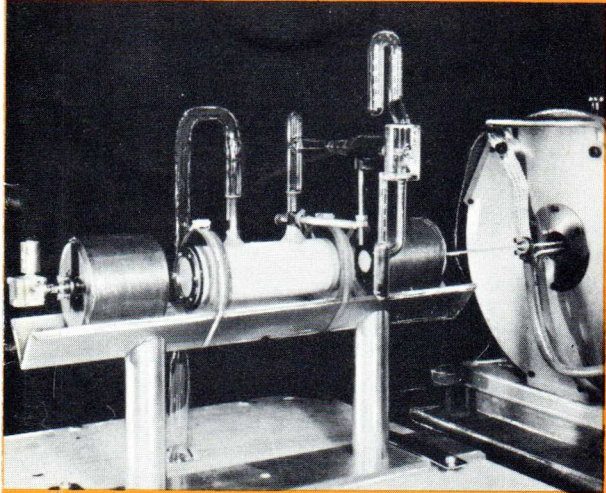


LES CARCINOTRONS 0 MILLIMETRIQUES



Mesure de la raie d'absorption de la molécule d'ammoniaque avec un CO 0,5 mm.



CO 10-1 W en Aimant permanent.

CSF

Depuis plusieurs années, les CO millimétriques C.S.F. fonctionnent dans les laboratoires du monde entier pour des mesures physiques que seules les ondes millimétriques permettent : mesure de plasmas, étude de résonance paramagnétique, radiométrie, études de la structure fine de la matière, pompage de maser, etc ...

Des études de propagation de 8 à 3 mm ainsi que des essais et mises au point de composants millimétriques ont pu être effectuées grâce à ces générateurs, pour la préparation d'équipements futurs.

L'expérience acquise par l'amélioration constante des modèles existants, et par la résolution de nombreux obstacles d'ordre technologique, a conduit à la production de tubes de hautes performances.

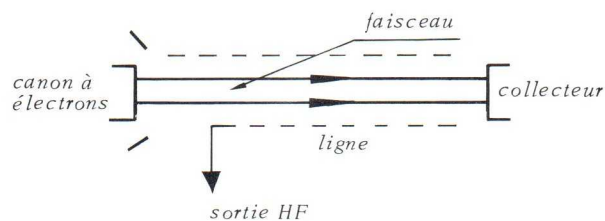
Ainsi des puissances relativement grandes ont été obtenues : 40 Watts à 4 mm, 1 Watt à 1 mm, rendant l'emploi de ces tubes très commode. De plus des fréquences très élevées ont pu être atteintes.

Les étapes suivantes ont été franchies : 330 GHz en 1960, 430 GHz en 1961, 517 GHz en 1962, 625 GHz l'année suivante et actuellement la fréquence de 870 GHz a été obtenue avec une puissance disponible de quelques milliwatts.

Le domaine de fréquence couvert par les différents modèles de Carcinotrons "O" s'étale de 0,98 GHz jusqu'à 38 GHz sans discontinuités, des CO millimétriques prennent le relais, dans le domaine de 8 mm à 0,4 mm de longueur d'onde. L'état d'avancement des CO millimétriques ainsi qu'un tableau des tubes commercialisés est donné ci-après.

I-PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le principe de fonctionnement des carcinotrons "O" est basé sur l'interaction longitudinale d'un faisceau électronique avec un harmonique d'espace inverse se propageant dans une ligne à retard. L'interaction prend naissance quand la vitesse du faisceau est égale à la vitesse de phase de l'onde HF dans la ligne. Une partie de l'énergie cinétique du faisceau est alors transformée en énergie HF qui se propage dans la ligne vers la sortie (voir schéma de principe). Une réaction prend naissance et le tube se met à osciller si le couplage entre les ondes de la ligne et les électrons du faisceau est suffisamment élevé. La caractéristique vitesse de phase, fréquence de l'harmonique d'espace est nécessairement dispersive, de telle sorte que, au moins dans une bande limitée et pour une vitesse de faisceau donnée, il existe une fréquence pour laquelle le synchronisme faisceau onde est atteint. Ce phénomène est la propriété essentielle du carcinotron, c'est-à-dire l'accord électronique de fréquence par variation de tension.



II-LIMITATIONS AUX TRES HAUTES FREQUENCES ET PROBLEMES DE REALISATION

Parmi les facteurs physiques et pratiques qui limitent le fonctionnement du carcinotron "O" aux très hautes fréquences, les trois principaux à considérer sont : (1), (2)

- la perte ohmique de la ligne à retard,
- la dispersion des vitesses des électrons du faisceau électronique,
- les imperfections de la ligne.

Ce sont ces facteurs qui nous conduisent au choix du type de ligne à retard, du type de canon électronique ainsi que des modes de réalisation.

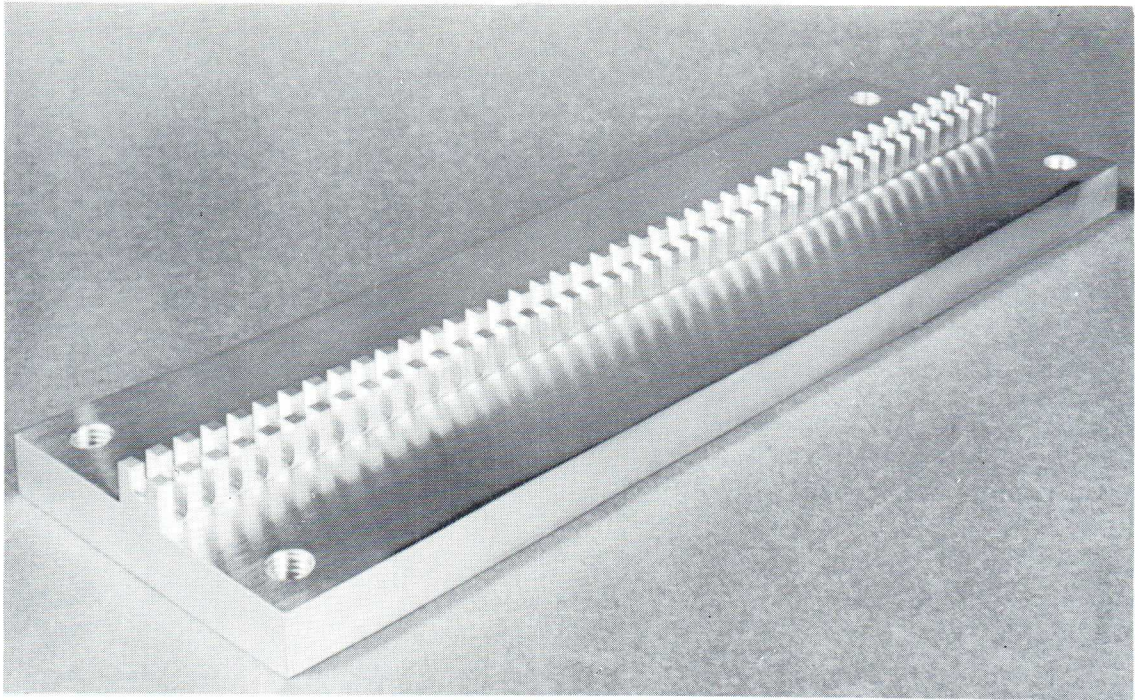



FIGURE 1 - Ligne à vannes,

II-1. LIGNE A RETARD

C'est la ligne à vannes qui a été choisie pour la génération des ondes de longueur inférieure à 5 mm,

Les raisons de ce choix résident dans les faits suivants :

- c'est la structure la plus simple susceptible d'être réalisée d'une façon aisée et précise. Une précision absolue meilleure qu'un micron peut être obtenue avec une fraiseuse de très bonne qualité.
- son impédance de couplage est faible (de l'ordre de l'ohm), mais les pertes ohmiques sont sensiblement réduites parce que la ligne opère sur le premier harmonique d'espace. La ligne peut être usinée sur un bloc de cuivre très pur, présentant ainsi le minimum de perte.
- le socle pouvant être massif, la ligne à vannes permet une très bonne dissipation de chaleur.



