



**LES TUBES**  
**A**  
**PROPAGATION D'ONDE**  
**ET**  
**CARCINOTRONS**



CSF

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

79, boulevard Haussmann — PARIS-VIII<sup>e</sup>



## LES TUBES A PROPAGATION D'ONDE

### INTRODUCTION

Les tubes à propagation d'onde sont le résultat d'une double évolution. D'une part, les applications des ondes hertziennes exploitant des fréquences toujours plus élevées du spectre ; celui-ci devient en effet de plus en plus encombré, et certaines applications utilisent les avantages des ondes très courtes du point de vue de la directivité et de la définition. D'autre part, les tubes amplificateurs et oscillateurs indispensables à ces applications ont nécessité la mise en œuvre de principes différents de ceux des lampes pour basses fréquences.

Si l'on considère la triode comme le tube classique de référence, la première limitation rencontrée aux fréquences élevées fut le temps de transit des électrons, qui n'étant plus négligeable devant la période du signal, obligea à réduire de plus en plus les distances interélectrodes. Par ailleurs, les circuits associés classiques durent être remplacés par des structures du type cavité ou guide d'onde. Cette ligne de pensée a abouti aux lampes phares, encore utilisées.

Mais parallèlement, des tubes nouveaux étaient mis au point, utilisant le temps de transit des électrons et incorporant les éléments de circuits. Le magnétron et le klystron furent les premiers résultats de cette autre ligne de recherche, et connurent pendant la deuxième guerre mondiale un développement rapide, dû aux besoins militaires de détection et de repérage.

Le magnétron est essentiellement un oscillateur de puissance à fréquence fixe. Il peut être rendu mécaniquement accordable par des moyens souvent difficiles à mettre en pratique aux niveaux de puissance élevés.

Jusqu'à la fin de la deuxième guerre, le klystron était un amplificateur ou un oscillateur à basse puissance : quelques watts, accordable mécaniquement, et, dans une bande étroite, électroniquement.

Les applications de l'après-guerre demandèrent bientôt plus que cela. Le perfectionnement des radars, le développement des communications hertziennes, rendaient en particulier désirables des tubes à large bande. Les tubes à propagation d'onde vinrent à point pour répondre à ce besoin. Après un rappel qualitatif des principes mis en jeu, nous décrivons les divers types de ces tubes et quelques résultats caractéristiques actuels, principalement tirés des études faites dans les laboratoires de la Compagnie générale de télégraphie Sans Fil (C.S.F.).

## PRINCIPE

Les tubes à propagation d'onde constituent une classe générale utilisant le principe de l'interaction prolongée d'un faisceau d'électrons et du champ d'une onde électromagnétique.

On sait que dans le klystron à deux cavités (fig. 1 a), le faisceau de courant  $I_0$  fourni par le canon sous la tension  $V_0$  traverse la première cavité elle-même excitée par le signal d'entrée. Les électrons en ressortent avec une vitesse différente de leur vitesse initiale et qui dépend de l'époque où ils ont traversé la cavité. Le faisceau a été modulé en vitesse. Dans l'espace de glissement, les électrons qui ont été accélérés rattrapent ceux qui ont été ralentis, formant ainsi des paquets. C'est la composante alternative du courant de faisceau qui excite alors la cavité de sortie. Par le fait même qu'il utilise des cavités résonantes à haute surtension, le klystron est, sous cette forme simple, un tube à bande étroite.

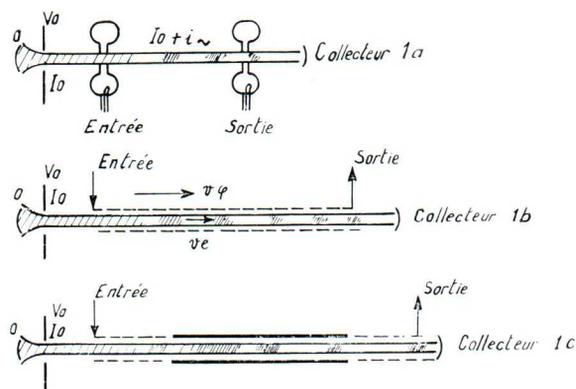


Fig. 1.

Le tube à propagation d'onde, tel qu'il fut proposé par Kompfner, utilise le même principe de modulation de vitesse, mais remplace les cavités à haute surtension et à interaction localisée par une ligne à retard, le long de laquelle une onde se propage en synchronisme avec le faisceau, comme schématisé fig. 1b. Le champ électrique longitudinal qui agit sur un électron donné va donc le faire pendant un temps long par rapport à la période du signal et cette action cumulative aura le même résultat que celle courte et localisée de la 1<sup>re</sup> cavité du klystron. Là aussi,

il y aura progressivement transformation de la modulation de vitesse en modulation de densité et transfert de l'énergie alternative du faisceau en énergie HF de sortie. La ligne à retard, dans

le cas de l'amplificateur représenté, peut d'ailleurs être continue (1 b) ou interrompue par un espace de glissement (1 c).

La bande passante du tube est alors déterminée par la bande dans laquelle la vitesse de phase de la ligne à retard a, par rapport à la vitesse du faisceau, une valeur conduisant à un gain.

C'est à ce type d'amplificateur que l'on réserve couramment le nom de tube à propagation d'onde, ou TPO. Mais le même principe peut être utilisé avec un certain nombre de variantes que nous allons passer en revue.

## MODES DIRECT ET INVERSE

La ligne à retard a pour rôle essentiel de guider l'énergie électromagnétique avec une vitesse de phase égale ou voisine de la vitesse des électrons, c'est-à-dire très inférieure à la vitesse de la lumière. Il faut donc retarder l'onde en utilisant des guides particuliers. Les structures employées sont en général périodiques : hélice, ligne en échelle ou interdigitale, guide circulaire à iris, ligne à vanne, etc. (fig. 2). Or on peut montrer simplement que le champ électromagnétique d'une telle structure est, à une fréquence donnée, la somme d'un nombre infini de modes que l'on appelle harmoniques d'espace, ayant tous la même vitesse de groupe, mais dont les vitesses de phase sont différentes. Ces vitesses de phase peuvent être déduites les unes des autres en remarquant que dans une structure périodique, donc discontinue, le déphasage entre deux cellules successives n'est défini qu'à  $\pm 2 k\pi$  près. On trouve alors des harmoniques d'espace à vitesse de phase positive appelés couramment modes directs, et d'autres à vitesse de phase négative ou inverses, la vitesse de groupe étant prise comme positive par définition.

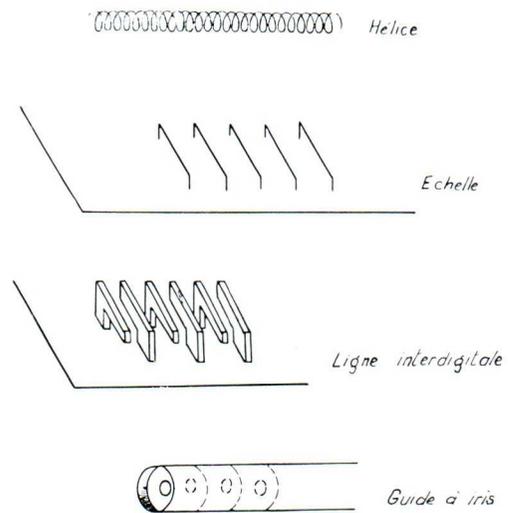


Fig. 2.

Ceci va donc nous amener à faire une première distinction. Le TPO classique (fig. 3 a) utilise un mode direct, c'est-à-dire que l'on choisit une ligne et une vitesse de faisceau telle que les électrons soient en synchronisme avec un harmonique d'espace à vitesse de phase

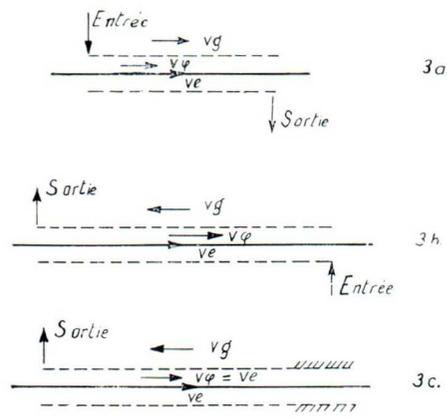


Fig. 3.

positive. L'énergie HF se propage dans le même sens que le faisceau.

La fig. 3 b donne le schéma d'un amplificateur utilisant un mode inverse :  $V_e = V_\phi$ , mais l'énergie se propage en sens inverse des électrons. L'entrée du tube est située près du collecteur, la sortie près du canon.

Le gain de ce tube sera limité par le fait que, l'énergie amplifiée par le faisceau revenant à l'entrée de l'espace d'interaction, il existe une boucle de réaction interne. Au-delà d'une certaine valeur du gain, fixée en fait par la valeur du courant de faisceau, le tube oscillera.

On peut donc utiliser ce mode d'interaction appelé Carcinotron, pour faire des oscillateurs (fig. 3 c). La propriété la plus intéressante de ces oscillateurs est qu'ils peuvent être accordés électroniquement. En effet, il y a oscillation lorsque  $V_\phi = V_e$ . Si l'on choisit une ligne pour laquelle  $V_\phi$  est fonction de la fréquence (fig. 4) pour l'harmonique d'espace considéré, ce qui est toujours le cas pour un mode inverse, on fixera la fréquence d'oscillation en choisissant la vitesse des électrons, c'est-à-dire la tension sous laquelle le faisceau est produit. Ce genre d'oscillateur sera donc modulable en fréquence dans une bande déterminée par la ligne utilisée.

