

Le présent scan concerne le livre inventorié à PSTC-Rhône-Alpes sous le numéro **319** avec le titre :

Les tubes électroniques de Thomson-CSF
Regard sur soixante années d'activités (1939-1999)

Ce livre a été édité en 1999, par Thomson Tubes Electroniques (TED) à Meudon-La-Forêt (France).

Ses auteurs sont d'anciens collaborateurs de TED.

Il s'agit d'un livre, de 209 pages, reliure par une spirale métallique, dont la couverture cartonnée est de couleur blanche.

Il est de format 25 x 17 cm, avec une épaisseur de un cm.

Ce livre contient de nombreuses photos et schémas et de nombreuses photos, en noir et blanc.

Le présent fichier PDF fournit des extraits de pages concernant :

- les « tubes à grille », surtout destinés aux émetteurs de radio et télévision,
- la « tubes hyperfréquences », à usage multiples, dont les radars, les communications spatiales, etc.

Ces types de technologie ont été respectivement au centre des activités industrielles de recherche et de production des centres situés en Savoie à Thonon et en région parisienne à Vélizy.

Il est rappelé que la loi sur les droits d'auteur n'autorise que les reproductions partielles de documents à titre individuel et pour des motifs de recherche.

Pour utiliser cet article, mentionnez TED et Thomson-CSF, ainsi que PSTC-Rhône-Alpes n° **319**.

Les tubes électroniques de THOMSON-CSF

*regards sur
soixante années d'activités
(1939 - 1999)*

 **THOMSON TUBES ELECTRONIQUES**

Les tubes à grille

**Histoire résumée
de ce qui a précédé et accompagné
la tétrode
le tube le plus remarquable d'une famille
essentiellement destiné à l'émission de Radiodiffusion et Télévision**

CHAPITRE

C

Les tubes à grille

L'inventivité est une caractéristique des français. À la fin des années 30, les savants et les ingénieurs Français jetaient les bases de la radiodiffusion de super-puissance sous forme de triodes capables de fournir des puissances de centaines de kilowatts. En France, pendant l'occupation nazie, le travail de recherche était dissimulé aux forces d'occupation. Les résultats de ce travail, accompagnés d'un tube prototype furent escamotés vers l'Amérique. À partir de ce premier exemplaire, des constructeurs américains furent capables de produire la triode Machlett, qui fournit une puissance radio fréquence de 250 kW.

Après la guerre la France reprit possession de ce programme de recherche et regagna rapidement la suprématie mondiale en matière de technologie des tubes à vide de puissance à grille. Ceci est illustré par la tétrode TH 539 qui fournit la puissance des émetteurs de 2000 kW pour radiodiffusion Ondes Longues / Ondes Moyennes, et la TH 558 qui fournit la puissance des émetteurs 500 kW Ondes Courtes, fabriqués par THOMSON-CSF et utilisés par la plupart des autres fabricants de ces équipements. ■

Inventiveness is a characteristic of the French. French scientists and engineers were laying the foundation stones of super-power broadcasting in the late 1930s, in the shape of triodes that could handle hundreds of kilowatts of power. During the Nazi occupation of France, the research work was concealed from the occupying forces. The results of this work, together with a prototype tube were spirited away to America. From this first sample, US companies were able to produce the Machlett triode, which developed 250 kW of radio frequency power. After the war, France resumed this research programme and soon regained world supremacy in vacuum-tube power-grid technology. This is illustrated in the tetrode TH539 which powers 2000 kW transmitters for LW/MW broadcasting, and the TH 558 which powers 500 kW SW transmitters, manufactured by THOMSON-CSF and used by most other manufacturers of these equipments." ■

Extrait de History of International Broadcasting, p. 197.
P.Peregrinus Ltd & Sci.Museum, London 1992.

James Wood Eur Ing, consultant et journaliste free lance spécialisé, a apporté sa contribution à la majeure partie de la presse de la radiodiffusion.

Extrait de History of International Broadcasting, p. 197.
P.Peregrinus Ltd & Sci.Museum, London 1992.

James Wood Eur Ing, consulting engineer & specialist freelance journalist, having contributed to all the major broadcasting journals.

1 - Les ancêtres

Le plus doué de la famille des tubes à grille, c'est la tétrode. On verra que l'usage en est varié. Vient en tête l'émission de radio. C'est aussi là que les racines plongent le plus loin. Ce plus loin reste jeune. La totalité de l'histoire de la radioémission est contemporaine de nos grands-parents.

Ceux qui développent, ceux qui fabriquent, ceux qui vivent pour, ceux qui vivent de, ceux qui connaissent ces tubes à grille en arrivent un jour à se poser des questions.

- comment cela a-t-il commencé ?
- et le premier tube à grille, comment est-il né ?

A la première question tente de répondre l'annexe A page 51. Pour la seconde, il faut passer par une traduction : les tubes électroniques ont d'abord été des *lampes*.

Les lampes et la TSF

1879 - Thomas A. Edison achève sa lampe d'éclairage à filament incandescent. A l'usage l'ampoule noircit. Il ajoute une électrode froide qui dessine une ombre, puis il découvre qu'un courant traverse le vide (1883). Il dépose un brevet d'« electrical indicator ».

1884 - Le professeur Edwin J. Houston (celui de Thomson Houston) décrit l'effet Edison dans son exposé à l'Exposition Internationale de Philadelphie.

1896 - J.A.Fleming, EDISON ELECTRIC LIGHT Co. of London, Scientific Adviser, en montre l'effet redresseur.

1904 - Le même, devenu Technical Adviser à la MARCONI WIRELESS TELEGRAPH Co., est chargé de remplacer les erratiques cohérences par un détecteur plus sûr. Il se rappelle son redresseur d'E.E. Light Co., en fait « l'oscillation valve » détecteur dont il dépose le brevet (7 nov. 1904). Voilà la première lampe de TSF. Autrement prometteuse va être l'adjonction d'une troisième électrode : toute l'électronique va en sortir. (Voir l'annexe B page 53).

2 - Les tubes THOMSON

Les origines des tubes Thomson

La Compagnie Française THOMSON HOUSTON est entrée en Emission radio en 1936 en achetant la « Maison G.I. Kraemer », 16 rue de Chateaudun à Asnières, alors concurrente de la SFR dans la production, depuis 1930, d'émetteurs de petite puissance.

CFTH construit des bâtiments complémentaires à côté de l'établissement KRAEMER, berceau des premiers émetteurs (voir encadré ci-dessous). C'est le germe du Département Radioémission.

Il n'y avait pas de section *Lampes* chez KRAEMER. Il ne s'en crée pas tout de suite chez CFTH, cependant une petite équipe se constitue progressivement, certains venant du département Lampes de SFR (Levallois 1934).

1937 - Création de la Division Radiotélévision, elle regroupe le service Emetteurs de radio, un service des travaux extérieurs qui procède au montage sur le site, et un service télévision, en fait réalisation de matériel vidéo, (les émetteurs sont SFR). C'est alors la réalisation du plan radio du général Ferrié : 60 et 120 kW OM. SFR en a la grande part. CFTH construit Lyon Tramoy et Fécamp 1938, Les Essarts le Roi 1940.

Un berceau d'Artiste

La maison Kraemer installée 45 rue de la Concorde à Asnières, "faisait du cinéma". C'est en 1930 que la direction décide de diversifier l'activité. A côté des studios on va construire des émetteurs de radio. L'activité va se développer, devenue CFTH à partir de 1936. Il faudra plus de place pour installer les cellules.

Et l'on va câbler des émetteurs, là où étaient des studios de prise de vue. Des années plus tard, dans une impression assez irréaliste, on voyait encore des éléments de décors, une piscine, les loges des artistes, et l'on montrait religieusement, celle de monsieur Raimu, (Marius 1931), le « plus grand que nature » qui ne fermait pas une porte, mais la claquait.

Près de 25 ans
d'électronique

Usine d'Asnières.
« Asnières » plant.
Work in Asnières.

Extrait de « Mécanique électricité »
Editions Sciences et Industries CFTH, 1961

En haut : l'usine d'Asnières
où naissent les premières lampes THOMSON à la veille
de la guerre.

En bas : Le centre Suffren.
Vue de l'angle Ouest de l'usine de la rue Mario Nikis.





Une salle de réception des années 30 (Villecresnes)

Ces Émetteurs qui faisaient penser aux cathédrales du temps jadis

souvenirs d'un Ancien de DRT: J. Desmolles (Mai 93)

A l'usine d'Asnières avaient été reprises les études et la construction des émetteurs OC du centre d'Allouis. Dans sa nouvelle définition, ce centre devait comporter 6 émetteurs de 130 kW dans les bandes de 13 à 49 m, 4 émetteurs émettant simultanément sur antennes en losange à faisceaux, ce qui à l'époque constituait un record de puissance sur ces fréquences.

L'étage de puissance (chaîne HF) de chaque émetteur était équipé d'un bloc, chariot mobile supportant deux triodes couplées, démontables. Chaque tube était constitué par un empilage de couronnes métalliques et de cylindres de quartz, le tout bridé en place. L'ensemble des pompes était implanté dans le chariot mobile. Les tubes étaient asservis à un double circuit primaire et secondaire de vide entretenu, complété par un système de refroidissement hydraulique. Réalisé par la CGR (M.Matricon), l'ensemble de plus de 2 mètres de haut était imposant et complexe. Il lui fallait une maintenance lourde, avec retour pour révision périodique à l'atelier, et passage sur position banc de formation. En raison de la fragilité des éléments, filaments, grilles, il fallait procéder à de fréquents démontages et rééquipements. La mise au point de ces ensembles doubles triodes était un travail long et minutieux. Le remplacement d'un chariot sur une chaîne nécessitait l'intervention assez spectaculaire d'une équipe entraînée et qualifiée. Durant le transfert la conti-

nuité des circuits électriques, hydrauliques, etc. devait être assurée.

La fiabilité de l'ensemble et une durée de vie normale ne devaient être acquises que progressivement et après plusieurs mois d'essais et de mises au point. A noter également, sur l'étage final des « chaînes BF » la fragilité des nouveaux tubes (TH 104) dont les premiers exemplaires réalisés à l'usine d'Asnières avaient une durée de vie parfois limitée à quelques heures. Ils étaient en outre d'une mise en place et d'une mise en service très délicates, à donner des sueurs froides, et des brûlures, au technicien chargé de l'opération d'échange, lors d'une coupure d'émission.

L'installation des émetteurs s'effectue en 1946 et 1947, mais les essais et la mise en service devaient se prolonger jusqu'en 1948. On rencontra des difficultés pour modifier l'adaptation des circuits d'accord des étages de puissance des émetteurs, en fonction de la résistance interne et des capacités des nouveaux tubes d'émission utilisés. Le courant continu initialement prévu pour le chauffage fut remplacé par le courant alternatif. L'alimentation fut changée. Puis la puissance d'émission ne put être obtenue à toutes les fréquences. La tenue d'une puissance supérieure à 100 kW antenne sur les longueurs d'onde les plus petites, les bandes 13 / 16 / 19 mètres, avec un fort taux moyen de modulation, était un défi pour les années 1947-1948, pour assurer par exemple les émissions vers l'Extrême-Orient ou la Terre-Adélie. Le défi fut finalement gagné, mais après de nombreuses nuits passées à trouver des solutions provisoires, et parfois très artisanales. L'adaptation des circuits d'accord restait très problématique lors des montées en puissance.

Les Ondes Courtes

Le plan Ferrié a prévu des 100 kW Ondes Courtes. Première implantation : Allouis.

La Compagnie Générale de Radiologie (CGR - 1930) filiale Thomson, fabrique des lampes depuis des décennies (c'est la fusion de quatre sociétés, avec des racines remontant à 1856) : tout d'abord les lampes nécessaires à ses techniques, émetteurs de rayons X, puis des redresseurs, kénotrons, phanotrons et thyatron (*les anciens Grecs parlent encore en ces techniques. n8) à mercure pour les alimentations. Depuis au moins 1914, la CGR a acquis une grande expérience dans la technique du vide.

Il arrive à la CGR, installée à Asnières, de sortir de sa spécialité. En 1937 elle a commencé en accord avec CFTH, à étudier un tube répondant au plan O.C. Ferrié. La

détérioration du vide dans le fonctionnement en ondes courtes est connue. Marcel Matricon veut démontrer la possibilité de faire fonctionner dans ces conditions un tube de 50 kW, sous forme d'un ensemble démontable, plus facile à réparer, entretenir, et finalement pense-t-il, moins onéreux que les tubes scellés successivement nécessaires. La CGR dispose des meilleurs groupes de pompage du moment, pour ses tubes à rayons X (elle a par exemple un tube à vide entretenu qui fonctionne sous 500 kV). La triode 20.C.250.OC est assemblée. Les essais débutent en 1939 à la CFTH Asnières.

C'est la guerre, la débâcle. L'usine d'Asnières est évacuée une partie de l'année 1940.

La situation de la CGR la conduit à transférer à CFTH tous les tubes qui ne sont pas directement de son domaine, les rayons X. Avec toute la famille des redresseurs cités ci-dessus, est transféré le personnel qui en avait la charge. Il y a même des ignitrons (qui vivront jusqu'en 1984). Parmi les redresseurs, il en est encore fabriqués en 1997.

Le fleuron en développement, la « 50 kW OC », est aussi transféré et va devenir la TH 304.

Les triodes de puissance mises au point à la CFTH Asnières sont des TH 101, 102, etc, refroidies par circulation d'eau, des TH 201, etc, par soufflage d'air, et puis la TH 304 démontable, refroidie à l'eau, et de structure interne adaptée de la TH 104.

C'est en 1941 que la Section Tubes est créée à Asnières, rue de Chateaudun, dans le cadre du département Radioémission. Le premier émetteur OC d'Allouis s'achève vers 1942. Jusqu'à la fin de la guerre l'activité industrielle est... limitée. L'objectif essentiel est de sauvegarder le personnel et l'outil.

1942 - Emetteur de Limoges 100 kW OM, puis Grenoble. Les études se poursuivent discrètement, pour préparer la suite.

Tout le matériel Ondes Courtes d'Allouis est détruit en 1944.

L'activité reprend en 1945.

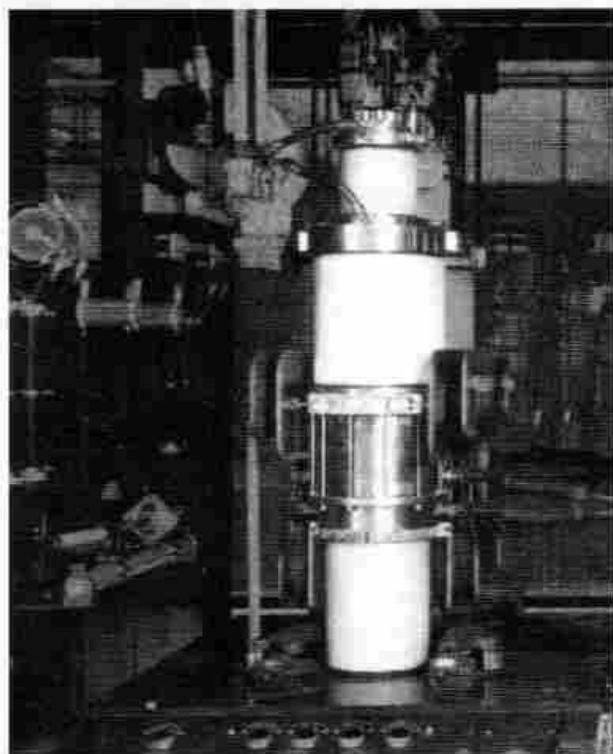
La reconstruction du centre OC d'Allouis est tout de suite engagée.

On ne parvenait pas à maîtriser le courant grille des tubes de l'étage final, montés sur le chariot. Il fallut ajouter une résistance de charge dans le circuit grille. En désespoir de cause, et après de multiples essais, ce fut un fer à béton de 5 à 6 mm, enroulé sur une bouteille d'oxygène en guise de madrin. Ce «dispositif» rougeoyant était à remplacer toutes les 40 heures d'émission. Il fonctionna 3 mois avant la solution finale. Des efforts soutenus furent nécessaires pour la mise au point de la contre-réaction des chaînes BF. Les surtensions de modulation engendraient des claquages dans les circuits et bobinages de transformateurs. Nombreux furent les décuivages, modifications, remplacements par de nouveaux bobinages, traitements de l'huile, remontages, souvent de nuit. Un sentiment de saturation gagnait ingénieurs et techniciens.

Il y avait aussi tous les problèmes liés à l'hydraulique du système de refroidissement des tubes de puissance. L'ensemble était complexe et volumineux avec ses serpentin isolants en grès et porcelaine émaillée, les circuits de pompes, et les grands bassins de refroidissement. Un système complexe de commutation des pilotes à quartz, un autre pour les antennes commutées d'une chaîne à l'autre. Le tout autorisait la permutation des 4 chaînes BF et des 6 chaînes HF avec les alimentations basse tension, moyenne tension, haute tension constituées en particulier par des redresseurs à vapeur de mercure Alsthom : les pieuvres aux tentacules de verre.

L'ensemble de ces installations, si elles existaient encore, feraient penser à ces cathédrales du temps jadis... ■

La conception de 1937-39, étage HF à tubes démontables, est conservée « adaptée ». On construit un ensemble de 6 émetteurs de puissance nominale 130 kW chacun. L'installation de ces émetteurs exceptionnels ne peut être mieux décrite que par un ancien de DRT. (voir encadré page 16). Opérationnelle en 1948, la station Ondes Courtes fonctionnera jusqu'en 1968.