Dans les tubes millimétriques donnant une puissance supérieure à un watt, les lignes utilisées sont à vannes percées d'un trou de couplage cylindrique. Pour les autres types de tubes ainsi que pour les tubes submillimétriques, on préfère les lignes à vannes taillées d'une seule fente de couplage.

Les lignes pour les tubes de 4 mm à 0,6 mm ont généralement des taux de retard entre 6,5 et 8,5. Pour les tubes de 0,5 mm et 0,4 mm, les taux de retard des lignes utilisées sont entre 5 et 6,3. Pour une même longueur d'onde, le pas de la ligne du second type est sensiblement 1,5 fois plus grand. D'une part la réalisation mécanique se trouve facilitée, d'autre part la ligne présente une dispersion des vitesses de phase plus faible, par suite des vitesses de groupe plus élevées, ce qui diminue d'autant les pertes dues aux imperfections de la ligne.

Le pas de la ligne est en général de l'ordre du dixième de la longueur d'onde. Les pas des lignes submillimétriques sont donc de l'ordre de quelques centièmes de millimètre. Par exemple, le pas de la ligne pour $\lambda = 0,4$ mm est de 0,055 mm. Une précision mécanique absolue meilleure qu'un micron est indispensable.

Le nombre de vannes utilisées varie de quelques dizaines pour les tubes millimétriques à plus de 200 pour les tubes submillimétriques.

II-2. CANON ÉLECTRONIQUE

Pour les deux types de ligne choisis, on utilise des faisceaux électroniques cylindriques. Les lignes à vannes à trou permettent l'emploi d'un faisceau ayant une densité de courant relativement élevée. Les lignes à vannes à fente sont couplées généralement avec un faisceau d'électrons de diamètre plus grand que la largeur de la ligne et de densité de courant plus modérée qui doit être compatible avec la possibilité de dissipation thermique des éléments de vannes à l'entrée de la ligne.

L'emploi des canons convergents permet d'obtenir des faisceaux de petit diamètre et de forte densité de courant sans surcharger la cathode. La convergence usuelle est de l'ordre de 100. La convergence du canon doit d'ailleurs être limitée pour que les pertes du faisceau ne soient pas trop importantes par suite des effets de dispersion des vitesses des électrons. A mesure que les longueurs d'onde diminuent, il y a lieu d'augmenter la densité de charge à la cathode.

Une densité de charge de 15 A/cm^2 peut être assurée, en régime permanent, par une cathode du type imprégnée C.S.F. Dans les tubes actuels, le maximum de densité de courant à la cathode ne dépasse pas 5 A/cm^2 .

Pour les tubes à haute tension, la construction du canon est par contre plus difficile, du fait des risques de claquages nombreux. Néanmoins, la tenue à la tension de 10.000 volts est maintenant bonne pour les électrodes distantes de l'ordre de 0,3 mm.

Le diamètre du faisceau peut être de l'ordre d'un dixième de longueur d'onde. La précision dans le centrage des diverses électrodes devient très sévère. Il en est de même dans l'alignement du canon et de la ligne. Une précision angulaire $\leq 1'$ est assurée dans les tubes submillimétriques actuels.

Dans les essais de canon, le plus petit diamètre du faisceau obtenu est 0,06 mm pour un rendement de focalisation de 85 %. La densité de courant a largement dépassé 1.000 A/cm^2 . Le champ magnétique est voisin de 8.000 Oe.

Le relevé de trajectoire des électrons est obtenu à la cuve électrolytique du Centre National d'Etudes des Télécommunications (3).

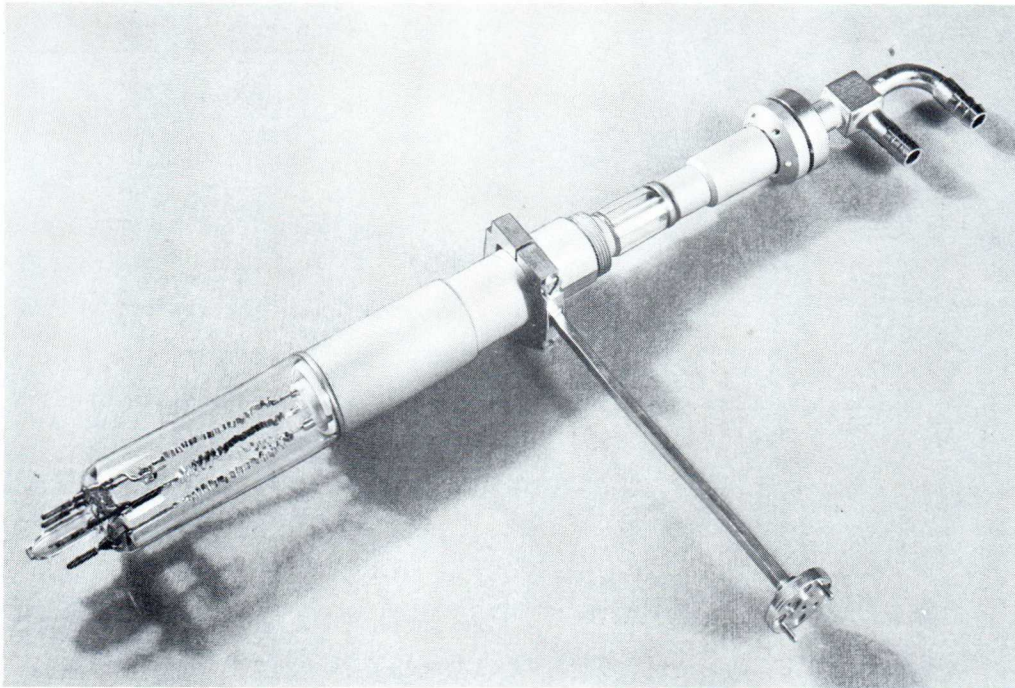


FIGURE 2 - Carcinotron à collecteur isolé.

