations portables par 3 hommes(type AMERICAIN AN/TSC - 29 antenne parabolique de 1 Mètre de diamètre fonctionnant à 7 et 8 GHz).

- IMPORTANTES : Par exemple, les stations normalisées par INTELSAT (antenne de 27,5 mètres de diamètre).

II - II A II (ECEPTION

La liaison la plus critique étant la liaison descendante, c'est la réception qui pose les problèmes les plus délicats.

1) FACTEUR DE MERITE DU SYSTEME DE RECEPTION

Le facteur de mérite G/T est défini comme étant le rapport du gain de l'antenne à la température de bruit de l'ensemble de réception. Il est fonction de l'angle d'élévation (de site) de l'antenne. Pour les stations normalisées par INTELSAT, Fonctionnant dans la bande 3.7 4.2 GHz, on doit avoir

$$\boxed{G/T > 40,7 \text{ DB/}^\circ\text{K}} \quad \text{à } 50^\circ \text{ d'élévation}$$

* PIRE : Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente

./.

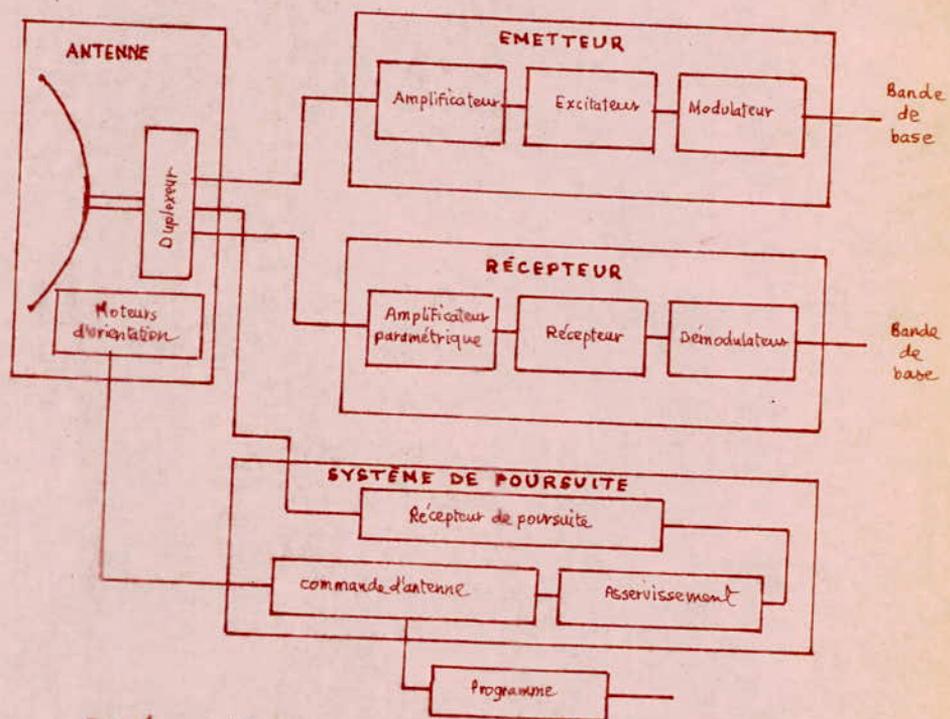


Fig. 1 - Schéma fonctionnel d'une station de télécommunications par satellites

2) TEMPERATURE DE BRUIT

La température globale de bruit ramenée à l'entrée du récepteur T est donnée par

$$T = \frac{T_a}{L} + T_1 \left(1 - \frac{1}{L} \right) + T_r$$

Avec

- T_r = température du récepteur
- T_a = température d'antenne
- T_1 = température d'affaiblissement de la ligne
- L = affaiblissement de la ligne

T_a est faible si l'antenne est suffisamment directive
 L est réduit au mieux si l'on place le premier étage du récepteur immédiatement derrière la source d'antenne
Pour ce faire l'utilisation d'un amplificateur paramétrique d'impose.

3) ANTENNE

Conformément à la formule donnant le gain d'antenne

$$G = \frac{4\pi K S}{\lambda^2}$$

Il y a tout intérêt à utiliser une antenne de grandes dimensions si toutefois les conditions d'exploitation ne s'y opposent pas notons que dans cette expression du gain, on suppose un réflecteur parfait ce qui n'est pas vrai en pratique.

III - EMISSION

Les puissances hyperfréquences sont de l'ordre de quelques dizaines à quelques milliers de watts.

Les tubes utilisés sont

- Les klystrons
- Les TOP*

La station de PLEUMEUR-BODOU II utilisé des carpitrons qui sont des oscillateurs hyperfréquences de puissance à champs croisés dérivés du carcinotron M. leurs caractéristiques sont les suivants

- gain = 15 à 20 dB
- Puissance = 500 w
- Fréquence instantanée 50 mhz
- Rendement = 35 %

La fréquence émise est égale à celle d'un oscillateur pilote ce qui ne permet pas son utilisation avec plusieurs porteuses. Il faut autant de carpitrons que de porteuses à émettre.

TOP = Tubes à Ondes Progressives

IV - POINTAGE DE L'ANTENNE - POURSUITE

La poursuite consiste à maintenir l'axe du faisceau d'antenne en direction du satellite malgré le mouvement.

- du satellite
- on de la station

La définition des dispositifs de pointage et de poursuite dépend

- de l'ouverture angulaire du faisceau d'antenne
- du mouvement apparent du satellite
- du type de station = fixe ou mobile.

1) OUVERTURE DU FAISCEAU D'ANTENNE

L'ouverture à 3dB, en première approximation, est

$$\theta_{\text{degré}} = 70 \frac{\lambda}{\phi} \quad (\phi = \text{diamètre de l'antenne})$$

La figure 2 nous donne l'ouverture de l'antenne à 3dB en fonction de la fréquence et du diamètre d'antenne.

2) Mouvement apparent du satellite

Le satellite décrit un "huit" dont les dimensions sont fixées par l'inclinaison i; on a :

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{\text{max}} = i \text{ (degrés)} \\ \frac{i}{228} \\ l = \frac{i}{\sqrt{2}} \end{array} \right.$$

Le déplacement en longitude est beaucoup plus faible que le déplacement en l'atitute (figure 3 où les dimension d et D sont mesurées sur la sphère contenant l'orbite stationnaire).

La vitesse du mouvement apparent du satellite ne dépasse pas 2°/h : pour une inclinaison de 5 degrés, la vitesse angulaire maximale est de 0,007°/S (1,5°/H).

3) Types de stations

a) stations fixes pour les stations fixes, les péages angulaires dans lesquels l'antenne est susceptible d'être pointée peuvent être faibles mais suffisamment larges pour permettre le repointage sur un satellite de secours en cas de panne du premier.

b) stations mobiles : l'antenne doit pouvoir être pointée dans toutes les directions au-dessus du plan horizontal. Il existe

- les stations sur bateaux
- les stations sur avions

pour le contrôle des navigations maritime et aérienne.

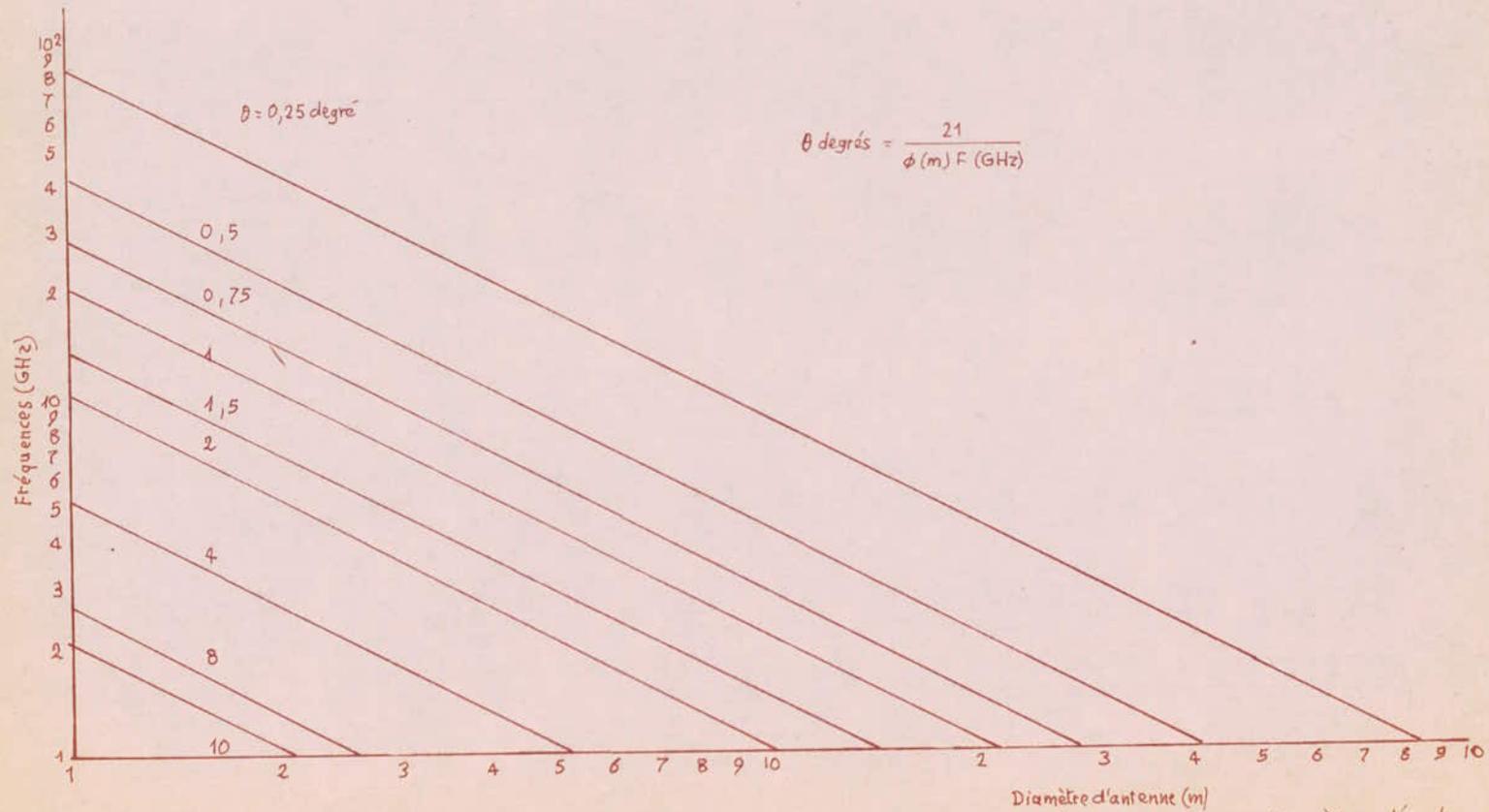


Fig. 2 - ouverture d'antenne à 3 dB en fonction de la fréquence et du diamètre d'antenne.

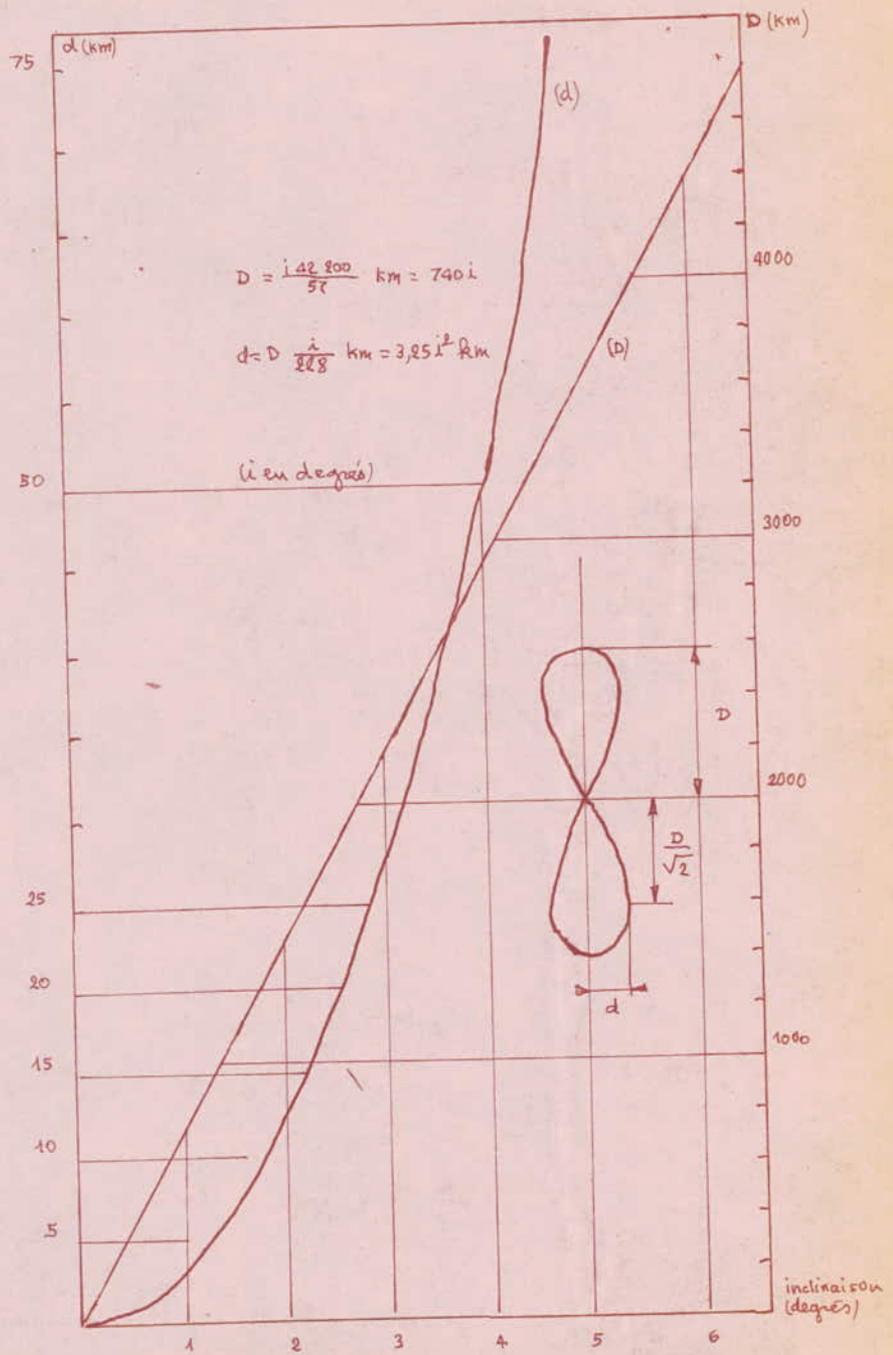


FIG. 3 - Mouvement apparent d'un satellite synchrone.

||-|| || || ||) ||- o-o || ||- || ||-|| ||) || ||, || || || ||-

-

LES SATELLITES

I - LES SATELLITES DE TELECOMMUNICATION ACTUELS

1) INTERET DU SATELLITE GEOSTATIONNAIER

géostationnaire

A la différence du satellite à difilement, le satellite

- ne nécessite pas de poursuite
- permet une liaison permanente

2) INCONVENIENT DU SATELLITE GEOSTATIONNAIRE

téléphonie)

Cependant il a deux inconvénients

- une grande altitude : 36000 KM (gênant seulement en
 - une couverture imparfaite (les régions polaires sont
- très défavorisées)

(c'est ce deuxième inconvénient qui a poussé l'URSS à opter pour le satellite à féfilement (Mokniya) pour couvrir l'ensemble de son territoire.)

3) UTILITE DU SATELLITE

dire

Le satellite est utilisé en répéteur (fig 1), c'est à

- il capte les signaux venant des stations térrismes (fixes ou mobiles)
- il les rémet vers la terre après amplification (100 - 150dB) pour cela, il a fallu, au préalable résoudre des nombreux problèmes techniques.

4) PROBLEME TECHNIQUE

SENSIBILITE

Le niveau du signal à l'entrée à l'entrée du répéteur étant très faible, il faut une très bonns sensibilité du récepteur. Actuellement les satellites comportent un préampli a diade tunnel mais, des amplificateurs paramétriques plus sensibles et moins "bruyants" sont à l'étude.

CHANGEMENT DE FREQUENCE

Le signal d'entrée étant très faible, il faut l'amplifier de manière importante (90 - 100dB). Mais cette amplification peut difficilement se faire à quelques gigahertz, et il vaudrait mieux procéder à un changement de fréquence, pour ce faire, deux solutions.

- soit un double changement de fréquence qui nous permet de faire une amplification à quelques centaines de MHz avec des équipements classiques à transistor (fig 2).