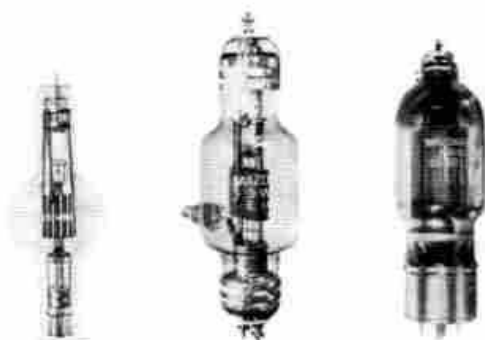


*Chariot mobile avec deux lampes (TH 304) démontables.
Station OC d'ALLOUIS 1948-1968*

1945 - L'Etablissement d'Asnières (8500 m², 700 personnes environ) c'est alors toute l'électronique professionnelle THOMSON. Maurice Jean en constitue sa base de départ : le Groupe Electronique.

Cet immédiat après-guerre voit un autre groupe de techniciens des lampes rejoindre l'équipe CFTH-CGR d'Asnières. Ils viennent de la CDL.

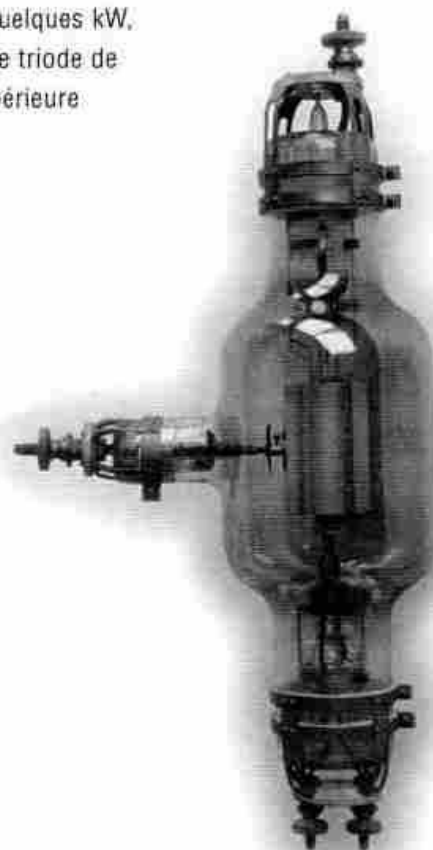
La COMPAGNIE DES LAMPES est une filiale de la CFTH, créée en 1921 pour la fabrication des lampes d'éclairage. Mais à côté de cette activité principale, elle a été conduite à reprendre les fabrications de la COMPAGNIE DES LAMPES Métal (autre ancêtre) célèbre constructeur de triodes depuis la première guerre mondiale. En 1920 (voir Fig. 6 - Annexe B) les Lampes Métal avaient mis au point une « bigrille » restée célèbre : le Neuvron de 500 W.



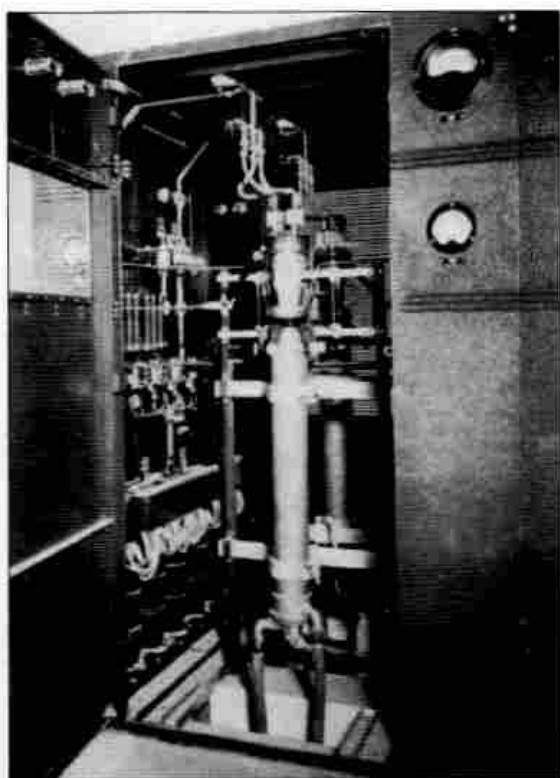
*Lampes CDL : Neuvron 500 W 1923
Triode 1 kW 1929 - Pentode 1 kW 1932*

La CDL ayant repris la fabrique de lampes d'éclairage « MAZDA » (Neuilly-sur-Marne 1911), marque donc ses lampes d'éclairage et ses tubes électroniques de puissance du nom Mazda (le nom du dieu de la suprême lumière dans la Perse antique).

Les techniciens éclairés de la CDL ont des étapes intéressantes à leur actif, spécialement des pentodes à oxydes de quelques kW, et en 1938 une triode de puissance supérieure à 100 kW.



Les premières lampes de puissance



Emetteur de Nieul 100 kW OM 1936

1946 - L'usine d'Asnières est trop encombrée. Des bâtiments complémentaires ont déjà été construits, on ne peut plus agrandir. C'est l'activité Emetteurs qui a besoin de surfaces. Elle est transférée à Gennevilliers en 1947, 8 rue du Fossé Blanc.

Plus tard (1977) Mario Sollima, premier Directeur Technique de la THOMSON, écrira : « C'est ainsi qu'est né ce département de grands émetteurs qui a tant fait pour la renommée de Thomson. L'intime collaboration jamais mise en défaut entre ceux qui concevaient les tubes de puissance et ceux qui réalisaient les émetteurs a permis des progrès remarquables et remarquablement continus. »

1949 - La CFTH reprend le Département Lampes des LABORATOIRES RADIOÉLECTRIQUES.

Mario Nikis (1908-1944)

Ingénieur ESE, grec de naissance, français de cœur, est naturalisé en 1939. Il a fondé les LR, rue de l'Oasis à Puteaux, société qui étudie et fabrique des émetteurs de puissance moyenne. Il utilise des tubes américains.

En 1940 il s'empare des installations de l'usine, emportant tout ce qu'il peut dans son repli à Clermont-Ferrand. Les Allemands font savoir à Vichy qu'il « mérite d'être fusillé ». Il reprend la construction d'émetteurs pour les aérodromes de la Zone Sud, l'Algérie, les colonies. Il fournit des émetteurs à la Résistance.

Novembre 1942, la zone libre est occupée. « Camouflage et diplomatie » de Mario Nikis, mais les ennuis s'aggravent. L'approvisionnement est ardu, celui des tubes encore plus. Il crée en 1943 une usine de « Lampes Radioélectriques » à Clermont, 43 rue des Jacobins. Elle occupera jusqu'à 40 personnes, et mettra au point l'essentiel de ses productions de l'immédiat après-guerre.

Janvier 1944. M. Nikis est contacté au plus haut niveau de la Résistance et prend la responsabilité d'un programme de fournitures d'émetteurs à l'armée de l'ombre, fournitures qui commencent quelques mois plus tard.

Le 15 mai, il est arrêté par la Gestapo dans la rue, une rafle est effectuée à l'usine. Torturé, il ne parlera pas, ni ses compagnons. 18 personnes des LR ne reviendront pas. Lourd tribut à la cause de la France. Lui-même va disparaître dans le « train de la mort » du 3 juillet 1944, qui emmenait 2800 déportés, dont 2000 périssent.

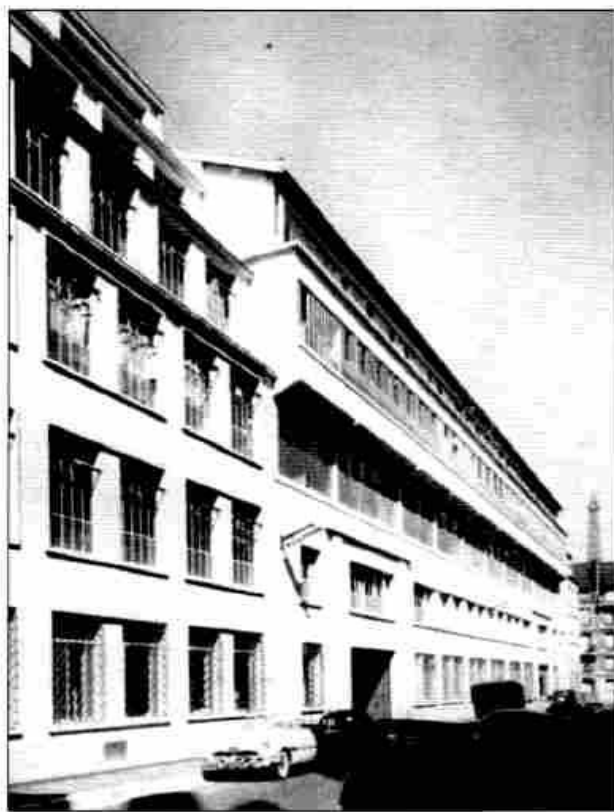
Peu avant son arrestation, prévoyant la fin de la guerre, il avait préparé le retour de son entreprise à Paris. Son choix s'était arrêté sur un grand immeuble, dépôt de la Marine Nationale, rue Grouselle (15^e). Lui disparu, les dispositions sont maintenues. Le dépôt est vidé de ses rechanges pour sous-marins, éléments de tourelle pour le cuirassé Richelieu, etc, et agencé en usine de tubes.

Toute l'équipe de Clermont-Ferrand est opérationnelle en 1946. Les LR fabriquent alors toute la gamme de lampes nécessaires à ses émetteurs : des valves à mercure, des triodes jusqu'à 6 kW dissipés (à air) des pentodes jusqu'à 12 kW (à air ou à eau). Ils préparent la montée à 200 MHz et même 1500 MHz, étudiant des triodes et des magnétrons.

La cathode thorinée est également en développement. La rue Grouselle est rebaptisée Mario Nikis, une stèle est inaugurée à l'usine le 3 juillet 1946, avec les noms de ceux qui ne sont pas revenus.

Mais la disparition du chef va se faire sentir.

1949 - La solution sera la reprise par la CFTH. L'usine de la rue Mario Nikis rassemble alors en une seule équipe tous ces spécialistes des tubes à grille et devient le Centre des Tubes du Groupe Electronique CFTH.



L'usine de la rue Mario Nikis en 1960

Les tubes « classiques » THOMSON à la veille de 1950

L'effort de guerre a donné une vigoureuse impulsion aux tubes hyperfréquences (radars, conduites de tir, etc) surtout aux Etats Unis et en Grande Bretagne. Pour les lampes « classiques » (n2), dénomination alors retenue depuis l'apparition des tubes pour hyperfréquences, la guerre a plutôt été un entracte. Du fait de l'occupation, la France a pris son indépendance, dans le cadre d'une activité réduite.

En cette fin de demi-siècle, les lampes pour la radio-émission ne sont pas différentes de ce qu'elles étaient à la veille de la guerre. De la forêt de concurrents émergent 37 marques célèbres. Tous fabriquent des produits assez semblables.

Les tubes THOMSON c'est le catalogue des productions de l'établissement d'Asnières, essentiellement destinées à la radioémission de puissance. Les LABORATOIRES RADIOÉLECTRIQUES qu'ils rejoignent alors la rue Mario Nikis, ont des produits voisins, limités on l'a dit, à des puissances plus basses. Ces derniers modèles ne sont poursuivis que le temps de terminer les équipements en cours.

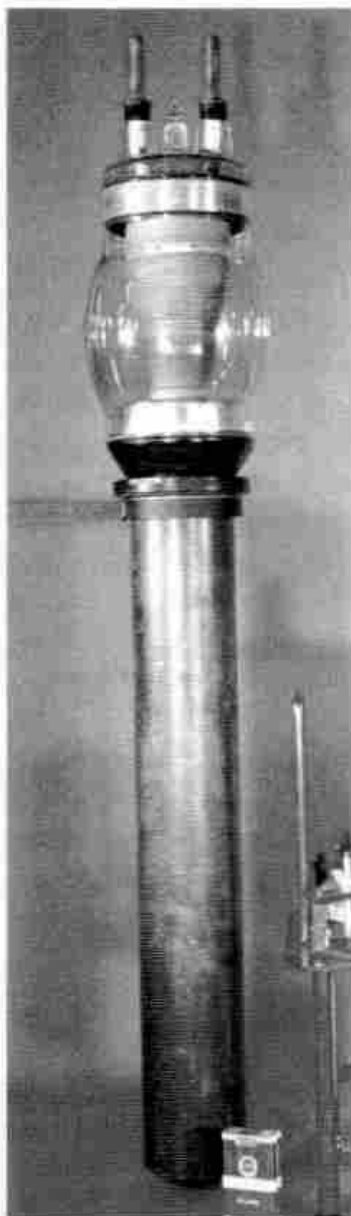
Le catalogue CFTH comprend des tubes à vide et des tubes à gaz. Dans les tubes à vide on trouve des tubes pour l'émission, triodes, tétrodes, pentodes, et des redresseurs haute tension. Dans les tubes à gaz, des redresseurs destinés aux alimentations, phanotrons, thyatron, et des commutateurs. Les tubes précédents ont aussi des usages industriels. C'est l'usage majeur des ignitrons. A ces produits de base, que le succès va trier, on verra s'ajouter d'autres spécialités.

Triodes, tétrodes, pentodes

L'émission de puissance, c'est l'affaire des triodes. En 1940, c'est la SFR qui a mis sur pied un tube record de 300 kW (« a prototype spirited away to America », cf l'abrégé de tête) (n1). MACHLETT l'a égalée, puis TELEFUNKEN. PHILIPS annonce 250 kW. L'Encyclopaedia de BB. Babani (1949) donne une UV171 Japanese de 350 kW...

Il n'y a pas de telle puissance au catalogue CFTH. Le maximum proposé est de 100 kW (TH 108) pour 2 MHz. Comme chez tous les concurrents c'est une longue triode refroidie à l'eau. (ci-contre). Le refroidissement par air forcé est utilisé jusqu'à 15 kW. Les tubes à ventilation naturelle vont jusqu'à quelques kW. Pour l'essentiel ces tubes sont destinés à l'émission OL et OM. L'industrie utilise les mêmes. Pour l'onde courte, on travaille maintenant sur un tube scellé niveau 50 kW.

On fabrique des tétrodes au dessous de la dizaine de kW. Ses avantages sont bien connus; mais ils sont fonction de la qualité de la géométrie de la structure et de l'alignement des grilles.



Une lampe au long tube

A la fin de cette première moitié du 20^e siècle, un solide tube de puissance a une structure toute en longueur. Le plus puissant de la famille CFTH est la TH 108, 100 kW à 2 MHz, on l'a dit. Sa hauteur est de 1 m 23, et sa structure électronique se loge dans une anode tubulaire de 0m11 de diamètre extérieur. La cathode jugée indispensable pour la robustesse est faite de brins droits de tungstène pur de gros diamètre (1,31 mm). Une opération très importante : le flashing, court chauffage à haute température stabilise le brin à la forme rectiligne qu'il doit conserver toute sa vie. Il faut veiller à limiter la recristallisation, sinon la durée de vie s'en ressentira.

Un système de ressort(s) et d'isolateur(s), souvent en quartz, tient en place les brins. Dans des cas difficiles on a imaginé un complexe palonnier répartiteur des tensions mécaniques. L'assemblage se fait par soudure à l'arc. Toute trace de carbone est à proscrire : différences de résistivité, température, allongement, durée... La cathode d'un tube de 50 kW demande 6 kW de chauffage.

On sait que le tungstène thorié n'en demanderait pas le tiers, on en connaît l'intérêt depuis Langmuir 1923, mais jusqu'à présent il est cantonné aux tubes de puissance moyenne. Le tungstène thorié est difficile à utiliser avec une haute tension supérieure à 5 kV, car très sensible aux traces de gaz et ions résiduels (cours ESE. M. Ponte). Cependant vient le moment où ceci va être remis en question, la qualité du pompage ayant progressé grâce aux dernières huiles de pompe à diffusion qui supportent maintenant les grands dégagements.

Devant une cathode aussi chaude on monte une grille en molybdène, ou même tungstène pour la plus forte charge thermique. Un gros fil est enroulé sur des barreaux droits encore plus gros pour évacuer la chaleur. Pour les températures les plus élevées, la fixation est exécutée par sertissage ou ligature, on ne sait pas faire une soudure qui tienne bien les cyclages thermiques extrêmes. C'est le degré de perfection de la géométrie finale qui va conditionner la qualité du tube. Un point où il y a réduction de la distance interélectrodes, et c'est le point chaud mortel. Il se produit parfois de violents court-circuits destructeurs (le fameux et redouté Rocky point) d'autant plus dangereux qu'ils vident l'énergie stockée dans l'alimentation. Les causes en sont recherchées, pas toujours trouvées. ■

La TH 108 (1945)

C'est l'imperfection qui limite ces tétrodes aux niveaux indiqués, et pourtant il ne manque pas d'excellents « artistes » du montage. S'il y a trop d'électrons secondaires (jusqu'à l'inversion de pente des caractéristiques), cela devient désastreux, alors une 3^e grille (« d'arrêt » ou « de suppression ») est mise en œuvre et c'est la pentode.

La cathode à oxydes est utilisée pour les tensions plus faibles, la petite puissance. Les difficultés majeures viennent de l'évaporation des substances émissives.

Fréquences hautes

La constitution des tubes les plus puissants ne leur permet pas de dépasser 2 MHz. Pour monter à 30 MHz sont construits des tubes pour une dizaine de kW, et quelques kW jusqu'à 100 MHz par exemple pour le chauffage par pertes diélectriques. Une triode à enveloppe verre est destinée au radar, pour 450 kW crête en impulsions, à 200 MHz. Et puis, dans ces années du milieu du siècle, ceux qui deviendront les principaux responsables du futur TGC, fabriquent dans ce même département, des magnétrons bande L, S, X, des klystrons reflex (le célèbre 2K25 !), des alternats, TR et ATR...

