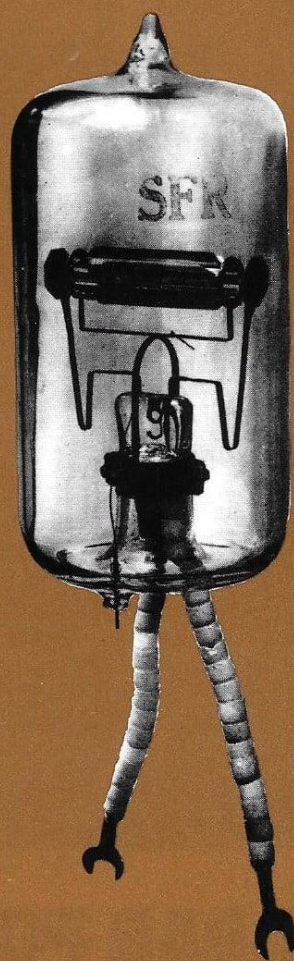


TUBES ELECTRONIQUES POUR RADAR

par B. Lévy et R. Métivier, Directeurs au
Groupement Tubes Electroniques de THOMSON-CSF



C'est une évidence historique que de relier le développement du radar à celui des tubes électroniques. Si le principe de la détection électromagnétique a pu être énoncé indépendamment des sources de puissance, cette détection n'a été possible que par l'existence de tubes électroniques fournissant quelque puissance en hyperfréquence. Dans l'accouplement spectaculaire du radar, dans les prouesses de ce bébé qui, tel Hercule a eu suffisamment de vigueur dans sa première enfance pour jouer un rôle décisif au cours de la dernière guerre, personne n'oublie ce germe que fut le magnétron. Et dans cette naissance, l'industrie française, avec les laboratoires de la CSF, a joué un rôle de pionnier, mêlant l'étude des tubes et des équipements.

Depuis cette époque d'avant-guerre, le radar est devenu adulte, les tubes ont grandi en puissance et en subtilité et les progrès des radars se trouvent à chaque étape liés à ceux des tubes. Si des techniques nouvelles ont fait porter l'effort sur les antennes, les circuits, d'autres composants, il reste, avant la vieillesse du radar, à perfectionner encore les tubes pour les radars ou pour le traitement de leurs informations, et à en créer de nouveaux. Il y a quarante ans débutaient des études de magnétron dans notre Compagnie. En 1970, en liaison avec les projets de radar de l'avenir, nos laboratoires effectuent des recherches sur de nouveaux types de magnétrons et une dizaine de nouveaux tubes sont en cours de développement.

Dès 1937

Et pourtant dès 1937 les magnétrons originaux fournissaient 10 watts en crête à 8 cm, préfigurant les radars de la guerre : ils avaient permis le fonctionnement des radars de l'« Oregon » et du « Normandie » et l'on sait que lorsque fut remis à un laboratoire anglais de Wembley un magnétron à cathodes à oxyde à segments résonants, il s'agissait du fruit de travaux originaux très en avance sur les réalisations mondiales. A cette époque la puissance atteinte était de 500 watts à 16 cm. Il était temps, car le lendemain, c'était le 10 Mai 1940. (photo 1).

Les longueurs d'onde atteintes étaient suffisamment courtes pour rendre les radars opérationnels. Leur mise en opération effectuée pendant la guerre s'accompagna de développements considérables de tubes anglo-saxons. Le schéma de base d'un émetteur-récepteur et d'une console radar s'articule autour d'un thyatron, d'un magnétron, d'un klystron reflex, d'un alternat et d'un tube à rayons cathodiques. Ces tubes ont atteint à la fin de la guerre des structures qui ne recevront plus de modification fondamentale : le magné-

tron est au niveau du mégawatt crête et il ne lui restera plus qu'à étendre son domaine de fréquence, à purifier son spectre pour permettre une diversification des radars.