- Soit un simple changement de fréquence avec cette fois amplification en hyperfréquence par un tube TOP (fig 3).

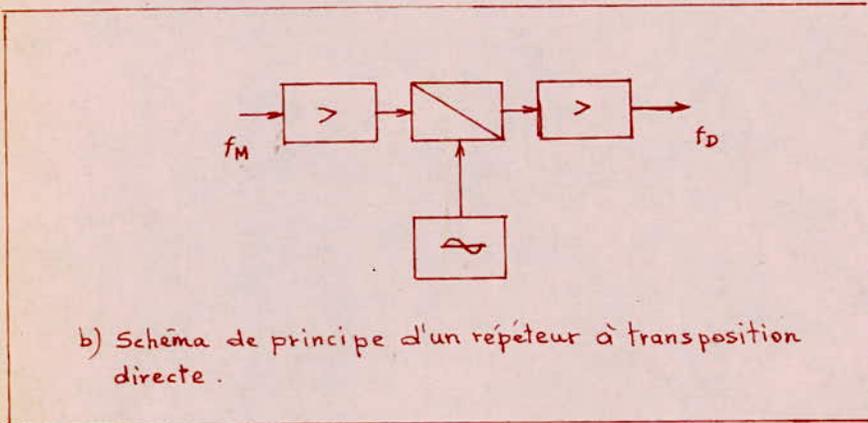
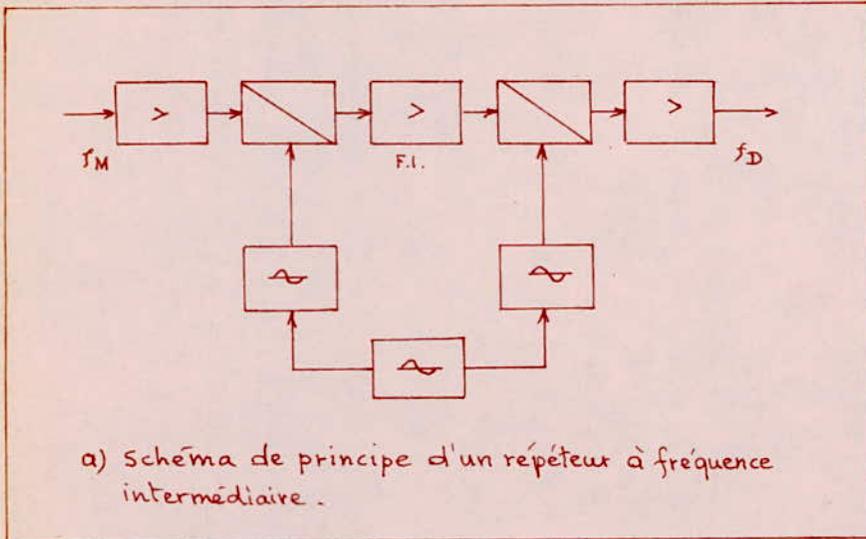


Figure - 1 -

La première solution semble devoir l'emporter dans l'avenir cette chaîne d'amplification se termine, de manière classique, par un amplificateur de puissance.

Dans l'état actuel de la technologie, on utilise un TOP qui a l'avantage.

- de ne pas être trop encombrant
- d'avoir un rendement convenable (30- 40 %)

Ce qui n'est pas négligeable à bord du satellite

La puissance d'émission est alors de quelques dizaines de WATTS (13 W pour SYMPHONIE).

FREQUENCES DE RECEPTION ET D'EMISSION

Si le satellite utilisant la même fréquence pour

- la réception
- la réémission

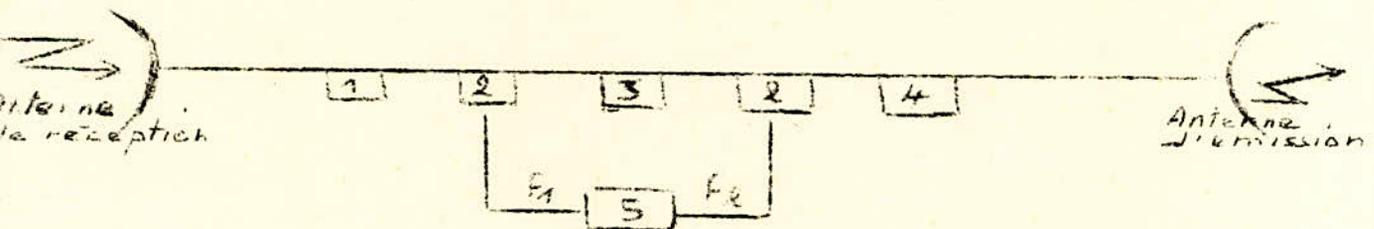
Une partie des signaux émis serait captée par le cornet de réception et saturerait les circuits d'entrée à cause du gain élevé de la chaîne d'amplification.

On utilise donc deux bandes différentes suivant qu'il s'agit de la liaison.

- Terre-satellite on
- Satellite-terre

5) SCHEMA FONCTIONNEL

Une fois qu'on a résolu les problèmes techniques, on aboutit au schéma fonctionnel suivant, dans le cas d'un double changement de fréquence.



- 1 Préamplification
- 2 Changement de fréquence
- 3 Ampli a fréquence intermédiaire
- 4 Ampli de puissance
- 5 Oscillateur local.

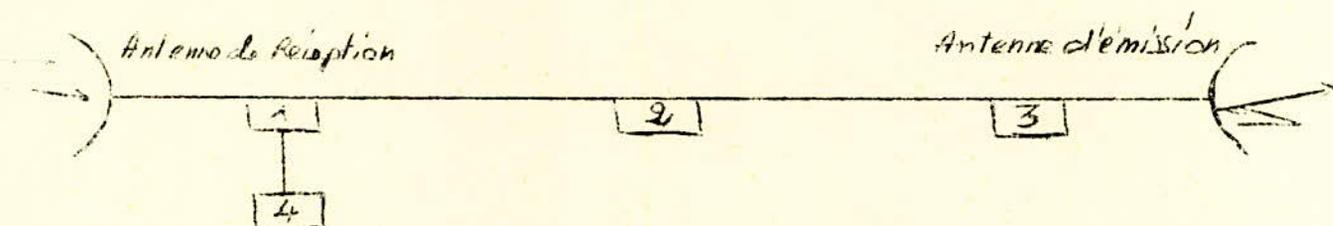
Le gain des antennes est d'une vingtaine de Db

CARACTERISTIQUES

Le répéteur à double changement de fréquence est caractérisé par :

- ses fréquences d'entrée et sortie (fM et fD)
- sa largeur de bande (20 à quelques 100 MHz)
- sa température de bruit (1000 K)
- sa puissance de sortie
- son gain (130 - 160dB)
- sa masse (de quelques kg à plus de 100 kg avec l'alimentation)
- Les dispositifs de commutation
- son rendement
- sa consommation

Dans le cas d'un seul changement de fréquence (ex INTELSAT II, III et IV) on obtient le schéma fonctionnel suivant :



1. - mélangeur
- 2 - TOP à faible niveau
- 3 - TOP à fort niveau
- 4 - Oscillateur local

Comme on le constate sur les figures 2 et 3 et de manière générale la fréquence de la liaison montante est supérieure à celle de la liaison descendante, car l'affaiblissement atmosphérique augmente avec la fréquence : on conçoit alors très bien qu'il est préférable de perturber un signal important qu'un signal faible.

II- LES SATELLITES DE TELEDIFFUSION

Les contraintes pour les émissions de télédiffusion sont souvent plus sévères que pour les liaisons téléphoniques. On conçoit que beaucoup de données techniques vont être modifiées en fonction de l'objectif choisi.

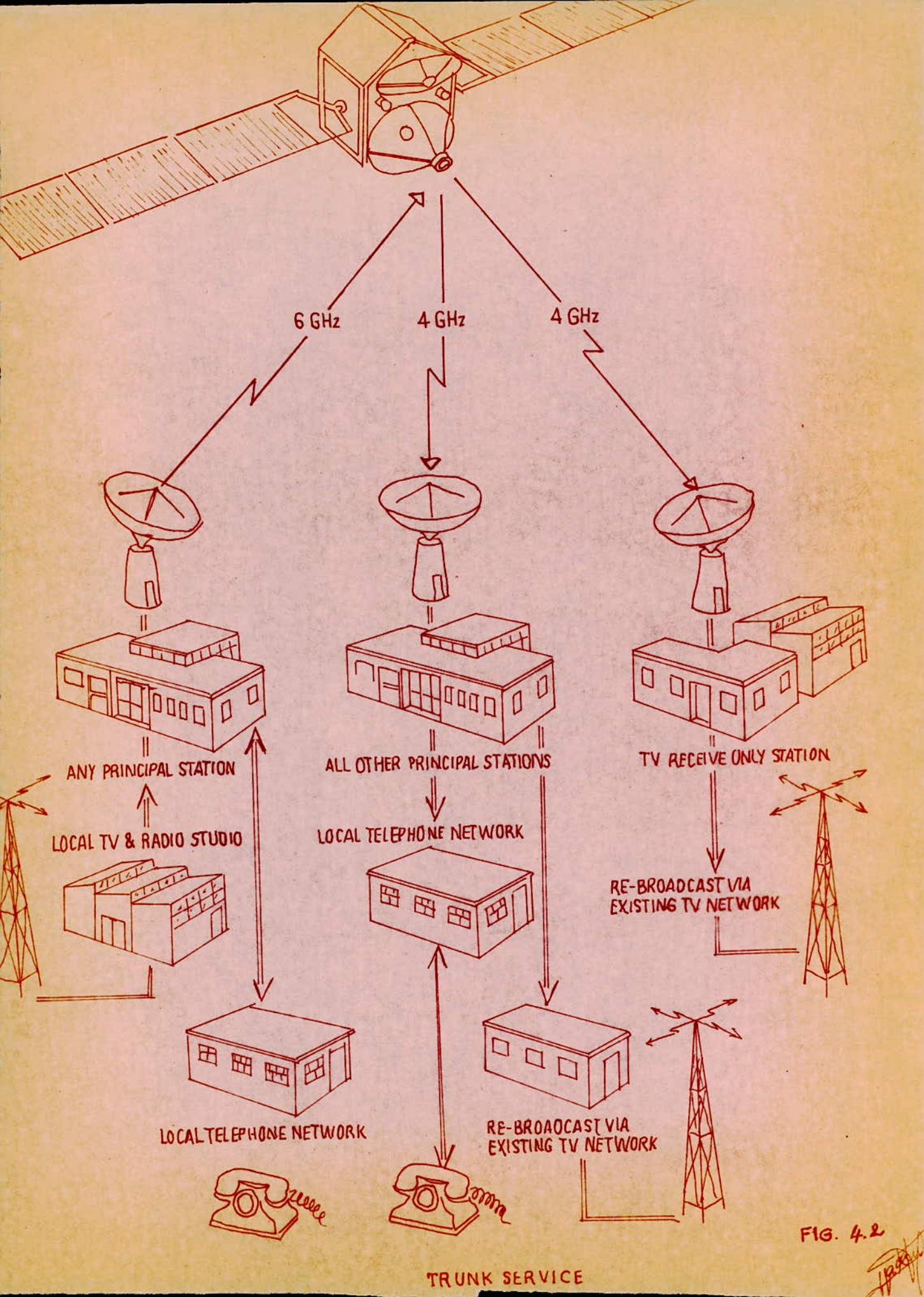
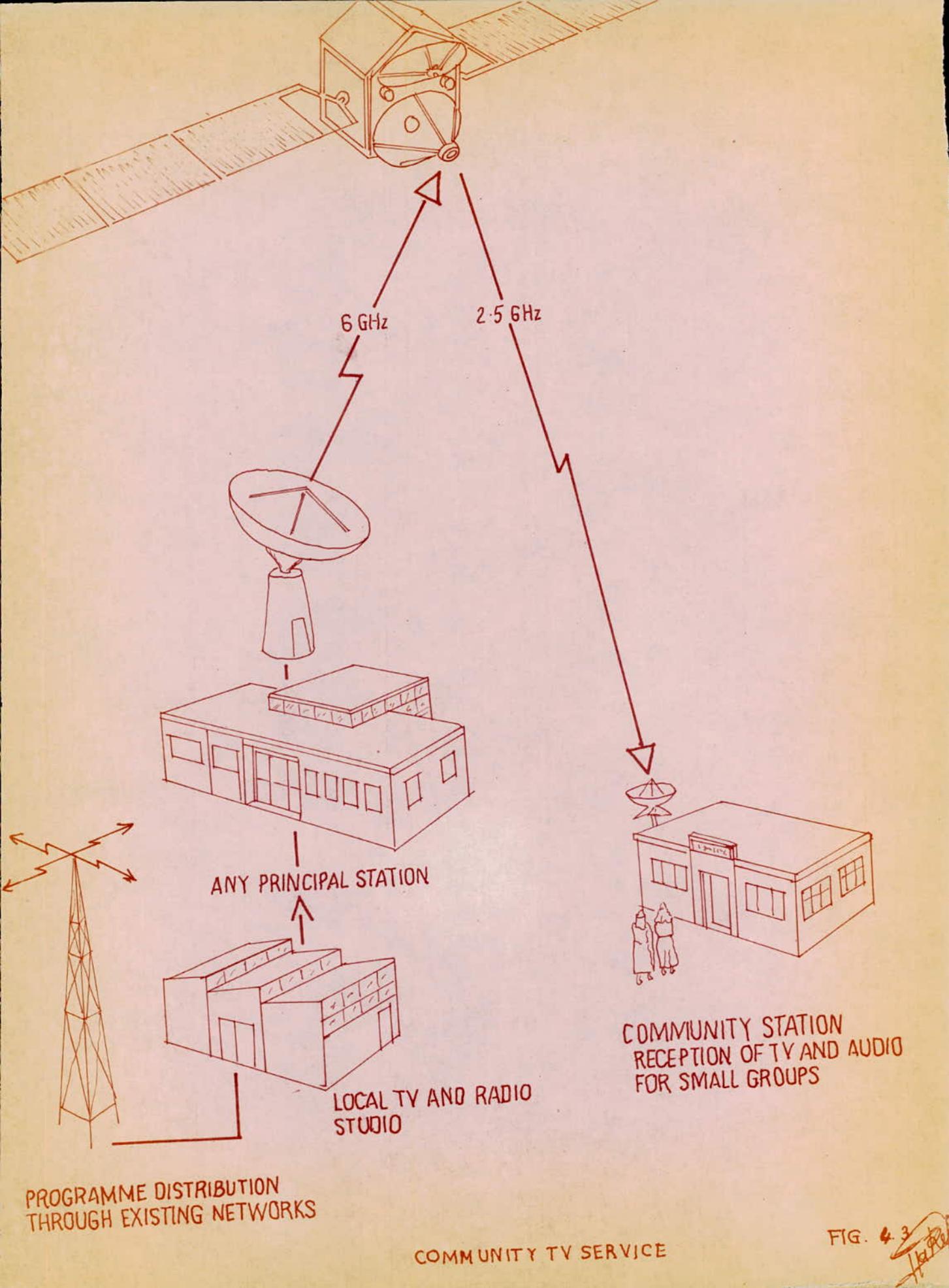


FIG. 4.2



1) ORBITES

Si l'on veut pouvoir assurer une réception individuelle sans que les installations correspondantes soient trop coûteuses il est nécessaire.

- d'émettre une énergie importante
- de limiter la zone de couverture

Il existe une limitation supplémentaire de cette zone qui est due au fait que l'angle de site doit être supérieur à 20° pour que la réception ne soit pas gênée par les obstacles naturels.

En conséquence, on utilisera des orbites géostationnaires jusqu'à 60° de latitude supérieures, il faudra avoir recours à des satellites à défilement (MOLNYA angle de 63° par rapport à l'équateur à 39957 KM).

2) ANTENNE

La nécessité de concentrer l'énergie dans une zone de couverture étroite (de l'ordre de 2° à 3° le plus souvent) demande d'augmenter

- soit la fréquence de porteuse
- soit le diamètre de l'antenne, en vertu de la formule

$$\alpha = 70 \frac{\lambda}{D} \quad (\alpha: \text{angle d'ouverture à 3dB})$$

D'où l'on a pensé à utiliser une bande de fréquence supérieure à 10 GHz. La bande utilisée à l'avenir pour la télédiffusion sera 11,7 - 12,5 GHz.

Pour un angle de 2°, on obtient des diamètres de 0,90 m environ, ce qui est technologiquement possible. Ce qui donne un gain d'antenne de 38dB.