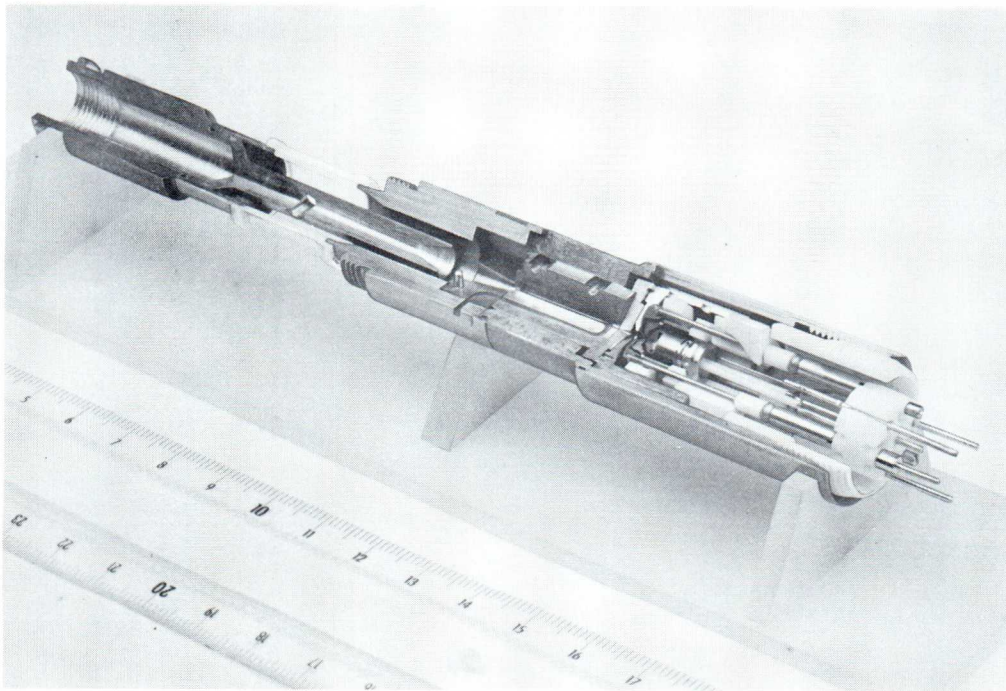


FIGURE 3 - Coupe du tube à collecteur isolé pour $\lambda = 1 \text{ mm}$.

III-TECHNOLOGIE D'ENSEMBLE DES TUBES

Les tubes millimétriques et submillimétriques ont une technologie d'ensemble similaire. Généralement le collecteur dans ces tubes n'est pas isolé de la ligne. Cependant des tubes à collecteur isolé ont été réalisés: c'est le cas pour le tube 1 mm - 1 watt.

La figure 2 montre un modèle de tube à collecteur isolé. La figure 3 montre la coupe du tube 1 mm.

La figure 4 montre la coupe d'un tube submillimétrique. La structure interne est maintenant devenue classique. Le fourreau du tube est en cuivre. Les pièces brasées à ses extrémités sont en kovar et jouent le rôle des pièces polaires.

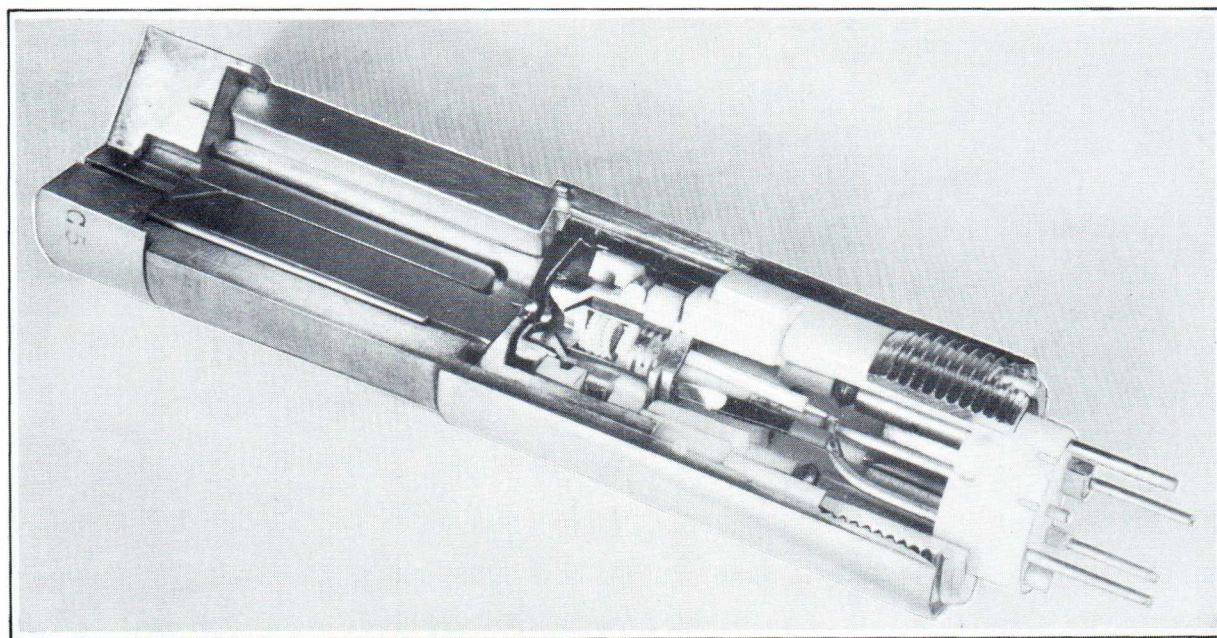


FIGURE 4 - Coupe d'un tube submillimétrique.

Du côté canon, la pièce en forme de boîtier est le blindage du champ magnétique. A l'intérieur du blindage se trouve le montage du canon. Dans les tubes submillimétriques, le blindage est assemblé avec le bloc ligne permettant un contrôle d'alignement plus rigoureux. Les électrodes du canon sont en molybdène. Les isolants sont en alumine de haute qualité. La cathode du type imprégnée, chauffée aux environs de 1.200°C , peut supporter une densité de courant de 10 A/cm^2 . Les essais en diode donnent dans ce cas une durée de vie dépassant 1.000 heures. La vie de certains tubes millimétriques a atteint cette longue durée. En tout cas, la durée de vie des tubes millimétriques et submillimétriques industriels est supérieure à 250 heures.

La pièce de kovar côté collecteur porte deux fenêtres de sortie en verre dont l'épaisseur est d'environ 0,02 mm pour les tubes fonctionnant sur les longueurs d'onde en dessus de 2 mm. L'atténuation du verre utilisé reste relativement faible jusqu'à $\lambda = 300 \mu$: sa valeur est inférieure à 1 dB.

Les fenêtres des tubes à collecteur non isolé sont en bout de l'enveloppe, les fenêtres des tubes à collecteur isolé sont latérales. Le collecteur non isolé est dessiné pour pouvoir supporter une densité de puissance du faisceau atteignant 3 MW/cm^2 . Pour des densités de puissance supérieures, le collecteur isolé est préférable.