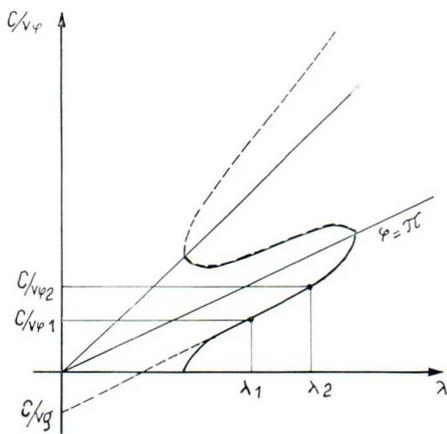


Fig. 4.

### OPTIQUE « O » ET OPTIQUE « M »

Une autre distinction est introduite par le mode de propagation du faisceau. Dans le klystron et le TPO classiques, un canon à symétrie axiale, comportant une cathode, une anode, et diverses électrodes de focalisation suivant les cas, produit un faisceau cylindrique, plein ou creux, qu'un champ magnétique de focalisation empêche de diverger. C'est l'optique couramment appelée type « O » représentée fig. 5 a.

La fig. 5 b représente l'optique type « M ». Les électrons, injectés à gauche à une vitesse  $\vec{V}_e$ , voyagent entre deux électrodes entre lesquelles une tension maintient un champ

électrique  $\vec{E}$  perpendiculaire à leur vitesse. Un champ magnétique  $\vec{B}$  est produit, perpendiculaire à  $\vec{V}_e$  et à  $\vec{E}$ , avec un signe tel qu'il produise une force s'opposant à celle due à  $\vec{E}$ .

La forme générale des trajectoires est la superposition d'un mouvement latéral d'entraînement à une vitesse  $\frac{E}{B}$  et d'un mouvement circulaire à la fréquence  $\omega_B = \frac{eB}{m}$  c'est-à-dire des épicycloïdes. En 5 c, on suppose les électrons injectés à  $V_e = \frac{E}{B}$ . Leurs trajectoires sont alors parallèles aux électrodes. En 5 d, on suppose qu'ils partent de l'électrode négative, à vitesse nulle, et ils décrivent alors des cycloïdes pures. C'est le cas dans le magnétron par exemple.

L'optique « M » présente sur l'optique « O » un avantage fondamental important qui est de conduire à un rendement de conversion beaucoup plus élevé. On choisira donc les types de tubes correspondants toutes les fois que le rendement sera important : économie en installations d'alimentation, moins d'énergie résiduelle à dissiper sur les électrodes.

## RÉALISATIONS

Les différentes réalisations qui sont apparues depuis 1947 sont le résultat des différentes combinaisons entre les différents systèmes d'optique et modes d'interaction HF. Le choix du tube à utiliser est, dans chaque cas, fait en fonction des impératifs d'emploi.

### TPO (Mode direct - Optique « O »)

Ce tube amplificateur a pour caractéristique principale une large bande due à la structure à retard, généralement une hélice, employée pour mettre en synchronisme le faisceau d'élec-

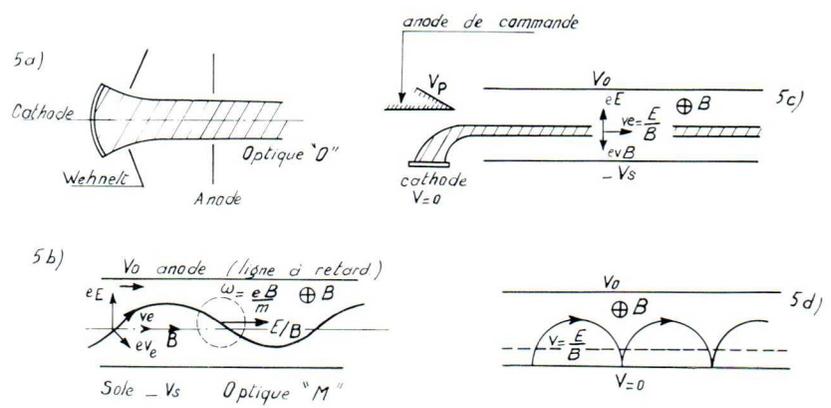


Fig. 5.

trons et les ondes HF. Cette structure a en effet une très faible dispersion  $\left(\frac{V_c}{V_g}\right)$  c'est-à-dire qu'elle permet un synchronisme sur une bande très étendue de fréquence (l'octave et plus). Le gain est élevé, de l'ordre de 35 à 40 dB, ce qui simplifie la construction des amplificateurs. Le rendement est de l'ordre de 15 à 20 %, mais on peut obtenir des valeurs nettement supérieures en employant des procédés comme le collecteur dépressé ou l'hélice à pas variable — dans ces cas, on arrive à des valeurs de 35 % et plus — Le rapport signal sur bruit est  $> 70$  dB ; c'est donc un tube peu bruyant. La caractéristique Puissance de sortie en fonction de la Puissance d'entrée présente un coude puis une saturation. Si l'on se place sur la partie linéaire de cette caractéristique, on obtient un fonctionnement sans distorsion.

Ce genre d'amplificateur existe sous plusieurs formes qui utilisent au maximum l'une ou l'autre, ou l'ensemble des propriétés du TPO.

**Tubes faible bruit.** — On sait que tout tube amplificateur (ou tout mélangeur à cristal) apporte un bruit propre qui vient s'ajouter au bruit accompagnant le signal d'entrée. Le facteur de bruit, N, généralement exprimé en décibels, est une mesure du bruit rapporté au signal à la sortie comparé au bruit rapporté au signal à l'entrée. On cherche à le rendre aussi faible que possible. Comme point de comparaison, le facteur de bruit d'un mélangeur à cristal comme on en utilise à la réception dans un radar ou un relais hertzien, est de l'ordre de 8 à 15 dB. Les TPO d'il y a quelques années avaient aussi un facteur de bruit de l'ordre de 8 à 15 dB.

Le bruit propre du tube vient essentiellement de l'amplification par le faisceau lui-même des fluctuations de vitesse et de densité des électrons dans le canon. Grâce à des électrodes supplémentaires à des potentiels judicieusement choisis, on peut étouffer ces fluctuations et réduire ce bruit.

Actuellement des facteurs de bruit de 5 à 6 dB sont couramment obtenus sur des TPO du type illustré par les figures 6 a et b, fonctionnant en bande S, c'est-à-dire autour de 3 GHz. Des résultats analogues sont obtenus à 10 GHz : 7 dB et à 1,2 GHz : 4 dB. fig. 7 a et b. Ces tubes fonctionnent en aimant permanent. Leur puissance est faible : de l'ordre du milliwatt. Ils servent d'étage amplificateur à la réception, avant le changement de fréquence.

En laboratoire, on obtient actuellement des résultats encore meilleurs : jusqu'à 3 dB à 3 GHz. Ces résultats sont encore difficiles à reproduire sur des tubes opérationnels.

Les tubes faible bruit montés sur des récepteurs radars permettent d'en améliorer nettement la portée (20 à 40 %). En effet, placé en réception directe avant le mélangeur, l'ampli faible bruit permet d'avoir à l'entrée-récepteur un bon rapport signal sur bruit après amplification, ce qui permet de détecter des échos normalement noyés dans le bruit sans le TPO ; d'où augmentation de la portée.