Redresseurs et commutateurs

- Les kénotrons redresseurs à vide pour haute tension, vont jusqu'à 60 kV et 1,5 A moyen.
 - Les phanotrons redresseurs de courants à fréquence industrielle, les uns à vapeur de mercure, jusqu'à 17,5 kV (2,5 A moy), les autres au xénon jusqu'à 10 kV (0,4 A moy).
 - Les thyatron redresseurs (mêmes gaz) commandés par grille, très utilisés pour les alimentations d'émetteurs, la science, l'industrie.
- Il n'y a pas de thyatron à hydrogène à Asnières, mais ils vont être tout de suite réclamés par l'activité radar. Ce type de tube contrôle une puissance importante, (jusqu'à 38 kV et 1,5 A crêtes) des temps brefs, avec une très grande précision. Leurs atouts : un très faible temps de désionisation, une très faible dépendance de la température.
- Les éclateurs ne débiteront qu'en 1963.
 - Les ignitrons remplacent des contacteurs électromagnétiques avec plus de précision pour de plus grandes puissances (jusque 2400 kVA). Ce redresseur est commandé par une électrode en matériau réfractaire mauvais conducteur, l'igniteur, qui amorce la tache cathodique, émetteur à très haute densité de courant

(plus de 2000 A), sur un bain de mercure. L'utilisation essentielle en est la soudure dans l'industrie automobile. La commutation d'énergie importante dans des utilisations scientifiques en utilise également.

Soixante métiers : une base

Etudes, productions, assistance à l'utilisateur font appel à une autre diversité, celle des métiers. Il y a là tout l'éventail de toutes les techniques, des spécialités de la mécanique, des matériaux, métaux, isolants, des gaz et des fluides, des techniques du vide, des techniques chimiques, des traitements thermiques de toutes natures, des fusions aux dégazages, des techniques d'analyse, de l'électricité, de l'électronique, de l'automatique. Quel est l'absent dans les chapitres de la physique ? Et n'oublions pas tous ces métiers nécessaires à la bonne marche d'une entreprise. (voir encadré ci-dessous).

Au départ il y a plus de soixante métiers, et il va en naître tout au long de cette histoire. Avec les conceptions et réalisations de toutes sortes d'équipements, de machines introuvables dans le commerce, il s'en créera une vingtaine de plus.

Le verrier en 1955

Certaines pièces métalliques de l'enveloppe des tubes doivent être isolées les unes des autres. Depuis le début c'est le verre qui est utilisé, dans une technique qui s'est perfectionnée et a ses spécialistes.

Voyez ce maître verrier qui va procéder à l'enrobage puis la soudure sur tour, d'un ballon de verre et d'un pied de triode de grande puissance également en verre. Il va mettre en œuvre une pièce intermédiaire: un collet. Son tour de verrier est l'un des plus grands de France, supportant des anodes en cuivre de plus de 60 kg.

Le chalumeau à la main, il s'entoure de flammes, allumant de multiples feux dont il concentre le dard sur ses pièces. Il porte au rouge métal et verre, façonne, profile celui-ci avec ses outils et effectue le scellement, la température de chaque étape dépend des réglages, du temps et du coup d'oeil du verrier. Toute une gamme de rougeoiements, du plus sombre au plus vif, la chaleur d'une ambiance quelque peu infernale, les mouvements précis de cet espèce de sorcier moderne torse nu au milieu de ses flammes, le verre, rigide les minutes précédentes, qui obéit docilement à sa palette, tout cela fascine le spectateur.

A l'établi voisin un verrier ne cesse de modifier ses flammes pour façonner à la main de grandes pièces de verre avec doubles et triples soudures, un assemblage qui demande les plus grandes précautions en préchauffage. La pièce de choix est la pompe à vapeur de mercure, c'est là que le verrier donne la mesure de son habileté.

Plus loin toutes sortes de machines spécialisées, toujours environnées de flammes. Ici des machoires d'acier pressent des pieds de verre qui porteront des filaments. Là des broches sont soudées sur une coupelle, pied d'une triode de 200 kW.

Les verres utilisés sont dits durs, aux coefficients de dilatation accordés à chaque métal utilisé, tungstène, molybdène, fer nickel cobalt en alliages, etc.

Il n'y a pas d'artisans plus fiers de leur métier que ces héritiers des gentilshommes verriers de la Renaissance, dont ils se souviennent, l'épée au côté, et c'est encore leur âge d'or. Mais avant dix ans s'amorcera le déclin, avec le développement de la céramique.

Ce milieu du siècle voit le rassemblement de techniciens de tous horizons, se fondant en une équipe mobilisée par ses responsables, et ce n'est pas une image, en tête desquels vient Jean Péhé. (voir encadré ci-dessous). La cohésion va se renforcer avec cette occasion unique, la fondation de l'usine de Thonon. Alors sera mis en œuvre un ciment d'une solidité bientôt demi séculaire, dans un climat d'échanges favorable aux progrès de l'innovation.

C'est probablement cette combinaison de diversité et d'esprit d'équipe qui a donné une assise exceptionnelle à l'histoire que l'on va retracer. La vie industrielle de ceux qui ont participé à cette aventure est faite de souvenirs si forts qu'ils la croient peu ordinaire.

Jean Péhé remet la grande médaille d'or du travail à Pierre Josien, entré en 1930 chez Ducretet (devenu Thomson). P. Josien a fait partie de l'équipe qui mettait en œuvre les fameuses lampes démontables d'Allouis, où il a été affecté de 1940 à 1968



Jean Péhé (1914 - 1981)

Ancien élève de l'Ecole Centrale, Capitaine de réserve, Chevalier de la Légion d'Honneur, Monsieur Jean Péhé, après dix années passées à la SFR, à LCT, puis aux Laboratoires Radioélectriques, avait rejoint la THOMSON en 1950 comme Chef des Services de Production du Département Lampes, et en était devenu le Directeur en 1957.

Le développement important des tubes électroniques au début des années 60, conduisit la Direction de la THOMSON à renforcer ses moyens dans ce domaine et à chercher une implantation en province. Monsieur Jean Péhé fut chargé de décentraliser à THONON les activités des tubes à grille et de commutation. Ce nouveau centre, créé avec une soixantaine de collaborateurs venus de PARIS, connut grâce à son action exigeante et efficace, un développement technique, industriel et commercial remarquable, et représente actuellement une unité le situant dans les tout premiers de sa spécialité dans le monde.

Particulièrement compétent dans le domaine des techniques du vide, associé dès l'origine au développement et à la mise au point des vapo-trons, initiateur des triodes et tétrodes à enveloppe céramique pour la télévision UHF, Monsieur Jean Péhé a été un artisan de la réussite de THOMSON-CSF dans le développement des équipements de Radiodiffusion et Télévision tant en France qu'à l'Etranger.

Tous ceux qui l'ont connu conserveront le souvenir d'un homme droit et loyal, cachant sous un caractère un peu rude, une profonde sensibilité et une grande bonté. ■

Extrait de la note de P.L. MESTRE
Directeur Général Adjoint de THOMSON-CSF
Directeur du Groupe Composants et Tubes.
le 10-06-1981, à la nouvelle du décès de J.Péhé.

Il faut ajouter que l'usine de Thonon devint plus que sa famille, c'était toute sa vie.

3 - L'apparition de l'adversaire irrésistible

Le 23 décembre 1947, trois ingénieurs des BELL Labs présentent leur « persistor », résultat de 6 années de « persistent research » apparemment alors peu comprise. Ce que l'on va retenir comme transistor va en sortir.

Ce qui semblait un avorton va prendre une importance sans précédent. Il va faire exploser l'électronique. Vient un temps où le solid state sera partout. Les tubistes ne vont plus cesser de se demander jusqu'où... ?

Survolons le champ de bataille qui va nous concerner, au delà du catalogue Thomson du milieu du siècle, il s'agit des domaines où règnent alors sans partage les tubes :

- Les redresseurs de tensions alternatives, les kénotrons.
- Les tubes à gaz pour alimentations, commutation de décharges, éclateurs, phanotrons, thyatron.
- L'usage industriel, soudure, ignitrons, chauffage, par induction et par pertes diélectriques.
- En radiologie, le contrôle du tube générateur de rayons X.
- Les radiocommunications, jusqu'aux liaisons par diffusion troposphérique.
- La radiodiffusion, le domaine le plus ancien, le plus important.
- La télévision, VHF, UHF.
- Les radars de veille lointaine, de trajectographie, etc.
- Les utilisations scientifiques, modulateurs, accélérateurs de particules, chauffages de plasmas, jusqu'aux plus grands produits puissance x fréquence.

Sans oublier de déborder du GHz...

Les décrochages, les retraites

Les redresseurs vont être les premiers éliminés des équipements neufs. Les petites puissances chutent nettement fin de la décennie 60. La demande pour les plus puissants (jusqu'à 70 A pour 20 kV) monte encore jusque vers 1975 (crête de la valeur globale). Ensuite c'est la décroissance, freinée par la seule maintenance. 8500 tubes vers 1960, 4000 vers 1975, 3000 en 1980, 800 en fin de décennie.



Redresseur de grande puissance



Triode pour régulation des sources de polarisation pour tubes de grande puissance (5 kW)

5 - Les années 60; nouveaux moyens

Le premier objectif étant de prendre place sur les émetteurs de puissance en télévision UHF, les avantages de la tétrode sont retenus.

Nouvelles tétrodes

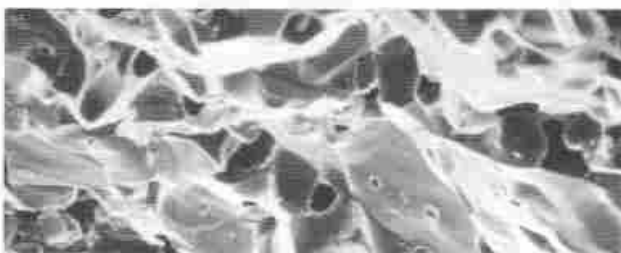
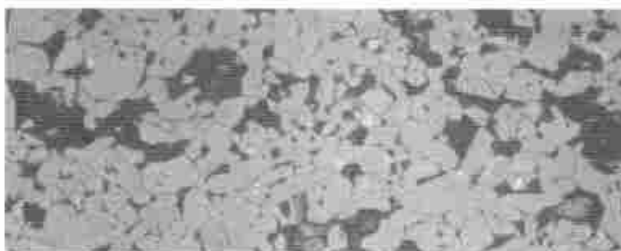
Pour exister vraiment, ces avantages (n3) exigent une géométrie, un alignement impeccables, de faibles distances interélectrodes. Plus la puissance et la fréquence sont élevées, plus cela est fondamental. Le problème n'est plus dans les anodes où les marges sont grandes.

Concernant l'enveloppe, la céramique à faibles pertes remplace le verre. Thermiquement stable, elle est mécaniquement précise. L'industrialisation du scellement avec le métal est poussée. C'est tout un métier (voir encadré ci-dessous). Prennent de l'importance les tâches et la conduction.

La céramique

Sont utilisées des céramiques à base d'alumine, cuites à haute température, qui sont très supérieures au verre en ce qui concerne :

- la précision d'assemblage, dimensions et usinage, analogues à ceux d'un métal.
- la tenue en température
- la résistance mécanique
- la résistance «aux chocs mécaniques et thermiques»



Micro analyse de structure et de surface de la céramique électronique



En ce qui concerne les cathodes, l'automatisation de la fabrication a constitué le progrès le plus marquant

Les résultats de la cathode en cage sont satisfaisants, cependant pour éviter d'épisodiques déformations, comme pour les grandes cathodes des tubes radio, un suivi rigoureux des matériaux est indispensable.

C'est dans les grilles, on l'a dit, qu'ont toujours été les limitations majeures : fil déformé à la soudure, continuant à se déformer à chaud avec le temps.

C'est la maîtrise de l'emboutissage de précision du molybdène qui va annoncer la première génération de nouvelles tétrodes. Sont presque aussi importants la façon de tailler la grille, le(s) revêtement(s) et leur traitement.

On a alors construit un bloc électronique coaxial compact, organisé pour les meilleures évacuations thermiques, organisé aussi en partie intégrante du circuit (les cavités) correspondant aux fréquences mises en œuvre. Par rapport aux imposants circuits du passé (voir les OL) les constantes se sont délocalisées.

Alors se réunissent les conditions pour produire la plus grande puissance dans le plus petit volume (nécessité par les petites longueurs d'onde).

La première famille fait ses preuves au niveau 10 kW (norme L), puis 5 et 25 kW. Il n'en existe pas d'équivalents. La consécration par le succès, c'est, le 1er septembre 1963, le démarrage de la 2e Chaîne, avec la mise en route de l'émetteur UHF 10 kW de la Tour Eiffel (TH 290).

CFTH va livrer alors la majorité des émetteurs intercalaires de cette 2e chaîne, de 2 à 20 kW (2 tubes), également des émetteurs de 50 kW, avec 2 tubes de 25, le plus élevé de la gamme, dans ce qui était le domaine des seuls klystrons CSF.

Investissements lourds

L'expansion des activités tubes montre qu'il faut faire sortir de l'usine de la rue Mario Nikis une partie de ce qui est maintenant la Division. La politique gouvernementale appuie les décentralisations.

L'opportunité se présente d'une usine laissée libre à Thonon par PATHÉ-MARCONI. La Direction sonde le personnel du Département Tubes de Puissance. Après examen, voyages, etc, l'objectif recueille les suffrages de la soixantaine de volontaires nécessaires.

L'installation à Thonon

La décision est prise en décembre 1961. (voir encadré). D'importants travaux sont immédiatement engagés pour créer le Centre d'Etude et de Production de Thonon. L'implantation des ateliers fait l'objet de tous les soins. Le résultat en sera une ambiance fonctionnelle, commode, reconnue agréable. Pour une usine électronique, elle met en œuvre un nombre inhabituel d'équipements lourds, 21 grands fours de traitement thermiques, sous vide ou sous atmosphère contrôlée, 48 « batis » et cellules de pompage sous vide, 15 émetteurs jusqu'à la grande puissance, et autres cellules d'essai de tubes. Sont installés 3 MVA, 200 km de canalisations de 7 catégories. 150 camions de 15 tonnes sont mis sur la route.

C'est une époque passionnante pour toute l'équipe. Une occasion de soudure comme il en existe peu. Une création motivante, la chance d'empoigner les problèmes. Un âge d'or pour ceux qui l'ont vécu.

Le transfert durera de septembre 62 à septembre 63, la production ne s'arrêtant pas, mais glissant graduellement de Paris à Thonon.

L'usine de THONON

La Dranse, fantaisiste comme tout torrent, forme sur la fin de son parcours, un delta – où existe une réserve naturelle – avec des îles à l'évolution capricieuse. Les bords de la Dranse, terrassés alluvionnaires, portent de temps immémorial le nom des ILAGES DE VONGY.

C'est là que Monsieur Labrut choisit, en juillet 1946, d'installer sa Compagnie d'applications Céramiques Labrut & Cie, siège à Grigny, Rhône. C'était l'utilisation d'indemnités de dommages de guerre, et M. Labrut possédait une résidence secondaire à Thonon. La partie principale du terrain (26.000 m²) est achetée à la ville de Thonon. Mr Labrut construit le grand carré de 11.400 m², base de l'usine de nos jours. La société fabrique de la faïence commune, assiettes, plats, petits tiroirs à épices. Le long hall central reçoit les fours de cuisson (près de 1000° pour le « grand feu de l'émail »). Les ateliers de préparation et de finition se répartissent sous les sheds latéraux. Les ventes marchent, surtout sur les marchés des environs, jusqu'à une certaine saturation locale. Au delà le coût du transport, déjà lourd pour les matériaux, pénalise ces produits fragiles. La Céramique Labrut est dissoute en novembre 1952.



Hall de pompage

Usine de Thonon en 1964



L'Usine de Thonon (suite)

En novembre 1955, c'est à l'Administrateur Liquidateur que s'adresse la Société « les Industries Musicales et Electriques Pathé-Marconi » pour installer une production d'« appareils musicaux électriques », des tourne-disques. Le terrain est redessiné par échanges de parcelles et un peu agrandi (27900 m²). Un embranchement de voie ferrée est établi en 1957, aboutissant au « quai » conservé par la suite pour les camions. Il y a alors une grande époque, avec un effectif important. La déconvenue, dans la région, est d'autant plus marquée lorsque la politique de la société conduit à la délocalisation de l'activité.

Deuxième abandon dit-on à Thonon, quel pronostic pour le prochain ?

On a vu que c'est en 1961 que la Division Tubes de la CFTH s'intéresse à l'usine que vient de quitter Pathé-Marconi. L'installation aurait pu se faire à Brest, mais Thonon a des atouts. Une construction simple, des dispositions bien adaptables aux objectifs du Département Tubes de Puissance. Genève nœud de communications.

Et l'avis des cadres et techniciens concernés. Plus d'un, parti hésitant prendre contact avec les lieux, revient conquis. L'adhésion générale est rapidement acquise. L'achat est conclu le 27 déc. 1961.

L'acte de vente précise la situation de l'usine au lieu-dit « Les Plages de Vongy ». Cela n'ajoutait rien au charme des lieux, le personnel n'aurait pas le sentiment d'aller à la plage.

L'inauguration officielle a lieu le 12 juin 1964, rassemblant nombre de responsables et d'intéressés dans les domaines de la radio, la télévision, l'industrie électronique, elle laissera un souvenir marquant aux nombreux visiteurs venus par avions, trains, bateaux... et sera saluée par la presse technique.