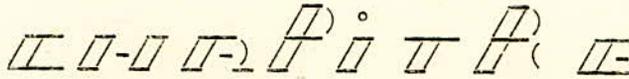
Mais en contre partie les systèmes du pointage de l'antenne devront être très sophistiqués.

3) ENERGIE

Le CCIR indique que la modulation d'amplitude à bande latérale unique (BLU), telle qu'elle est utilisée dans les systèmes traditionnels, exigerait des puissances d'émission de satellite supérieures à 10KW, si l'on veut obtenir une image de bonne qualité dans un système à réception individuel.

Mais avec des systèmes de modulation plus élaborés (modulation de fréquence modulation numérique), on peut se restreindre à une puissance de 1KW. Cette diminution de puissance émise, aura pour effet de causer moins de brouillage à d'autres services terrestres fonctionnant dans les mêmes bandes de fréquence.

Il est très probable que l'on utilisera des tubes à vide tels que le klystron dans l'amplification finale des émetteurs conçus pour émettre 1 KW. Des études sont faites à ce sujet et il est possible qu'en utilisant une modulation de fréquence, le rendement en puissance atteigne 40 %. Mais le choix des fréquences introduit de nouvelles difficultés: les amplificateurs efficaces à 12GHz sont de conception difficile. /.



-

CHOIX D'UN SYSTEME DE TRANSMISSION DE LA TELEDIFFUSION PAR SATELLITE.

I- IDEE GENERALE

Dans l'étude d'un système de télédiffusion directe par satellite le choix du système de modulation représente un paramètre important qui peut conduire à faire des compromis délicats entre :

- a/ la puissance d'émission
 - de la station terrienne
 - du satellite
- b/ la complexité du récepteur
- c/ la qualité globale de transmission

II - INTRODUCTION

Il est fortement question dans les années à venir de recevoir directement à domicile les émissions de TV à partir de satellites géostationnaires.

Bien qu'il soit en principe possible d'utiliser la modulation d'amplitude pour émettre par satellite, on a constaté que celle-ci

- exigeait une très grande puissance d'émission
- nécessitait une grande protection contre les brouillages dans un même canal.

On s'attachera donc essentiellement à comparer les mérites

- de la modulation de fréquence
- de la modulation numérique

III - SYSTEME A MODULATION NUMERIQUE - CHOIX D'UN SYSTEME NUMERIQUE

On peut transmettre une information numérique en modulant une porteuse.

- soit en amplitude
- soit en fréquence
- soit en phase

1) PROCESSES DE MODULATION A NIVEAUX

L'information est transmise à l'aide d'un paramètre qui peut prendre n valeur. La rapidité de transmission est donnée par

$$R = \frac{\log_2 M}{\tau}$$

τ = durée du moment élémentaire

le tableau I donne la rapidité de transmission d'une image de télévision.

2) TYPES DE MODULATION

Les procédés de modulation à M niveaux sont les suivants :

- modulation par déplacement d'amplitude à M niveaux
 - modulation par déplacement de fréquence à M niveaux
 - Modulation par déplacement de phase à M niveaux M-MDP (PSK).
- M - MDA (M-ASK)
M -MDF (M-FSK)

a) MODULATION M-FSK

Pour ce type de modulation, la figure 1 donne la probabilité d'erreur en fonction de :

- C/N = rapport de la puissance de porteuse C à la puissance de bruit dans une bande de fréquence égale au débit binaire.

Pour un débit binaire R donné, le taux d'erreur diminue si le nombre de niveau M augmente. Par contre, la bande de fréquence nécessaire est proportionnelle à M !:

$$B = \frac{M}{T}$$

Dans le cas des satellites, et en particulier pour les liaisons descendantes pour laquelle, en général, il est préférable "d'échanger de la puissance contre de la bande de fréquences" le procédé M - MDF est d'intérêt.

b) MODULATION M- PSK et M-DPSK

Contrairement à ce qui se passe en modulation M -FSK, en modulation M- PSK et M-DPSK, (comme d'ailleurs en M-ASK) la probabilité d'erreur augmente avec M et la bande de fréquence diminue. Ces procédés sont donc intéressants lorsque la réduction de bande est l'objectif prioritaire, ou une image est une source à large bande qu'on a tout intérêt à réduire.

Si : E = énergie par bit d'information

N = densité spectrale énergétique de bruit

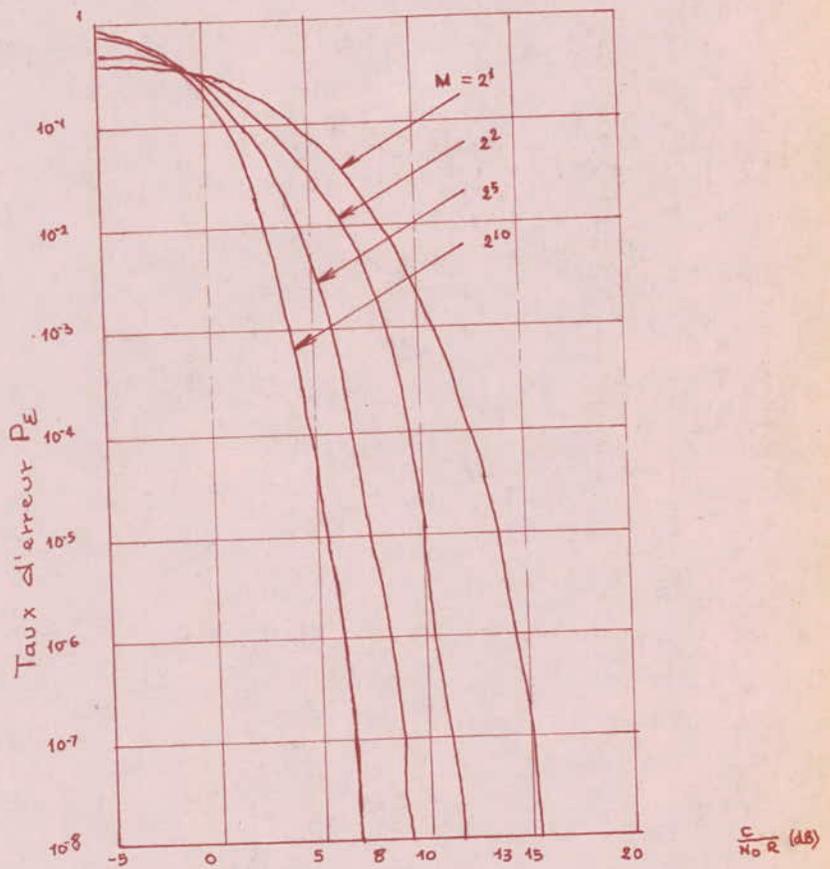
Le tableau II précise quel est le rapport E requis pour un taux d'erreur de 10^{-4} .

En M-DPSK, dans le cas où le taux d'erreur est de 10^{-6} , la figure 2 indique quel est le rapport C requis (puissance de porteuse à puissance de bruit dans une bande B Normale égale au débit binaire) en fonction de la bande B.

3) Taux D'ERREUR PAR BIT EXIGEABLE

Le taux d'erreur exigible dépend du type d'information. Le tableau III précise les valeurs exigibles dans les cas les plus courants, compte tenu.

- de la largeur de la bande de base
- du nombre de moment du code MIC résultat de l'échantillonnage.
- du débit d'information.



Rapport signal sur bruit dans une bande de fréquences égale au débit binaire R
 Fig. 1. — Modulation à déplacement de fréquence à M niveaux M - MDF (M - FSK)

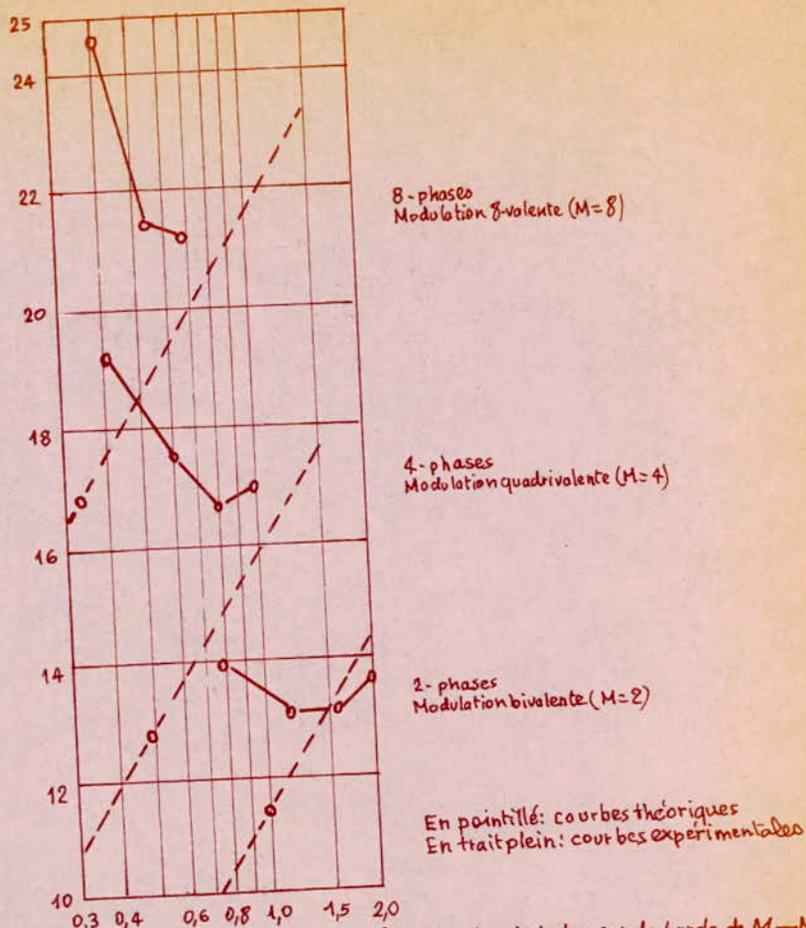


Fig. 2. — Rapport C/N requis pour obtenir 10^{-6} en fonction de la largeur de bande de M—MDPSK (M—DPSK)

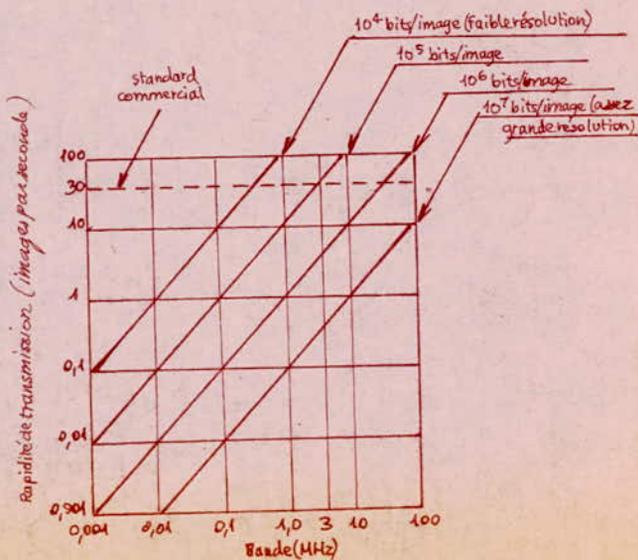


Fig. 3 — Transmission en PCM d'une image de télévision

Il est bien évident que l'on choisira le procédé qui fournira le plus faible taux d'erreur, pour un rapport signal sur bruit donné. La figure 3 nous montre que les résultats du saut d'amplitude et du saut de fréquence sont identiques, par contre le saut de phase a un avantage de 3 db, le saut de phase différentiel ayant une valeur intermédiaire.

C'est pourquoi on adopte la modulation par décalage de phase à un certain nombre de positions de phase.

Le rapport énergie / bit est le même pour un système PSK à quatre états de phase que pour un système à deux états de phase bien que la bande du signal soit divisée par deux = S! l'on augmente le nombre des états de phase au delà de quatre,

- la largeur de bande du signal nécessaire diminue
- mais la puissance d'émission par bit augmente

d'autre part, le système à décalage de phase peut utiliser

- soit une modulation directe ou cohérente
- soit une modulation différentielle.

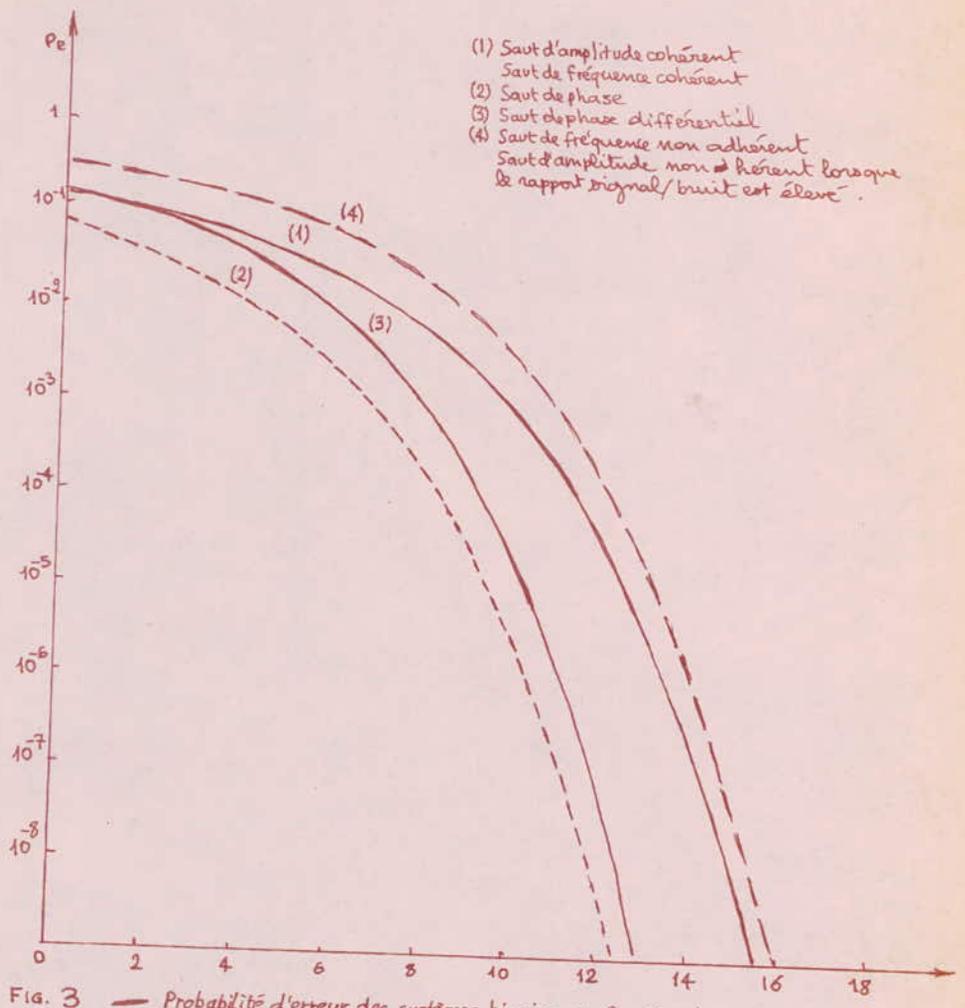
Dans le cas de la modulation directe, l'information est définie par la phase absolue de l'impulsion transmise nécessitant à la réception un dispositif en cohérence de phase avec le signal émis.

En modulation différentielle l'information transmise est portée par les variations de phase entre impulsions successives = cependant l'inconvénient de cette solution est que le taux d'erreur est plus élevé.

Tableau II

./.
 rapport $\frac{E_b}{N_0}$ nécessaire pour $P = 10^{-4}$

M	M-PSK	M-DPSK
2	8,4	9,3
4	9,4	10,7
8	11,8	14,8
16	16,1	19,1



cette solution est que le taux d'erreur est plus élevé qu'en modulation cohérente. Il semble cependant qu'afin de permettre la production de récepteurs bon marché pur usage domestique, on choisira la modulation différentielle au prix d'une puissance d'émission un peu plus élevée.

IV - DEFAUTS DE LA TRANSMISSION NUMERIQUE

Les défauts introduits par la numérisation dépend beaucoup des techniques utilisées.

- a) La représentation d'un signal à variation continue par un ensemble de niveaux discret amène du bruit de quantification.
- b) L'interaction entre les harmoniques de la sous-porteuse couleur et la fréquence d'échantillonnage numérique crée des phénomènes de battements.
- c) La numérisation imprécise crée des effets de bords en cas de variations brutales d'amplitude dans l'image par opposition aux faibles variations relatives aux instants d'échantillonnages lignes et images.

Il faut donc définir des procédures d'essais qui permettent

- de déterminer si le niveau du défaut est suffisamment bas
- d'obtenir des moyens de comparer les diverses méthodes de traitement on de transmission.