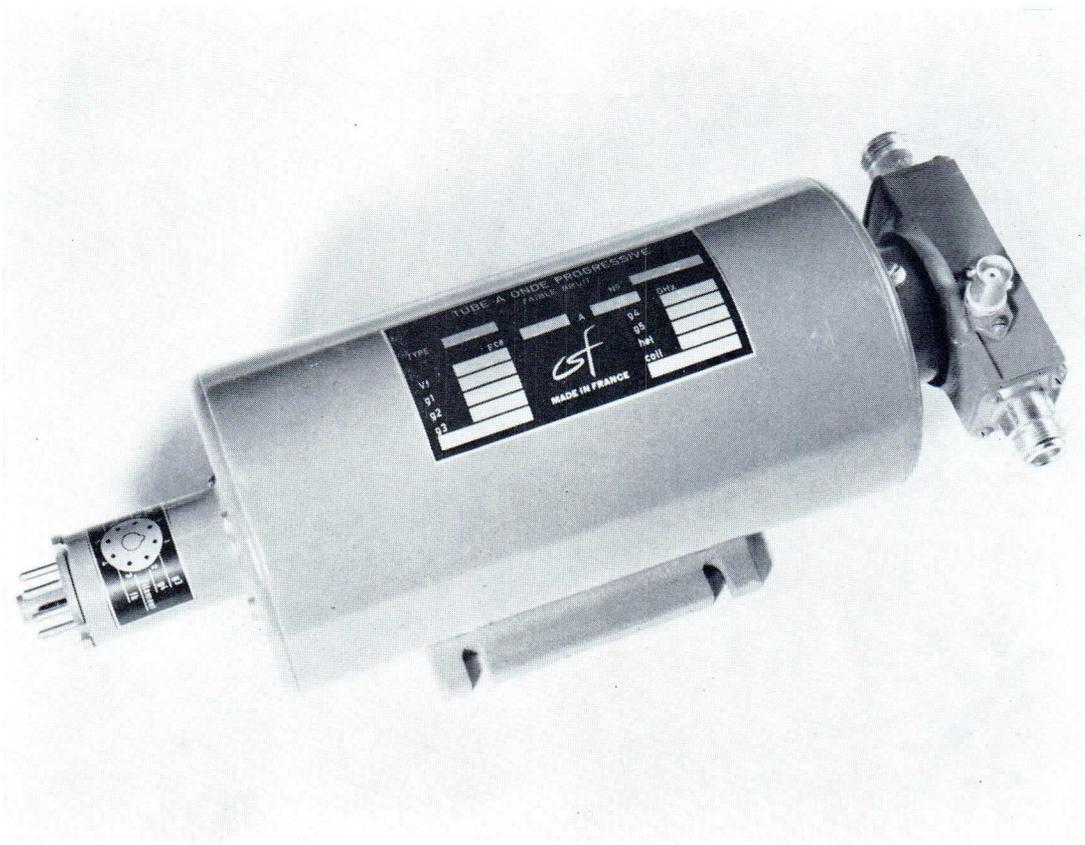
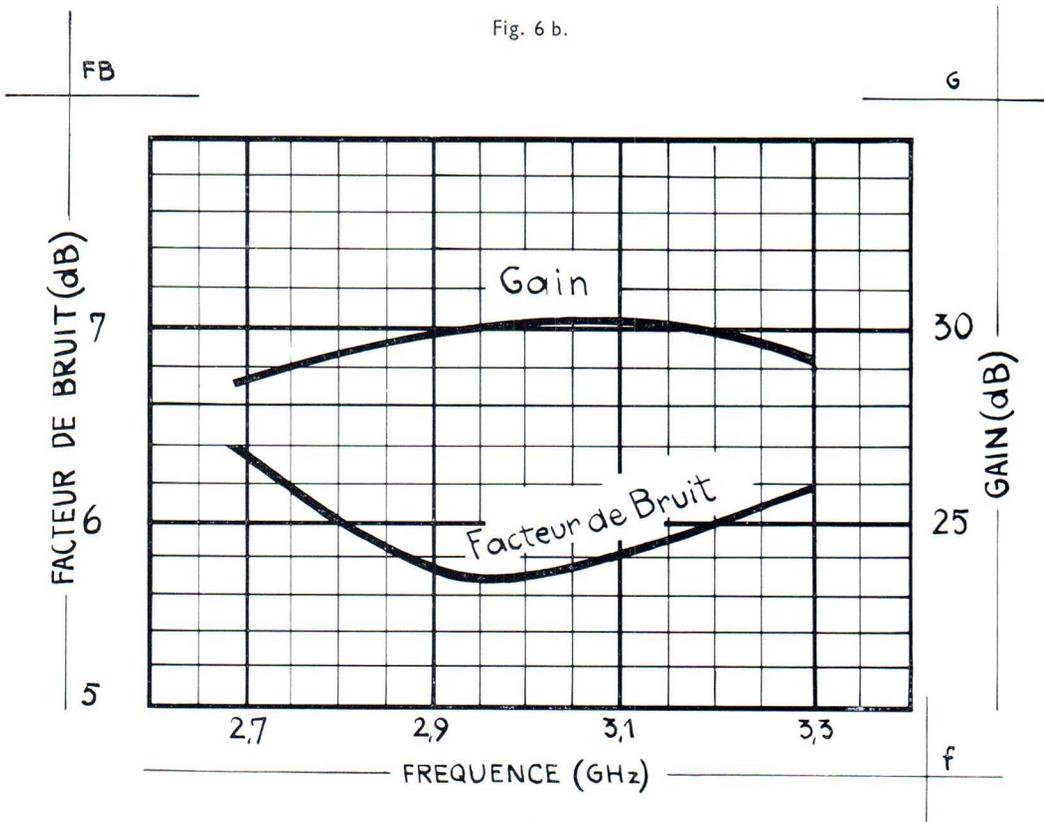


Fig. 6 a.

Fig. 6 b.



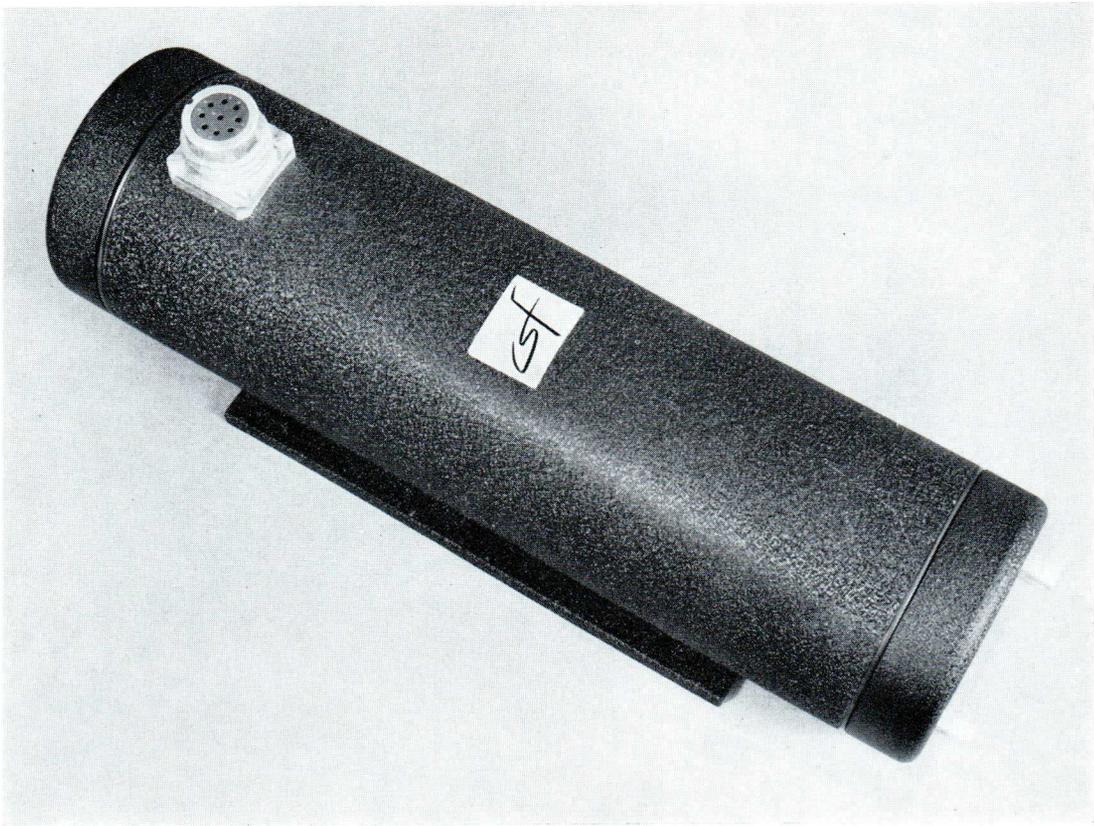
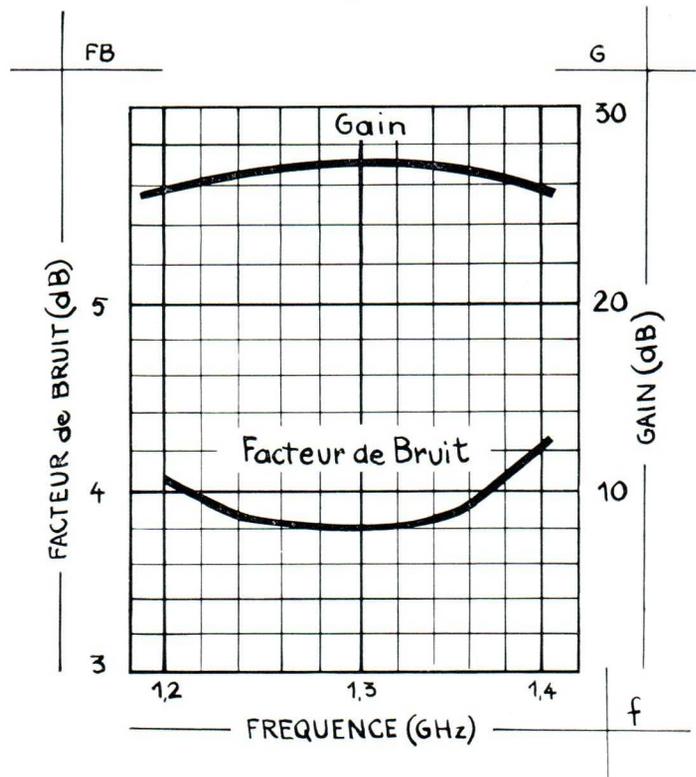


Fig. 7 a.

Fig. 7 b.



En outre, ces tubes ont la propriété de se saturer quand la puissance d'entrée est supérieure à une valeur relativement basse (quelques milliwatts) - ce qui permet de protéger les cristaux situés dans le mélangeur à la sortie du TPO et en augmente la durée de vie.

Des TPO faible bruit ont été montés dans ce but sur divers équipements radar, en bande S en particulier (voir fig. 8-9-10).

Ces tubes sont relativement peu encombrants et légers, ce qui permet de les loger en général à proximité de la tête HF du récepteur-radar et limite les pertes de transmission ; ils sont à aimants permanents et ne nécessitent pas, de ce fait, d'alimentation pour la focalisation, et n'ont besoin d'aucun système de refroidissement.

Leur fonctionnement est à large bande, ce qui permet de les utiliser dans les radars à bande large d'émission.