La croissance de l'activité conduira à des agrandissements successifs. Le terrain grandira de 50 %, permettant des constructions à usage social, industriel, scientifique (les « hautes énergies »), permettant aussi d'accueillir une activité de klystrons. La surface construite au sol approchera les 20.000 m². ■

Un certain graphite pyrolytique

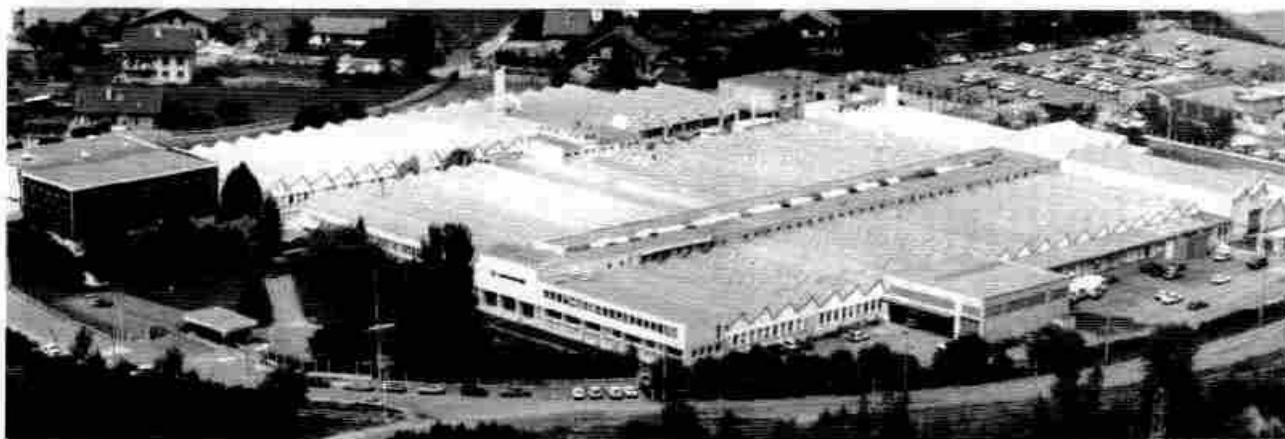
Les tétrodes de la 1^{ère} génération sont performantes. Mais un nouveau matériau va permettre de faire beaucoup mieux.

Le technicien des tubes connaît le graphite et ses propriétés intéressantes, rayonnement proche du maximum, le corps noir, faibles émissions thermique et secondaire. Depuis des années on cherche à l'utiliser. Mais on n'arrive pas à en tirer des grilles de finesse suffisante.

C'est une méthode de production de graphite anisotrope par un procédé en phase vapeur (pyrolytique) qui va répondre à l'objectif. (encadré). En fait un graphite pyrolytique spécialement mis au point, celui des industriels du graphite ne convenant pas. Les premiers tubes à en bénéficier sont les tétrodes UHF (1967 : jusque 25 kW). Elles vont en tirer tout de suite une grande marge de dissipation.

Après de nouveaux investissements lourds, c'est le début d'une nouvelle ère technologique, comme le dit James Wood « the very latest in tube technology, the THOMSON-CSF Pyrolytic grid construction which had made it possible to produce tubes that could handle hundreds of kilowatts of RF power ».

Usine de Thonon en 1995



8 - Les années 90; et après...

D'autres innovations majeures apparaissent. Avec la Diacrode, perfectionnement de la tétrode, les bornes de la puissance en télévision UHF vont être à nouveau déplacées. L'amplification commune va monter à 60 kW (n1).

Mais nous sommes arrivés à l'actualité, fin de ces temps qui appartiennent à l'histoire.

Une autre évolution majeure se profile à l'horizon : le *numérique* tant en radio qu'en télévision. Pour les tubes linéaires et ultra-linéaires de TGC, on l'a dit, (n4) il pourrait être un des marchés porteurs des années à venir. Alors un « retour de l'histoire ? »

L'environnement a changé. C'est la fin d'une longue période de stabilité.

La situation politique est bouleversée, L'empire soviétique est tombé en pièces. A cela s'ajoute des guerres et des destructions.

Les impératifs économiques s'appesantissent. Les puissances d'émetteurs sont réduites au juste nécessaire, dans certains pays on en arrête. La fièvre d'investissements dans le domaine baisse.

Les tubes ont une longue vie, leur nombre par nouvel équipement est plus faible. La guerre froide est finie.

En résultat la baisse du marché mondial s'accroît. Les premiers signes étaient visibles les années qui ont

précédé 1990 : environ 3 % l'an environ, pour le domaine qui nous occupe, TGC a bien résisté pour les tubes à grilles, sa part de marché passant de 18 % à 23 %.

Des concurrents se retirent du marché.

C'est le moment où TGC s'agrandit par attraction gravitationnelle, la croissance externe. C'est la concrétisation d'objectif vers lequel tout a convergé depuis des années...

Des accords sont passés en 1993 avec SIEMENS, puis ABB. Après les tubes télévision (Munich) de SIEMENS, la totalité de l'activité tubes à grilles de ABB se rassemble à Thonon.

TGC prend alors la première place sur le marché mondial le concernant, avec une part supérieure au tiers. Ce sont les étapes de cette prise de position de force que l'on a cherché à résumer.

L'histoire continue.

La suite, toujours reste à gagner. ■

La diacrode TH 680



L'offre actuelle comprend les diacrodes et les IOT



Lord Kelvin : « I cannot refer to this paper* without expressing the admiration and delight with which I see the words « rectilinear propagation, « polarisation », « reflection, « refraction, » appearing in it as sub-titles ».

*Hertz : XI- Sur le rayonnement électrique (Sitzungsber.d.Berl.Akad.d.Wiss.-13 Dez,1888).

Les travaux de Hertz font sensation dans les milieux scientifiques. Nombre de physiciens entreprennent de répéter les expériences (« since then the experiments have been exhibited objectively in many ways. Herr R. Ritter has employed successfully a frog's leg »).

Mais nulle part n'apparaît une quelconque idée d'application à la transmission de messages. On sait par exemple que Branly (son *cohéreur* : 1890) n'y pensait pas.

Le monde savant pense comme Lord Kelvin : « During the fifty-six years which have passed since Faraday first *offended* physical mathematicians with his curved lines of force, many workers and many thinkers have

helped to build up the nineteenth-century school of plenum, one aether for light, heat, electricity, magnetism; Hertz's electrical papers will be a permanent monument of splendid consummation now realised »

Pour les physiciens, la suite logique : « Is the aether at rest in space and does the earth move freely through it, or may we assume that the aether round the earth at any rate moves with it ? »

Hertz disparaît en 1894.

Cette année là, Sir Oliver Lodge effectue une transmission de morse à des dizaines de mètres, à travers des murs.

Marconi commence des transmissions sans fil à Bologne, dans la propriété familiale, et on connaît la suite.

Popov, professeur à l'Ecole Navale de Kronstadt achève le matériel qui va lui permettre, en 1895, des transmissions de messages.

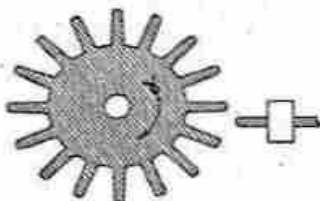
Extrait de « Radiotechnique Générale » par C. Gutton. 1926

12. **Eclateurs.** — Un éclateur à étincelles doit être construit de façon à obtenir des séries d'étincelles bien régulières. Il faut que les électrodes ne chauffent pas, ce qui diminuerait le potentiel explosif, que ces électrodes ne s'usent pas constamment au même point de façon qu'il ne se produise pas d'aspérités aigües. Un refroidissement suffisant et une conservation en bon état des surfaces évite la tendance à la formation d'un arc qui met l'éclateur en circuit.

On s'arrange en sorte que la masse métallique des électrodes soit suffisante pour empêcher l'échauffement et que l'étincelle jaillisse en des points variés de leur surface.

On refroidit les électrodes et on souffle l'étincelle en envoyant sur l'éclateur un fort courant d'air. Ce courant d'air en entraînant les centres chargés et en supprimant l'ionisation, empêche l'amorçage d'un arc.

Un type simple d'éclateur utile pour de petites puissances est l'*éclateur tube-plateau*. L'étincelle jaillit entre un plateau de cuivre disposé en face de l'ouverture d'un tube de cuivre dans lequel on insuffle de l'air (fig. 15).



CHARGE DU CONDENSATEUR

39

Deux tores de cuivre rouge en regard constituent un éclateur pour lequel l'étincelle peut jaillir indifféremment en tout point du bord (fig. 16).



Fig. 16.



Fig. 17.

Le poste de la tour Eiffel emploie un éclateur construit de la manière suivante : un tube épais en cuivre rouge sert de tuyère à un ventilateur, vers son extrémité le long du bord tourne un champignon en cuivre monté à l'extrémité d'un bras fixé sur l'arbre d'un moteur (fig. 17).

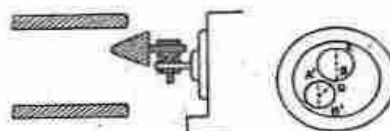


Fig. 17.

Ce champignon, lors du mouvement de rotation tourne lui-même sur son axe de façon à ce qu'un de ses plans diamétraux AB reste toujours parallèle à lui-même et vienne en AB'. Les points de la surface des électrodes entre lesquels jaillit l'étincelle, du champignon au bord du tube, changent donc constamment.

On emploie aussi des éclateurs à 3 électrodes dont l'une est un disque qui tourne entre deux électrodes (fig. 18).

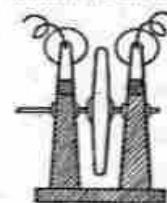


Fig. 18.

Les tubes hyperfréquences

1 - Un panorama

Les grandes lignes

Les vues sur l'ensemble des tubes professionnels ont montré la part importante qu'y tiennent les tubes hyperfréquences, majoritaires en ce qui concerne les chiffres d'affaires et le personnel, ils méritent donc une vue panoramique propre.

En fait ces tubes regroupent les spécificités apparues à divers degrés dans l'histoire des tubes professionnels par :

• leurs techniques :

- poids de la physique dans les performances, d'où le rôle des physiciens dans leurs progrès,
- multiplicité des technologies employées,
- utilisateurs prescripteurs mais non concepteurs d'où l'importance des laboratoires internes (l'amont n'étant pas disponible à l'extérieur de l'industrie).

• leur rôle :

- stratégique pour les équipements professionnels, en particulier ceux de THOMSON-CSF, avec une atténuation progressive de ce caractère dû au poids grandissant des applications civiles et à la pénétration des semi-conducteurs,

- d'où des enjeux internationaux, la profusion et la difficulté des recherches d'acquisitions ou de fusions, les rapports directs entre tubistes et donneurs d'ordre internationaux, les ventes de licences et d'assistance, les échanges (ou les copies) de produits,
- une position reconnue de leader mondial pour TTE.

• les produits :

- déconnectés des marchés à grande diffusion,
- le plus souvent originaux,
- relativement protégés de l'envahissement de l'état solide par la montée en puissance et en fréquence.

• leur industrie :

- considérations de coût et de fiabilité, à performances techniques maintenues, devenues essentielles.

• leur commerce :

- les ventes externes nécessaires pour cette industrie se sont appuyées sur des moyens commerciaux autonomes, avec un réseau international indépendant des équipements THOMSON-CSF,
- l'importance écrasante du marché et des concurrents américains a fait des USA une cible visée avec des approches variées : outre l'action du réseau commercial, des acquisitions industrielles, des ventes ou achats de licences ont été explorés.

Les familles et leurs applications

La frontière en fréquence au-dessus de laquelle on entre en principe dans le domaine des hyperfréquences est le gigahertz (30 cm de longueur d'onde), ce domaine qui va jusqu'au submillimétrique (fréquences supérieures au térahertz) est couvert exclusivement par les tubes de Vélizy, à quelques décentralisations près (klystrons de moyenne puissance transférés à Thonon).

Cependant, les tubes « classiques », tubes à grille, dans lesquels à la différence des précédents, le temps de transit des électrons dans le vide n'a pas à être pris en compte, ont pu franchir cette frontière du gigahertz ; d'où les productions à Thonon de tubes à grille, triodes fonctionnant en bande L et utilisées dans des systèmes de communication ou de détection, par exemple les émetteurs de télécommande du système ROLLAND et l'on ne saurait les oublier dans ce panorama. Les historiques dans THOMSON-CSF des autres tubes, où le temps de transit n'est pas négligeable, sont décrits dans les chapitres suivants, il s'agit « par ordre d'entrée en scène » dans le monde de l'électronique :

- des magnétrons, apparus entre les deux guerres mondiales, et qui se sont substitués pendant la seconde aux triodes dans les émetteurs des radars opérationnels.
- des klystrons, invention des frères VARIAN au seuil de cette seconde guerre où ils ont été systématiquement utilisés comme oscillateurs locaux des mêmes radars, avant de devenir la source privilégiée des très grandes puissances, les klystrons (reflex) de faible puissance étant alors remplacés par des dispositifs à l'état solide.
- des tubes à ondes progressives (TOP) nés pendant cette guerre et dont les caractéristiques de large bande les ont fait retenir pour les liaisons hertziennes, pour les émetteurs radar et leurs contre-mesures. Leur variante à champs électrique et magnétique croisés les rapprochent des magnétrons. Mais leur industrie, qui doit beaucoup aux « TPOM » de la CSF, a eu un développement limité

par leur complexité, alors que les TOP « ordinaires » devenaient les tubes majoritaires des équipements hyperfréquences professionnels.

- c'est dans l'étude des TPOM qu'apparaît dans les laboratoires de la CSF le « carcinotron » (le Backward Wave Oscillator des anglo-saxons), qui, après avoir joué un rôle essentiel dans les systèmes de guerre électronique, a vu son marché limité à des sources millimétriques.
- la combinaison des oscillateurs carcinotrons et des amplificateurs à TOP a permis d'opposer à leurs contre-mesures des radars des années 60 à fréquence variable de manière aléatoire. Quant aux réalisations des émetteurs radar à compression d'impulsions, elles allèrent de pair avec des chaînes d'amplification à TOP et/ou klystrons.

*Magnétrons, Klystrons et cristaux
C. F. T. H.*



Si les TOP à faible bruit ont amélioré ou rendu possible le fonctionnement des récepteurs des radars et de leurs dispositifs de détection et d'analyse, ils ont laissé leur place à des dispositifs à semi-conducteurs.

- dans le domaine millimétrique ouvert par le carcinotron, c'est un tube d'un principe différent, le *gyrotron*, développé d'abord dans ce qui a été l'URSS, qui a permis d'atteindre des puissances élevées ; leurs applications scientifiques dans le cadre des recherches sur la fusion contrôlée n'ont pas suffi à en faire un tube courant.

une source de progrès à son industrie nationale. Depuis la participation des laboratoires de CSF et de THOMSON, avant leur regroupement, aux programmes de «superpower» des années 60, à l'achat par le Pentagone du brevet du «carcinotron», puis aux klystrons livrés à Bœing au titre du SDI* en passant par la création d'une usine (la Warnecke Electron Tubes - WELT) près de Chicago pour produire des tubes classifiés de brouillage étudiés à Corbeville, la reconnaissance par le Pentagone d'une force française en matière de générateurs de puissance s'est maintenue et a pu orienter les rapports avec les industriels américains.

* (Stratégie Defense Initiative)

L'importance des supports étatiques

On perçoit dans cette énumération le poids des applications militaires, par leurs besoins et leurs débouchés dans l'industrie des tubes hyperfréquences. Aussi, compte tenu de la vocation des maisons mères, il n'est pas étonnant que l'activité des tubes hyperfréquences dans THOMSON-CSF y ait joué un rôle important et ait fait l'objet de supports importants et continus des Administrations militaires françaises, mais aussi étrangères grâce à des positions techniques de pointe et une active ouverture commerciale internationale.

Ces supports se sont étendus aux Administrations civiles pour des applications de télécommunication reposant sur des tubes hyperfréquences, les faisceaux hertziens, les émetteurs de télévision, puis les télécommunications spatiales. L'aventure THOMSON-CSF des tubes spatiaux a débuté avec un appui vigilant du CNET et du CNES, mais aussi de l'ESRO et de la COMSAT qui ont également soutenu le concurrent européen TELEFUNKEN, devenu AEG, qui a rejoint finalement TTE alors que le marché s'était amplifié et se développait sur des bases plus commerciales qu'institutionnelles.

Mais la pénétration difficile du marché américain a été aidée, voire encouragée par l'Administration américaine désireuse de susciter une concurrence ou

Les rapports avec les concurrents

La fusion en 1969 de THOMSON-VARIAN avec la DTE de THOMSON-CSF n'a pas laissé de place à une concurrence nationale appréciable ; ce qui restait d'activité à LMT et LTT, qui s'était spécialisé dans les tubes millimétriques a été, plus ou moins rapidement après la reprise (provisoire) de ces sociétés par THOMSON-CSF, transféré à Vélizy.

Avec les concurrents européens les rapports se sont situés sur la base de contacts réguliers officiels à la recherche d'intérêts communs, mais sans fausser la concurrence.

Dans le monde des tubistes où « tout le monde cause avec tout le monde », THOMSON-CSF avait été au cœur de contacts internationaux, de demandes de licences, de recherches d'alliances etc. Avant les acquisitions en Allemagne (SIEMENS, AEG), après la dissolution de la société THOMSON-VARIAN débouchant sur un simple accord d'assistance technique, on peut citer l'opération industrielle aux USA, déjà évoquée, menée avec HALLICRAFTERS puis NORTHROP qui a finalement repris l'activité créée dans la WELT, trop « sensible » pour rester sous contrôle étranger.

Diversifications ou acquisitions

Les activités à grande diffusion sont trop rares ici pour peser sur les applications professionnelles, à la différence des domaines de la visualisation ou mieux des semi-conducteurs. La concurrence aux magnétrons cuisinières d'Extrême-Orient, et à ceux qu'EEV produit pour les radars « Marine » a été explorée mais abandonnée. En matière de chauffage hyperfréquences, tout en restant dans le domaine industriel, une diversification est apparue finalement avec les dispositifs complets de générations de puissance autour de la production d'éléments accessoires hyperfréquences.

De même le passage du TOP à l'ATOP par intégration du tube et de son alimentation a constitué aussi une diversification par extension du produit.

Les travaux sur d'autres technologies, effectués par exemple sur les lasers à gaz ou les dispositifs à ondes acoustiques en surface ou en volume, n'ont pas conduit, dans THOMSON TUBES ELECTRONIQUES, à des productions complétant une activité centrée sur des tubes de puissance et dont le niveau dépend maintenant des apports des productions acquises à l'étranger. Ces acquisitions ont permis, faute de diversifications, de lutter contre la concurrence des semi-conducteurs et la diminution des applications militaires.