Il a été constitué pour cela une échelle de qualité d'image on de dégradation dans les systèmes numériques de télévision, constituant le projet de recommandation du CCIR; (tableau IV).

Ainsi d'ici 1980, il semble que la meilleure solution doive être une sorte de MIC différentielle qui offre le meilleur compromis entre

- débit binaire
- complexité
- qualité d'image
- coût

Le nombre de bits par éléments d'image dépend de la qualité du signale.

- luminance
- degré de détail de l'image
- couleur
- codage
- stratégie de prédiction (que nous étudierons plus loin).

Les techniques les plus avancées en cours d'étude aux USA et dans le monde utilisant le codage par transformation : la transmission d'une transformée d'un signal image, plutôt que la représentation dans l'espace de l'image elle-même, assure

- une nette amélioration aux erreur due au canal
- une utilisation plus efficace de la bande passante du canal.

Niveau	Qualité	Dégradation
5	Excellent	Imperceptible
4	Bonne	Perceptible, mais non gênante
3	Passable	Visible légèrement gênante
2	Médiocre	Gênante
1	Mauvaise	Très gênante

Tableau I -

Ces transformées peuvent être à une ou plusieurs dimensions. Une tentative d'évaluation est faite sur la figure. 4

V - COMPARAISON PSK ET MODULATION ANALOGIQUE EN FREQUENCE

Lors de la transmission de signaux de télévision par satellites par suite de la puissance d'émission limitée de ces derniers, on est contraint d'utiliser des procédés de modulation permettant d'économiser cette puissance le plus possible. Une comparaison entre la transmission de signaux de télévision.

- par un procédé analogique en FM
- par un procédé numérique en PSK

A été effectuée à l'occasion d'une étude sur un satellite de diffusion de télévision allemand. Les résultats sont représentés sur la figure 5. *Les courbes sont valables pour un rapport*

$$S/B = 52 \text{ DB}$$

En FM, la largeur de bande peut être réduite au dépend de la puissance d'émission. En numérique, dans le cas d'une PSK à 4 positions, la courbe est graduée en débit binaire qui dépend du codage à l'émission et dans ce cas 7 BITS/donnée échantillonnée. La fréquence d'échantillonnage étant au moins égale à 2 fois la bande vidéo (5MHz), le débit sera donc de $2 \times 5 \times 7 = 70 \text{ Mbits/s}$.

Dans ce cas la figure 5 montre que le numérique est inférieure en performance. Il faut pour rentabiliser le numérique descendre au dessous de 50 Mbits/s.

VI - PROCEDES D'AMELIORATION DU SYSTEME NUMERIQUE

VI - 1 - COMPRESSION DU DEBIT BINAIRE

La figure 5 montre qu'un débit binaire de 34 M bits/s permettrait

- de se ramener à une bande de 22 MHz
- de ramener la puissance d'émission du satellite à 130 W au lieu de 630 W en FM.

c'est un débit auquel on peut arriver à présent en utilisant des procédés décrits ci-après :

Le codage de l'ensemble du signal TV se fait de deux façons

- soit coder l'ensemble du signal composite : luminance + signaux couleurs + signaux de synchronisation
- soit coder chacune des composantes séparément.

C'est cette dernière solution seule qui permet d'obtenir des débits binaires de moins de 50 M bits/s. Ces considérations sont faites, bien sûr en tenant compte des normes PAL, SECAM ou NTSC.

Les procédés de réduction du débit binaire sont les suivants :

a) METHODE DE REDUCTION DES REDONDANCES

Les images de télévision comportant en général une grosse part de redondance par suite des dépendances statiques de données échantillonnées de l'image = en effet, une image se compose dans la plupart des cas de zones ayant le même niveau de luminosité. Et pour la transmission de ces zones on pourra n'en transmettre que les limites et l'amplitude correspondantes.

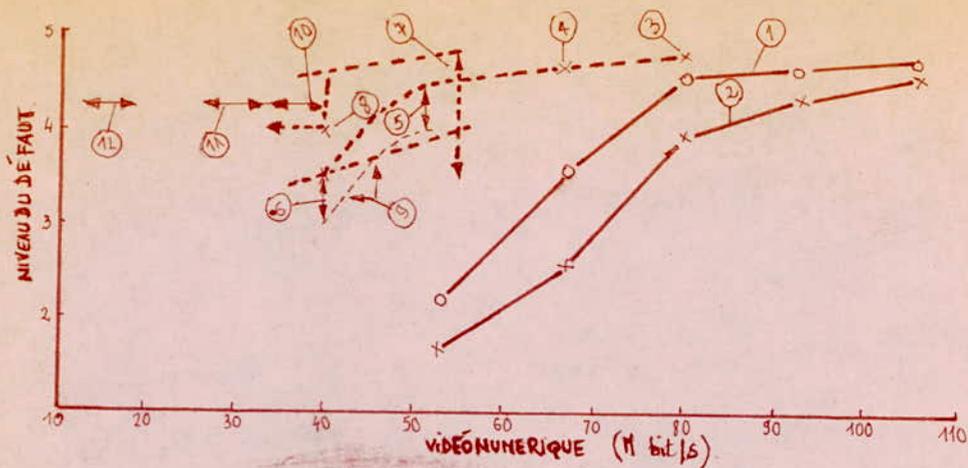


FIG: 4

Caractéristiques des systèmes de télévision numérique.

- 1 MIC linéaire de la BBC avec introduction de bruit - PAL seulement.
- 2 MIC linéaire de la BBC sans introduction de bruit - PAL seulement.
- 3 MIC/MIC-D à 6 chiffres binaires gros/fin ajustable de la BBC - PAL seulement.
- 4 MIC-D progressive à 5 chiffres binaires de la BBC - PAL seulement.
- 5 MIC-D à 4 chiffres binaires du BPO - PAL seulement.
- 6 MIC-D à 3 chiffres binaires du BPO - PAL seulement.
- 7 DITEC échelonné pour les systèmes 625/50
- 8 MIC-D du FTZ des composantes du signal
- 9 Transformée orthogonale MIC des signaux NTSC
- 10 Transformée orthogonale monochrome à 1 dimension
- 11 Transformée orthogonale monochrome à 2 dimensions
- 12 Transformée orthogonale ajustable monochrome à 2 dimensions

Notes :

- a) Résultats des tests subjectifs de la BBC
- b) Estimation sûre
- c) Estimation moins sûre.

Revue des télécommunications N° 4913 - 1974

b) METHODES DE REDUCTION DE LA FREQUENCE D'ECHANTILLONNAGE

Cet autre procédé consiste à diminuer la fréquence d'échantillonnage à une fréquence inférieure à la fréquence de Nyquist $2f$, il apparaît alors certes une distorsion au niveau des lignes mais que l'on peut supprimer par un filtrage en peigne (figure 6). On parvient ainsi à ramener à 7.69 MHz la fréquence d'échantillonnage pour des signaux vidés à 5 MHz.

Ces procédés décrits ne sont **valables** que si les signaux ne sont pas des signaux composites car dans ce cas les espaces libres du spectre du signal évoluant à la fréquence ligne sont occupés par des informations de la couleur. C'est pourquoi, pour réduire le débit binaire à moins de 50 M bits/s les composantes du signal de télévision (luminance, couleur) doivent être codées séparément.

VI - 2 - INTRODUCTION DU SON DANS L'IMAGE

Le but est identique : économiser

- de la puissance à l'émission
- de la largeur de bande de transmission

Il s'agit d'insérer plusieurs signaux de son dans les intervalles de suppression du signal image.

a) PUISSANCE D'EMISSION

La puissance nécessaire pour les satellites de télévision pour une réception directe par des antennes individuelles est de l'ordre de 500 W

- la puissance d'émission

- la largeur de bande

influent considérablement la conception du satellite pour

- son poids

- le type de fusée utilisé pour son lancement d'où l'intérêt d'intégrer le son dans l'image.

Des recherches effectuées en Allemagne de l'ouest estiment que l'on peut amener la puissance d'émission à 350 W dans le cas d'une transmission du son intégré

b) PROCEDES POSSIBLES D'INTEGRATION

Le signal vidés comporte

- des intervalles de temps au cours desquels il y a émission de l'image

- des intervalles de temps réservés

* aux repères de synchroisation

* aux signaux de référence de couleur

Dans le retour vertical (image) on peut utiliser pour le son sur le chemin de transmission jusqu'à

- 10 lignes,

- soit 3% par rapport à la longueur image

Dans le retour horizontal (ligne) on peut disposer, pour la transmission du son de

- 7,5 μ s

- soit 12% d'une longueur de ligne

Bien sûr cela nécessite une modification du signal actuellement utilisé par les différents systèmes. On estime qu'à l'heure actuelle l'intérêt essentiel de la transmission intégrée du son de bonne qualité nécessite.

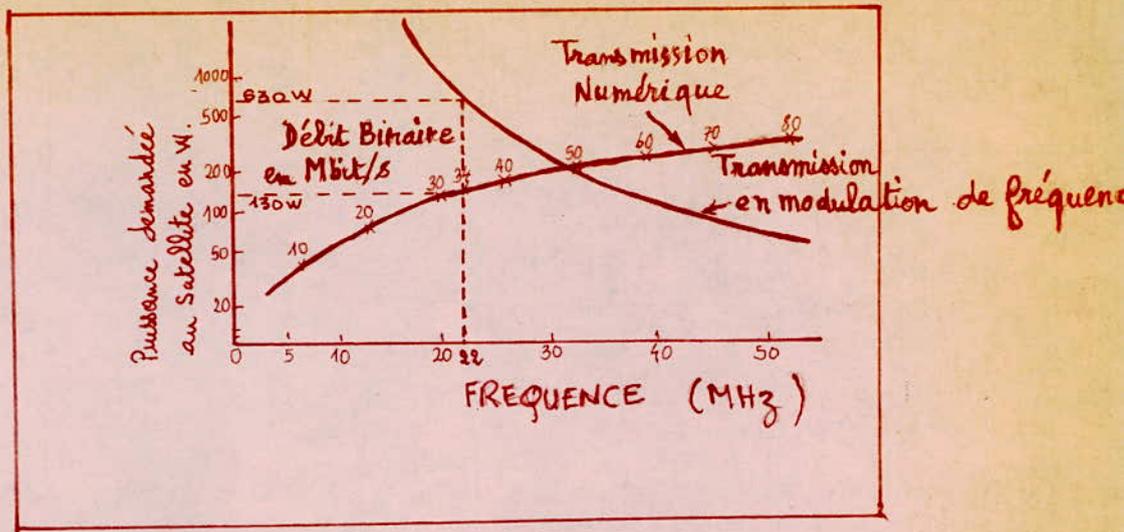


Fig: 5

Comparaison des puissances d'émission des satellites et des largeurs de bandes nécessaires pour une transmission en F.M et une transmission numérique avec modulation à quatre phases.

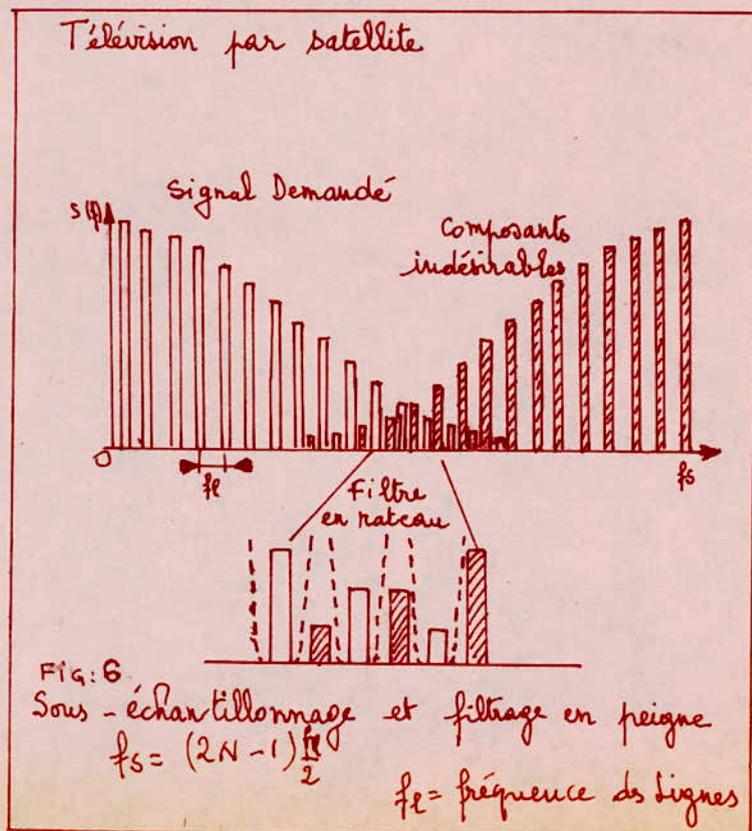


Fig: 6

Sous-échantillonnage et filtrage en peigne
 $f_s = (2N - 1) \frac{f_e}{2}$
 f_e = fréquence des lignes

largeur de bande = 15 k h z / voie
rapport signal /bruit > 60 db
distorision > 1%

Or, un rapport signal sur bruit supérieur à 60 db s'obtient beaucoup plus aisément avec des systèmes numériques.

Les procédés d'intégration du son sont résumés sur les figures 7.8.9.10.

VII - CONCLUSION

L'avantage d'un système numérique par rapport à un système à modulation de fréquence n'est pas très net, si ce n'est au niveau du son. Mais, étant donné la complexité du récepteur domestique dans le cas d'une modulation numérique, il est probable que le choix se fera pour la modulation de fréquence.

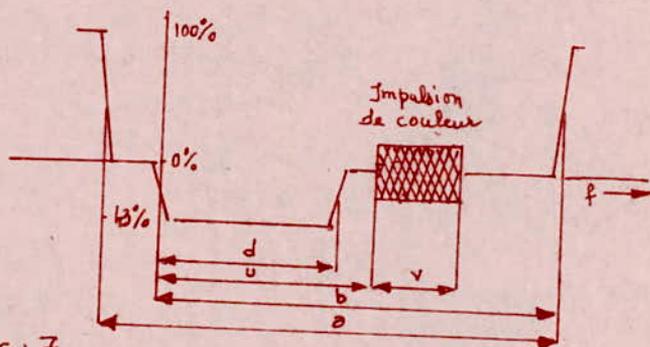


FIG: 7

Palier horizontal pour le système PAL. Normes B et G

$$d = 4,6 \mu.s \quad a = 12,0 \mu.s$$

$$u = 5,7 \mu.s$$

$$v = 2,25 \mu.s$$

$$b = 10,5 \mu.s$$

L'amplitude du signal est indiquée en %.

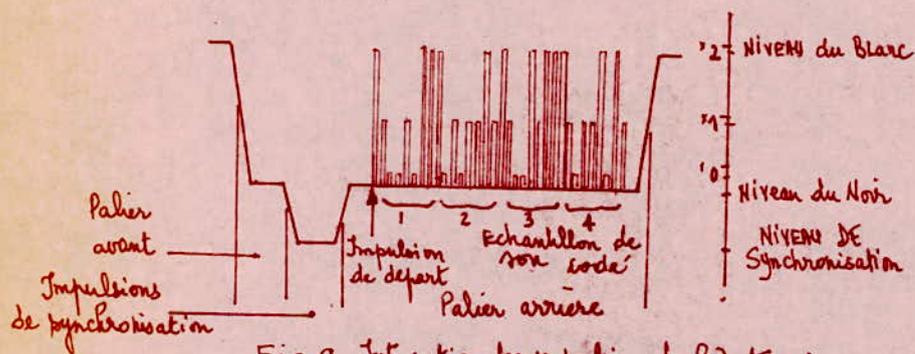
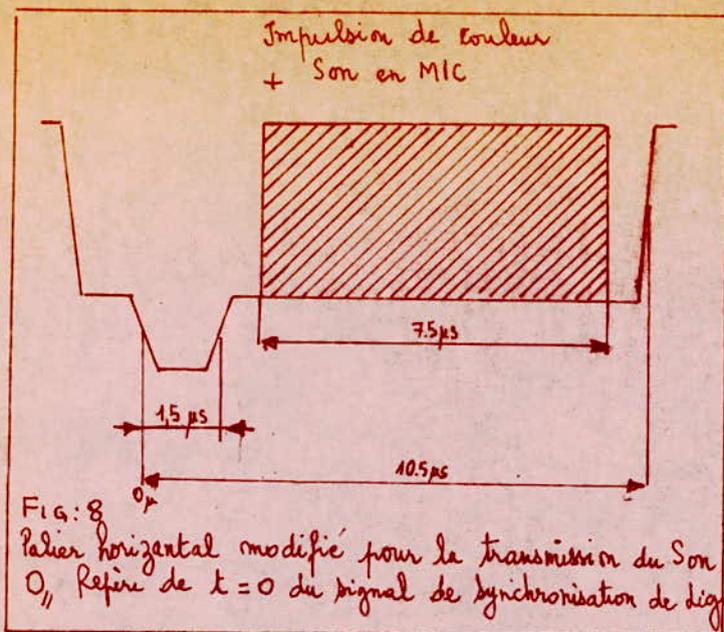


Fig: 9 - Intégration des impulsions de RZ ternaires

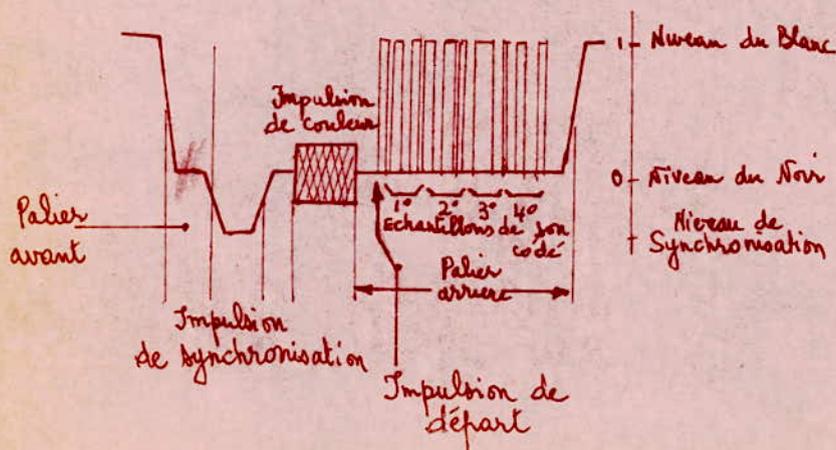


Fig: 10 - Intégration des impulsions de NRZ binaires

RECEPTION DIRECTE DE LA TELEVISION PAR SATELLITE SUR 12 GHz EN MF.