Le bloc de ligne assemblé se trouve intercalé entre les deux pièces en kovar. Sur la figure 4, on voit que le guide d'onde côté canon est coudé pour aller se raccorder à la fenêtre de sortie. La deuxième fenêtre ferme le guide d'onde du côté terminal de la ligne et permet l'installation de l'atténuation à l'extérieur du carcinotron ou l'utilisation de cette voie pour certaines expériences.

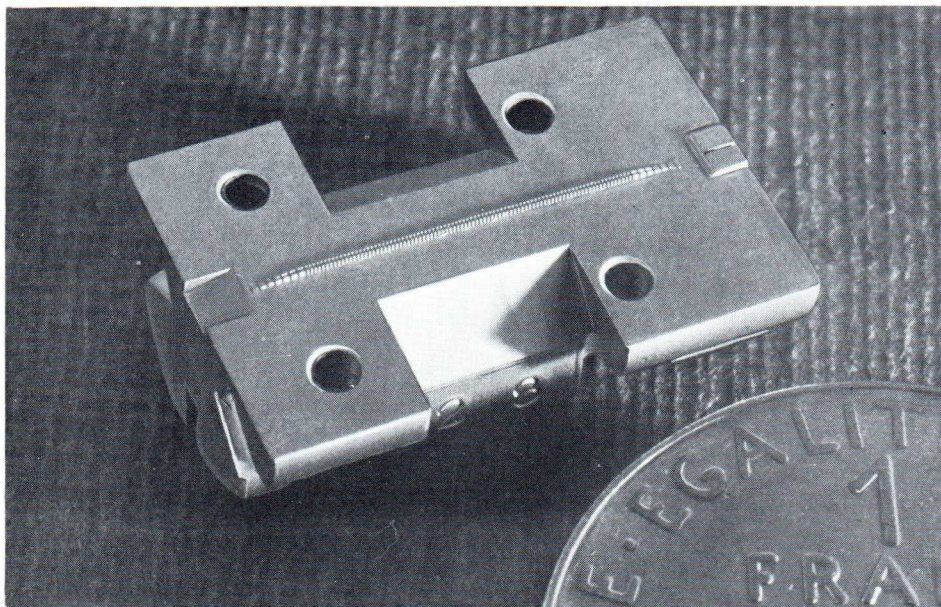



FIGURE 5 - Modèle de ligne à retard pour $\lambda = 1 \text{ mm}$.

Pour les tubes 1 mm de longueur d'onde et les tubes submillimétriques, les guides d'onde utilisés dans les tubes ont des dimensions de guide de 2 mm. Une grande partie des pertes dues aux petites dimensions des guides d'onde et à leurs défauts de fabrication est éliminée. Et pratiquement le mode principal de l'onde propagée se trouve néanmoins conservé (4) (5). Par ailleurs, les guides d'onde commerciaux pour la bande d'un millimètre de longueur d'onde sont inutilisables. L'atténuation atteint parfois la valeur de 10 dB/cm.

La figure 5 montre un modèle de ligne sur $\lambda = 1 \text{ mm}$. On ne peut photographier commodément les lignes submillimétriques.



L'usinage des lignes à retard de pas inférieurs à 0,1 mm est maintenant possible grâce à la réalisation de fraises à carbure de tungstène de faible épaisseur (au voisinage de 0,02 - 0,01 mm). La qualité de ligne a été grandement améliorée depuis l'utilisation de fraises à une seule dent et de petit diamètre extérieur (9 mm).

La réussite des tubes millimétriques et submillimétriques tient aussi en grande partie au procédé de pompage. L'emploi d'un getter à titane et d'une jauge Bayard-Alpert miniature permet l'obtention rapide d'un vide $< 10^{-8}$ Torr, tout en ayant la possibilité de contrôler son évolution au cours de la formation d'un tube. Le cycle de formation est très raccourci et le réglage de tube dans son focalisateur est facilité.

L'état final d'un tube est jugé bon quand le spectre de puissance enregistré (au moyen d'un calorimètre à eau, type différentiel : modèle C.S.F.) reste stationnaire, pour la puissance continue maximum qu'on peut appliquer au tube. Les tubes sont donc assurés d'avoir une grande stabilité.

La figure 6 représente des tubes industriels dans leurs focalisateurs à aimant permanent : ce sont des tubes CO 40, CO 20, CO 10 et CO 06 (pour 4, 2, 1, 0,6 mm de longueur d'onde).

La figure 7 montre un carcinotron pour $\lambda = 0,5$ mm, focalisé dans un électroaimant.

L'équipement de mesure jusqu'à 2 mm de longueur d'onde est classique. Pour $\lambda \leq 1$ mm, la mesure de longueur d'onde se fait avec un interféromètre Michelson de petit modèle. Une précision de l'ordre de 1/1.000 peut être obtenue. La figure 8 montre le dispositif de mesure au cours d'essais d'un carcinotron submillimétrique, la figure 9 le dessin de l'interféromètre. Le miroir semi-transparent est un réseau à fil cylindrique de diamètre égal à $2/10$ et de pas $4/10$. Le piston à tête micrométrique joue directement le rôle du miroir réfléchissant mobile. Ce modèle d'interféromètre présente une grande robustesse et une bonne maniabilité.

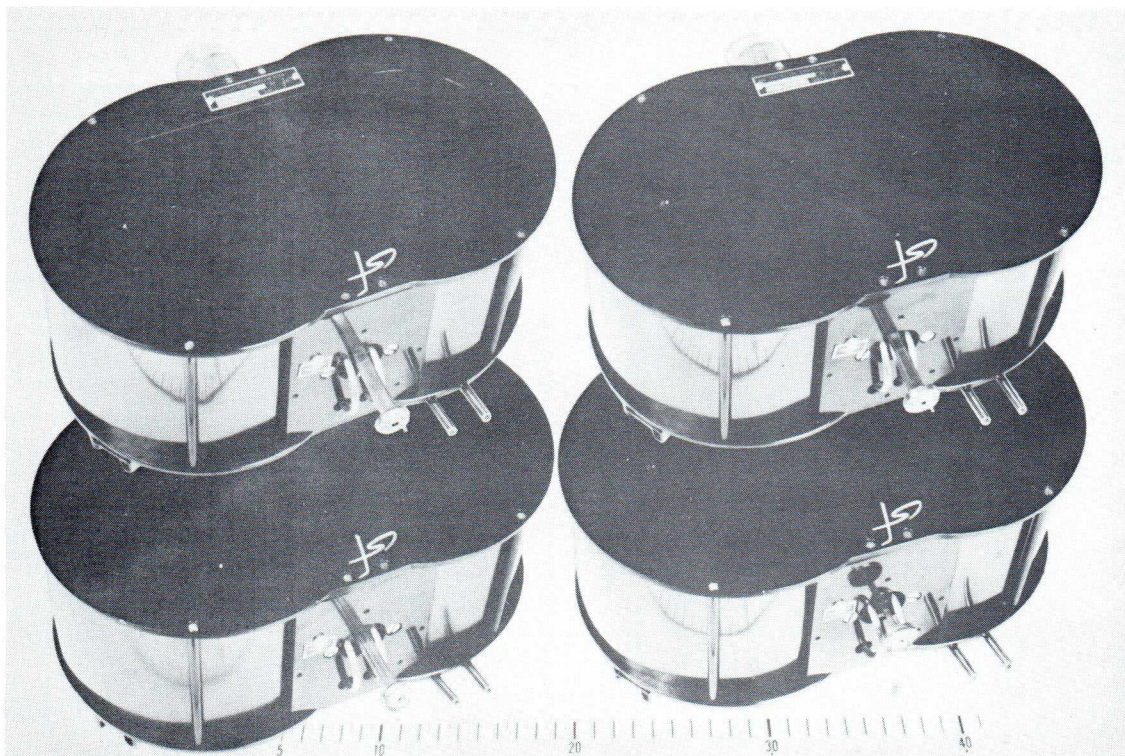


FIGURE 6 - CO 40, CO 20, CO 10 et CO 06 dans les aimants permanents.