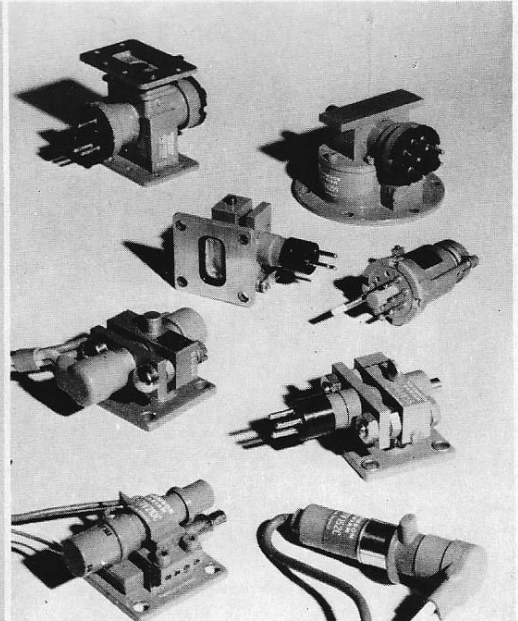
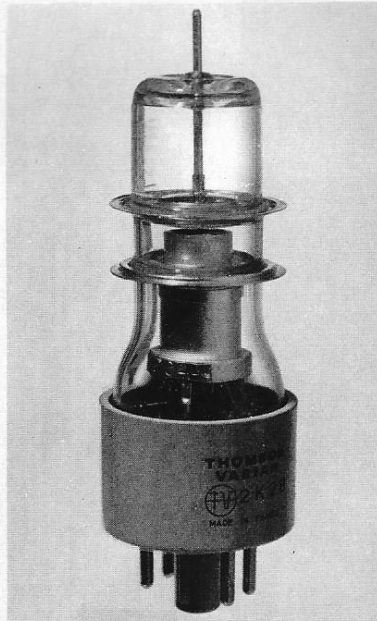
Mais d'autres problèmes opérationnels ont été posés qui ont rendu nécessaire l'étude et la réalisation d'autres types de tubes hyperfréquences non plus oscillateurs mais amplificateurs susceptibles de fournir des bandes larges et des puissances supérieures à celles des magnétrons et c'est alors qu'est intervenu le développement des klystrons de puissance.

Le klystron a été inventé très peu de temps avant la seconde Guerre Mondiale à peu près simultanément par les frères Varian à Stanford University, Californie, et les chercheurs Haln et

sance de l'ordre de 20 milliwatts dans une bande d'accord mécanique de 8,5 à 9,6 gigahertz (Bande X). Ce klystron qui équipait les radars aéroportés américains à la fin de la guerre est encore fabriqué actuellement (photo 3).

Les études théoriques effectuées pendant la guerre mettaient les laboratoires de CSF en mesure de réaliser des klystrons de puissance. C'est ainsi que dès 1948 avait été réalisé (en vue d'application à la télévision) un tube donnant 5 kW en continu près de 900 MHz et peu après un tube donnant 10 kW à 1600 MHz.

Ces études devaient se poursuivre à la CSF avec la réalisation d'amplificateurs de grande puissance pour accélérateurs de particules.



Metcalf de General Electric Company. Un progrès décisif a été accompli en 1939 lorsque R. et S. Varian en collaboration avec W.-W. Hansen eurent l'idée d'associer un faisceau rectiligne d'électrons avec des cavités résonantes (Rhumbatrons), ces cavités fonctionnant comme des circuits oscillants à très courte longueur d'onde. Il en résulta le premier klystron oscillateur à deux cavités, fournissant une puissance de quelques dizaines de watts à 10 centimètres de longueur d'onde. Pendant la durée de la guerre, peu de travaux furent accomplis sur le klystron en vue de produire de grandes puissances en raison du fait qu'on disposait avec le magnétron d'une source qui satisfaisait complètement les besoins des radars de l'époque. Par contre des travaux très importants ont été menés sur les klystrons Reflex qui ont abouti à la mise au point d'une série d'oscillateurs locaux de récepteurs de radars dans les bandes de fréquences de 1 à 10 gigahertz. L'un des plus célèbres de ces tubes est le klystron 2 K 25 (photo 2) qui fournit une puis-

Des amplificateurs de très grande puissance

Mais en 1953 il est apparu aux responsables militaires français du S.T.T.A.* que l'avenir lointain en matière de radar de couverture appartiendrait à des systèmes complexes nécessitant l'utilisation d'amplificateurs de très grande puissance crête et moyenne (10 à 30 mégawatts crête et environ 20 kilowatts moyens pour des impulsions de quelques microsecondes).