I. Introduction -

Pour les systèmes à diffusion directe l'on pourra traiter à la fois la réception individuelle et la réception collective car les contraintes techniques et économiques sont très proches. La seule différence est surtout d'ordre technique. Pour les stations de réception collective on doit disposer de signaux plus puissants afin de les répartir entre différents utilisateurs -

II - Cahier des charges des stations de réception

1 - Point de vue technique -

Il est évident qu'il est impensable d'envisager des stations très élaborées qui grèveraient fortement la "démocratisation" de la télévision. Donc dans un premier temps, il sera raisonnable d'imaginer des stations de réception collectives, les charges incombant à chaque utilisateur étant moindres. Cependant il n'est pas raisonnable d'envisager dès à présent des "antennes domestiques" et nous verrons plus loin que l'on peut déjà évaluer le coût de ces différents dispositifs.

2 - Point de vue technique -

a) l'antenne -

Elle doit présenter des valeurs convergibles

- de poids
- de dimensions
- de gain

- d'ouverture angulaire

D'autre part elle doit être suffisamment rigide pour résister

- aux intempéries (vent en particulier)

- à la température (variations de -20°C à $+70^{\circ}\text{C}$)

b) Descente d'antenne -

Si l'on place 10 m de câble coaxial approprié à la fréquence de 12 GHz, juste après l'antenne pour descendre à l'intérieur des habitations, l'on aura au moins 5 dB de pertes. Aussi on ne peut accepter ceci, et l'on placera les ampli hyper-fréquences sous les toits avec très peu de câble coaxial et où les fluctuations thermiques sont peut importantes. L'idéal serait de placer l'amplificateur - abaisseur de fréquence juste derrière l'antenne -

c) Changeur de fréquence

Le seul moyen peu coûteux d'obtenir un gain à 12 GHz est d'utiliser un ampli à diode Tunnel ayant un facteur de bruit de 6 à 7 dB.

III - Description des Stations de réception

De nombreux schémas de stations de réception ont été étudiés. Il n'est pas question de les passer tous en revue. L'idée maîtresse est de laisser près de l'antenne un minimum de matériel afin de limiter les effets des conditions climatiques.

En fait deux variantes de récepteurs individuels ont été envisagées pour chaque type de schéma :

- Récepteur de TV de commerce comportant des des entrées vidéo et son avec un adaptateur.

- Récepteurs spéciaux adaptés à la diffusion directe -

IV - Exemple de station à 12 GHz -

Pour l'étude nous examinerons tout d'abord les éléments communs à tous les types de stations, à savoir l'antenne et le récepteur à faible bruit.

1 - L'antenne -

Elle est constituée par un réflecteur du type "Offset" de 0,90 m ayant à son foyer une source primaire du type hélice - La distance focale est de 40 cm - Le poids de l'ensemble est de 20 à 25 Kg -

Comme nous le savons, c'est l'angle d'ouverture minimum à 1/2 puissance qui définit une antenne. Il a été estimé à 2° - Nous avons ainsi une antenne ayant un gain de 37,5 dB - Cependant on peut évaluer à 1,5 dB les pertes de pointage -

2 - Le récepteur à faible bruit -

Il est constitué par un ampli à diode tunnel. Par suite de son prix élevé, on se contentera d'un seul étage présentant un gain de 15 dB - L'ampli sera réalisé en technologie triplaque et blindé - Ce récepteur consommera 30 mA sous 15V et son poids serait d'environ 300g.

Pour chaque type de station, l'on aura deux schémas suivant qu'on utilise des récepteurs de TV spéciaux ou de simples récepteurs de commerce. Dans tous les cas on a prévu un double changement de fréquence avec

- une 1^{ère} FI à 300 MHz (du fait du

prix très bas des oscillateurs - mélangeurs à 300 MHz)

- une 2^e FI à 70 MHz -

Station avec liaison à 300 MHz - récepteurs spéciaux

Dans le schéma la tête HF comporte (fig 1)

- l'ampli à diode tunnel
- le mélangeur avec son oscillateur local à 12 GHz
- un distributeur à plusieurs sorties à 300 MHz

L'oscillateur local est du type classique à multiplicateur mais dans un proche avenir, on utilisera probablement des dispositifs du type GUNN ou diode à avalanche.

Les liaisons avec les récepteurs spéciaux se font par câbles coaxiaux souples dont les pertes sont de 0,35 dB au mètre - les récepteurs spéciaux comportent un nouveau changement de fréquence qui fournit la 2^e FI de 70 MHz - L'oscillateur local possède 3 points de fonctionnement qui permettent à l'utilisateur de sélectionner 3 programmes différents - le schéma est ensuite classique :

- ampli à 70 MHz

- démodulation restituant la bande de base -

Ceci est suivi d'un démultiplexeur vidéo - son - Le signal son est restitué après un nouveau changement de fréquence suivi d'une seconde démodulation, l'oscillateur local possède une commande manuelle qui permet de sélectionner la voie voulue -

Station avec liaison à 300 MHz - récepteurs de commerce

La tête HF est identique à celle de la station précédente - Toutefois l'oscillateur local à 12 GHz

devra présenter de meilleures performances de stabilité. Le coffret d'adaptation comporte un nouveau changement de fréquence qui fournit la 2^e FI à 70 MHz.

3 programmes peuvent être sélectionnés grâce à l'oscillateur à 3 points de fonctionnement. L'ampli à 70 MHz est suivi d'un démultiplexeur à filtres, en FI, suivi des démodulations correspondantes. La démodulation du son est obtenue après un nouveau changement de fréquence à 10,6 MHz. (fig 2)

Les récepteurs de TV du commerce sont reliés par câbles vidéo et son à leur coffret adaptateur.

V - La réception directe - Exemples -

1 - Réception individuelle -

- La figure 3

Avantages

Le système est de maintenance aisée. Les éléments actifs sont situés près du récepteur et pourraient être incorporés en totalité dans les récepteurs mixtes futurs.

Dans le cas de la MF, la FI pourra être choisie vers 120 MHz, ce qui optimisera la sélection des programmes et minimisera les problèmes d'interférences.

Inconvénients

Les guides économiques coûteront tout d'abord un peu plus cher que les câbles coaxiaux. Des études industrielles sont encore nécessaires. Leur pose est un peu plus compliquée que celle des coaxiaux.

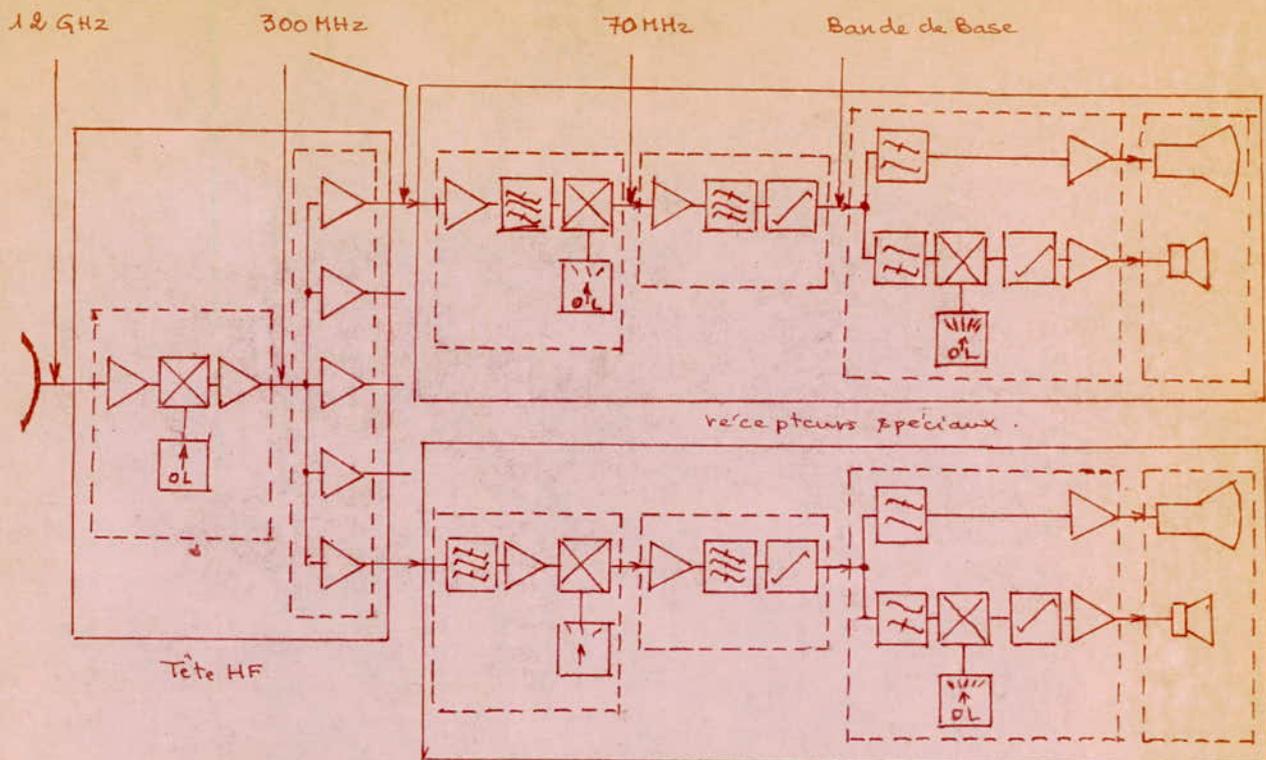


FIGURE 1 : Station avec liaisons à 300 MHz - Récepteurs spéciaux.

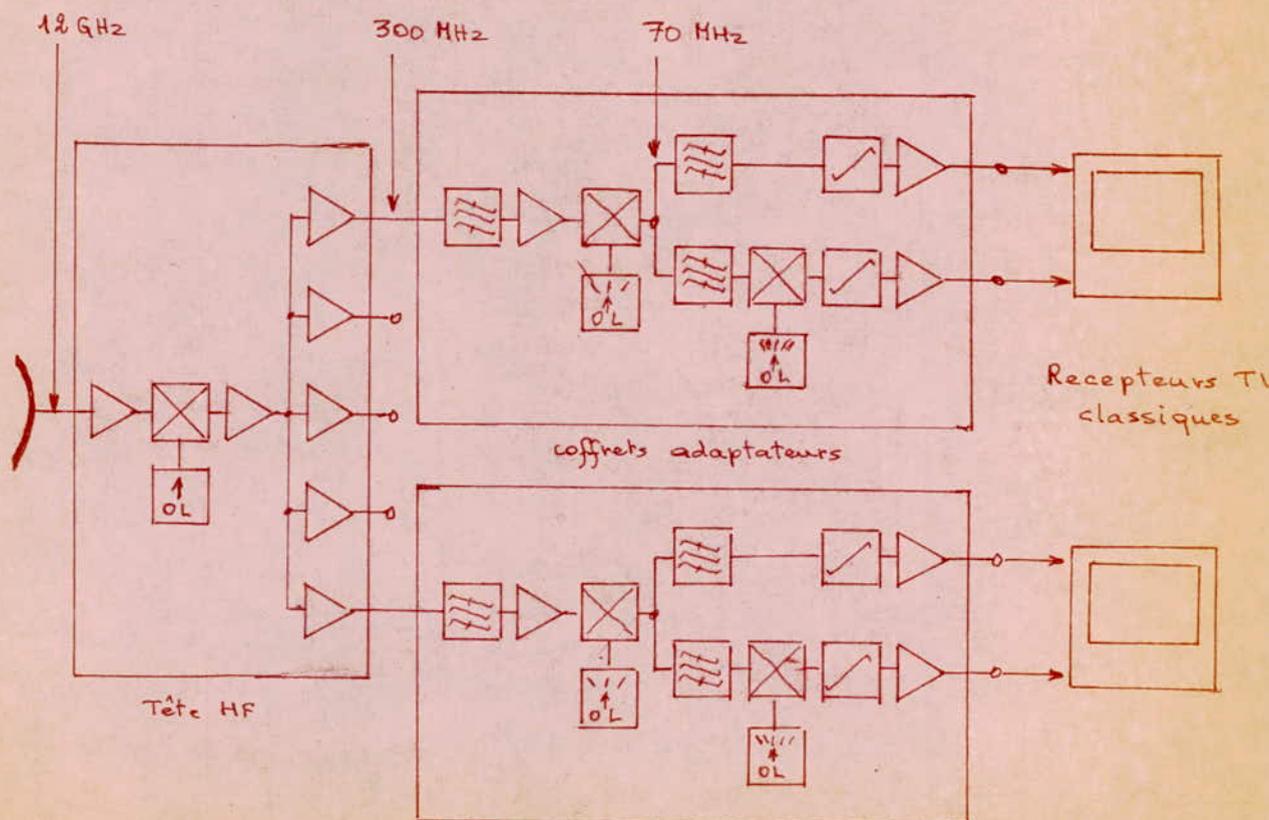


FIGURE 2 : Station avec liaisons à 300 MHz - Récepteurs classiques.

70

- La figure 4.

- Avantages

Il y a une seule descente de liaison à radio -
- fréquence dont les pertes sont faibles -

- Inconvénients

Le système est complexe, donc de prix 'élevé'.
La conception et la maintenance des équipements situés au voisinage de l'antenne et soumis de ce fait à des contraintes climatiques extrêmes, sont délicates, particulièrement pour assurer la stabilité thermique de l'oscillateur σ dans le cas de la MA -

Il faut alimenter ces équipements en énergie.

Il existe des contraintes dans le choix des canaux qui résultent, soit d'un simple changement de fréquence (en MA), soit d'une transposition complète (en MF) des canaux d'espace -

- La figure 5

- Avantages et Inconvénients

Le changement de fréquence, quoique situé à l'extérieur est simple, les organes de transposition, plus complexes, sont situés à l'intérieur, près du récepteur de type courant -

Sur le parcours du signal d'espace, il y a 3 changements de fréquence successifs qui créent des risques graves de brouillages -

Les signaux d'espace, dans le cas de la MF, occupant un large spectre, sont véhiculés sur la même ligne de transmission que les programmes de Terre, créant là encore des risques graves de brouillages par interférences -

les organes de couplage et de multiplexage doivent être à large bande passante même dans le cas de la MA. Ceci tend à exclure l'usage des organes similaires actuels qui devraient donc être remplacés.

- La figure 6 -

- Avantages -

Le câble de distribution ne véhiculant pas de signaux à radio fréquences, les risques de brouillages par interférences sont minimes.

Le choix des programmes par l'utilisateur est simple.

- Inconvénients

La partie active recevant les programmes d'espace est extérieure et éloignée du récepteur; il faut prévoir son alimentation en énergie.

Le grand nombre de câbles risque d'être brouillé par des inductions de courants industriels.