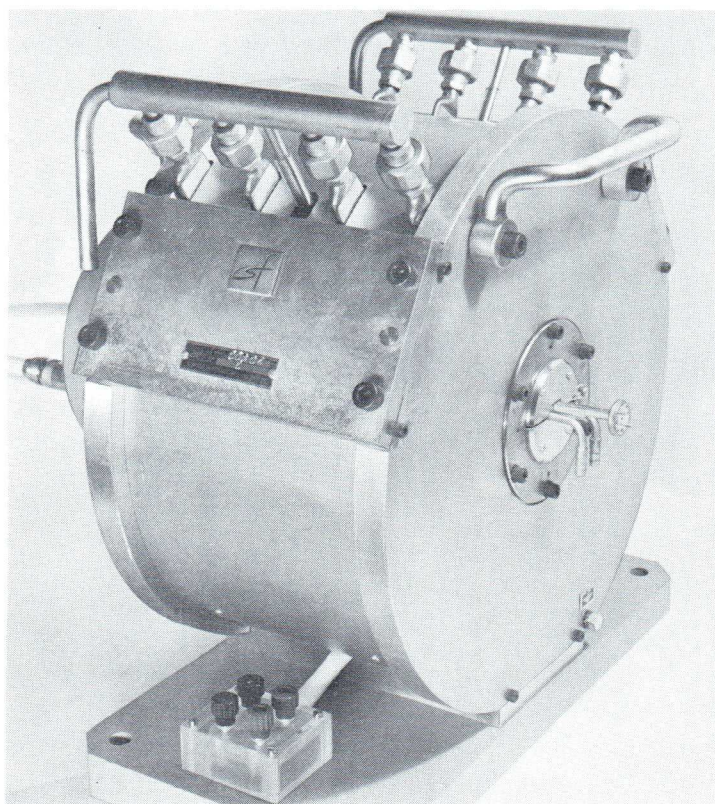


FIGURE 7 - CO 05 dans l'électroaimant.

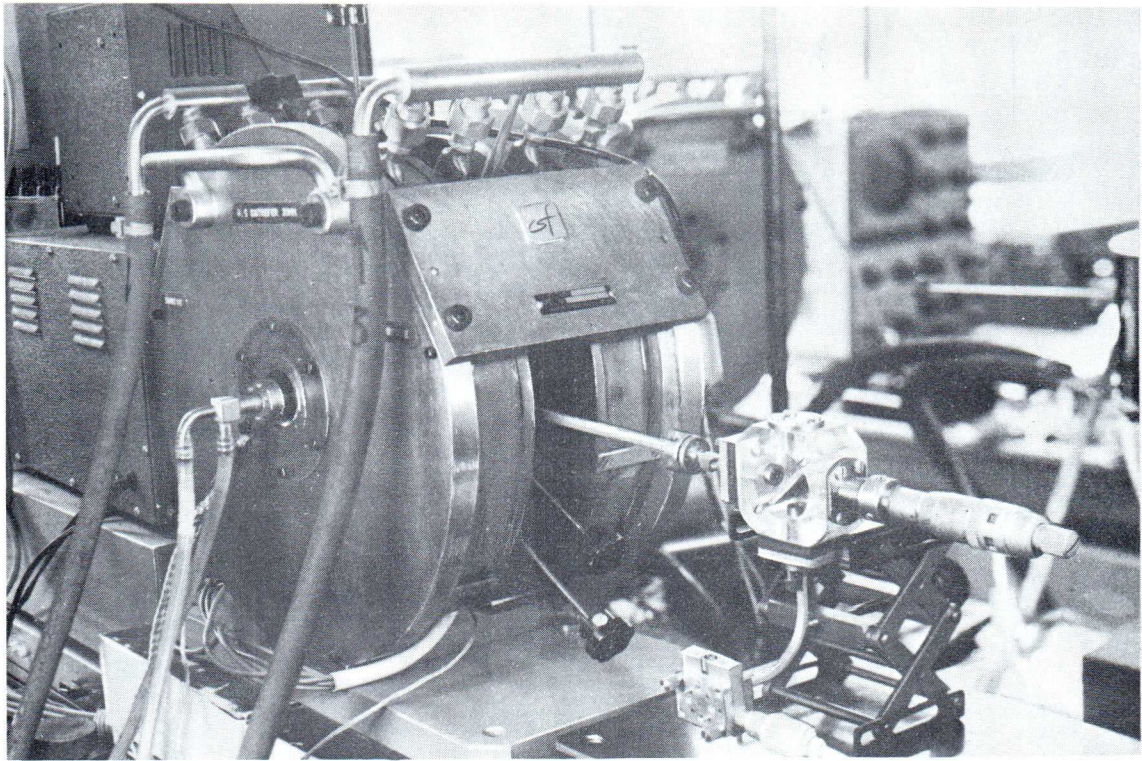


FIGURE 8 - Dispositif d'essai d'un tube submillimétrique.