Un tube faible bruit a été étudié à 80,0 GHz ; il a fonctionné avec un facteur de bruit de 17 dB et un gain de 15 dB. Ces résultats peuvent être améliorés.



Fig. 8.

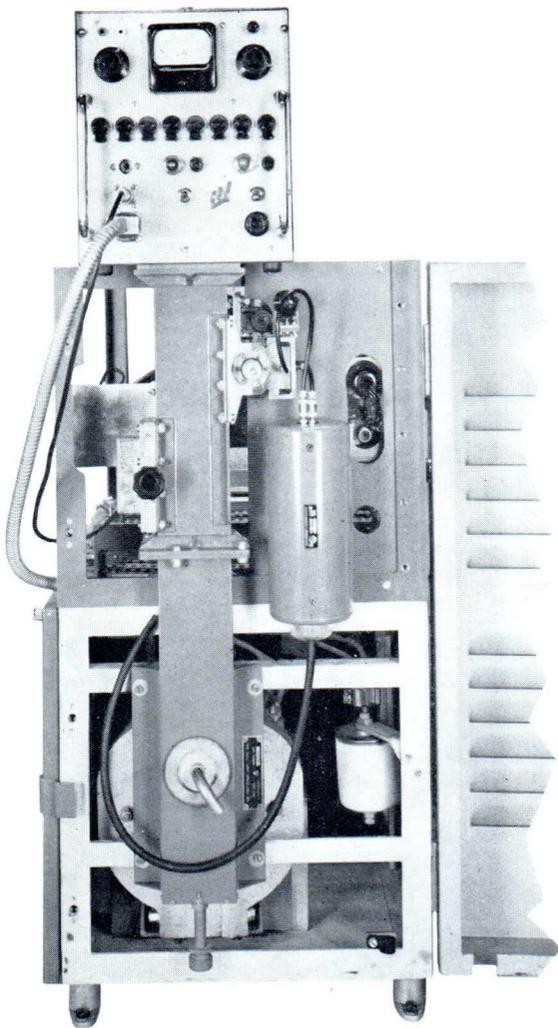


Fig. 9.

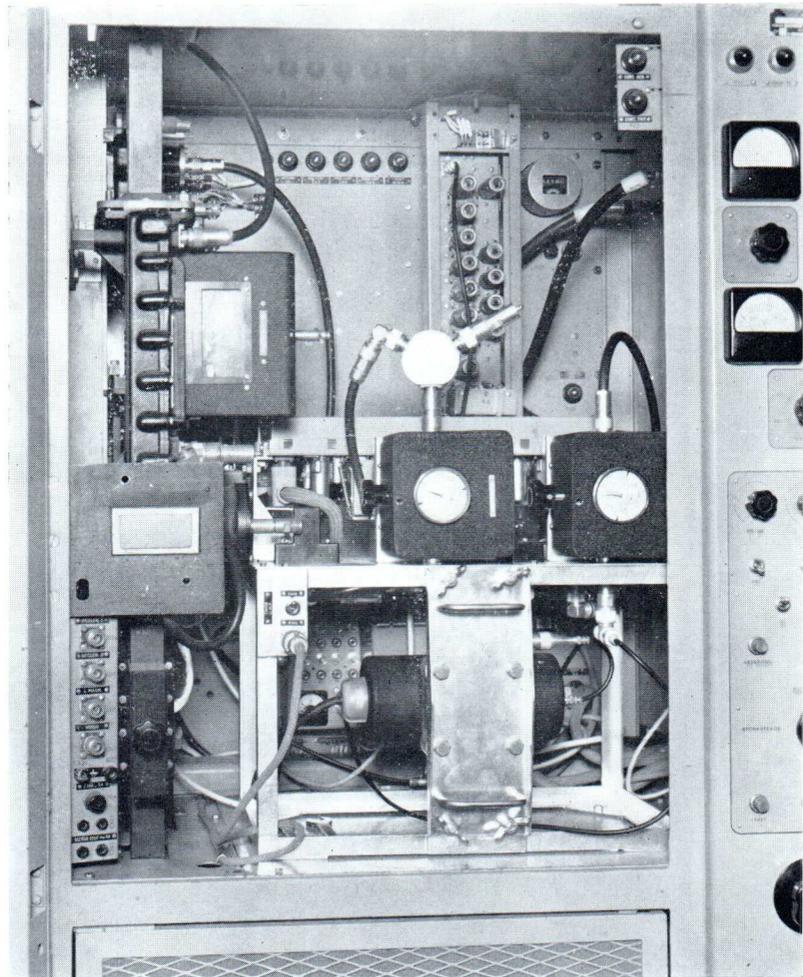


Fig. 10.

Une série de tubes faible bruit, à large bande et gain élevé, est en cours de développement pour couvrir une gamme étendue de fréquence.

Sont en production les tubes suivants :

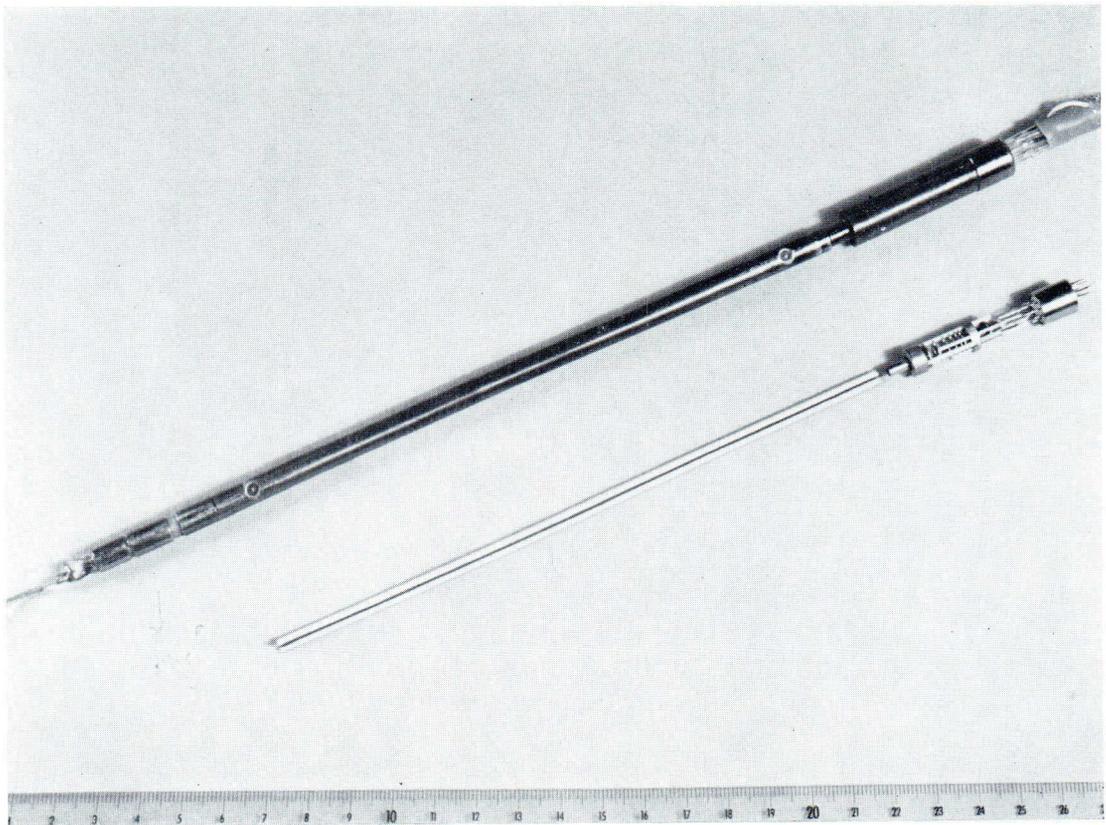
- |            |                          |
|------------|--------------------------|
| — 2-4 GHz  | Facteur de bruit < 12 dB |
| — 4-7 GHz  | Facteur de bruit < 13 dB |
| — 7-11 GHz | Facteur de bruit < 14 dB |

Les tubes bande L (1-2 GHz) et bande K (11-18 GHz) envisagés, auraient un facteur de bruit de 11 et 15 dB respectivement. Le gain pour tous les tubes est supérieur à 35 dB dans la bande. Ces tubes sont à focalisation magnétique alternée, donc peu encombrants et légers (1 kg), ils sont robustes car de construction céramique-métal, et prévus pour des conditions d'environnement et de chocs et vibrations assez sévères. (voir fig. 11-12-13).



Fig. 11.

Fig. 12.