Le prix de l'installation virtuellement élevé.

- 2 - La réception collective -

- La figure 8

- Avantages et Inconvénients

Les récepteurs du parc existant pour les programmes de Terre, sont utilisables pour autant qu'ils sont ou qu'ils peuvent être munis d'un connecteur audio et vidéo - fréquences -

les organes de couplage et de multiplexage doivent être à large bande, ce qui peut imposer le remplacement de ceux existants s'ils ne le sont pas.

Il existe des risques graves de brouillages par interférences, entre les programmes d'espace, après le

premier changement de fréquence, et les programmes de Teru, et réciproquement, puisqu'ils sont mélangés dans le même réseau de distribution - Un plan de fréquences local est nécessaire et il sera probablement difficile à mettre en œuvre, surtout dans le cas de la HF.

Il existe des contraintes climatiques pour l'oscillateur extérieur particulièrement sensibles dans le cas de la MA -

- La figure 9 -

Avantages et Inconvénients

Les récepteurs courants des émissions de Terre peuvent recevoir aussi les émissions d'espace sans aucune modification ni même d'adjonctions.

L'installation est peu économique à moins qu'elle soit prévue pour un grand nombre d'usagers.

Il existe des difficultés pour choisir les canaux disponibles des bandes IV et V qui sont en nombre limité - Il faut faire un plan de fréquences pour chaque zone locale.

L'oscillateur F doit être stable, particulièrement dans le cas de l'emploi de la MA - Cependant, circonstance atténuante, il est placé à l'intérieur de la station centrale à l'abri des contraintes climatiques extrêmes.

- La figure 10 -

Avantages et Inconvénients

Les câbles de distribution ne véhiculant pas de signaux à radio fréquences, les risques de brouillages par des interférences sont minimes,

mais les cables des programmes d'espace risquent cependant d'être perturbés par des inductions dues aux courants industriels.

Le choix des programmes par l'utilisateur est simple.

La station centrale doit être alimentée en énergie cette station centrale risque de coûter cher aux usagers, à moins qu'ils soient nombreux puisqu'il faut autant d'équipements de traitement des signaux d'espace que de programmes.

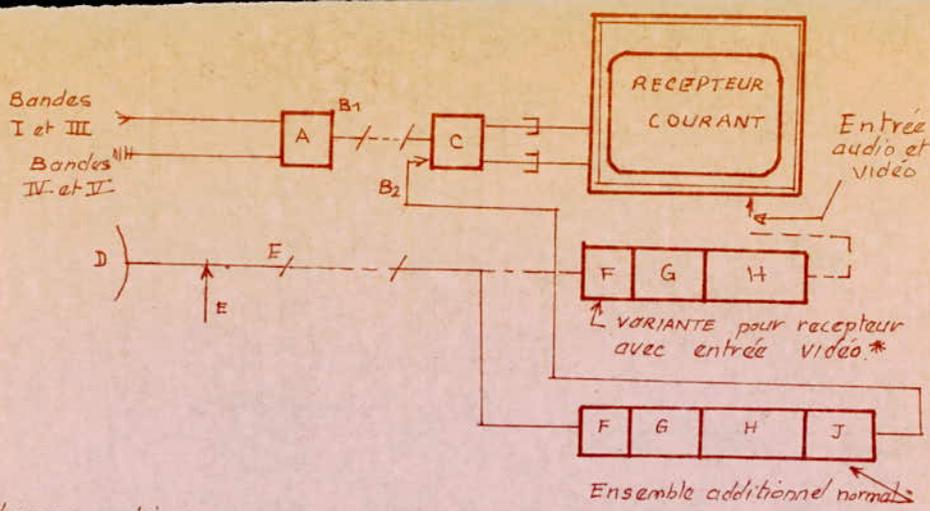


FIG. 3

Représentant le schéma synoptique d'une réception individuelle des émissions de terre et de celle d'espace, faites soit en M.A soit en M.F.

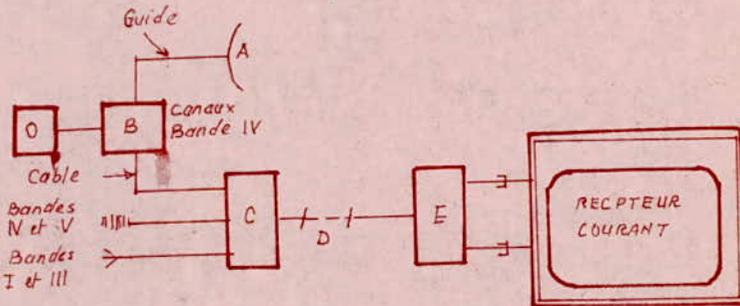
Légende :

- A : coupleur extérieur, à 3 voies
 - B1; B2 : liaison coaxiales
 - C : découpleur intérieur, à 4 voies
 - D : collecteur d'ondes d'espace
 - E : liaison par guide économique
 - F : ensemble à radiofréquences
 - G : amplificateur FI (vers 120 MHz)
 - H : demodulateur et ampli à vidéofréquence
 - J : oscillateurs + modulateurs intérieurs
- } Pour les programmes de terre
 } Pour les programmes d'espace
 } Pour M.A ou M.F
 } Pour M.F seulement

Nota : Pour la M.A, le changeur F peut être réglé pour changer directement les canaux à radiofréquences en canaux normaux des bandes IV et V. La variation n'est donc plus utile à ce moment. Dans le cas de M.F, cette même variator peut être incorporée aux récepteurs mixtes futurs.

FIG. 4

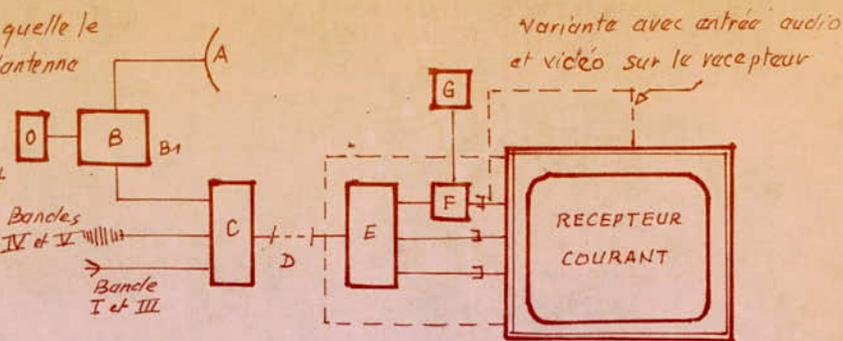
Représentant le schéma synoptique d'une réception individuelle des émissions de terre et de celles d'espace dans laquelle le changeur et le transposateur sont situés près de l'antenne d'espace, valable soit en M.A soit en M.F



Légende :

- A : collecteur d'ondes d'espace
 - B : transposateur assurant :
 - changement de fréquence
 - amplification
 - demodulation
 - remodulation
 - oscillation
 - C : coupleur extérieur 4 voies
 - D : câbles du système de distribution
 - E : découpleur intérieur à 3 voies
 - O : oscillateur local extérieur
- } Pour M.A ou M.F
 } Pour MA ou MF
 } Pour M.F seulement
 } Pour M.F seulement
 } Pour M.A et M.F.
 } Pour les programmes d'espace ; opération à effectuer sur chacun des programmes.
 } Pour les programmes d'espace et de terre

Représentant le schéma synoptique d'une réception individuelle des émissions d'espace et de terre, dans laquelle le changeur est situé près de l'antenne et le transposateur près du récepteur, ce transposateur opérant un second changement de fréquence. Un troisième changement est celui existant normalement à l'intérieur du récepteur.



LEGENDE :

- A : collecteur d'ondes des Programmes d'espace
 - B : premier changeur de fréquence
 - C : Coupleur Extérieur à 4 voies et Large bande
 - D : Ligne de transmission à radio fréquence
 - E : découpleur intérieur à 4 voies et large bande
 - F : second changeur de fréquence pour la M.A. et la M.F. et transposateur de normes pour la M.F.
 - G : selecteur du programme d'espace désiré
 - O : oscillateur Local extérieur pour la M.A. et la M.F. doit être très stable, particulièrement pour la M.A.
- } Programme d'espace et de terre

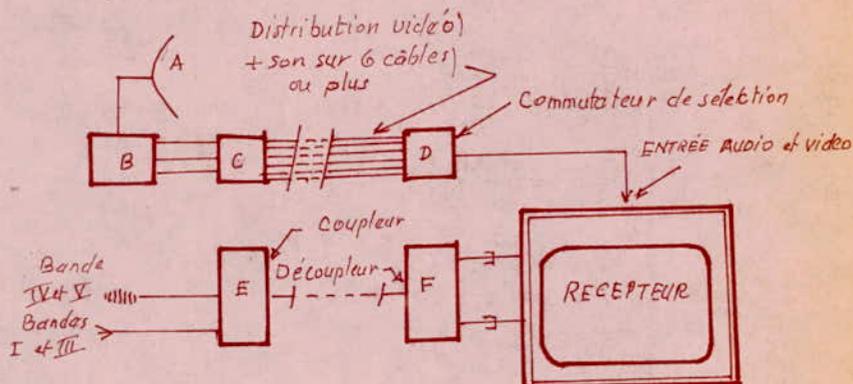


FIG: 6

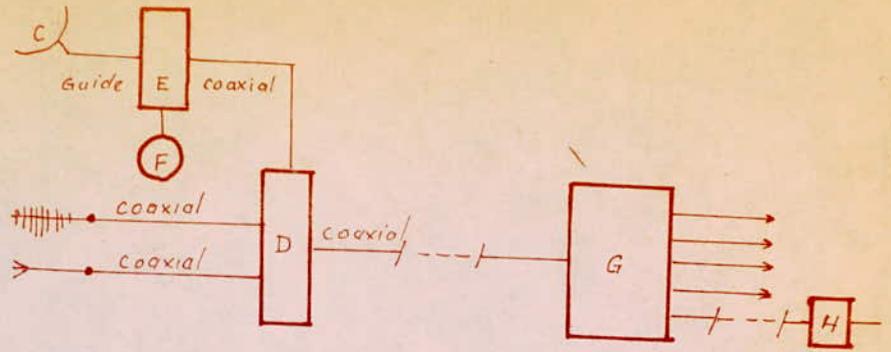
Représentant le schéma synoptique d'une réception individuelle des émissions d'espace et de terre, faites soit en M.A. soit en M.F. dans laquelle le changeur est près de l'antenne et la distribution est assurée en vidéo et audio fréquence au moyen de câbles coaxiaux.

LEGENDE :

- A : collecteur d'ondes
 - B : changeur + transposateur + demodulateur
 - C : distributeur sur câble coaxiaux
 - E : coupleur extérieur 3 voies
 - F : découpleur intérieur 3 voies
- } Programmes d'espace en M.A. ou en M.F.
- } Programme de terre

FIG: 7

schéma synoptique d'une distribution collective des programmes d'espace et de Terre, superposés dans le même réseau de distribution



LEGENDE :

- A : Antenne bandes I et III
- B : Antenne bandes II et IV
- C : Parabole pour les programmes d'espace
- D : Coupleur extérieur 4 voies
- E : Changeur de fréquence
- F : Oscillateur fixe
- G : Station Centrale
- H : Boîte d'arrivée chez l'abonné selon la figure 7.22.f

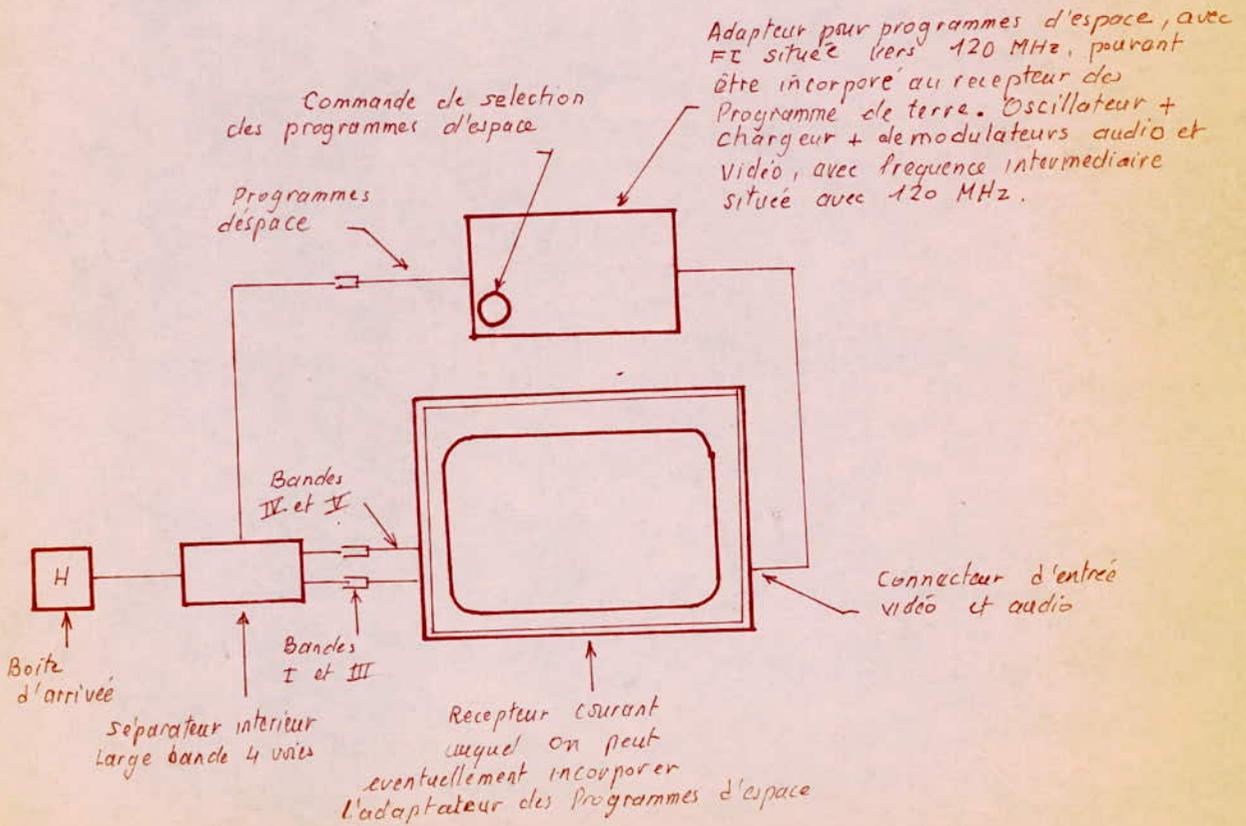


FIG 8

schéma synoptique d'un poste d'abonné pour la réception des programmes d'espace et de terre distribués collectivement selon le schéma synoptique de la fig 7.32 a