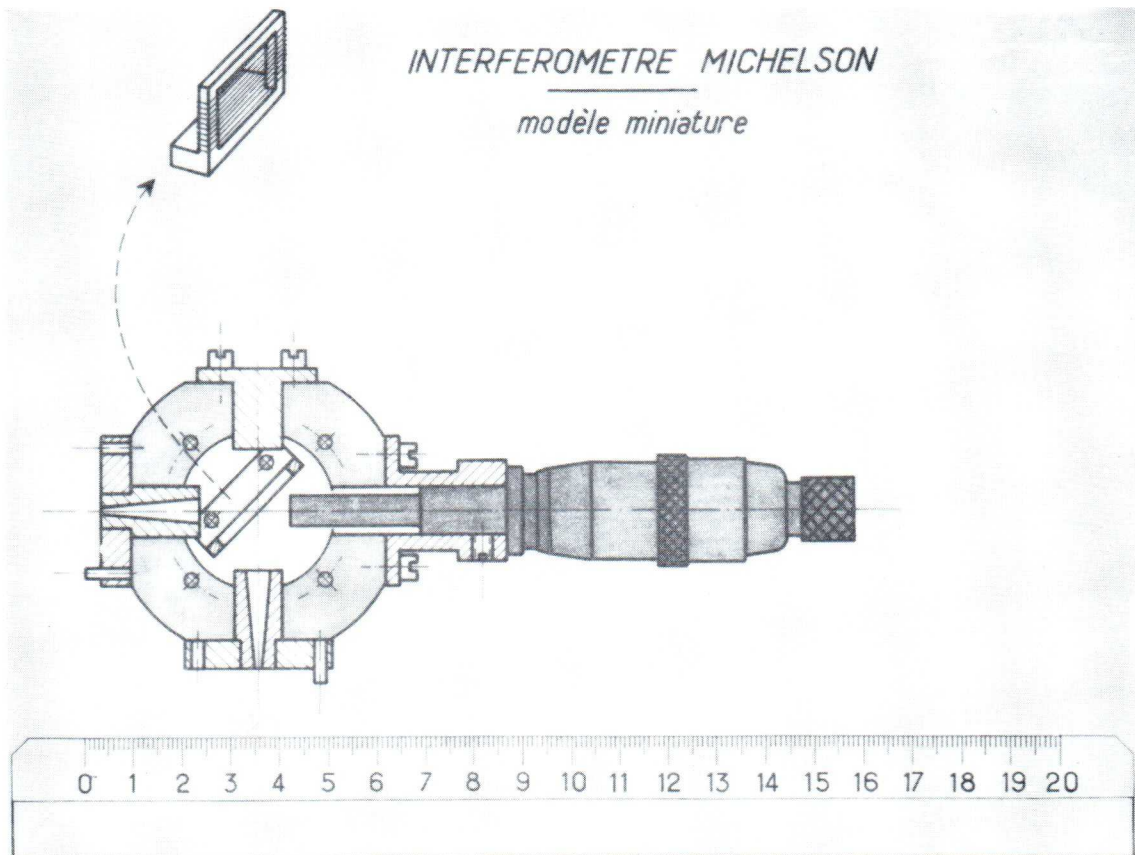


FIGURE 9 - Dessin de l'Interféromètre Michelson petit modèle.

La figure 10 montre un détecteur submillimétrique fabriqué à la C.S.F. : le cristal est du silicium. Sur $\lambda = 0,5$ mm, une sensibilité de détection de l'ordre de 1 millivolt/1 milliwatt peut être obtenue.

Le déplacement de la pointe est commandé par une petite tête micrométrique, le cristal peut être orienté dans son plan, permettant ainsi le réglage de sa sensibilité et de sa rapidité de réponse.

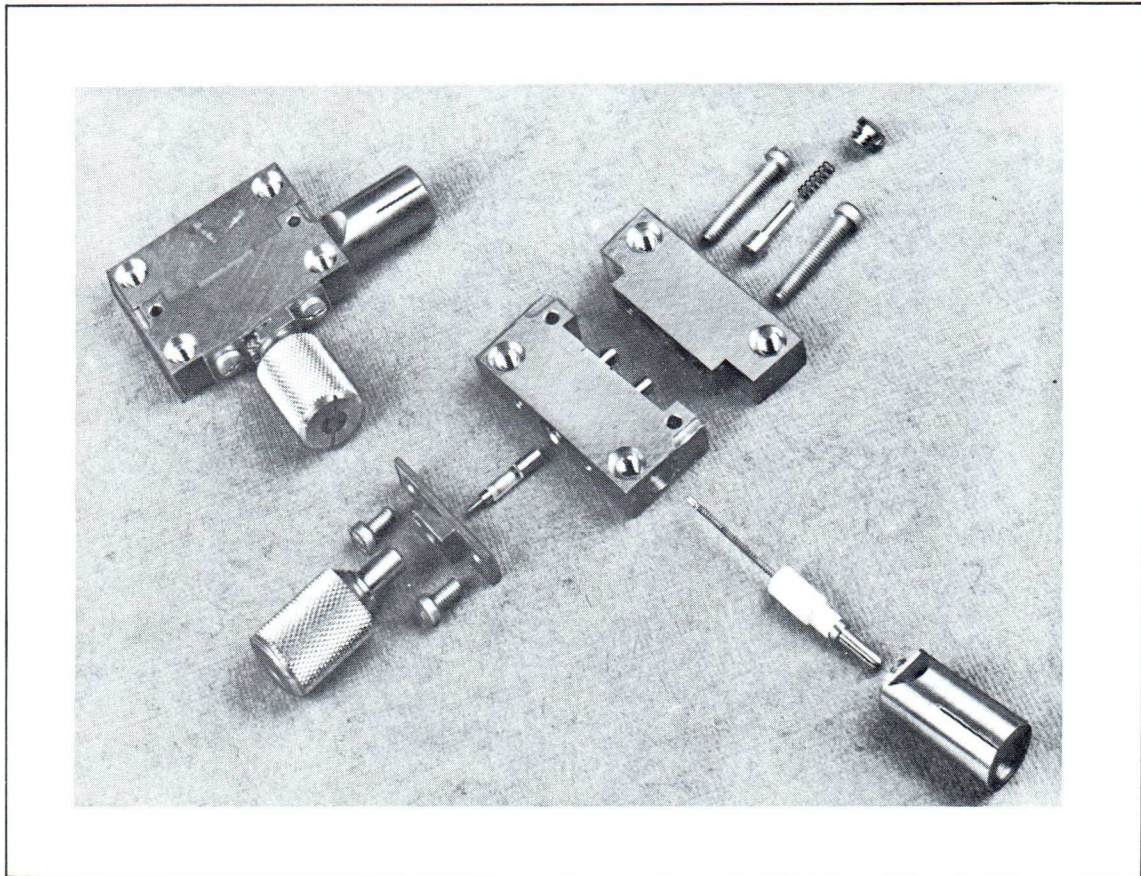


FIGURE 10- Photo d'un détecteur à cristal pour les ondes submillimétriques.