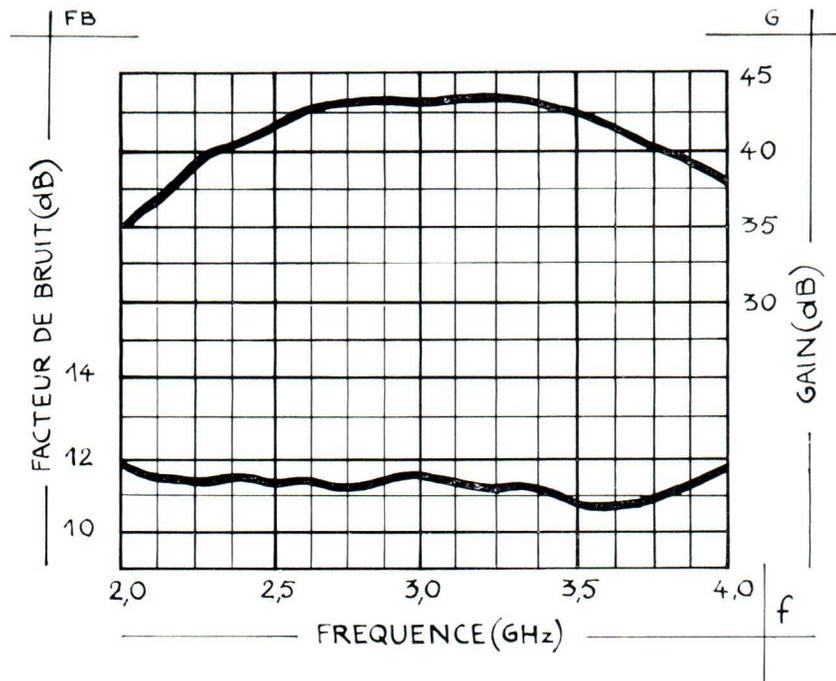
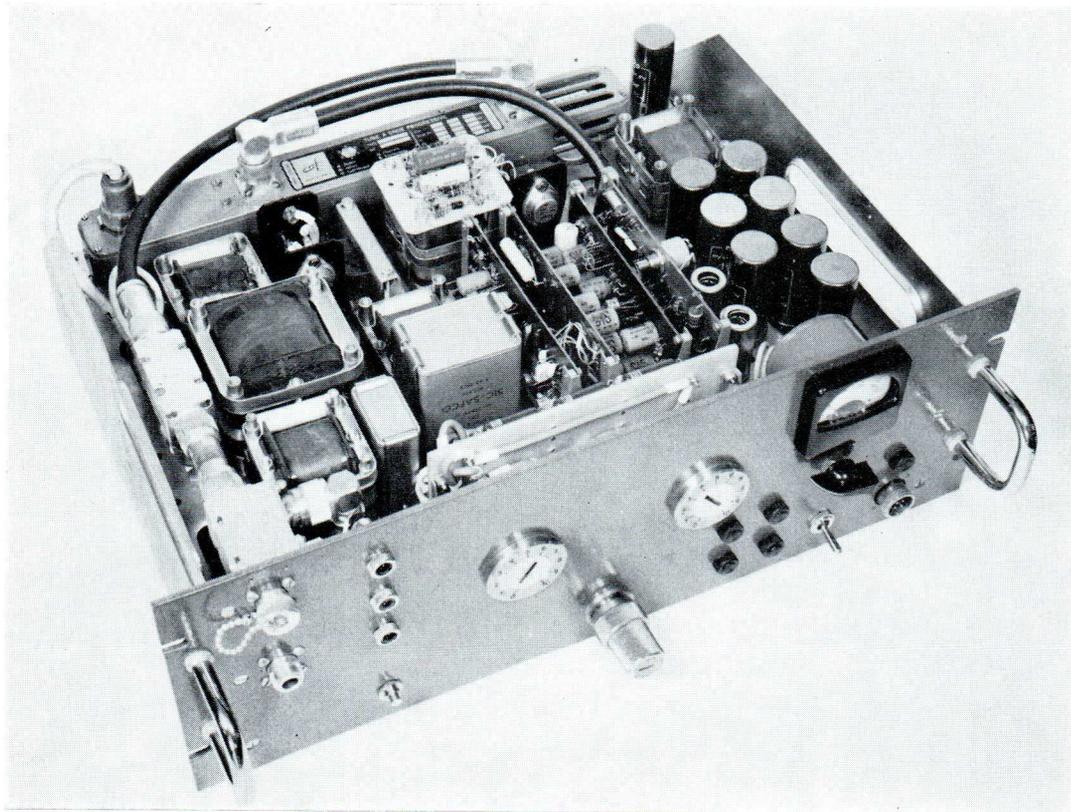


Fig. 13.

Fig. 14.



Ces tubes fonctionnant à large bande peuvent être utilisés sur des équipements destinés à la réception d'émissions hyperfréquence sur un spectre large; avec un nombre restreint de tubes on parvient à couvrir une gamme étendue de fréquence (1 à 18 GHz en 5 tubes). Leur bruit relativement faible permet d'avoir des portées valables, et leur propriété de saturer pour un faible niveau d'entrée assure une bonne protection des cristaux de détection.

**Tubes à grand gain.** — Le TPO peut être employé comme tube d'émission, dans les relais hertziens en particulier. Il s'agit de produire une dizaine de watts avec un gain aussi élevé que possible (fig. 14).

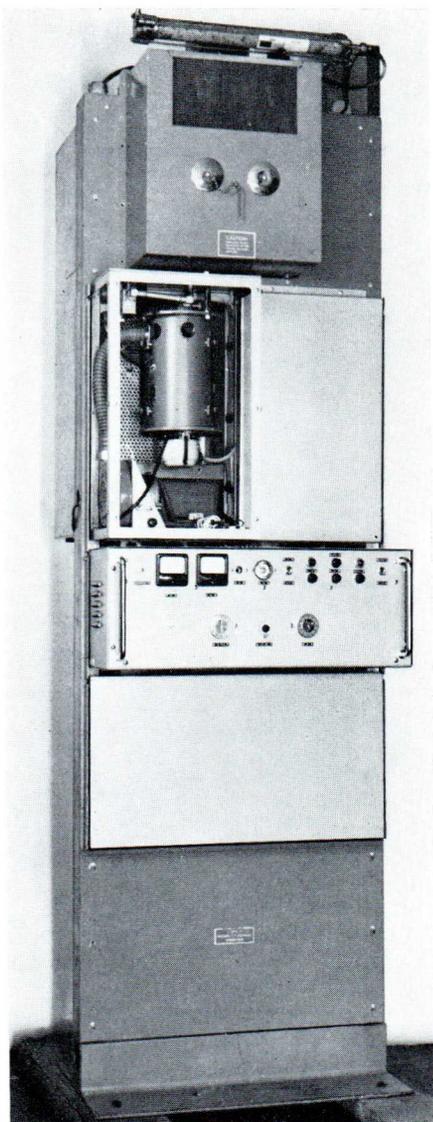


Fig. 15.



Fig. 16.

Sur certains types de faisceaux hertziens anciens, utilisant un klystron à l'émission encore en fonctionnement, on a été conduit à ajouter un TPO et son coffret d'alimentation pour renforcer la puissance de sortie dans les cas où les liaisons déjà établies n'offraient pas une sécurité de fonctionnement suffisante. En outre, le TPO assure un découplage assez important entre l'antenne et l'oscillateur modulé très souvent en fréquence, ce qui permet un fonctionnement linéaire en fréquence (voir fig. 15-16).

Le facteur de mérite d'un TPO est élevé. Ce produit : gain  $\times$  largeur de bande, caractérise un tube amplificateur pour l'emploi en télécommunications.

**Tubes de petite puissance.** — Une série de tubes de faible puissance (1 W) est en cours de développement. Ces TPO ont une très large bande, et un gain supérieur à 30 dB ; ils sont à focalisation magnétique alternée, donc légers et peu encombrants. En production : le tube 1-2 GHz.

En développement : les tubes 2-4 GHz - 4-8 GHz.

Ces tubes sont principalement destinés à des équipements de mesure, et certaines applications militaires comme des répondeurs, des balises à portées réduites.

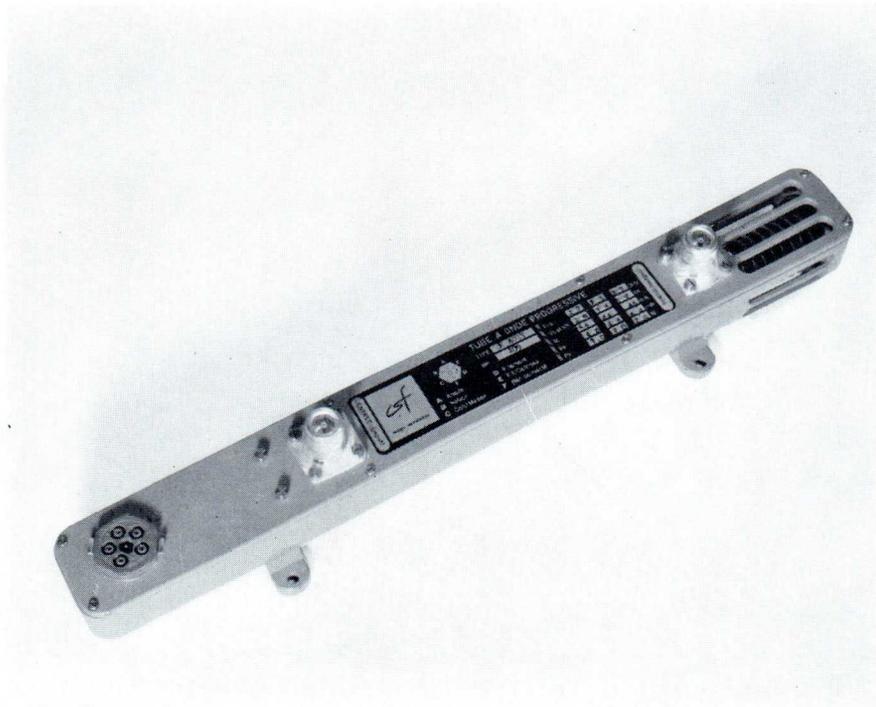


Fig. 17 a.