La force, passée au premier niveau international, résultant du regroupement pendant les «trente glorieuses», de deux équipes de culture technique complémentaire, formées dans l'éclosion d'après-guerre de l'électronique française, dont elle a constitué un élément moteur, a su montrer sa faculté d'adaptation à un environnement de moins en moins favorable. ■

2 - Les magnétrons et les amplificateurs à champs croisés

Les magnétrons sont les premiers tubes hyperfréquences de puissance ayant vu le jour. En France, les premiers travaux ont été réalisés dans les laboratoires de CSF, par l'équipe de Maurice Ponte, à partir de 1931. L'anode était placée dans une ampoule en verre, l'ensemble se trouvant dans l'entrefer d'un énorme aimant. Un des progrès les plus significatifs fut l'introduction de la cathode à oxyde. Grâce à sa capacité d'émettre en impulsions une très grande densité de courant et, surtout, d'avoir un coefficient d'émission secondaire très supérieur à 1, on réussit à atteindre des puissances crête élevées. Cette innovation fut introduite à la fin des années 30.

On a déjà rappelé qu'en mai 1940, Maurice Ponte fournit un magnétron utilisant cette cathode à la GENERAL ELECTRIC anglaise. Celle-ci jugea tout à fait significatif l'apport de la technologie française au perfectionnement des systèmes de détection et l'utilisa pour ses développements de magnétrons.



Magnétron à cathode à oxydes (1938)
et ligne interdigitale.



Magnétron à cathode à oxydes (1939)
et ligne à cavités résonnantes

A la fin des années 40, les travaux de recherche s'orientèrent en France vers les Carcinotrons M, TOP de type "M" et de type "O". Cela n'empêcha pas le développement de nombreux types de magnétrons couvrant la plage de fréquences de 1 GHz à 95 GHz.

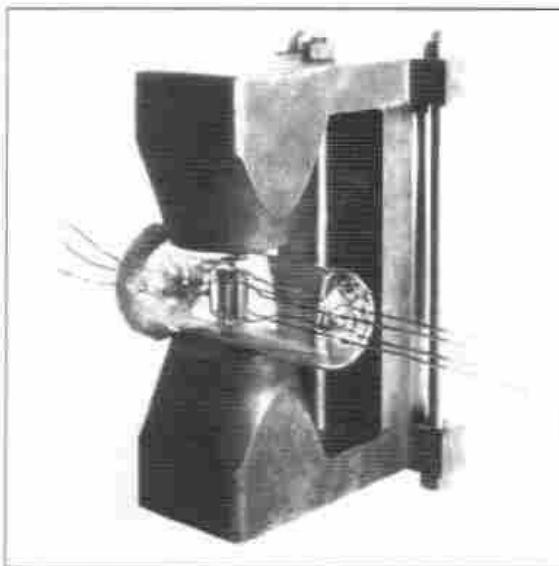


Magnétron à cavités
1 MW Bande S
(1950)

Trois équipes en France ont travaillé séparément sur le sujet. CSF, la plus importante, THOMSON et le « petit dernier » LMT qui s'était spécialisé dans la réalisation de magnétrons millimétriques en reprenant les travaux de RBV-RI puis de LTT.

Ces trois équipes ont vu leurs activités se rejoindre en 1969 pour THOMSON et CSF, et seulement en 1990 pour LMT.

Un des premiers magnétrons
réalisé par l'équipe de M. PONTE (1938)



SCIENTIFIQUE

E

Les tubes hyperfréquences

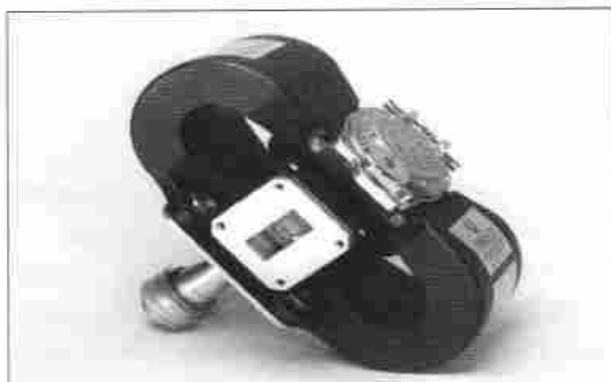
Mais revenons en arrière pour suivre les grandes étapes de l'histoire de ces tubes. Les nombreuses études, faites pendant la période 39-45, ont été publiées en 1948 dans la célèbre série du M.I.T. sur le radar. Le « Microwave Magnetrons » de COLLINS resta pendant longtemps le livre de chevet des spécialistes.

Après cette période, la première évolution significative fut le magnétron coaxial. En avril 1950, les équipes de CSF déposèrent le premier brevet sur ce sujet. Malheureusement, les tubes réalisés ne purent fonctionner à cause des nombreux modes d'oscillation possibles. Ce n'est que plus tard, vers 1957, que les laboratoires américains de la BELL introduisirent des absorbants dans la structure hyperfréquences et permirent ainsi aux tubes de fonctionner dans le bon mode.

Jusqu'en 1968, les équipes THOMSON et CSF travaillaient en intense concurrence et nouaient des relations hors de l'hexagone. CSF avait des relations privilégiées avec l'anglais EEV, mais sans accord formel. THOMSON travaillait avec l'américain VARIAN.

Au milieu des années 50, la France décida de réaliser un avion de chasse entièrement national. Cet effort conduisit au MIRAGE III qui, dans ses différentes versions, fut produit à plus de 1000 exemplaires. Le contrat de développement du radar de l'avion, le « Cyrano », fut notifié à CSF et celui du tube fut confié à THOMSON.

L'équipe de THOMSON se mit au travail et développa un magnétron 200 kW bande X accordable en fréquence sur 1100 MHz. Ce type de tube n'existait pas à l'époque sur le marché. Mais, pendant ce temps, l'équipe de CSF, avec la complicité du radariste, modifia la spécification pour que son tube soit le seul à être compatible du radar.

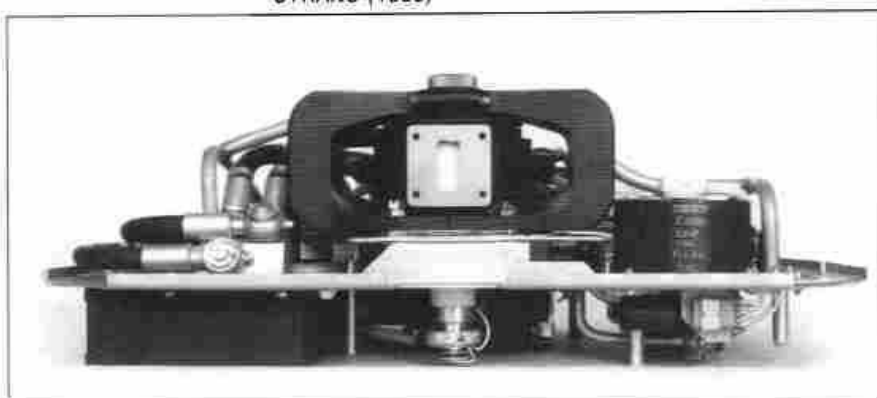


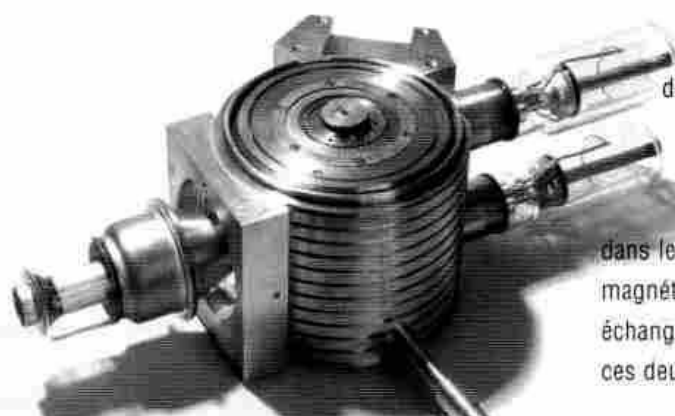
Magnétron 4J50TO du radar Cyrano (1958)

Le tube THOMSON était à refroidissement par air et le tube CSF par liquide, comme les autres composants ou circuits du radar. La stratégie du tubiste CSF réussit et, dans les années qui suivirent, CSF puis THOMSON-CSF réalisèrent plus de 10.000 magnétrons pour les Cyrano dans ses différentes versions. Ces tubes étaient réellement des produits « consommables » avec une durée de vie de quelques centaines d'heures. D'autres tubes furent développés dans les années 50 et 60, certains s'inspirant, de près ou de loin, de modèles déjà développés aux Etats-Unis.

Dans ces catégories, on trouve chez THOMSON le 5J26 qui fut produit en grandes quantités pour les radars de surveillance aérienne, le TV1547 développé pour le radar de tir du « Cactus ». Ce dernier système était l'ancêtre du système d'arme Crotale qui a été réalisé pour de nombreux pays. Côté CSF, ce fut le développement des MC1055 et MCV1055 qui équipèrent les radars de surveillance militaire de la France et également la chaîne « EARLY WARNING » de l'OTAN.

Magnétron coaxial intégré dans un modulateur du radar CYRANO (1966)





Magnétron THOMSON 5J26 : 400 kw bande L (1955)



Magnétron TV 1547 (développé par THOMSON VARIAN)
60 kW Bande Ku (1967)



Magnétron MCV 1055 (développé par CSF) 1MW Bande S (1956)

A la fin des années 50, au cours des réunions entre CSF et EEV, premier tubiste anglais, germa l'idée de mettre en commun le fruit des développements pour que chacun puisse couvrir ses propres besoins sans réaliser des développements coûteux. La décision fut

prise d'échanger le dossier du magnétron 4J50T0 développé par CSF pour le Cyrano I Bis contre celui du M 554, magnétron bande L développé par EEV.

Ce fut pour CSF, le début de la famille des MC 567 qui ont équipé et équipent toujours de nombreux radars d'aéroports dans le monde. Par contre, EEV ne fabriqua jamais le magnétron développé par CSF. Ce fut d'ailleurs le seul échange de dossiers de tubes hyperfréquences entre ces deux compagnies.



Magnétron MC 567 de CSF 2,4 MW Bande L (1959)

Une autre aventure commença dans les années 65. Ce fut le développement des magnétrons pour cuisinières avec lesquels J. Ninérailles voulait prendre pied dans le domaine grand public. Des tests en vraie grandeur de ce magnétron furent réalisés. Sur la plate-forme d'essais de Levallois où étaient testés ces tubes, on avait droit, suivant les jours, à des odeurs de poulet grillé, de beefsteak ou de poisson... Les premières cuisinières à magnétron (on ne parlait pas encore de four micro-onde) furent installées dans des wagons-restaurants de la SNCF. Ce fut un échec. Les cuisiniers à bord des trains n'appréciaient pas ces instruments qui, de leur point-de-vue, réduisaient leur valeur ajoutée. Petit à petit, les équipements, mal maintenus, cessèrent d'être opérationnels.

3 - Les klystrons

(d'après le témoignage de R. METIVIER)

Les tubes hyperfréquences développés pendant la guerre pour les radars des belligérants Allemands, Britanniques, Américains, Japonais, Russes, à côté des triodes classiques limitées vers les fréquences élevées, ont été les magnétrons pour l'émission et les klystrons, utilisés comme oscillateurs locaux à la réception.



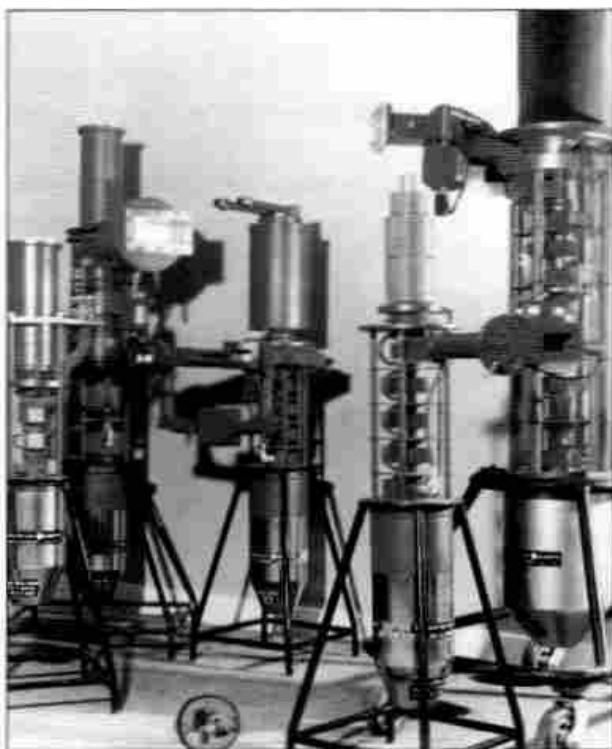
Klystron auto-oscillateur, Bande S (1947)

Aussi l'apparition des klystrons utilisés comme amplificateurs dans le domaine des grandes puissances a constitué une sérieuse innovation. Les moteurs en ont été les besoins de nouveaux équipements hyperfréquences civils : les émetteurs d'une télévision naissante demandaient des tubes de quelques KW en régime continu et les accélérateurs de particules des tubes émettant en impulsions jusqu'au mégawatt. On visait donc bien au delà des milliwatts ou des watts des klystrons reflex.

On a vu que les laboratoires de la CSF, quoique orientés vers les amplificateurs à champs croisés, ne négligeaient pas les développements des klystrons que P. Guenard avait initiés pendant la guerre : ceci en liaison avec les travaux de la CSF dans les deux domaines moteurs, la télévision et les accélérateurs de particules dont les sources de puissance sont sorties des laboratoires de Corbeville avec des klystrons étudiés et produits en symbiose avec ces machines. Pour les radars de CSF, l'effort est resté limité aux magnétrons, interchangeable avec des tubes américains et développés à Levallois et aux amplificateurs à onde

progressive « ordinaires » (TOP nommés alors TPO à CSF) ou à champs croisés (TPOM) qui ont permis au prix de plusieurs tubes en série d'obtenir et la puissance et la largeur de bande des radars à fréquence aléatoire. Les klystrons étaient considérés comme des tubes à bande étroite mal adaptés à ce genre d'applications.

Aussi c'est à la CFTH, à l'initiative d'un visionnaire de l'Armée de l'Air, le Colonel de COLIGNY, du Bureau des Etudes Avancées du STTA, qu'ont pu apparaître des réalisations de pointe avec des klystrons qui ont équipé les radars THOMSON choisis pour un programme OTAN, le NADGE. Le 1^{er} radar de ce type a été essayé au centre de Mont de Marsan avec des antennes séparées pour l'émission et la réception. L'objectif opérationnel était la surveillance en trois dimensions de l'espace aérien français avec une possibilité de détection à 950 km d'appareils grâce à un ou plusieurs radars multifaisceaux. Ce qui conduisait au besoin d'une source d'une trentaine de mégawatt en crête, pour conserver son efficacité en présence de brouillage.



Klystrons de grande puissance en impulsions (1960/1970)

La CFTH accepte en 1955 de relever le défi et d'étudier un amplificateur de 30 MW crête – 20 kW moyen vers 3 GHz.

Le klystron était un amplificateur à bande relativement étroite mais permettait, par son gain élevé, d'obtenir cette puissance avec seulement deux tubes en série, alors que la chaîne en bande L des radars CSF, la première chaîne opérationnelle à fréquence variable électroniquement, nécessitait 6 amplificateurs dont 2 TPOM en parallèle en sortie. On voit les avantages et inconvénients des solutions concurrentes, très différentes dans leur objectifs, leur conception et leur technologie, mais toutes deux au delà des réalisations courantes dans le monde.

Les laboratoires de Bagneux du Groupe Electronique de la CFTH furent donc chargés de l'objectif ambitieux fixé par un contrat du STTA.

La CFTH était alors à l'écoute des travaux Américains : couplée avec GENERAL ELECTRIC en électronique, elle s'appuyait sur VARIAN pour ses tubes hyperfréquences. Une différence de politique technique par rapport à la CSF qui valorisait ses études en les vendant à des organisations militaires et scientifiques américaines : attitude opposée plus glorieuse, mais parfois moins efficace.

Toujours est-il que grâce aux contacts avec VARIAN, proche des Laboratoires de Stanford où ses dirigeants enseignaient ou avaient enseigné, les portes de Stanford s'ouvrirent pour R. Métivier. Celui-ci était

chargé d'un nouveau service consacré aux klystrons de puissance. Il put ainsi s'informer sur l'état et les caractéristiques des tubes de Stanford en restant techniquement en contact avec les équipes de VARIAN : collaboration qui devait se poursuivre sur plus de 30 ans...

Dès sa première visite à Stanford, en mars 1955, apparut l'écart important entre la réalité et ce qui était ou plutôt n'était pas détaillé dans la publication de base de Stanford : les 30 MW crête étaient ceux de l'alimentation tandis que la puissance émise n'était qu'au niveau de 10 MW et la puissance moyenne de l'ordre de 4 kW... Ce n'est qu'à Bagneux que la réalité rejoindra la fiction.

Mais il faut reconnaître le rôle de pionnier des chercheurs du Laboratoire HANSEN à Stanford qui travaillaient sur des structures d'accélérateurs de particules à cavités, du type ALVAREZ (comme ceux réalisés à Berkeley avec des magnétrons). Relevant l'analogie entre ces cavités et celles des klystrons, ils en avaient déduit la possibilité de créer de grandes puissances avec ces tubes.

Dès 1953, une étude d'un fonctionnement relativiste avait fait l'objet d'une publication de l'équipe de Chodorow dans le PIRE (*Proceedings Institute of Radio Engineers*). Il s'agissait de fonctionnement en impulsion ce qui rejoignait les besoins des radars et explique l'enthousiasme de de COLIGNY devant ces perspectives de puissance.