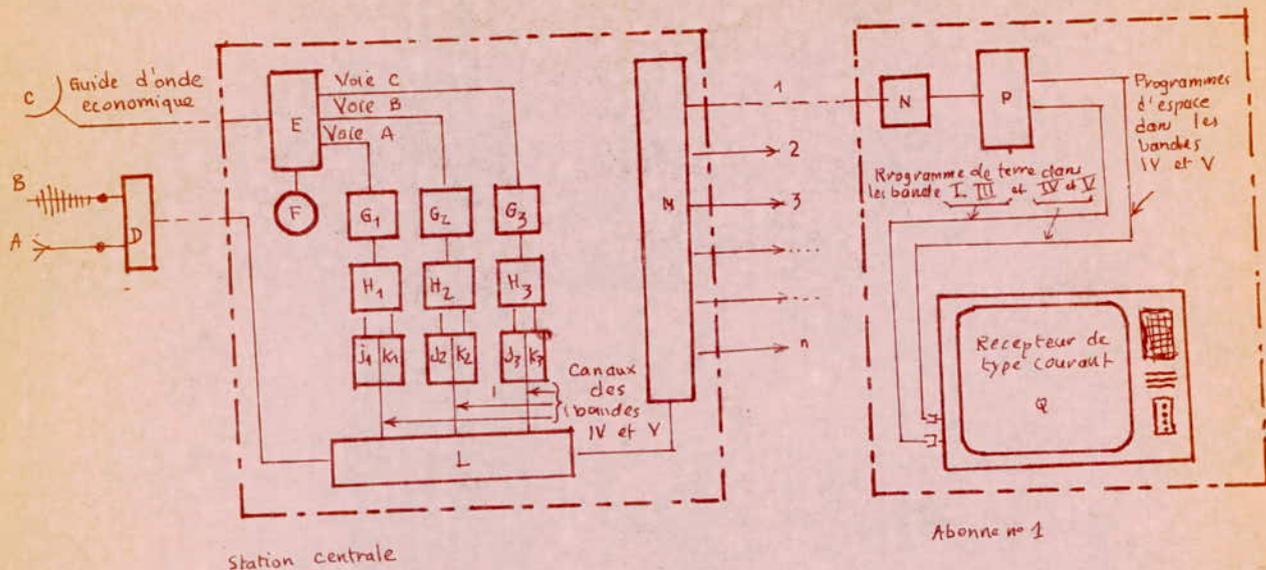
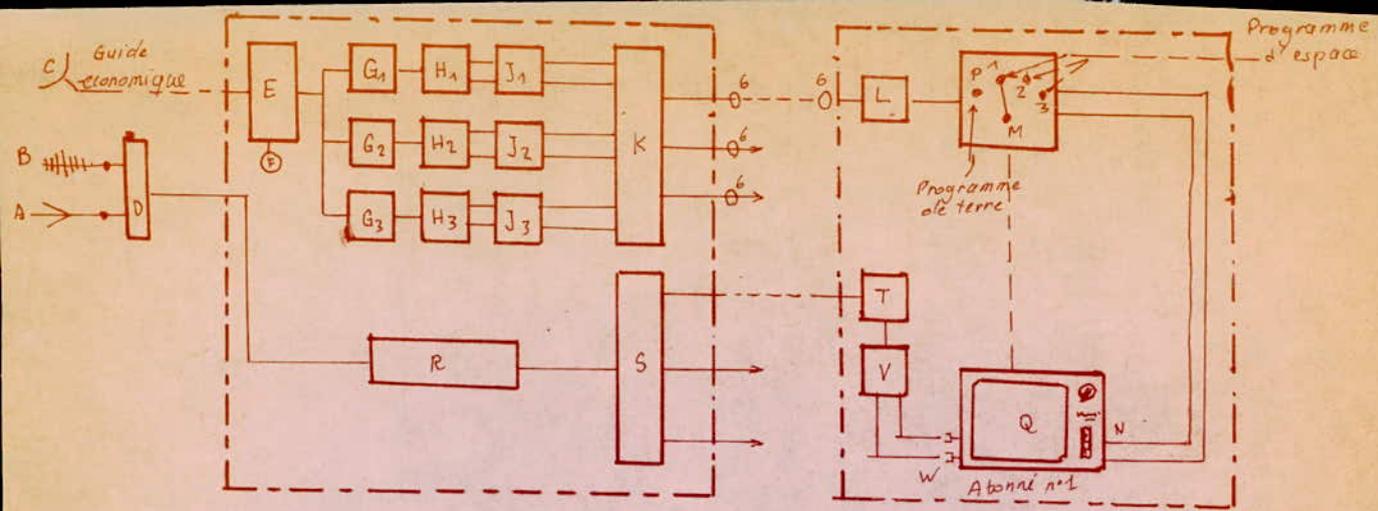


FIG. 9

Schema synoptique d'une distribution et d'une reception des Programmes d'espace et de terre dans laquelle les signaux d'espace sont vehicules dans les memes organes que les signaux de terre et peuvent occuper une partie de la bande de 100 à 860 MHz.

LEGENDE :

- | | | | |
|--|--------------------------------|---|--|
| A : Antenne bandes I et III | } Pour les Programmes de terre | J_1, J_2, J_3 = Modulateurs image dans bandes IV et V | } M.F pour les Programmes d'espace. |
| B : Antenne bandes IV et II | | | |
| C : Parabole pour les programmes d'espace en M.A ou en M.F. | | K_1, K_2, K_3 : Modulateurs son dans bandes IV et II | |
| D : Coupleur pour les Programmes de terre | | L = Coupleur multivoies Large bande | } Pour les Programmes d'espace et de terre |
| E = Changeur de frequence | } M.A. et M.F | M = Repartiteur | |
| F : Oscillateur fixe | | N = Brite d'arrivee | |
| G_1, G_2, G_3 = Amplificateur aux frequences intermediaires. | } M.F | P = Separateur | |
| H_1, H_2, H_3 Demodulateur image et son | | Q = Recepteur du Commerce | |



G: 10

Schéma synoptique d'une distribution collective suivie d'une réception des programmes d'espace et de terre dans laquelle les signaux de terre sont véhiculés en radiofréquence dans une installation particulière, alors que les signaux d'espace sont véhiculés en audio et vidéo dans une autre installation distincte.

LEGENDE :

- A = Antenne bandes I et III
 - B = Antenne bandes IV et V
 - C = Parabole pour les programmes d'espace modulés en fréquence
 - D = Coupleur extérieur 3 voies
 - E = Changeur de fréquence
 - G₁, G₂, G₃ = Amplificateur radiofréquence
 - H₁, H₂, H₃ = Demodulateurs vidéo et audio
 - J₁, J₂, J₃ = Amplificateur vidéo et audio
 - K = Repartiteur vidéo et audio
- } des programmes d'espace

- L = Boîte d'arrivée des programmes d'espace
- M = Selecteur de programmes d'espace
- N = Conncteur Audio/vidéo du récepteur
- P = Télécommande pour commutation espace/terre dans le récepteur
- Q = Récepteur de Commerce
- R = Amplificateur radiofréquence
- S = Repartiteur radiofréquence
- T = Boîte d'arrivée des programmes de terre
- V = Séparateur
- W = Entrées « Antennes » du récepteur

FIABILITE D'UN SYSTEME DE TELE- -DIFFUSION DIRECTE PAR SATELLITE.

I Sommaire

La fiabilité ou la disponibilité d'un système complet de Telediffusion par satellite dépend de la fiabilité de ses 2 principaux constituants :

- le satellite
- les stations au sol.

Ecartant le cas des stations au sol pour lesquelles la disponibilité dépend non seulement de la fiabilité, mais aussi des méthodes de maintenance, on n'étudie que la disponibilité du satellite qui, n'étant pas directement accessible, pose des problèmes particuliers.

II Généralités sur la Fiabilité

1 - Taux de panne

Pour un équipement complexe, un satellite, il se produit 2 sortes de pannes :

- Les pannes accidentelles
- les pannes d'usure qui, en général, résultent
 - de l'usure des équipements mécaniques
 - de l'épuisement des sources énergétiques (cellules solaires, réserves de propulseur)

Pour un équipement donné, si on remplaçait instantanément le composant défaillant et si on calculait le nombre de pannes qui surviendraient dans un inter-

- valle élémentaire de temps donné (taux instantané de panne) on pourrait tracer une courbe semblable semblable à celle de la fig 1.

Pour un satellite

- les pannes dues aux « maladies infantiles » sont éliminées grâce aux essais qui précèdent le lancement.
- Pendant la période de vie utile de durée u , les pannes apparaissent au hasard avec un taux λ constant.

2 - Probabilité de survie (ou fiabilité)

On montre qu'un équipement qui a un taux de panne λ constant a une probabilité de survie, de l'instant 0 à l'instant t , égale à :

$$P_s = e^{-\lambda t}$$

Comme au bout du temps u la probabilité de survie est nulle, on obtient la courbe de la Fig 2. La fiabilité est d'autant meilleure que λ est petit.

3 - MTTF - Durée moyenne de vie

Le MTTF (« Mean Time To Failure ») est le temps moyen d'apparition de la première panne après la mise en service.

Si le temps de panne est toujours constant :

$$T = \int_0^{\infty} t \cdot e^{-\lambda t} \cdot dt = \frac{1}{\lambda}$$

$$T = \frac{1}{\lambda}$$

Dans le cas d'un satellite de durée maximale de vie μ ,

la durée moyenne de vie est τ

$$\tau = \int_0^M t \cdot e^{-t/T} dt$$

$$\tau = T \left(1 - e^{-\frac{M}{T}} \right)$$

Elle dépend :

- de la fiabilité T
- de la durée maximale de vie M

Le Tableau I indique la durée de moyenne de vie τ pour un MTTF de 10 ans en fonction des durées maximales de vie M

4) - Probabilité de panne à un instant donné

La Probabilité de panne à un instant donné t est :

$$- \frac{dP_s}{dt} = \frac{1}{T} e^{-\frac{t}{T}}$$

La Fig. 3 donne la probabilité de panne à un instant donné.

III Fiabilité du système spatial

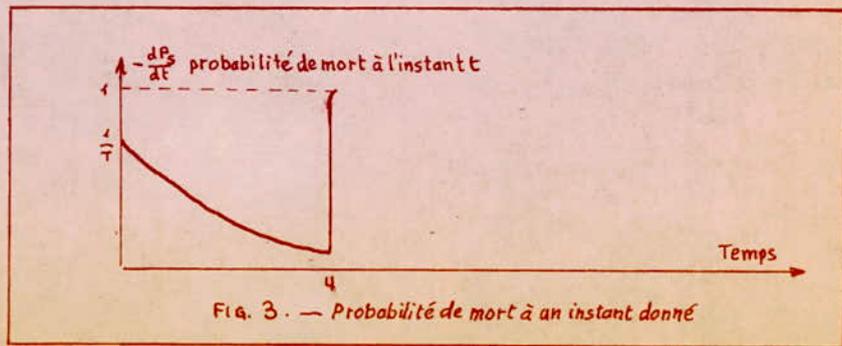
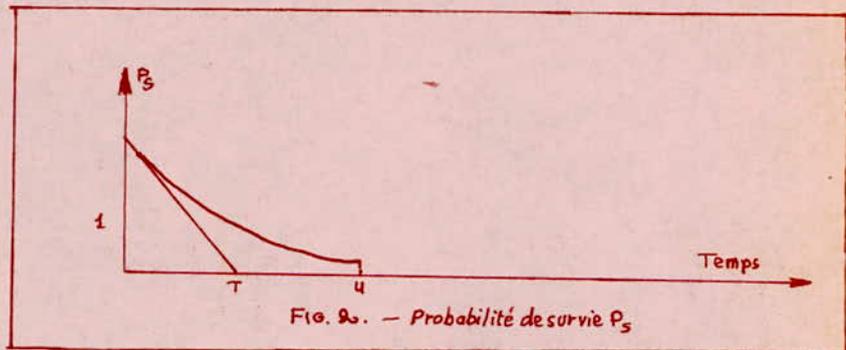
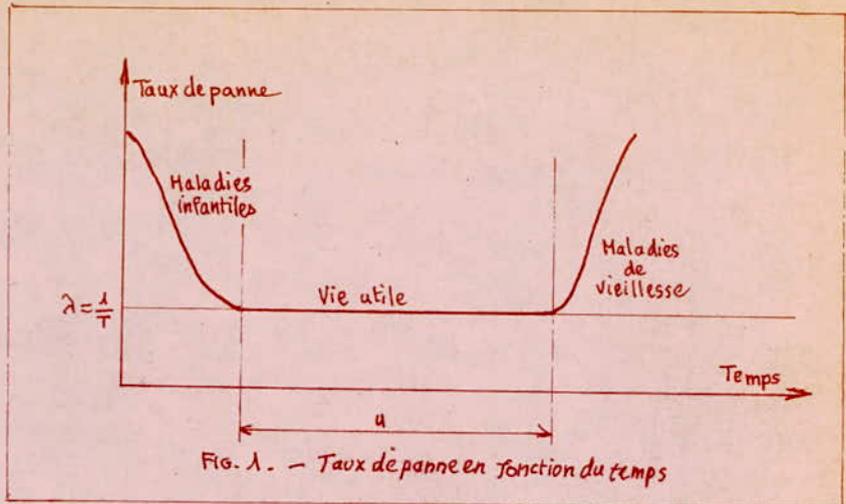
Pour assurer un service déterminé pendant une période déterminée il est essentiel d'estimer le coût de ce service

Le coût est fixé par le nombre n de satellites à lancer. Il est assez aisé de connaître le coût moyen, le service étant :

- à assurer pendant a années.
- défini par un taux moyen d'indisponibilité I

Les nombres n et I vont être évalués dans des cas typiques, dans lesquels :

- L est le temps nécessaire pour mettre un satellite en orbite
- p est la probabilité de succès du lancement.



Durée maximale de vie U (ans)	Durée moyenne de vie Z (ans)
$U = T/3 = 3,3$	$Z = 0,27T = 2,7$
$U = 1/2 = 5$	$Z = 0,27T = 3,9$
$U = T = 10$	$Z = 0,66T = 6,6$
$U = 2T = 20$	$Z = 0,88T = 8,8$
$U = 3T = 30$	$Z = 0,95T = 9,5$

Tableau I -

Durées moyennes de vie pour un MTTF de 10 ans -

1) Pas de satellite en secours (en orbite)

a) nombre moyen de satellites à lancer : n

La durée de vie moyenne d'un satellite étant T ,
il faudra pendant a années mettre en orbite en moyenne

$$S = \frac{a}{T} \text{ satellites}$$

Comme la probabilité de succès de chaque lancement est P , il
faudra tenter

$$n = \frac{a}{e^T(1 - e^{-\frac{a}{T}})}$$

b) Taux moyen d'indisponibilité

les satellites proches de leur limite de vie L sont
remplacés suffisamment à l'avance de façon que, même
en cas d'échec de lancement un autre lancement puisse être
tenté à temps - L'indisponibilité du

système à cette occasion est faible par rapport à l'indisponibilité
dus aux pannes accidentelles : Elle ne sera pas prise en compte -

Pendant sa durée de vie L , la probabilité pour qu'un
satellite tombe en panne de façon accidentelle est

$$P_a = 1 - e^{-\frac{L}{T}}$$

Sur a années, il y a S remplacements à effectuer,
dont $P_a \cdot S$ pour panne accidentelle - Chaque remplacement
exige un temps L s'il réussit et, en moyen, un temps
 L/P - Le taux d'indisponibilité moyen est -

$$I = \frac{L}{PT}$$

$$I = \frac{L}{PT}$$

et le taux moyen de disponibilité est :

$$D = 1 - \left(\frac{L}{PT} \right)$$

2) Un satellite en secours

En admettant ce qui est pessimiste mais prudent, qu'un satellite en secours a :

- Un taux de panne λ
- Une durée de vie M

égaux à ceux d'un satellite en activité il faudra pendant a années lancer deux fois plus de satellites que dans le cas précédent :

$$n = \frac{2a}{e^T(1 - e^{-1/4})}$$

On démontre en tenant compte de $\frac{L}{PT}$ petit que le taux de disponibilité moyen est :

$$D = 1 - \frac{2L^2}{P^2 T^2}$$

Le tableau II présente 3 exemples dans lesquels $L = 0,3$ ans.

3) Conclusion

Sans satellite de secours le service n'est pas assuré en moyenne sur 10 ans pendant 4,8 ou 2,4 mois ce qui est insuffisant. Pour limiter l'indisponibilité à 1 mois il faut une disponibilité de 99,2% ce qui impose un satellite en secours de 4 à 6 lancements et un MTTF

		unités	Cas I	Cas II	Cas III
Durée de vie maximale		ans	5	5	7
MTTF = T		ans	10	10	20
Probabilité P_a de mort accidentelle pendant U		%	39	39	27
Durée moyenne de vie : τ		ans	3,9	3,9	5,4
Probabilité de succès du lancement = p		%	80	90	90
Pas de patellite en secours	Nombre moyen annuel de lancement : n	/	0,32	0,28	0,20
	disponibilité D	%	96	96	98
Une patellite en secours	Nombre moyen annuel de lancement : n	/	0,64	0,37	0,38
	Disponibilité D	%	99,7	99,8	99,9

Tableau II -
Exemples.

10 ans (10^6 heures).

IL faut donc pouvoir lancer des satellites dont le taux de panne est meilleur que 10^{-6} par heure.

IV Fiabilité des sous-systèmes

Un satellite de Télécommunications comprend environ 10 sous-systèmes :

- Moteurs d'apogée
- Antennes
- Répéteur
- Maintien en ALTITUDE.
- Maintien position
- Alimentation
- Télémétrie et Télécommande.
- Structure
- Contrôle thermique.

Le taux de défaillance moyen par sous-système doit être inférieur à 10^{-7} heures. Dans le cas par exemple d'un sous-système essentiel pour la fonction Télédiffusion le sous-système répéteur pour obtenir la Fiabilité ci-dessus, le satellite est équipé d'un répéteur redondant.

Si les 2 répéteurs fonctionnent simultanément (redondance « parallèle-active ») la probabilité de survie est donnée par :

$$P_S = e^{-\frac{t}{T}} (2 - e^{-\frac{t}{T}})$$

En ne faisant fonctionner qu'un répéteur à la fois et en supposant que le répéteur au repos ne peut tomber en

en panne la Probabilité de survie est :

$$P_s = e^{-\frac{t}{T}} \left(1 + \frac{t}{T}\right)$$

Mais en réalité même au repos un repeteur peut se dégrader et la vérité est intermédiaire entre les 2 formules.