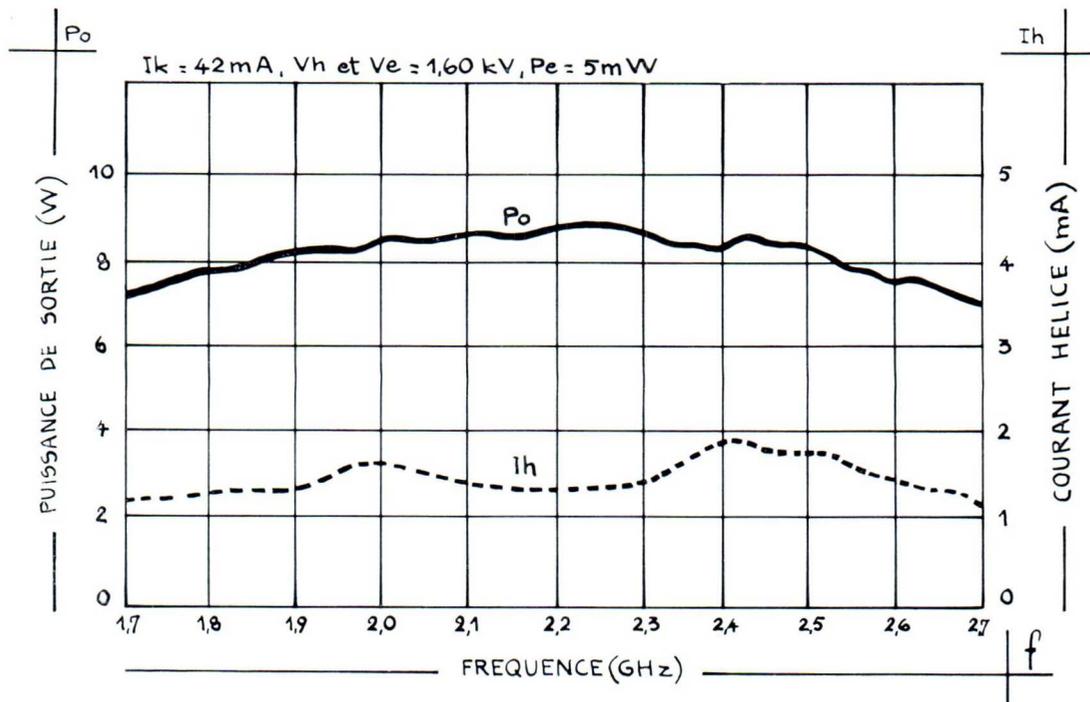


Fig. 17 b.

Les figures 17 a et b montrent les résultats d'un tube moderne utilisant une focalisation magnétique alternée conduisant à un encombrement et un poids réduits. Le gain peut atteindre 35 dB et la bande passante dépasser 50 %. Des tubes analogues existent dans les bandes L (1 GHz), S (3 GHz), C (5 GHz) et X (10 GHz). Un tube a été étudié à 37 GHz. Il donne une puissance de l'ordre du watt, un gain de 20 dB.

Signalons qu'il existe des TPO à mode inverse. Leur caractéristique principale est d'amplifier dans une bande étroite de fréquence, mais cette bande peut être déplacée dans une bande plus large en réglant la haute tension, ce qui est intéressant pour certaines applications militaires.

**Tubes en impulsion.** — Ces tubes sont utilisés généralement comme étages intermédiaires d'une chaîne de radar de puissance à bande large, leur gain élevé limite le nombre d'étages. Plusieurs types de ces tubes sont en fonctionnement depuis quelques années sur des radars. Le TPO 025 fournit 5 W en bande L ; Le TPO 125 fournit 4 kW crête en bande L.

**Tube de Puissance.** — Certaines applications impliquent pour les télécommunications spatiales l'emploi de TPO de puissance en continu à large bande. Plusieurs kilowatts vers 6 GHz ont été obtenus par divers constructeurs.

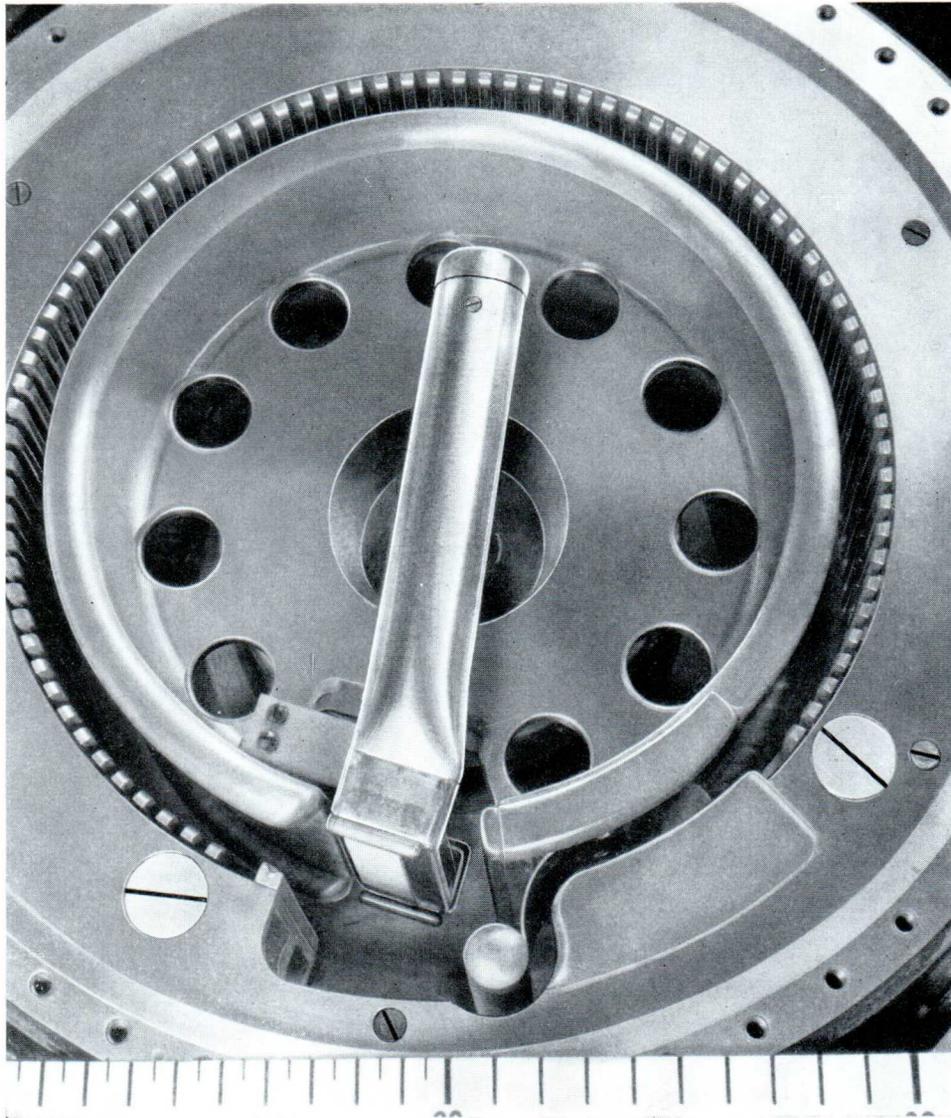


Fig. 18.

### **TPOM (Mode direct - Optique « M »)**

Cet amplificateur à champs croisés a fait l'objet d'études importantes à la C.S.F. ces dernières années. La figure 18 montre la structure interne du tube, où l'on reconnaît la disposition de la figure 5 c sous forme circulaire. La sole intérieure est portée à la haute tension négative, et supporte la cathode. L'anode, à la masse pour des raisons pratiques, contient la ligne à retard.