Les techniciens considéraient que la faisabilité de cet objectif avait été démontrée par le centre californien de Stanford à Palo Alto dont une publication (de Ginzton, Chodorow, etc...) de son laboratoire hyperfréquences HANSEN dans la revue P.I.R.E annonçait :

« A thirty megawatt klystron amplifier »

L'objectif opérationnel constitué par un émetteur transportable dans deux remorques au gabarit des voies de la SNCF menait à un projet de tube à vide entretenu, avec de plus la possibilité de changer la cathode dans la remorque, alors que les tubes de Stanford étaient pompés extérieurement, ce qui était acceptable pour un accélérateur fixe.

Donc il fallait innover.

5 - Les tubes à ondes progressives

Les Tubes à Ondes Progressives (TOP), de loin les tubes hyperfréquences les plus produits dans le monde de l'électronique professionnelle, commencèrent leur histoire en France en 1948 dans les laboratoires de CSF, rue du Maroc à Paris, avec l'équipe de P. Guénard.

Le principe du TOP avait été découvert pendant la guerre en novembre 1942 par l'Anglais R. Kompfner, lequel était architecte de son métier. G. Convert, qui avait intégré les laboratoires CSF en 1949, raconte que, étant en Angleterre pour discuter TOP avec R. Kompfner, celui-ci était plus intéressé à lui montrer les immeubles qu'il avait réalisés qu'à lui expliquer les développements de la physique. Les TOP par rapport aux autres tubes hyperfréquences, magnétrons, klystrons, n'étaient à l'époque que des objets de laboratoire. Ils n'avaient pas encore été utilisés dans des systèmes. Les développements et applications restaient à venir.

Aujourd'hui, ce tube avec plus de 50 ans d'existence a montré, à travers ses performances remarquables, une capacité d'adaptation à la plupart des domaines des hyperfréquences.

Son histoire suit l'évolution des systèmes dans les télécommunications, les radars, les contre-mesures, les missiles.... Après avoir été un objet de « laboratoire », il a été au cœur de l'évolution des télécommunications en passant des faisceaux hertziens aux liaisons par satellites tant au sol qu'en orbite. De même, il a été au cœur de l'évolution des radars militaires, où la nécessité, à la fin des années 60, d'avoir des émissions cohérentes et des largeurs de bandes de fréquences importantes a conduit à les préférer aux frères concurrents que sont les magnétrons et les klystrons.

C'est cette histoire que l'on va tenter de raconter en passant de l'époque des défrichements techniques, puis des performances à tout prix, pour arriver enfin au souci du prix de revient.

L'époque des pionniers

Le Laboratoire CSF, né rue du Maroc à Paris dans la deuxième période des années 40 autour de R. Warnecke et P. Guénard, a été un foyer extrêmement créatif pour les tubes hyperfréquences. L'équipe de recherche était constituée d'un mélange d'« anciens » avec P. Guénard, O. Doehler, et de « jeunes » avec B. Epsztein, G. Mourier, et G. Convert.

Dans le domaine des TOP, tout était à construire.

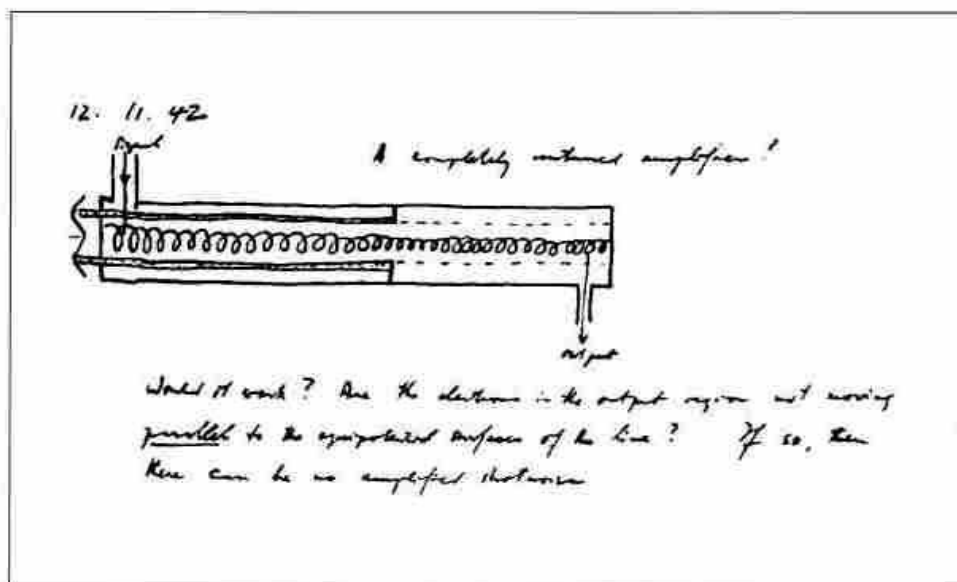


Schéma du TOP
extrait du cahier de
R. Kompfner
(1942)

Les travaux se développèrent à la fois dans l'étude des mécanismes de base et dans la recherche d'applications possibles pour ce nouveau produit.

Dans la première catégorie, G. Convert, en 1949, développa les calculs de focalisation magnétique des faisceaux électroniques.

La télévision était l'application essentielle qui orientait les études. La guerre avait suspendu des essais prometteurs réalisés dans les années 30. Une concurrence vive s'établit au niveau français entre les différentes solutions techniques pour la réalisation des tubes d'émission. THOMSON et CSF, dont les noms n'étaient pas encore unis par un trait d'union, avaient chacun leurs idées.

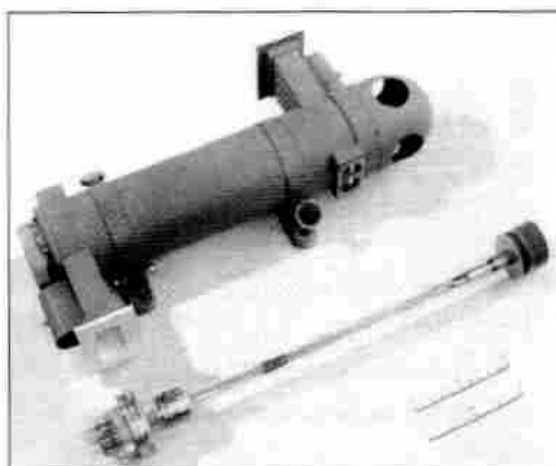
THOMSON, alliée avec VARIAN, défendait la solution klystron. CSF, alliée à l'américain RAYTHEON et au britannique GEC, travaillait sur deux options : un klystron 5 kW continu à 900 MHz, mais aussi un TOP de type un peu particulier. L'objectif de puissance était identique à celui du klystron, mais avec une grande bande passante pour couvrir avec un seul tube toute la plage utile. Les équipes de P. Guenard furent très imaginatives : l'hélice de la section d'entrée du TOP était constituée d'un tube de cuivre avec une circulation interne d'eau. La section de sortie était une cavité et le collecteur était immergé dans un champ magnétique tournant généré par une bobine permettant de répartir le faisceau électronique. On retrouvera ce principe dans les gyrotrons.

Ce tube n'eut pas de succès. Les klystrons et les tubes à grille, ayant des structures mieux adaptées à la dissipation de puissance, furent adoptés pour les émetteurs de télévision. Il faudra 15 à 20 ans de travaux pour que le TOP puisse être utilisé à des puissances supérieures à quelques dizaines de watts.

Une première application : les faisceaux hertziens

Les impératifs des transmissions par faisceaux hertziens faisaient du TOP le produit idéal. La nécessité de transmettre de nombreuses voies téléphoniques ainsi que des canaux pour la télévision imposait une grande bande passante. Grâce à la directivité des antennes pour des liaisons point à point, la puissance nécessaire à l'émission n'était pas très élevée.

Cependant en 1950-1951, c'est à la réception que les premières tentatives furent faites avec un TOP ayant 5 dB de facteur de bruit. Malheureusement, d'autres solutions techniques ayant été trouvées, ce TOP ne fut jamais mis en service.



Le tube à progression d'ondes TPO-851 (1953)

Les débuts réels des TOP coïncidèrent avec ceux des émetteurs des faisceaux hertziens. Le modèle le plus célèbre fut le TOP 851 destiné à la liaison Paris-Lille. Ce tube développé en 51-52 par les équipes de P. Guenard et G. Convert, rue du Maroc, a été produit ensuite dans l'usine CSF de Malakoff. Ce TOP, d'une remarquable simplicité, était constitué d'un tube de verre ayant à une extrémité, un scellement avec le collecteur et, à l'autre extrémité, le canon avec des passages de même type que les triodes ou tétrodes de l'époque. L'hélice, fixée au moyen de clips à trois bâtonnets de quartz, était glissée dans le tube de verre. L'entrée et la sortie des hyperfréquences se faisaient par couplage à travers le tube de verre, donc sans passage.

ultrafréquences

E

Les tubes hyperfréquences

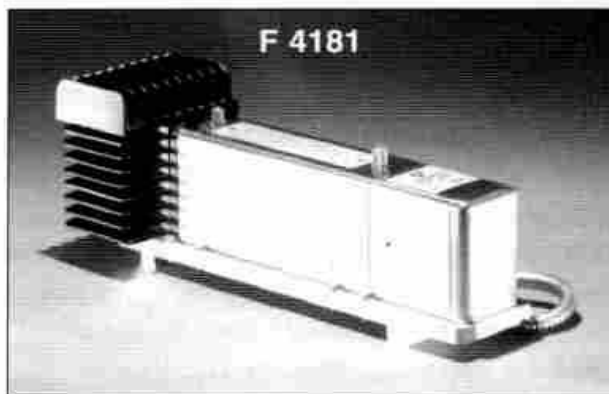
Mais la célébrité de ce tube ne vint pas de sa technologie. Ce TOP, au cœur de la liaison Paris-Lille, a permis de retransmettre en direct le couronnement de la Reine d'Angleterre Elizabeth II, le 2 juin 1953. Les délais pour la fourniture des TOP étaient très tendus. La médiatisation de l'évènement et l'impossibilité pour la CSF de faire reporter le couronnement (!) obligèrent ses équipes à travailler pratiquement jour et nuit pour tenir les délais, ce qui fut fait.

D'autres TOP pour faisceaux hertziens furent développés à la même époque, en particulier en 1953 le TOP 921 qui fut le premier à avoir une enveloppe entièrement métallique.

En 1957, les laboratoires de CSF déménagèrent de la rue du Maroc vers le prestigieux Domaine de Corbeville à Orsay cédé par la Compagnie des Compteurs. Les développements continuèrent et, au début des années 60, G. Convert et son équipe développèrent le premier TOP à focalisation alternée : le F 4017 utilisé sur les faisceaux hertziens de l'Armée de l'Air.

Peu de temps après, dans les années 64-65, le TOP 410 délivrant 10 W en Bande C fut développé et produit. Ce tube doit sa notoriété au fait qu'il fut utilisé pour la liaison permettant de transmettre de façon décentralisée les cours du CNAM.

Dans l'intervalle, en 1962, les équipes CSF des TOP et des tubes à champs croisés se regroupèrent à Levallois sous l'autorité de J. Ninerailles.

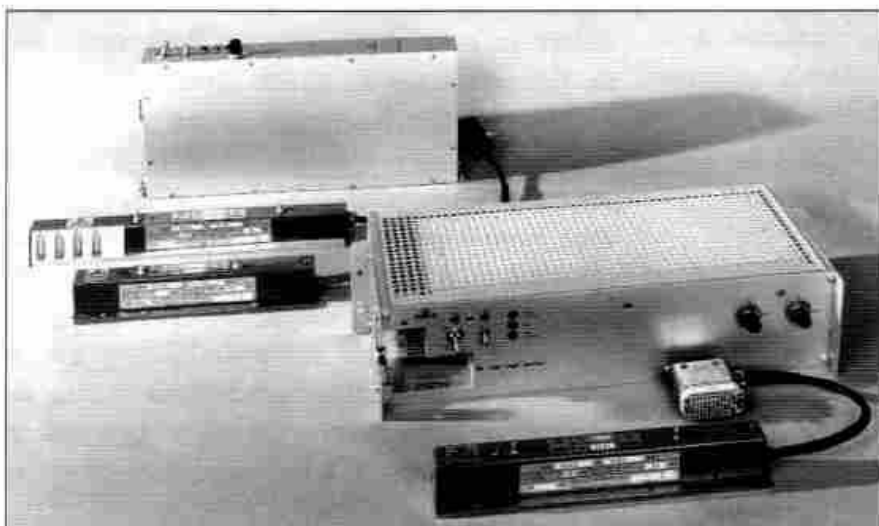


TOP pour faisceaux hertziens (1964)

Le développement des tubes pour faisceaux hertziens se poursuivit avec le F4059 / F4181, réalisé pour les faisceaux hertziens 1800 voies. Ce TOP constitua un progrès important en terme de capacité de transmission. Ces équipements constitueront l'ossature des communications téléphoniques en France avant qu'une autre technologie, les fibres optiques, ne vienne les compléter.

Le F4181 a été la pierre angulaire du développement de tous les tubes à hélice de faible puissance pour les télécommunications au sol et spatiales. Il a été, entre autres, le premier TOP à utiliser des cathodes imprégnées et à avoir un collecteur déprimé.

Après des débuts difficiles, liés à son niveau d'innovation, le F4181 réalisa des performances remarquables en terme de fiabilité. Certains tubes ont fonctionné



Groupe d'ATOP ultra-linéaires pour faisceaux hertziens numériques : TH 21663, TH 21665, TH 21675 (1982)

sans défaillance 180 000 heures, (par exemple dans la tour hertzienne de Meudon) ce qui correspond à plus de 20 ans de service.

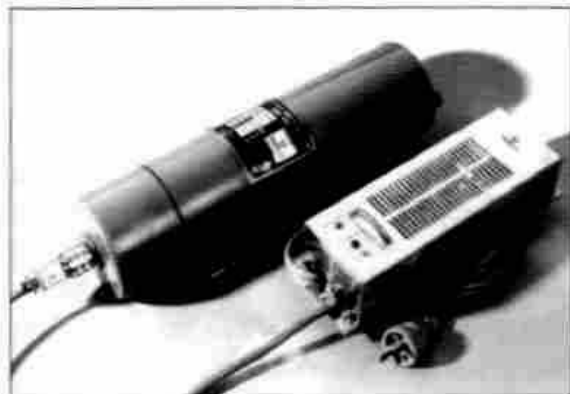
Une nouvelle génération de TOP pour faisceaux hertziens a été développée à la fin des années 70. Ces TOP, dits à haut rendement, avaient deux collecteurs. Ils ont été produits à plus de 8000 exemplaires et livrés aux Etats-Unis à COLLINS et à FARINON.

Les TOP pour radars et contre-mesures

Dans le domaine radar, les TOP se retrouvaient à la fin des années 40 devant une forte concurrence. Les magnétrons étaient les leaders incontestés pour les émetteurs. Les amplificateurs à champs croisés et les klystrons se préparaient à prendre la relève.

Pour les contre-mesures, les magnétrons accordables en fréquence étaient le produit le plus utilisé et les carcinotrons M allaient prendre la suite.

Ainsi c'est par la « petite porte » que les TOP sont arrivés dans ces domaines, au niveau de la réception, comme amplificateurs à faible bruit.



F4064A / TOP 251A + Alim, 20037 - TOP à faible bruit (1956)

Le TOP 101 est un exemple de ces développements. Au début des années 50, l'Armée de l'Air Française exprima son besoin pour la couverture radar de la défense aérienne. Ce radar devait avoir un récepteur très performant et, sous la pression du client, les responsables du développement acceptèrent un objectif de facteur de bruit de 2 dB.

Après de nombreux travaux, les meilleurs résultats obtenus furent de 3,5 dB... dans l'azote liquide. Ceci se termina par une renégociation des spécifications. Le tube fut produit sous le nom de F4129 pour le récepteur du radar CSF ER37, tandis que les magnétrons MC 1055 équipaient l'émetteur. Ce matériel est probablement le radar de surveillance aérienne produit en plus grande quantité par THOMSON-CSF. Il équipa non seulement l'Armée de l'Air Française, mais également les radars Early Warning de l'OTAN. Cette chaîne d'équipements s'étendait de la Norvège à la Turquie et permettait de surveiller le ciel des pays de l'Est.

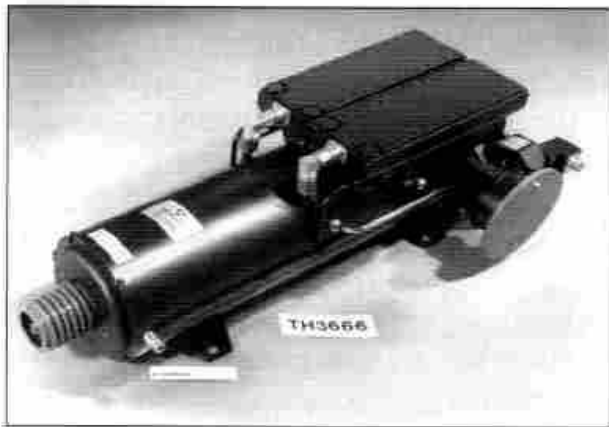
La pénétration des TOP dans l'application radar se poursuivit avec des tubes pilotant des amplificateurs plus puissants comme les amplificateurs à champs croisés et les klystrons.

A la fin des années 50, la CSF étudiait un radar à large bande utilisant des TPOMI, amplificateurs à champs croisés de puissance. Le TOP 125 fut développé pour les piloter. Ce tube de 5 kW crête en Bande L fut le premier TOP démontrant la capacité de fournir de la puissance. Comme pilote des TPOMI, il a équipé les radars de veille de l'Armée de l'Air des Pays-Bas et des porte-avions FOCH et CLEMENCEAU de la Marine Nationale.