CARCINOTRONS du type "O"
PERFORMANCES 1964

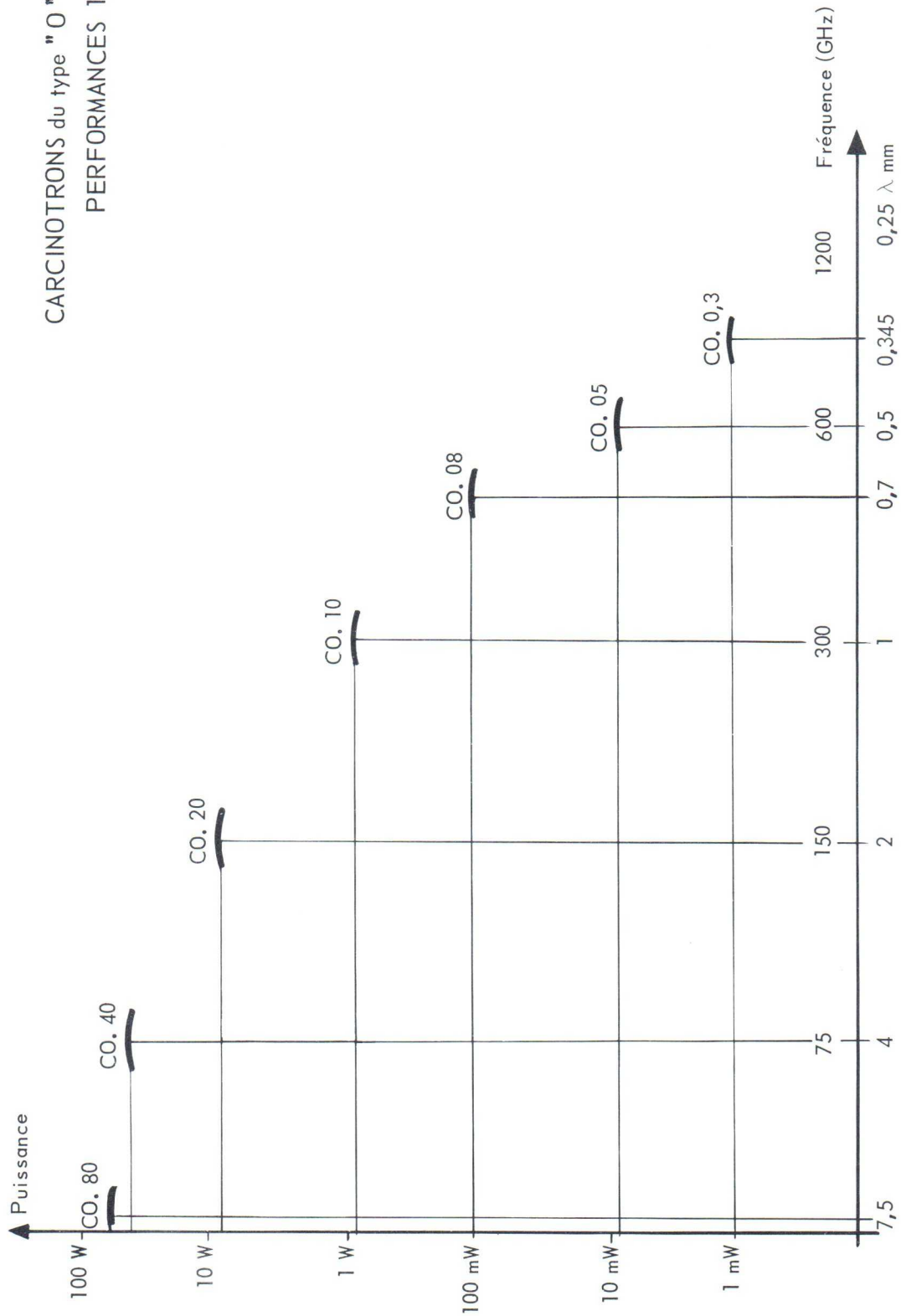


FIGURE 11 - Performances des Carcinotrons "O", septembre 1964.

IV - PERFORMANCES ACTUELLES

La figure 11 montre les performances obtenues en juillet 1965.

Le CO 80 donne 50 watts à 7,5 mm.

La figure 12 donne le meilleur résultat obtenu sur $\lambda = 4$ mm, puissance max 40 watts, 10 watts dans une bande 6,5 %.

La figure 13 montre le résultat sur $\lambda = 2$ mm ; puissance max 8 watts, 1 watt dans une bande de 12 %.

La figure 14 donne les caractéristiques d'un tube pour $\lambda = 1$ mm, 1.000 mW en certains points de fonctionnement et une puissance moyenne de 500 mW dans une bande de 10 %.

La figure 15 donne la caractéristique fréquence/ tension du tube pour $\lambda = 0,4$ mm. La puissance en régime continu n'a pas pu encore être mesurée. La plus courte longueur d'onde mesurée est de 345 μ .

Par ailleurs, des tubes expérimentaux donnant une dizaine de milliwatts sur les longueurs d'onde 0,9, 0,8, 0,7 et 0,6 ont été réalisés au cours de ces dernières années, une puissance d'une centaine de milliwatts a été atteinte sur $\lambda = 0,9$ mm.

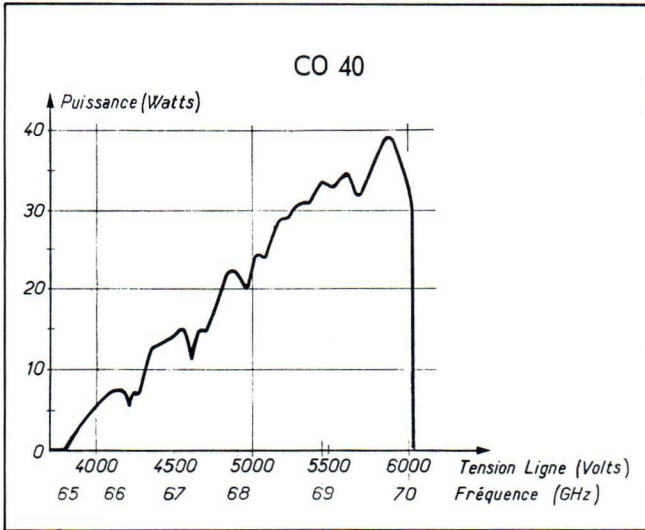


FIGURE 12 - Caractéristiques du CO 40 - 40 watts.

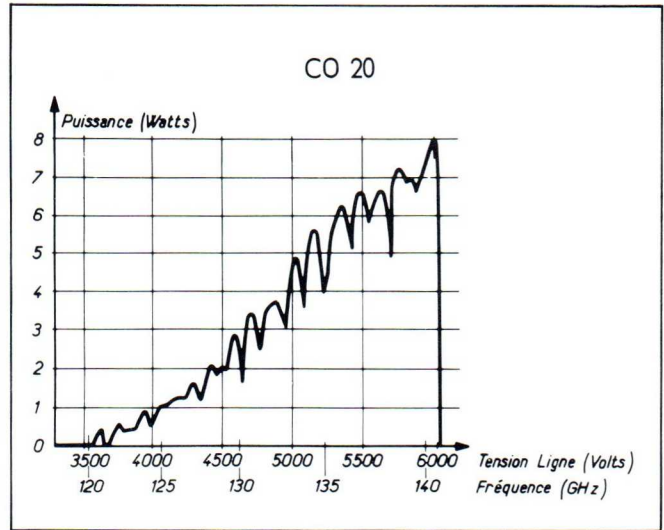


FIGURE 13 - Caractéristiques du CO 20 - 8 watts.

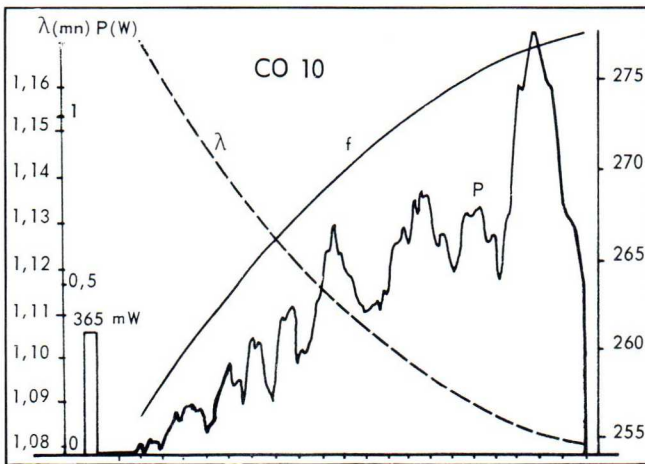


FIGURE 14 - Caractéristiques du CO 10 - 1 watt.