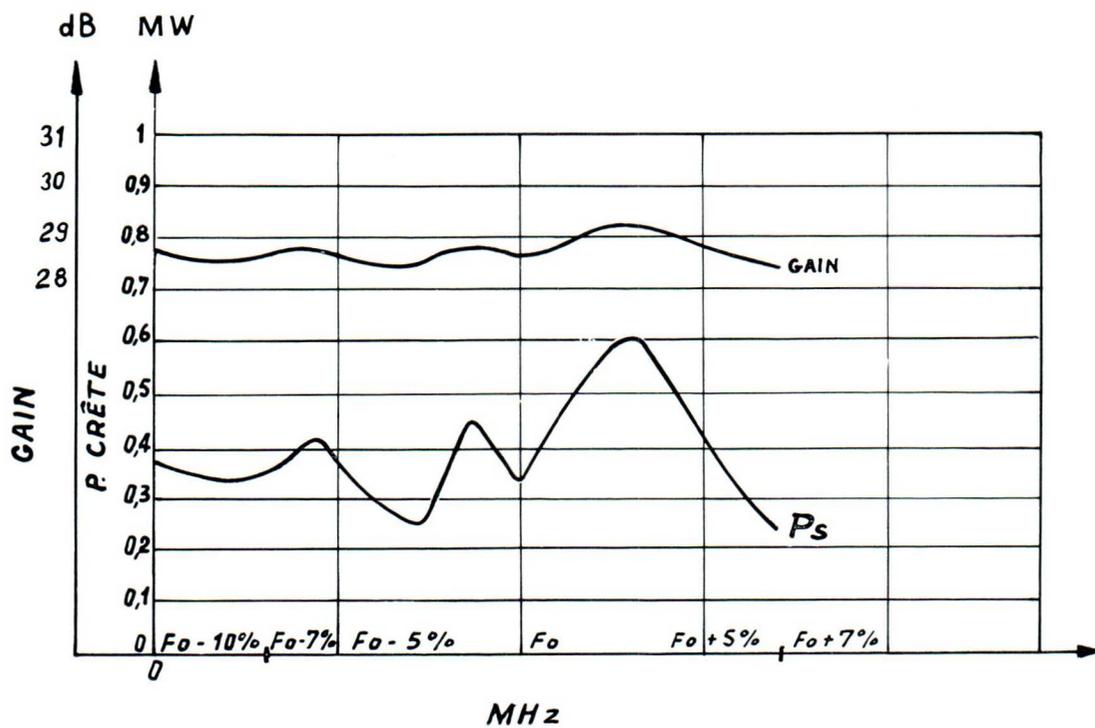
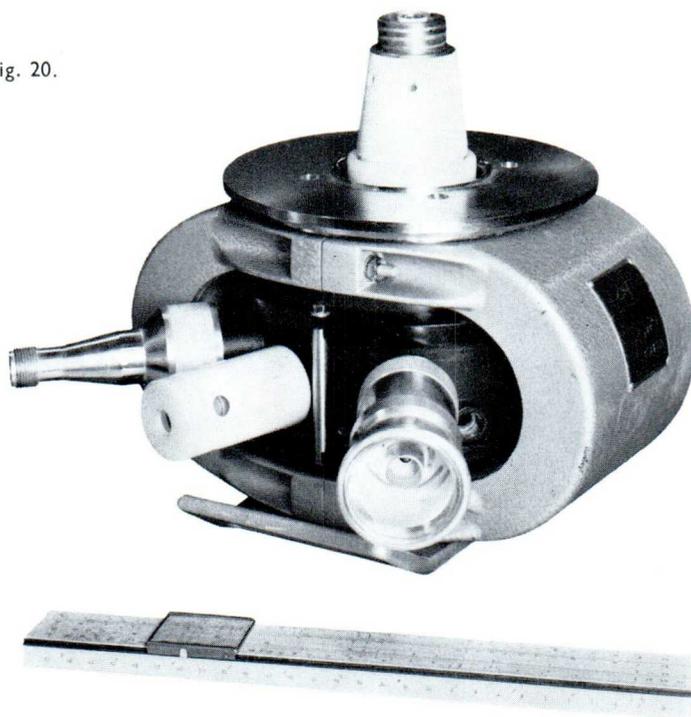


Fig. 19.

Ce type de tube présente les caractéristiques suivantes : rendement élevé (des valeurs supérieures à 70 % ont été mesurées) ; large bande, de l'ordre de 20 % et plus ; faible encombrement grâce à une structure circulaire rendue possible par le principe même du tube ; gain d'environ 20 dB ; à puissance de sortie égale, haute tension plus faible que sur les autres types de tubes.

Fig. 20.



L'optique « M » est généralement bruyante, ce qui conduit pour ce type de tube à un rapport signal sur bruit de l'ordre de 20 dB. Cependant, des études ont été effectuées ces dernières années sur la réduction du bruit et ont conduit à des valeurs nettement supérieures, de l'ordre de 30 dB et plus, au niveau de 2 MW en bande L, avec un gain dépassant 20 dB.

Ces tubes présentent une bonne linéarité et une bonne stabilité de phase. Ils sont généralement employés comme étages de puissance en sortie sur des radars, les étages intermédiaires étant des TPO.

La mise en parallèle de deux TPOM est facilitée par leur bonne stabilité de phase et conduit à une perte de puissance assez faible (6 à 7 %). Ce procédé permet d'obtenir des puissances moyennes élevées.

Comme on l'a dit précédemment, ces tubes sont utilisés pour des émetteurs de haute puissance. Par exemple, un modèle expérimental récent fonctionne en bande L : autour de 1 300 MHz. Il couvre une bande de 20 % avec une puissance crête de 10 MW, une puissance moyenne de 15 kW, un gain de 18 dB. Le rendement est de 50 %. Des modèles à 1 MW de puissance crête ont permis d'atteindre des gains compris entre 25 et 30 dB : fig. 19.

Des études en cours sur des TPOM travaillant en continu ont pour objectif plusieurs kW en bande S et 1 kW en bande X, avec un gain de 20 dB.

Des modèles de moyenne puissance en impulsion (100 kW crête) ont été réalisés en bande L et sont en étude en bande S, avec une focalisation par aimant permanent. L'encombrement et le poids sont considérablement réduits (fig. 20).

**Amplitron et CFA.** — Des constructeurs américains ont développé des amplificateurs à champs croisés utilisant d'autres combinaisons :

- L'amplitron de Raytheon utilise une ligne sur mode inverse et une sole à émission, c'est-à-dire que l'optique est du type de la figure 5 d. Ceci présente quelques inconvénients : le mode inverse oblige à limiter le gain, faute de quoi on risque d'osciller en carcinotron, et l'optique purement magnétron est une source importante de bruit parasite. Des tubes existent à 10 cm, produisant 3 MW et 15 kW avec 7 dB de gain et plus de 60% de rendement.
- Le CFA de SFD utilise également une optique magnétron mais avec une ligne sur mode direct. En bande X, il fournit 500 kW crête avec 17 dB de gain et 0,1  $\mu$ s de largeur d'impulsion et une largeur de bande de 300 MHz.
- Litton étudie un tube linéaire donnant 700 W continus en bande X avec un gain de 13 dB et une largeur de bande de 1 700 MHz.

### **Carcinotron « O » (Mode inverse - Optique « O »)**

Le Carcinotron est, comme expliqué plus haut, un oscillateur accordable par variation de haute tension. Dans la version type « O », le rendement est faible et les tubes existants

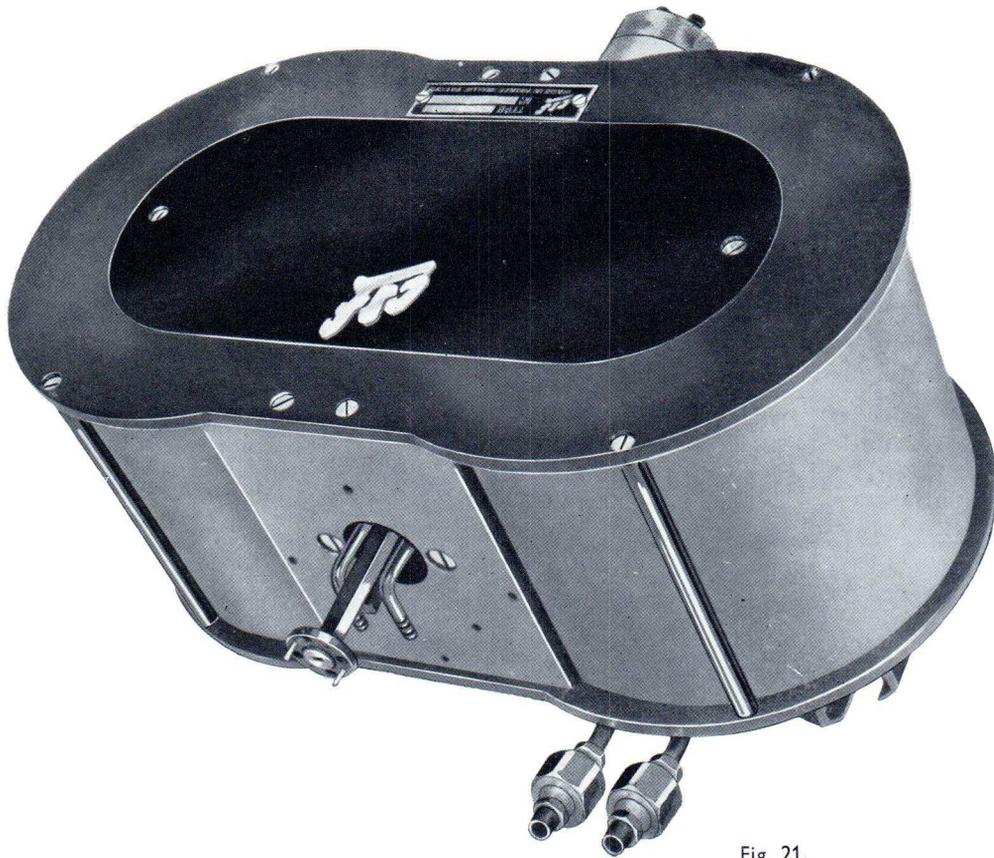
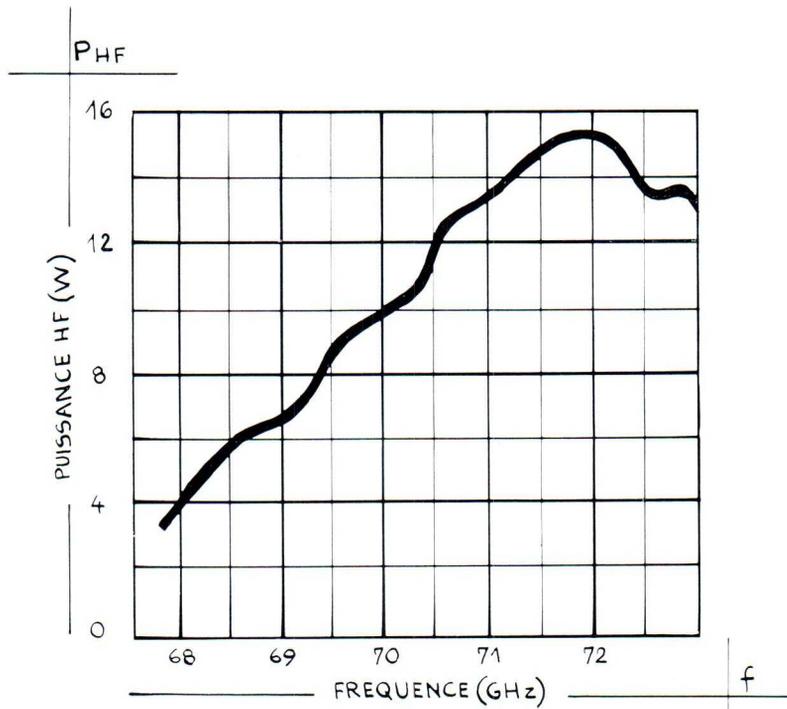


Fig. 21.



ont été développés en premier lieu comme générateurs de signaux ou oscillateurs locaux. Les possibilités de modulation de fréquence rapide et sur large bande en font un excellent pilote de chaînes d'amplificateurs pour émetteurs à modulation ou codage de fréquence, et sont par ailleurs précieuses pour les recherches en spectroscopie UHF.