Un contrat d'étude fut notifié en octobre 1955 à la Compagnie Française Thomson-Houston, prévoyant l'étude et la réalisation d'un klystron de puissance en bande S, sur 50 mégahertz de largeur de bande, 35 % de rendement et 40 db de gain.

Les performances demandées furent obtenues avec le klystron TH 2010 en novembre 1958, après trois années d'efforts ayant nécessité la solution d'un nombre important de problèmes techniques et technologiques tant sur le klystron lui-même que sur l'émetteur associé. Il se trouvait démontré que le

* Service Technique des Télécommunications de l'Air.

klystron constituait une bonne solution au problème posé, essentiellement en raison de la séparation dans le tube des fonctions de génération du faisceau électronique d'interaction entre le faisceau et le champ de haute fréquence et de dissipation sur le collecteur de l'énergie cinétique du faisceau.

Le klystron TH 2010 constituait essentiellement un tube expérimental. C'est pourquoi les études furent poursuivies pour aboutir en 1960 à un tube scellé aux mêmes performances, le TH 2011, qui équipe les premiers radars de veille tridimensionnels Palmier.

L'emploi de très grandes puissances d'émission constitue en soi une certaine défense contre le brouillage du radar par l'adversaire, mais si on ajoute la possibilité de changer très

plus large (10 %) et à puissance moyenne plus élevée (100 à 200 kW en bande S) ont été réalisés dans nos laboratoires préfigurant les radars de l'avenir.