L'utilisation du TOP, comme étage final des radars au sol ou aéroportés, a été le résultat de deux évolutions. Les radaristes commençaient à travailler avec des taux de remplissage bien supérieurs au millième, ce qui permettait, à puissance moyenne constante, de travailler à puissance crête plus faible. Ce changement favorisait le TOP, qui contrairement aux magnétrons et klystrons, est mal adapté aux fortes puissances crêtes. La deuxième fut l'apparition de lignes à retard pour TOP à structures entièrement métalliques qui, contrairement aux hélices, permettaient de dissiper une grande puissance.

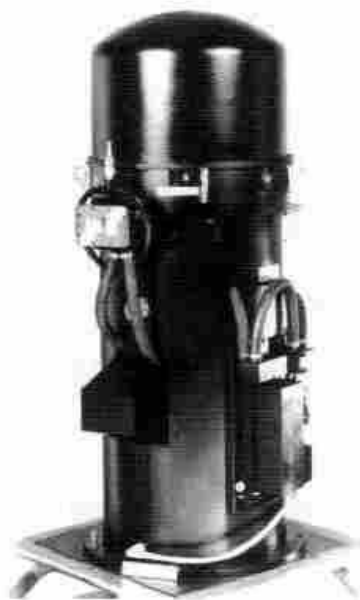
Les premières structures métalliques, spécifiques de THOMSON-CSF, ont été les lignes dites en "p". Initialement, ce type de ligne avait été développé par les équipes de P. Guenard et O. Doehler pour les TPOMI. En 1965, Palluel développa le TOP 705 en

adaptant cette ligne au TOP. Plus tard, en 1970, THOMSON-CSF développa, avec cette structure, le TOP 1304 qui devint, lors d'un développement ultérieur, le TH 3666.



TOP à ligne en "π" (1985)

En 1977, la Division Radar de Surface de THOMSON-CSF demanda un TOP de forte puissance à large bande pour un radar de défense aérienne, le TRS 22XX. Compte tenu des modes de modulation et de la bande de fréquence spécifiée, il apparut que seul un TOP à ligne en "p" pouvait répondre aux besoins. Les techniciens encouragés par les résultats du TOP 1304 proposèrent un tube aux performances plus importantes. Son développement dura 10 ans, ce qui fut un tour de force car il s'agit d'un TOP ayant un « facteur de mérite », puissance x bande de fréquence, considérable.

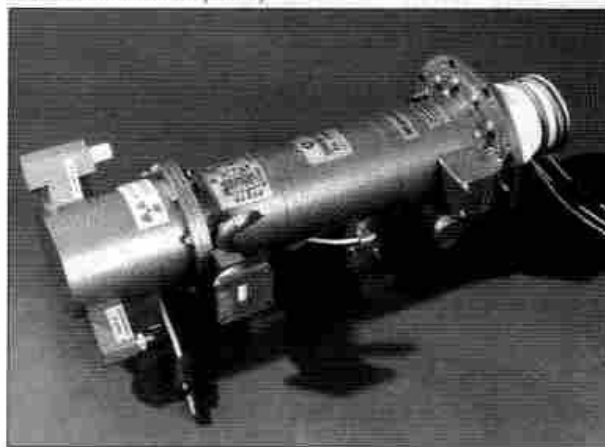


Tube à onde progressive du radar de défense aérienne - TRS 22XX (1988)

Au début des années 70, les performances demandées aux radars aéroportés imposaient la cohérence du signal émis, donc l'utilisation d'amplificateurs. La génération des radars « Cyrano » était terminée, pour être remplacée par les RDI, RDM....

Les contrats de développement des TOP destinés aux radars RDI et RDM furent signés en 1977. Les performances demandées à chacun de ces TOP impliquaient un saut technologique très important

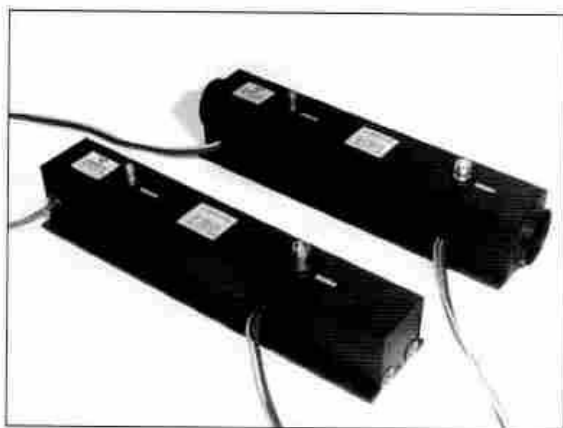
TOP du radar RDM (1983)



Pour chacun de ces radars, TDH développa des TOP à cavités couplées, autre structure hyperfréquences qui permet de dissiper une puissance importante.

Pour le développement de ces produits, deux options étaient possibles : acheter des licences auprès de tubistes américains plus avancés que nous, comme HUGHES qui était le leader incontesté des TOP à cavités couplées, ou développer notre propre technologie pour garder notre indépendance. Plusieurs tubistes européens optèrent pour la première approche. THOMSON-CSF choisit la seconde, ce qui permit de travailler sur des matériels militaires en toute indépendance.

Toujours à la même époque, TDH développa des TOP dits « Ring and Loop ». Cette structure proche d'une hélice permettait d'obtenir une puissance crête de sortie plus élevée. Les deux exemples les plus représentatifs sont le TH 3560, utilisé sur le radar de veille du système d'arme Shahine, et le TH 3637 équipant le radar Tiger G.



TH 3637 et TH 3637A, 8 kW, Bande C (1981)

Revenons en arrière avec le développement des TOP pour contre-mesures. Comme pour les radars, la première application se fit au niveau de la réception. Cette première famille, les F4024, 4025, 4026, couvrait un très large spectre de fréquence. Ces tubes, appelés "moyen bruit", étaient destinés à l'écoute et au recueil d'informations, dont la localisation, sur les radars adverses. Développés rue du Maroc, ils furent mis en production à Malakoff, puis à partir de 1962, à Levallois. La production de ces tubes eut une histoire longue et difficile. L'enveloppe métallique était réalisée en titane pour permettre de braser les saphirs des entrées et sorties hyperfréquences. Mais, les caractéristiques du titane nécessitent des traitements thermiques sous vide et une très grande propreté. Après de nombreuses années passées à tenter de maîtriser le problème, il fut décidé de changer de matériau et de passer à l'inconel. Ces tubes furent produits en grande quantité et équipèrent les systèmes d'écoute de l'Armée de l'Air et de la Marine.

Pour les contre-mesures, l'évolution technologique des TOP vers la puissance permit aux équipements de faire un bond en avant. Dans les années 60, les brouilleurs utilisaient des Carcinotrons M. Ces tubes étaient capables de générer du bruit sur une bande de fréquence plus ou moins grande, adaptée à la menace. L'arrivée des TOP avec des puissances significatives permit aux systémiers de traiter le signal du radar adverse et de le renvoyer amplifié et traité pour réaliser un leurrage plus efficace.

Le premier tube utilisé pour ce type d'application est le F4186, TOP à grille développé en 1968-69 pour un brouilleur aéroporté. Plusieurs tubes de contre-mesures furent ensuite développés, mais le plus célèbre est le mini TOP étudié au début des années 80. Ce tube couvrant une bande de fréquence très large devint le standard pour un certain nombre de brouilleurs aéroportés et pour la Marine.

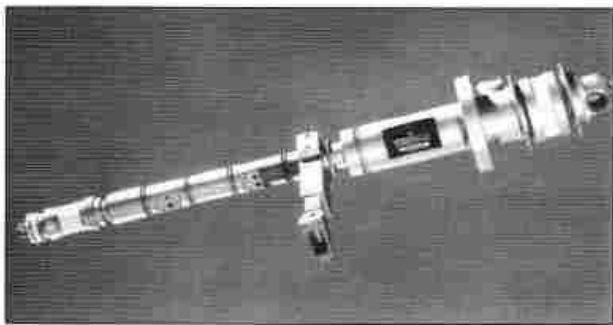


Mini TOP pour brouilleur (1983)

Les TOP pour les stations Sol de Télécommunication par satellite

Curieusement, leur histoire commence par le développement d'un tube pour brouilleur déjà évoqué à la fin du paragraphe précédent. En 1966, les Laboratoires de Recherche et de Développement CSF de Corbeville obtinrent (contre un projet du concurrent de l'époque, THOMSON) un contrat de la Marine Nationale pour le développement d'un TOP 1 kW Bande X continu destiné au brouillage. Cette puissance, très importante à l'époque, ne pouvait pas être fournie par un TOP à hélice serrée. Les équipes de O. Doehtler à Corbeville abandonnent avec quelque peine pour cet objectif leur famille de TPOMI, tubes à champs croisés dans lesquels des lignes à retard en cuivre ayant la forme de méandres plats étaient brasées sur des supports en oxyde de béryllium. Il fut alors décidé d'utiliser cette technologie pour braser une hélice en cuivre sur des bâtonnets d'oxyde de béryllium, lesquels étaient brasés sur le fourreau du TOP.

La mise au point de cette technologie fut longue et difficile et il fallut, pour résoudre les problèmes rencontrés, l'effort conjugué des équipes de Corbeville avec G. Kantorowitz et de Levallois avec H. Raye. Ce tube ne fut produit qu'en une trentaine d'exemplaires, mais ce développement permit de faire un bond considérable dans la puissance que pouvaient fournir les tubes à ondes progressives.



Le premier TOP à hélice brasée destiné à un brouilleur (1970)

Cette technologie permet à THOMSON-CSF d'entrer dans le domaine naissant des voies montantes des liaisons par satellite. La station française de Pleumeur-Bodou était équipée de carpitrons, spécialité de THOMSON-CSF. Ces carpitrons pilotés, qui sont des oscillateurs synchronisés, étaient bien adaptés pour transmettre des informations en monoporteuse, mais les liaisons commençaient à se faire vers de multiples directions. Les transmissions multiporteuses s'imposaient et le TOP était bien adapté pour répondre à ce besoin.

Il fut alors décidé de développer des TOP pour télécommunications avec la technologie de l'hélice brasée.

C'est cette technologie et les développements réalisés qui permirent à THOMSON-CSF de se faire une place dominante dans les TOP de puissance pour les liaisons sol satellite.

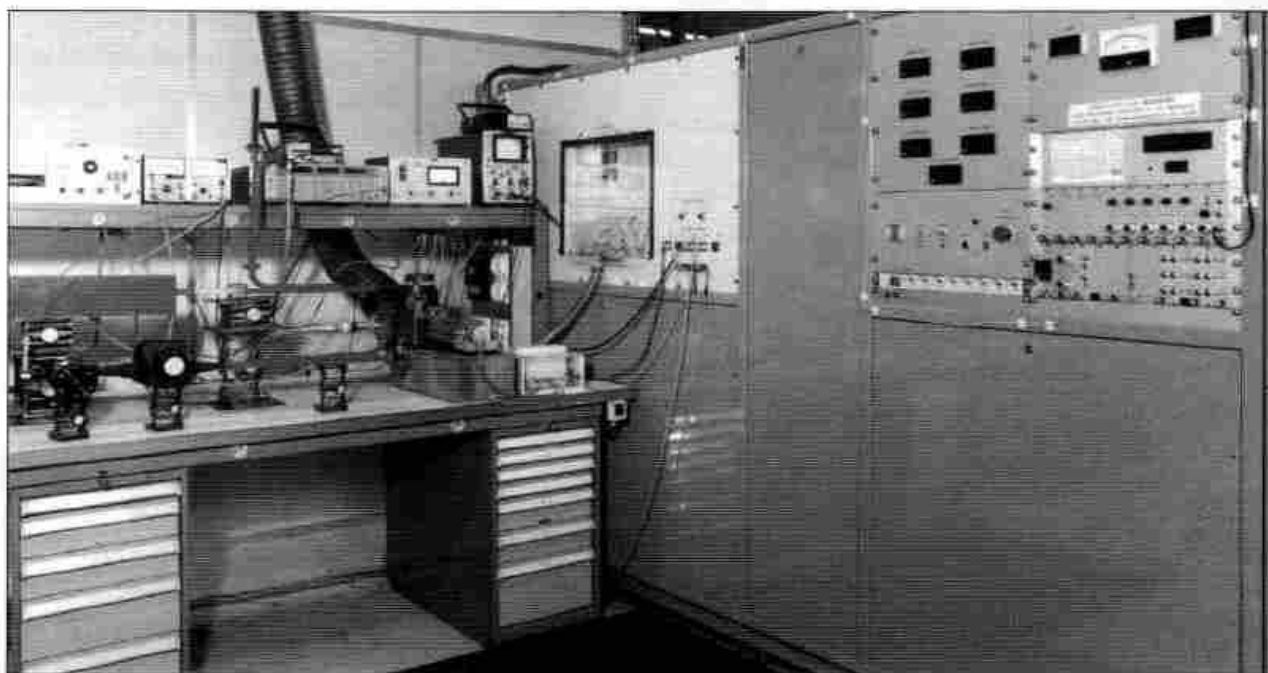
Le premier développement a concerné un TOP Bande C 1,5 kW focalisé par solénoïde et refroidi par air. Ce tube équipa de nombreuses stations, gérées par les PTT français, à travers le monde. Les livraisons qui commencèrent en 1974 portèrent sur plus d'une centaine d'exemplaires (photo ci-dessous).

Cette technologie, malgré les tentatives de nos concurrents, est toujours resté la propriété de



Banc d'essais d'un TOP pour stations sol de télécommunication par satellite

TOP 1487, 1,5 kW, Bande C (1973)



THOMSON-CSF. Une dizaine de brevets a été déposée, et d'autres technologies, comme les fenêtres hyperfréquences à large bande ont été développées pour exploiter au mieux les possibilités des TOP à hélice brasée.

Les développements de TOP à hélice brasée et à focalisation alternée furent nombreux. Le TH 3591, 600 W, Bande Ku, fut vendu à ses débuts en 1978 à la COMSAT. Ce tube a été livré à plus de 2000 exemplaires et, 20 ans après, se trouve toujours en production.

Le plus connu de cette famille reste le TH 3640, 3 kW,

Bande C, qui a été vendu à partir de 1981. Il équipe aujourd'hui de multiples «stations terriennes» à travers le monde.

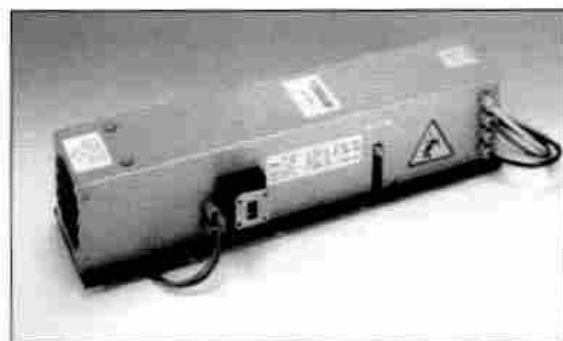
Un peu à part dans les tubes « télécom », le TH 3517 a marqué une étape importante. Contrairement aux autres TOP utilisés pour les voies montantes de liaison satellite, ce tube bande Ku utilise une ligne à cavités couplées. Il a été développé en 1972 pour l'ESRO au moment du lancement du satellite européen OTS.

Ce satellite a été le premier utilisant la bande Ku. Cet engagement de l'Europe a permis à THOMSON-CSF de se positionner très tôt dans cette nouvelle bande de fréquence et de prendre ultérieurement une part importante du marché à 14 GHz, ce qui, comme on le verra par ailleurs, a aussi été le cas pour les TOP embarqués à 12 GHz.

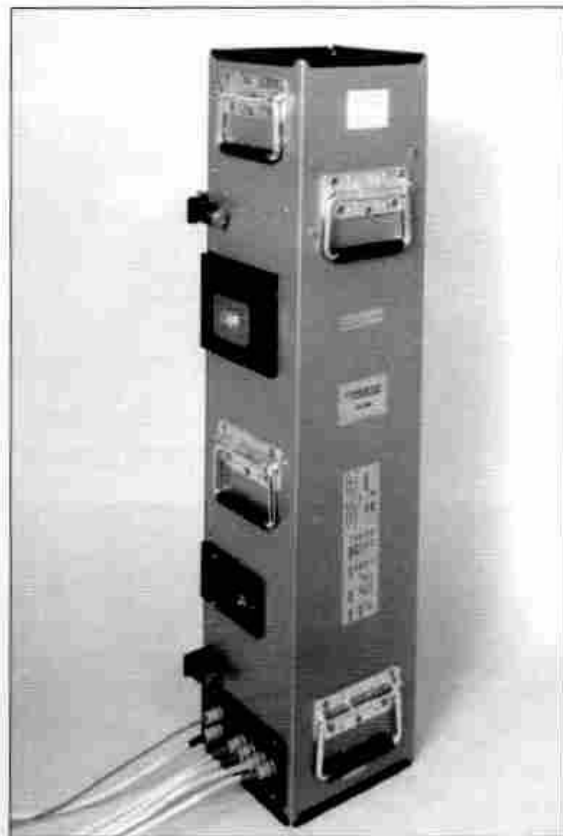
Il faut rappeler ici l'évènement important que fut en 1975 le regroupement à Vélizy de toutes les personnes travaillant sur les tubes hyperfréquences. Les équipes arrivèrent de Levallois pour les TOP et tubes à champs croisés, de Suffren (Rue Mario Nikis, Paris XV^e) pour les klystrons, de Corbeville pour la recherche et de Châtillon pour la mécanique.

Vingt ans plus tard, en 1994-95, le catalogue des TOP s'enrichit avec le transfert des tubes d'origine SIEMENS. Les TOP de Munich apportèrent la technologie des cavités couplées à 44 GHz.

Cette acquisition et les développements de TOP à hélice à la même fréquence donnent à TTE une position dominante pour les télécommunications en EHF.