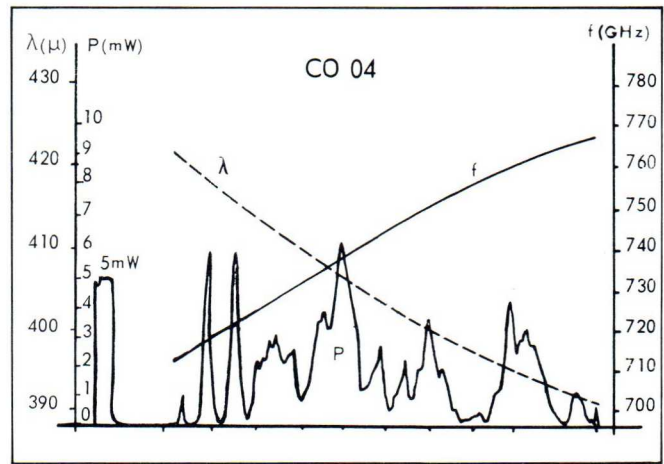


FIGURE 15 - Caractéristique Fréquence-Tension du CO 04.

V - CONCLUSIONS

Les résultats cités ci-dessus sont des performances de pointe obtenues en laboratoire. Les modèles commercialisés ont bénéficié des récents progrès. Le tableau ci-après donne la liste des tubes commercialisés avec leurs caractéristiques.

D'après les résultats obtenus jusqu'à présent, les possibilités de génération des ondes submillimétriques à partir d'un carcinotron " O " ne semblent pas à la limite théorique et hors des moyens de réalisation actuels. Des prévisions précédemment données (2) ont reçu d'encourageantes confirmations.

On estime qu'en utilisant des tensions encore plus élevées et en régime pulsé, on parviendra probablement à la génération directe des ondes de 0,2 mm dans un avenir assez proche. Une puissance continue de quelques centaines de milliwatts doit pouvoir être obtenue sur une longueur d'onde de 0,5 millimètre d'ici 2 ans.

████████████████████

████████████████████

REFERENCES

- (1) - G. CONVERT, T. YEOU AND B. PASTY : "*Millimeter Wave O-Carcinotron*".
Proceedings of the Symposium on Millimeter Waves. Polytechnic Institute of Brooklyn, N. Y., 1959.
- (2) - G. CONVERT, T. YEOU, P. C. MOUTOU : "*The Generation of Submillimeter Waves*".
Congrès International Tubes Hyperfréquences, La Haye, 1962.
- (3) - J. HENAFF, J. LE MEZEC : "*Etude des canons à électrons à l'aide de calculateurs rhéographique et analogique*".
L'Onde Electrique, Janvier 1961, p. 36.
- (4) - J. BLED, A. BRESSON, R. PAPOULAR, J. G. WEGROWE : "*Nouvelles Techniques d'Utilisation des Ondes Millimétriques et Submillimétriques*".
L'Onde Electrique, Janvier 1964, N° 442, p. 26-35.
- (5) - JESSE TAUB, HARVEY HINDIN : "*Design of Quasi-Optical Components*".
Microwaves, January 1964, p. 20.

██

██

CO MILLIMETRIQUES CSF

Désignation		Fréquence	Puissance Min. Max.	Tension d'anode 1 Val	Tension d'anode 2 max. Va2	Courant d'anode 2 Ia2	Sensibilité de modulation	Poids avec aimant permanent	Observations
Officielle	CSF	GHz	mW	kV	kV	mA	MHz/V	Kg	
F 4143	CO 80	39-41	10 W - 20 W	2,000	6,0	85	1,5 à 0,7	16	sortie guide RG97/U
F 4110	CO 70	37-50	20-100	0,800	3,0	35	12,0 à 4,0	12	sortie guide RG97/U
F 4076	CO 40 B	68-72	2 W - 10 W	1,800	6,0	70	2,0 à 1,2	16	sortie guide RG98/U
F 4150	CO 40 A	73-77	2 W - 10 W	1,800	6,0	70	2,0 à 1,2	16	sortie guide RG99/U
F 4157	CO 40-30	Δf 1 GHz* de 68 à 77	10 W - 30 W	1,800	6,0	70	2,0 à 1,2	16	sortie guide RG99/U
F 4109	CO 35	80-90	100-1.000	1,500	4,0	35	13,0 à 3,0	16	sortie guide RG99/U
F 4108	CO 30	90-100	100-1.000	1,500	4,0	35	13,0 à 3,0	16	sortie guide RG138/U
F 4075	CO 20 B	130-140	100-1.000	2,000	6,0	60	12,0 à 10,0	16	sortie guide RG138/U
F 4146	CO 20 A	142-158	100-1.000	2,000	6,0	60	12,0 à 10,0	16	sortie guide RG138/U
F 4158	CO 20-5	Δf 2 GHz* de 130 à 155	1 W - 5 W	2,000	6,0	60	12,0 à 10,0	16	sortie guide RG138/U
F 4074	CO 10	290-320	5 - 50	1,600	6,0	50	20,0 à 8,0	16	sortie guide RG138/U
F 4159	CO 10-400	Δf 5 GHz* de 290 à 320	50 - 400	1,600	12,0	50	10,0 à 6,0	16	sortie guide RG138/U
F 4178	CO 10-1	Δf 5 GHz de 290 à 320	150-1.000	1,600	12,0	50	10,0 à 6,0	37	sortie guide RG138/U
F 4114	CO.09	310-350	1 - 15	1,600	6,0	50	20,0 à 10,0	16	sortie guide RG138/U
F 4160	CO.09.EA	-	3 - 50	1,600	6,0	50	20,0 à 10,0	Δ	sortie guide RG138/U
F 4112	CO.06	480-520	1 - 10	1,100	6,0	40	30,0 à 20,0	16	sortie guide RG138/U
F 4161	CO.06.EA	-	3 - 30	1,100	6,0	40	30 à 20	Δ	sortie guide RG138/U
F 4151	CO.05	570-630	1 - 5	1,400	10,0	50	35,0 à 25,0	Δ	sortie guide RG138/U

Δ Tube équipé d'un électro-aimant

* Bande d'accord électronique dans laquelle la puissance minimum indiquée est garantie. Cette bande peut être centrée à la demande entre les 2 limites de fréquence indiquées.





GROUPEMENT TUBES ELECTRONIQUES
55, Rue Greffulhe - 92 - Levallois-Perret (Hauts-de-Seine) - Tél. 737-34-00

S.A. au capital de 136.870.500 F
Siège Social : 47, rue DUMONT D'URVILLE - PARIS 16^e

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE TÉLÉGRAPHIE SANS FIL