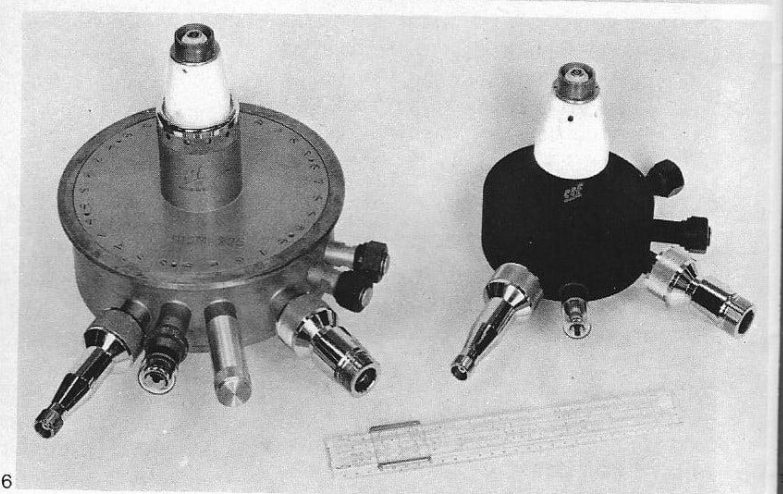
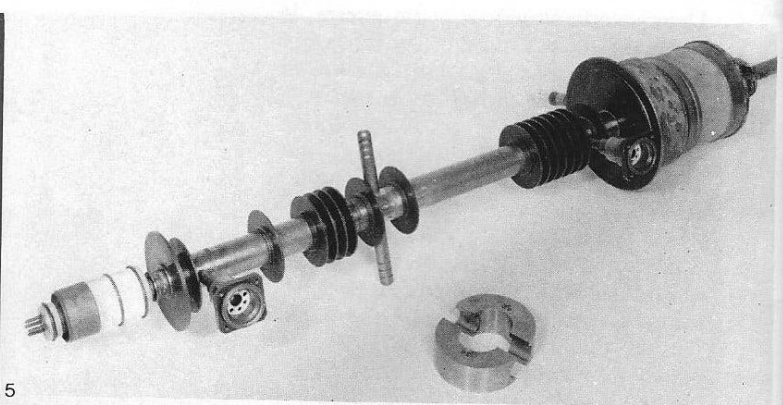
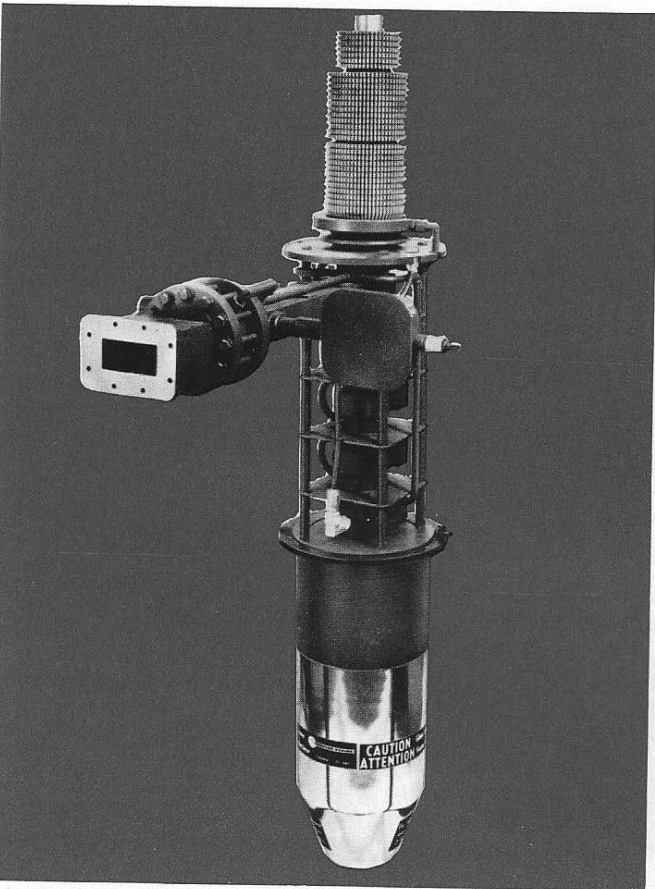
Les klystrons sont donc bien adaptés aux radars de grande puissance moyenne. En particulier au fonctionnement en compression d'impulsions qui permet de conserver cette grande puissance moyenne en réduisant la puissance crête simplifiant ainsi la réalisation des radars. Ils ont aussi permis grâce à leurs caractéristiques d'amplificateurs à faible bruit la réalisation de systèmes Doppler où la stabilité en fréquence est essentielle.

La famille des T.O.P.

Mais d'autres tubes amplificateurs à

CSF de disposer de tubes à onde progressive bien adaptés aux techniques radar récentes. La photographie 5 montre un tube récent de ce type étudié sur marché du STTA.

C'est d'ailleurs sur une variante de cette famille, à champs croisés, celle des TPOM que la CSF s'était orientée dès 1950 lorsqu'était apparu le besoin d'amplificateurs à large bande pour radar et on sait que c'est avec une chaîne de TPOM que la Marine française a pu utiliser le premier radar à fréquence aléatoire mis en service dans le monde. Ces radars fonctionnent en bande L au niveau de 5 kW moyens. Le passage des modèles de laboratoire aux tubes de production est illustré par la photographie 6. Avec les klystrons d'origine THOMSON, les TOP et TPOM



rapidement la fréquence d'émission par exemple d'une impulsion à la suivante, on augmente beaucoup la difficulté du brouillage en obligeant l'adversaire à brouiller toute la bande de fréquence utilisée, ce qui entraîne l'utilisation d'un équipement plus complexe et plus lourd. Les études de klystrons de grande puissance ont donc été poursuivies vers l'obtention de bande passante instantanée importante sans sacrifier les autres performances des tubes. On a pu ainsi aboutir à une famille de klystrons de grande puissance à large bande dont le tube TV 2030 (photo 4) utilisé sur les émetteurs de radars du système NADGE est un exemple caractéristique.