Par Prudence il est conseillé de Prendre la première

VI Fiabilité des Composants :

Un repeteur comprend plusieurs Centaines de Composants.

Pour obtenir des Taux de défaillance de quelques Unités

Pour 10 millions d'heures, il ne faut pas dépasser pour chaque composant un taux de défaillance de l'ordre de 10 pour 10^9 heures.

Dans une étude de Fiabilité d'un satellite on a trouvé :

— Les Composants les moins fiables

- TOP

- Composants à pièces mobiles (relais, potentiomètres...)

— Les Composants les plus fiables :

- Les résistances agglomérées et à film métallique

- Les Condensateurs céramiques et à verre.

- Les diodes de Commutation.

- Les Connexions.

Etude Economique

EVALUATION DU COÛT DE L'INSTALLATION COMPLÉMENTAIRE

I - Introduction -

Bien entendu, la télévision commerciale actuelle qui emploie des transmissions analogiques UHF ou VHF ne sera pas remplacée prochainement par les récepteurs spéciaux dans le cas même de la réception directe sur 12 GHz à partir du satellite, et cela en raison

- du nombre important d'appareils
 - vendus
 - en vente
 - en fabrication
- de la difficulté de mise au point des nouveaux procédés de réception -

Pour l'usage habituel « grand public » le récepteur analogique normal restera en core

- le plus simple
- le moins coûteux

Il n'est donc pas question de remplacer l'infrastructure actuelle mais, au contraire, la garder en l'aménageant s'avère la solution la plus immédiate et la plus économique -

Pour ce faire une petite modification s'impose au niveau de l'installation (individuelle ou collective) au sol.

Il faut :

- une nouvelle antenne -
 - de faible diamètre
 - sans besoin de suivre le satellite
- un préamplificateur
 - de faible bruit
 - de faible poids

- de faible coût
- de grande fiabilité
- simple
- miniature

II - Avant-Projets -

Une étude d'une centaine de projets de télédiffusion directe par satellite a été soumise à l'ONU en 1966. Il en est ressorti que le coût d'une installation supplémentaire est

- 1350 DA pour une réception individuelle.
- 750 DA pour une réception collective.

En Algérie, par exemple, il existe environ 500 000 récepteurs. Cela nécessite la mobilisation de la somme de 375 000 000 DA pour une telle opération.

III - Evaluation du coût de l'installation -

Il n'y a pas très longtemps des diodes GUMM étaient vendues plus de 400 DA pièce. Cependant dans la perspective d'une production massive, l'on pense pouvoir atteindre les prix suivants :

- diodes mélangeuses 12GHz 3 à 4 DA
- diodes GUMM de faible puissance 4 à 5 DA
- tout boîtier triplerait le prix des diodes
- un mélangeur équilibré à 12GHz avec des diodes = 15-20 DA

A partir d'une étude de marché et sachant qu'il est difficile de fixer un prix unique de la pose, l'on a été amené à dresser le tableau I en fonction

- de la demande
- de l'intérêt

des populations pour ce système nouveau de réception

Type d'installation	Forte demande		Faible demande	
	individuel	collectif	individuel	collectif
Nombre d'installations	250000	25000	25000	2500
Antenne Support	383	383	550	550
Tête HF	224	224	491	491
Câble	40	27	40	27
Circuits abrités	289	892	410	1637
Pose, réglage	375	1150	375	1150
Total	1311	1976	1866	3155

Tableau I.

IV Coût Global d'un système de TDPS (*)

1 - Secteur Spatial

- Véhicule de lancement (avec assurance) = 65-70 MDA
- Un satellite complet (TV + Téléphonie) = 65-75 MDA

2 - Secteur Terrien (fig 9)

a) Stations

- Station principale = 32,5 MDA
- Station de réception TV = 3 MDA
- Station Communautaire TV = 27500 - 33000 DA

b) Personnel (fig 10)

- Station principale = 20 hommes = 550000 DA
- Station de réception TV = 13 hommes = 357500 DA
- Station Communautaire TV = 4 hommes = 110000 DA
(Salaire moyen DA 27500 / homme / an)

c) Stock de pièces de rechange

- 2,7% de son prix de construction, soit :
- Station principale = $32,5 \times 2,7\% = 877500$ DA
 - Station de Réception TV = $3 \times 2,7\% = 81000$ DA
 - Station Communautaire TV = $30250 \times 2,7\% = 816,75$ DA

source d'information : " Le Projet des
Pays Arabe de satellite de Télécommuni-
- cations "

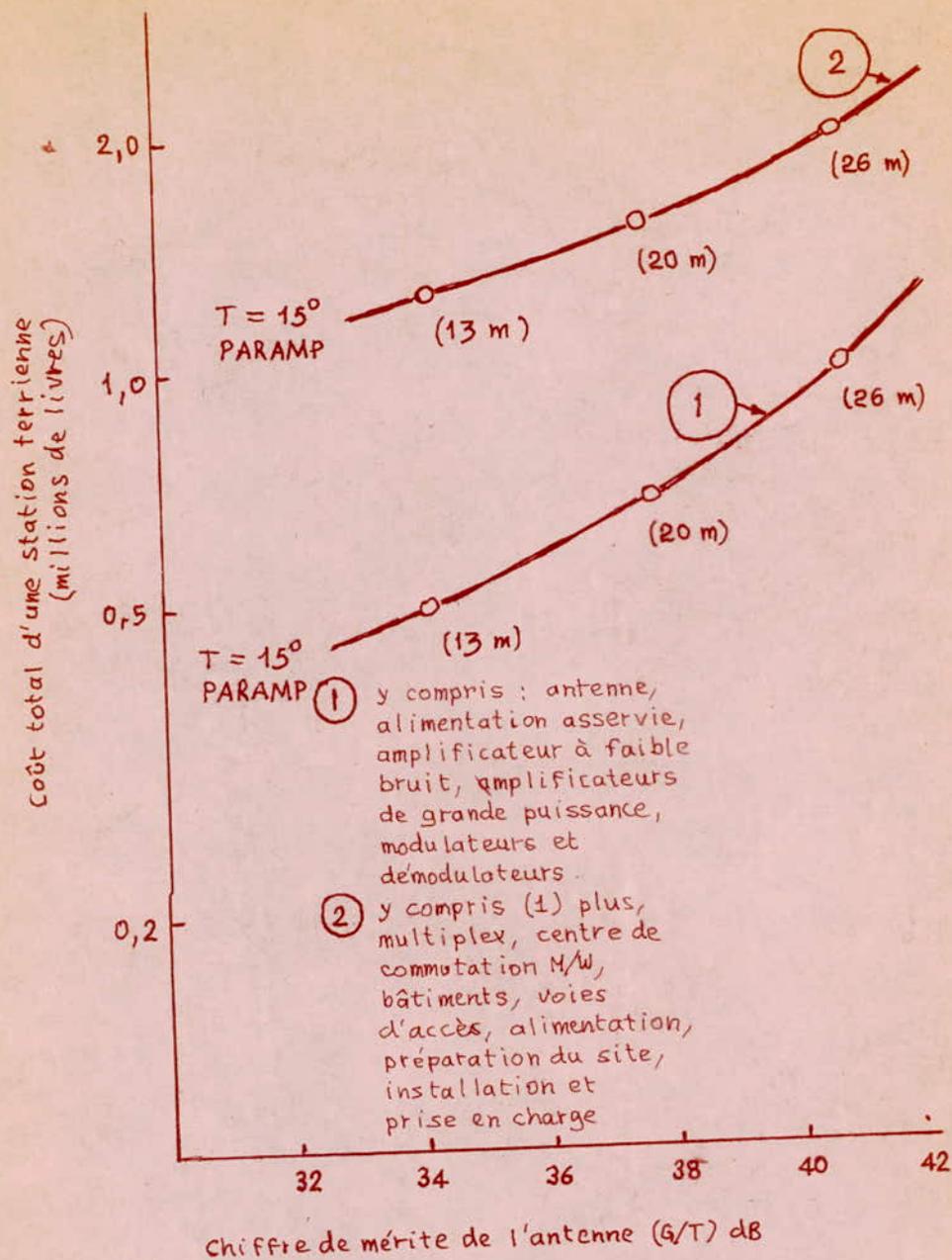


FIG. 9 - DEPENSES AU CAPITAL POUR UNE STATION TERRIENNE EN FONCTION DE SON CHIFFRE DE MERITE

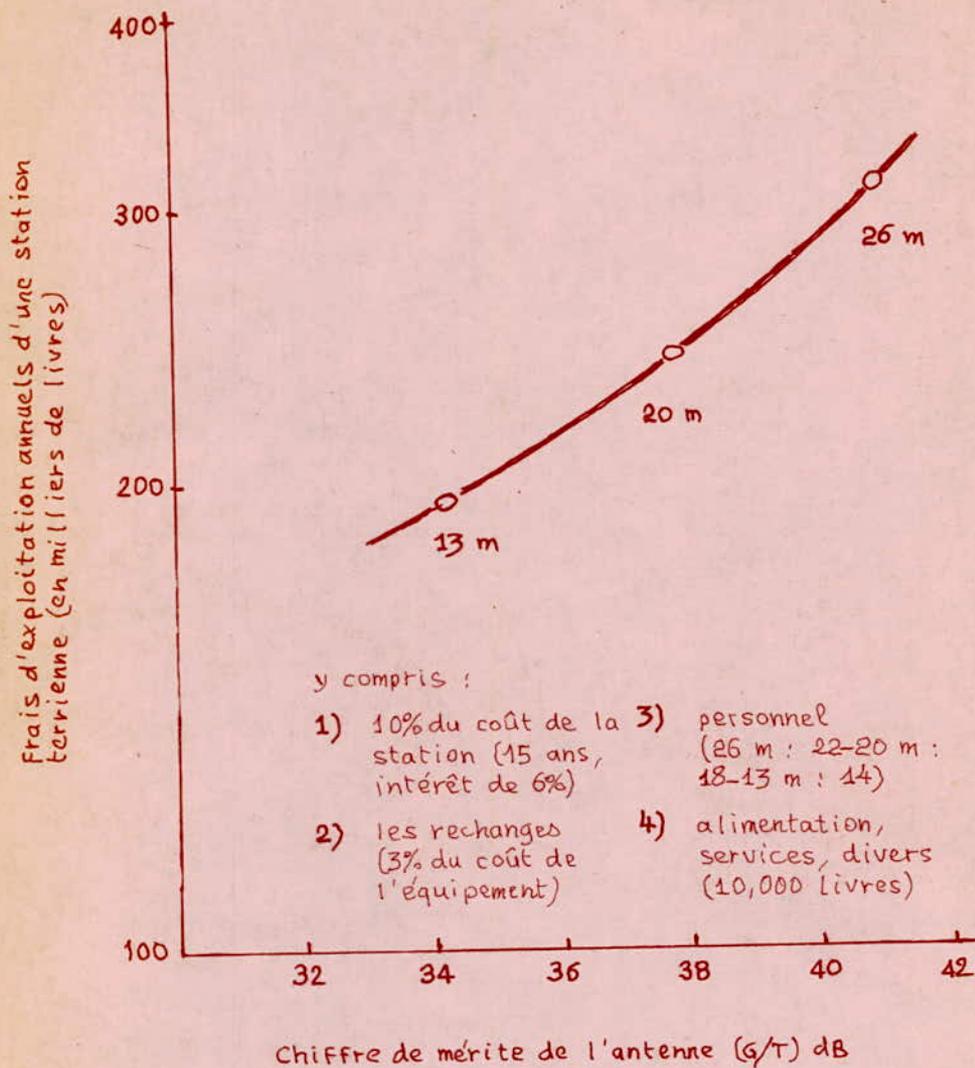


FIG.10 — FRAIS D'EXPLOITATION ANNUELS D'UNE STATION TERRIENNE EN FONCTION DU CHIFFRE DE MERITE

CONCLUSION

CONTINUED

A la différence de la télévision actuelle qui exige un nombre invraisemblable de fréquences pour les différents réémetteurs d'une même chaîne, la diffusion directe, elle ne demande qu'une seule fréquence pour couvrir toute une région.

Mais encore faudrait - il trouver cette fréquence ; or toutes les fréquences, en VHF comme en UHF, sont déjà utilisées; ET on ne saurait sérieusement envisager de supprimer la télévision actuelle pour mettre en place un système de diffusion par satellite. Il nous faudrait donc accorder de nouvelles fréquences à la diffusion directe ; et c'est dans une bande de fréquences élevées (SHF) qu'on logera la diffusion directe; Or, ceci est un grand avantage : plus élevée est la fréquence, plus grand est le gain, la réception devenant possible avec des antennes plus petites, qui seront plus économiques, tout en présentant moins d'inconvénients en cas de vents violents

VI - //A RECEPTION //à DIRECTE

Mais cette utilisation de nouvelles fréquences, en SHF, ne permettra pas à la diffusion directe d'être reçue avec le matériel actuel. Un convertisseur sera donc nécessaire, qu'il apparaîtra tout indiqué de placer dans l'antenne, cette dernière devenant un préamplificateur changeur de fréquence.

VII - // PROBLEME ECONOMIQUES

L'installation réceptrice doit pouvoir être très répondue dans le public (grandes séries). Pour ce faire, il est nécessaire qu'elle ait les qualités.

- Fiabilité
- Simplicité
- Miniaturisation
- Coût modéré (en supplément de l'installation classique).

Comme il s'agit d'implanter un réseau de télédiffusion par satellite venant en complément du réseau terrestre, l'appareillage doit être compatible avec les récepteurs classiques qui fonctionnent en modulation d'amplitude, dans les bandes VHF et UHF.

Par ce moyen on compte évidemment augmenter le nombre de clients potentiels pour le futur marché. Mais, à l'opposé, les difficultés apportées par la comptabilité sont un coût que l'on ne saurait négliger. L'optimum est mal défini, et une étude économique s'avère alors plus que nécessaire.

VIII - PROBLEMES JURIDIQUES

Maintenant que la télédiffusion directe par satellite est devenue techniquement et économiquement réalisable, il ne reste plus aux gouvernements qu'à passer à "l'abordage" de leur public respectif.

Malheureusement, les inégalités technologiques interviennent encore une fois : quelques pays ou puissances seulement peuvent accéder à un tel procédé. Ce qui, à défaut d'une réglementation internationale pourrait pousser ces derniers à attenter à "l'équilibre" mondial par de la progagande, de la publicité, etc.

Pour palier à ces inconvénients, une étude juridique du problème à un niveau international (ONU) serait la bienvenue.

IX - CONCLUSION

En conclusion, on peut dire que si la télédiffusion directe par satellite pose des problèmes aux techniciens, aux économistes et aux juristes, elle permettra en définitive à un nombre de pays d'accéder à une telle source d'information, de connaissance et de progrès.

Bibliographie

Première Partie

Chapitre I

1. Revue de l'UER - Cahier technique N° 136 -
décembre 72 - " Etudes de l'UER sur les satellites
destinés à la distribution de la TV et à la diffusion
directe. "
2. Revue de l'UER - Cahier technique N° 138 - Avril 73
" Réception de la TV par satellite sur 12 GHz en MF "
3. Revue de l'UER - Mai 74 -
" Aspect de la radiodiffusion directe par satellite "
4. Revue de l'UER - Mai 73 -
" La radiodiffusion par satellite "
5. La Recherche - N° 42 - février 74 -
" les télécommunications spatiales. "
6. Revue des PTT de France - Avril 75 -
" le programme Européen de satellites
de télécommunications. "

Chapitre II -

1. PARES - Edition Masson
" les systèmes de télécommunications par
satellites. "

Chapitre III -

1. La Recherche - N° 42 - février 74
" les télécommunications spatiales. "
2. Journal des Télécommunications. Vol 38-71
3. Revue des PTT de FRANCE - N° 1 - 1975 -

Deuxième Partie

Chapitre I

1. PARES - Edition MASSON -
"les systèmes de télécommunications par satellites -"
2. Revue des télécommunications N° 49/3 - 74
3. Revue de l'UER - Cahier technique - N° 137 - Juin 73.

Chapitre II

1. Revue de l'UER - Cahier technique - N° 138 - Avril 73
"Réception directe de la TV par satellites sur 12 GHz en HF -"
2. Revue technique de Radiodiffusion et de télévision - N° 32 - 1974 -

Chapitre III -

1. PARES - Edition MASSON -
"les systèmes de télécommunications par satellites -"

Troisième Partie -

Chapitre I

1. Polycopé ENST - Juin 75 -
"Evaluation du coût de l'installation"