Des tubes ont été développés par de nombreux constructeurs étrangers, mais la C.S.F. offre la gamme la plus complète de tubes et les performances les plus avancées. Une série de tubes couvre complètement le spectre de fréquence de 1 000 MHz (30 cm) à 100 000 MHz (3 mm) ; avec un niveau de puissance décroissant de 200 mW à 2 mW.

Aux fréquences très élevées le rendement des tubes « M » décroît et les tubes « O » reprennent l'avantage. C'est ce qui a conduit à étudier des carciotrons « O » relativement puissants. Le tube C.S.F. CO 40 (fig. 21) produit par exemple une puissance de 10 W à 15 W (régime permanent) dans une bande allant de 68 000 à 72 000 MHz. Le tube C.S.F. CO 20 produit une puissance supérieure à 1 W (régime permanent) dans une bande de 5 à 7 % autour de 150 000 MHz (2 mm). A 300 000 MHz on atteint 500 mW et l'obtention de 1 W est possible. En ce qui concerne des fréquences élevées, le CO 03 a atteint 790 000 MHz en donnant quelques milliwatts déplaçables sur une bande de 60 000 MHz. Les CO 10, 20, 40 ... sont produits en série.

## APPLICATIONS

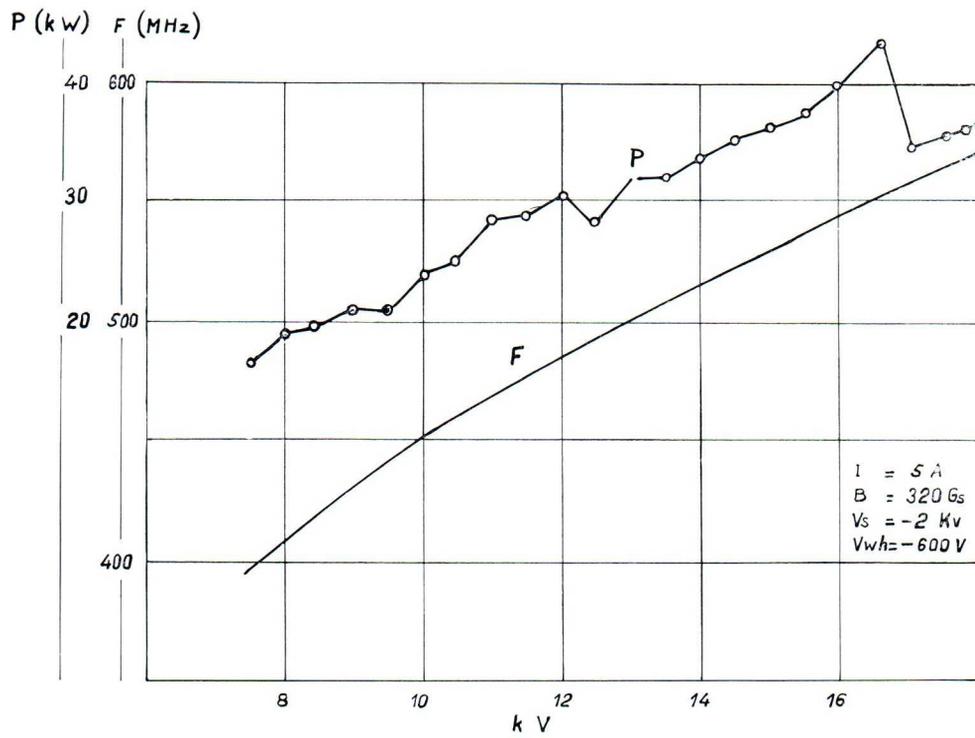
Les CO sont utilisés comme pilotes et comme oscillateurs locaux de chaînes radar, de relais hertziens, des appareils aéroportés (télécom. navigation Doppler). Comme générateurs dans des appareils de mesures (banc hyperfréquence, générateurs hyperfréquence) ; en interférométrie, spectrométrie, récepteurs panoramiques, réflectomètres.

La possibilité d'utilisation des ondes millimétriques en télécommunication ouvre des perspectives variées. En effet, la bande passante de l'ordre de 10 % d'un CO à 1 mm donne une largeur de bande de 30 000 MHz, c'est-à-dire que tout le spectre hertzien, utilisé couramment, pourrait moduler ce tube en fréquence. Un volume considérable d'informations peut donc être véhiculé de cette façon. Si certaines fenêtres dans le spectre de fréquence laissent, seules, passer sans atténuation excessive les ondes millimétriques au niveau du sol, il n'en est plus de même à très haute altitude, ou dans l'espace. Là, les ondes millimétriques se révèlent comme un outil idéal avec les avantages suivants : petites dimensions des équipements, très grande directivité, possibilité de modulation dense. On peut aussi envisager des applications diverses comme des télésures, des détections, des guidages, des procédés de localisation et de navigation.



Fig. 22 a.

Fig. 22 b.



## CARCINOTRON « M » (Mode inverse - Optique à champs croisés)

C'est la 4<sup>e</sup> combinaison possible : un tube, sous forme circulaire, utilisant une optique du genre 5c et une ligne travaillant sur mode inverse. Oscillateur accordable par la haute tension, à rendement élevé, le carcinotron « M » est utilisé dans des systèmes de brouillage.

A côté des modèles en production, couvrant le spectre des hyperfréquences avec des puissances variant de 2 kW à 100 W, les études plus récentes ont porté sur des modèles encore plus puissants, compte-tenu de leur bande de fréquence :

— le tube C.S.F. CM 36 produit 25 à 50 kW (régime permanent) entre 300 et 570 MHz (fig. 22). Les dimensions du tube sont liées à la longueur d'onde : 60 cm environ.

La ligne est constituée de barreaux tubulaires refroidis par un écoulement d'eau.

— le tube C.S.F. CM 08 produit 20 W (régime permanent) dans une bande de 20 % autour de 37 000 MHz (8 mm).

Des études internes ont montré la possibilité d'utiliser le CM comme un oscillateur piloté, en injectant par une connection supplémentaire une puissance HF fixant la fréquence d'oscillation du CM.

En particulier, si le pilote est un CM de même puissance, on obtient ainsi une puissance doublée, modulable en fréquence.

Si le pilote est un oscillateur à plus bas niveau, on assure l'entraînement en fréquence sur une bande dont la largeur dépend de ce niveau ; par exemple, en bande S, avec un pilote à 20 dB au-dessous de la puissance du CM, le verrouillage en fréquence, les tensions du CM étant fixes, se conserve sur une dizaine de MHz. Cela montre la possibilité d'utiliser les avantages du carcinotron « M » (bon rendement - faible encombrement - grande bande d'accord) en y ajoutant la possibilité d'une grande stabilité en fréquence et d'une modulation en fréquence (de faible amplitude) effectuée à bas niveau, sur le pilote.

Ce pilotage diminue le bruit du CM. Des études complémentaires sont en cours pour assurer la possibilité d'utilisation du CM dans des applications à fréquence stable, du type télécommunications.



## OUVRAGES A CONSULTER



On trouvera des éléments théoriques et une description détaillée des différents types et techniques dans les ouvrages suivants :

- **Microwave magnetrons**, COLLINS, Radiation Laboratory Series (MacGraw Hill) (résultat du travail fait aux U.S.A. pendant la deuxième guerre mondiale).
- **Tubes à Modulation de Vitesse**, R. WARNECKE et P. GUENARD (Gauthier-Villars). Cet ouvrage donne les éléments théoriques de base des TMV et une revue exhaustive des idées nouvelles en 1950, qui ont conduit aux divers perfectionnements qui sont apparus depuis : klystrons large bande, etc.
- **Traveling wave tubes**, John R. PIERCE (Van Norstrand). Consacré uniquement au TPO.
- **Space charge waves**, BECK (Pergamon Press). Ouvrage donnant les éléments théoriques de base pour klystron, TPO, et tubes « M ».
- **Crossed field microwave devices**, OKRESS (Academic Press). Cet ouvrage en 2 volumes datant de juin 1961, fait appel à des auteurs nombreux et fait une revue exhaustive de tous les problèmes se rattachant aux tubes « M » : lignes à retard, optique, instabilités, différents types de tubes.
- **Physique et technique des tubes électroniques**, CHAMPEIX (Dunod). Contient aussi bien des rappels des lois fondamentales que des détails sur les technologies employées dans les tubes électroniques.



---

IMPRIMERIE MARCEL BON, VESOUL  
Dépôt légal 1070-III-64  
Imprimé en France

---