Au stade maquette, des tubes à bande

large bande sont valables pour ces applications radar, il s'agit de la famille des tubes à onde progressive, née pendant la guerre. Si ces tubes sont par rapport aux klystrons limités en ce qui concerne les puissances très élevées, ils sont par nature à large bande et peuvent aussi être des amplificateurs à faible bruit. Utilisés avec une focalisation magnétique alternée, permettant un faible encombrement, ils sont intéressants pour les radars aéroportés et d'une manière générale les radars de puissance moyenne pour lesquels les questions d'encombrement sont importantes. Les études d'augmentation du rendement électrique, celles concernant les canons à grille de modulation ont permis à THOMSON-

d'origine CSF, THOMSON-CSF dispose donc de l'attirail complet des tubes amplificateurs pour radars. Cette possibilité de choix est illustrée par les solutions utilisées aux USA sur les deux radars du fameux système Safeguard ; il s'agit dans les deux cas de radars de technique « phased arrays ». Or l'un utilise un seul tube, un klystron de très grande puissance alimentant l'ensemble des éléments rayonnants ; l'autre utilise un grand nombre de tubes à onde progressive alimentant chacun une partie de l'antenne.

Les études se poursuivent sur ces amplificateurs, mais aussi sur les magnétrons qui trouvent une jeunesse nouvelle avec des techniques nou-

velles : les versions coaxiales correspondant à un ancien brevet CSF (Azéma) permettent une plus grande stabilité. Divers systèmes de variation rapide de la fréquence ont été mis au point et il est clair que ces améliorations augmenteront les débouchés radar de ces tubes plus économiques que les amplificateurs (fig. 7).

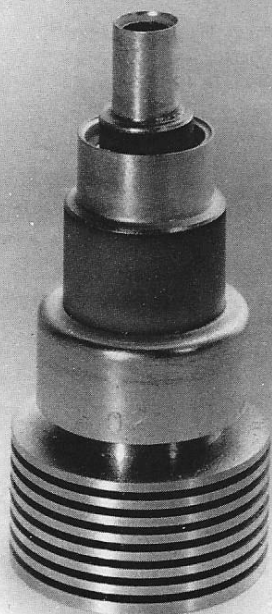
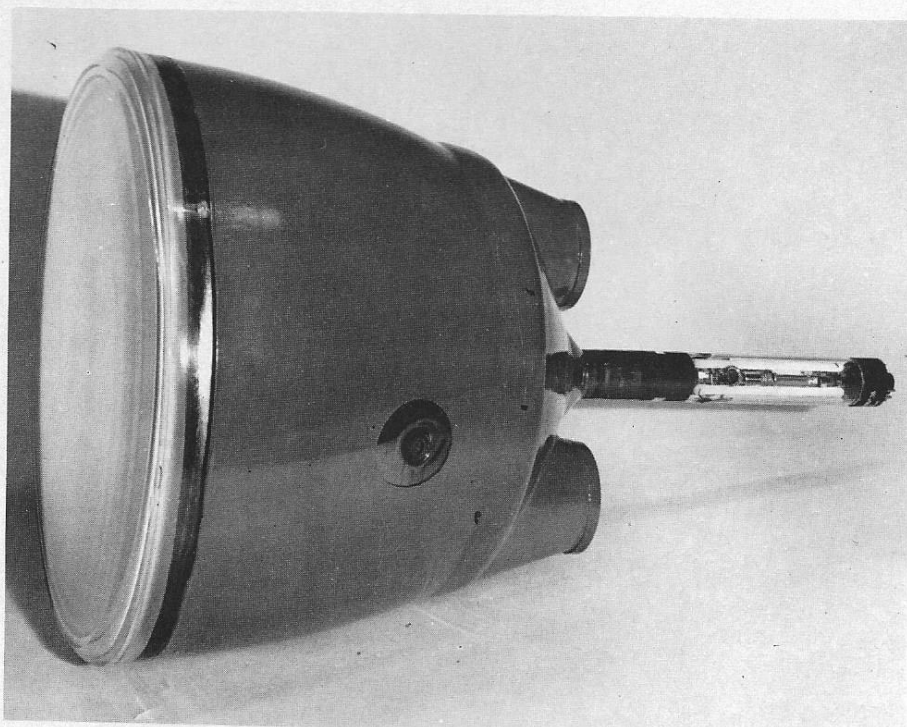
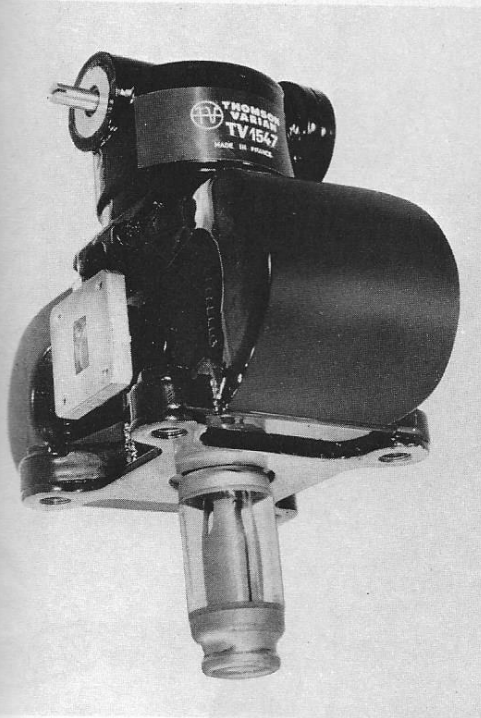
Il ne faut pas oublier une autre famille de tubes économiques, celle des triodes qui sort de l'oubli et réapparaît en force dans les radars. Ces tubes sont limités vers les fréquences élevées, mais ils ont aussi permis de réaliser des amplificateurs à faible bruit pour radar Doppler en impulsion. Ainsi le radar bande S du système Crotale utilise une triode de quelques kW crête (photo 8), (photo 8).

D'ailleurs si la tendance initiale des radars a été une course vers les fréquences élevées, on assiste pour les radars à grande portée à un reflux. Des radars au-dessous de 1000 mégahertz apparaissent qui utiliseront des triodes de grande puissance à large bande.

Loïn de la vieillesse

Du côté de l'exploitation des radars, nous retrouvons la famille des tubes THOMSON-CSF de visualisation. Issus d'une longue tradition de tubes cathodiques pour radar étudiés et produits par THOMSON-CSF, cette famille s'est enrichie de variantes incorporant des caractéristiques de mémoire telles que le groupe des tubes à entretien d'image dont la brillance élevée a imposé le choix pour les écrans des

Ainsi, si les thyratrons, les klystrons reflex, les alternats se voient souvent remplacés par des systèmes à état solide, il reste encore de beaux jours pour les tubes électroniques dans les émetteurs et les indicateurs des radars. Nous avons évoqué la naissance des tubes pour radar; nous voyons que nous sommes encore loin de leur vieillesse.



radars d'avion (TEI des Cyrano par exemple), celui des TMA qui a permis la réalisation d'équipements transformateurs d'image radar en image télévision, les tubes plus récents TME qui trouvent leur place dans le traitement des informations radar. La photographie 9 montre un tube cathodique de grand diamètre (50 cm utiles) à cône métallique utilisé dans les récentes consoles THOMSON-CSF (Installations Eurocontrôl). L'introduction de la couleur sur les tubes cathodiques présentant des images radar plus ou moins synthétiques a donné lieu à des réalisations récentes à THOMSON-CSF qui laissent augurer comme pour les téléviseurs du grand public une nouvelle famille d'indicateurs qui mordra progressivement sur le fade « noir et blanc ».