TOP TH 3591 600 à 750 W, Bande Ku (1979)



TOP TH 3640, 3kW, Bande C (1980)

6 - Les tubes spatiaux

Les débuts des TOP dans l'espace

C'est une réalisation soviétique, le Spoutnik de 1957, qui a marqué le début de l'ère spatiale. Mais c'est une fabrication de l'industrie privée américaine, du laboratoire des BELL TELEPHONE, qui en inaugura en 1962 les applications dites « commerciales » et ouvrit le domaine des tubes à onde progressive embarqués sur satellites. En effet après la démonstration en 1960, avec les ballons réflecteurs des satellites ECHO, défilant à basse altitude, visibles à l'œil nu, de communications via l'espace mais grâce à un relai passif, c'est le satellite TELSTAR lancé en 1962, lui aussi défilant, mais avec une charge de télécommunication, produite par les BELL Labs, qui a ouvert l'ère des répondeurs spatiaux à TOP.

Il est significatif de l'importance des tubes pour ce nouveau mode de télécommunication que dans le numéro du BELL Systems Technical Journal consacré à cette première, un chapitre ait été réservé à R. Kompfner pour la description du TOP de 2.5 watt dont il avait dirigé l'étude et qui assurait l'émission depuis le satellite. Il est aussi remarquable que ce soit cet architecte autrichien qui, exilé en Grande-Bretagne, avait réalisé pendant la guerre dans un laboratoire de l'université de Birmingham les premiers TOP mondiaux, soit aussi le promoteur de leur version spatiale.

Sa publication a fait apparaître les possibilités de ces tubes et leur importance stratégique dans ce qui allait être le développement d'une nouvelle application de l'électronique. Mais que de progrès, d'efforts de nombreux « tubistes » ont marqué ce développement, à partir de cette réalisation encore très proche des tubes d'émission pour faisceaux hertziens, dont les satellites de télécommunication allaient constituer une variante à deux bonds, mais deux grands bonds.

Aussi il n'est pas étonnant que la CSF qui avait fabriqué les TOP pour faisceaux hertziens, qui constituaient alors une de ses activités importantes, ait joué un rôle de pionnier dans ce domaine ; CSF a été l'interlocuteur

industriel essentiel des autorités françaises et européennes, désireuses de promouvoir des applications de l'espace qui puissent leur permettre de se dégager de la suprématie et de l'avance américaines.

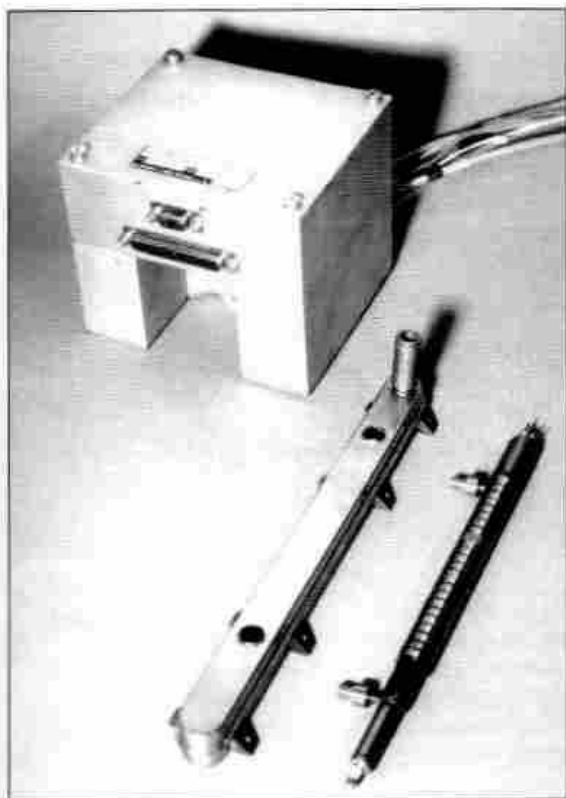
Cette avance se concrétisait avec les premiers satellites géostationnaires SYNCOM de HUGHES en 1963, et avec le passage à 10 watt de l'émission à 4 gigahertz des satellites expérimentaux suivants, RELAY 1 et 2 ; ces caractéristiques se sont combinées sur le satellite EARLY BIRD qui a marqué le début des applications commerciales et coïncidait avec l'établissement de la COMSAT, organisation américaine chargée d'étudier et de gérer pour INTELSAT le domaine des télécommunications spatiales internationales.

Sur le plan industriel il est intéressant de constater qu'aux USA ce domaine de l'électronique spatiale se déplace vers l'industrie aérospatiale : la BELL TELEPHONE qui avait réalisé, en intégrant toutes les composantes, les premiers répondeurs spatiaux avait laissé à HUGHES AIRCRAFT une suprématie, appuyée aussi sur une intégration d'un bout à l'autre de la chaîne de composants de sa fabrication, tubes compris. Ce déplacement vers des conglomerats à dominante aéronautique peut expliquer que les tubistes classiques ne se sont pas lancés dans le domaine spatial, n'y voyant sans doute pas un marché rentable. Le leader VARIAN s'en est manifestement écarté de manière volontaire, et n'y est entré que très tard et de manière fugitive en reprenant dans les années 80 l'activité de WATKINS-JOHNSON, qui avait couvert des applications militaires avec ses TOP spatiaux. Ainsi HUGHES a pu être le champion initial des tubes spatiaux, le point de mire de l'industrie européenne dont nous reprenons ici l'histoire.

Rôle stratégique des TOP spatiaux

Le passage des TOP pour faisceaux hertziens à des tubes à haut rendement avec une grande fiabilité, d'une autre nature que celle des tubes terrestres et pour faire face à un marché qui n'était que potentiel, nécessitait un support des administrations intéressées à la disponibilité de ce composant-clé. En fait il s'est agi d'une volonté politico-technique des seules administrations françaises, allemandes, puis communautaires, les britanniques restant avec prudence sous la dépendance américaine. L'aspect évidemment international des télécommunications spatiales et aussi leur intérêt stratégique et commercial expliquent qu'ils ont constitué, après les applications scientifiques, le principal thème de l'ESRO (qui devint l'ESA), et qu'à l'intérieur de ce thème un des premiers et des plus importants sujets d'étude qu'a soutenu cette organisation internationale a été le développement de TOP spatiaux à 12 gigahertz.

De droite à gauche : La toute première maquette du TOP 20 watt 12 GHz de THOMSON - CSF, son habillage et son alimentation (dite EPC)



Ce choix d'une fréquence plus élevée que les 4 gigahertz des satellites américains a constitué un pari et un pari réussi, qui a permis de compenser l'avance américaine en pénétrant dans un domaine plus difficile d'accès, mais offrant avec une bande plus large plus de possibilités, et dans lequel n'existaient pas encore des réalisations concurrentes américaines.

Les débuts dans THOMSON-CSF

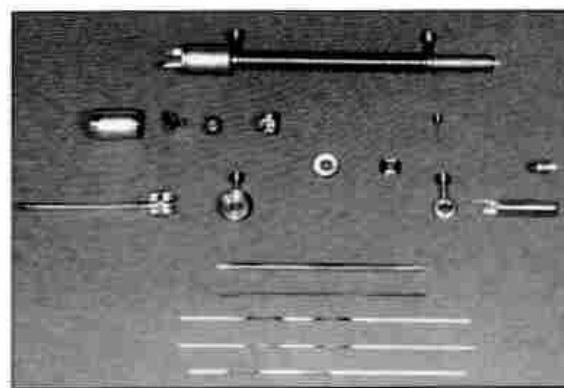
Le rôle de leader étatique a été logiquement tenu en France initialement par les PTT ; le CNET a mis au service du développement des TOP spatiaux français sa compétence d'utilisateur et de fiabiliste ainsi qu'une partie appréciable de ses crédits à usage externe. L'orientation à 12 gigahertz avait été déjà prise à son initiative lorsque le laboratoire « tubes de petite puissance » de G. Convert à Corbeville, dès 1960, lui propose en dix lignes le projet d'un TOP qui supposait un progrès nécessaire à l'application spatiale : passage des 15 pour cent de rendement, qui constituaient l'état de l'art, à 40 pour cent, avec un gain de 40 dB et une puissance de 10 watt.

C'était de façon presque prophétique l'ébauche des tubes des premières générations de satellites de télécommunication créés en Europe, et des tubes qui seraient vendus sur le marché mondial.

Ce ne fut que l'étude d'un laboratoire qui, entre autres assurait l'amont des TOP pour faisceaux hertziens produits par la CSF à Malakoff. Mais avec la méticulosité,

Les constituants principaux du "cœur" du top spatial, situés dans l'enveloppe à vide.

Le faisceau d'électrons passe au centre de l'hélice, d'un millimètre de diamètre (4° en partant du bas). La densité de puissance de ce faisceau est énorme : un megawatt par centimètre carré



le coût et donc la lenteur des développements des programmes spatiaux c'était l'embryon d'une activité prestigieuse, source de progrès techniques et de pénétrations commerciales, en général rentable, qui a marqué les usines tubes de Levallois puis de Vélizy. Il ne faut pas négliger d'ailleurs l'apport au moment de la fusion en 1968 avec THOMSON-VARIAN, de ses techniciens, qui n'avaient effectué que des études très préliminaires sans doute faute d'intérêt du partenaire américain, mais purent contribuer à la conception et à la fiabilité des TOP spatiaux.

La réunion des équipes de CSF et de THOMSON-VARIAN a aussi facilité la participation de THOMSON-CSF au marché des tubes pour les stations du segment terrestre correspondant aux transpondeurs des satellites. Si l'avance américaine avait conduit le CNET à utiliser à Pleumeur-Bodou, pour les premières liaisons transatlantiques par satellites, des stations américaines, la fourniture par THOMSON-CSF de TOP de puissance et de klystrons (ceux-ci utilisant les accords avec VARIAN), facilita le développement des stations françaises de TELSPACE. Ces tubes devaient ensuite être retenus dans de nombreuses stations étrangères.

La course avec TELEFUNKEN

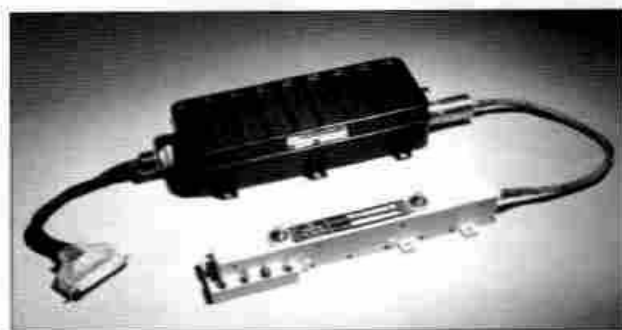
Mais si l'on revient au début des tubes spatiaux en Europe, on voit apparaître sur le premier programme, non pas européen mais seulement franco-allemand (ce qui recoupe l'intérêt relevé plus haut des deux pays pour les technologies spatiales), le satellite expérimental de télécommunication SYMPHONIE, lancé avant le choix fondamental de la bande des 12 gigahertz, un tube spatial à 4 gigahertz fourni par la firme allemande qui s'appelait alors TELEFUNKEN. Ce choix, fait dans le cadre d'un partage entre les industriels des deux pays, marque le début de l'émulation créée par la rude concurrence entre les tubes spatiaux de THOMSON-CSF et ceux de TELEFUNKEN, qui après divers épisodes se sont rejoints dans TTE : ce sera en 1996, à une époque où les deux forces réunies auront à faire face à des besoins considérables, qui étaient difficiles à prévoir dans les années 70. Mais à cette

époque les deux familles de tubistes se livraient à des surenchères techniques pour obtenir les supports nécessaires au développement de leurs TOP spatiaux en espérant trouver une place, quelques années plus tard, dans l'espace, avec un ou deux tubes sur un satellite.

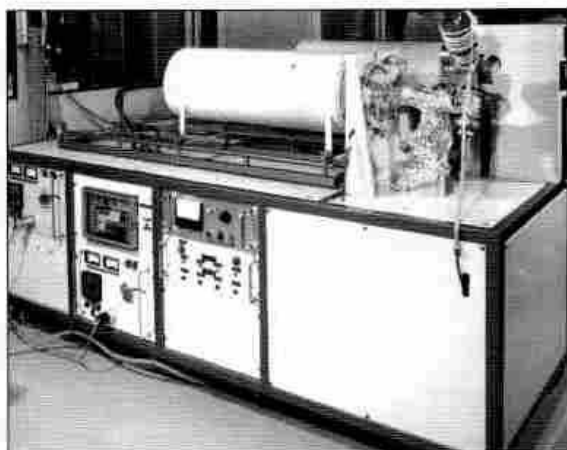
Toujours est-il que les deux satellites de télécommunication franco-allemands lancés en 1974 et 1975 ont fonctionné avec des tubes TELEFUNKEN. L'alternance des succès des concurrents français et allemand, ardemment soutenus par les Administrations nationales qui participaient à leurs frais de développement, allait se manifester avec les premiers contrats d'étude passés par l'ESRO dans le cadre du projet de satellite expérimental OTS, animé par le Belge Colette.

Du côté allemand, le support était assuré en l'absence d'un Ministère de l'Industrie, par le Ministère de la Recherche et de la Technologie (BMFT), l'équivalent du CNES n'existant pas encore.

En France au support continu du CNET, dont les représentants ont défendu avec vigueur dans les instances internationales concernées les projets et les réalisations de THOMSON-CSF, s'est ajouté celui du CNES. Les premiers responsables du CNES avaient en effet tenu compte des suggestions des industriels qu'ils avaient consultés sur les priorités à établir dans le programme français de R et D pour l'espace et y avaient inscrit à la demande de CSF la technologie des TOP



Un des TOP de vol, destiné au satellite canadien CTS/Hermès, et son alimentation (EPC), fabriquée par la société italienne FIAR, le tube était peint avec la seule peinture qualifiée en France pour l'espace, de couleur blanche



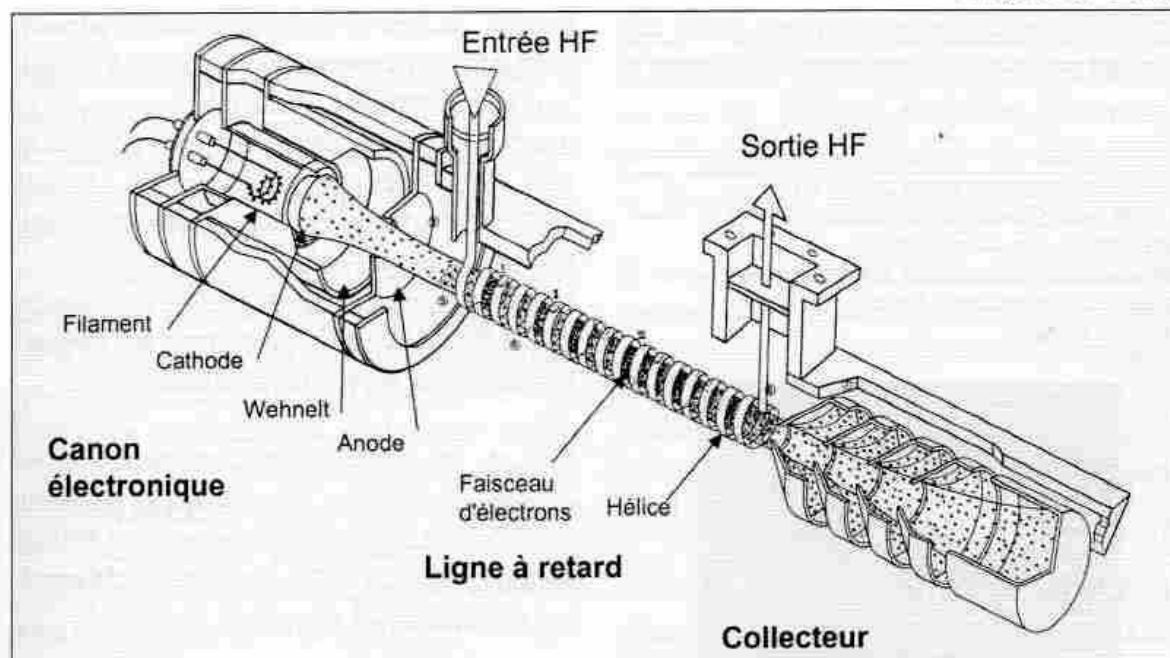
Ce bâti de pompage fut l'un des tout premiers équipements dont THOMSON-CSF se dota pour sa fabrication de TOP spatiaux. Il fonctionna presque trente ans, et l'on y pompa presque un millier de tubes

spatiaux. La complémentarité des compétences techniques, des responsabilités industrielles et internationales du CNET et du CNES ont eu un impact positif dans cette longue phase de démarrage des activités en tubes spatiaux à THOMSON-CSF.

Donc, les acteurs industriels et étatiques étant en place, la course à la qualification et aux premiers vols de TOP européens était lancée par l'ESRO, qui choisit de soutenir le projet de tube 20 watt à 12 gigahertz de THOMSON-CSF. Les programmes d'installation sur satellite étaient liés au projet de l'OTS qui n'a été lancé qu'en 1978. Mais une occasion de devancer cette date pour le «baptême de l'espace» de composants euro-

péens apparut avec le souhait canadien d'être dans l'espace sans trop de dépendance du grand frère américain. C'est ainsi que le CRC (Canadian Research Center), l'organisation canadienne correspondant au CNRS, se mit d'accord avec l'ESRO pour utiliser, sur son satellite CTS destiné à expérimenter la télévision directe (intéressante pour ce pays vu sa configuration), des composants prototypes d'origine européenne. Parmi eux se trouvait un TOP de THOMSON-CSF fourni par l'ESRO, sous sa responsabilité (et malgré les protestations de TELEFUNKEN mettant en avant son expérience de SYMPHONIE). Ce tube allait rejoindre sur le satellite canadien un tube plus puissant de LITTON, qui devait assurer l'expérience de télévision directe. Malheureusement pour le CRC et aussi pour les tubes de LITTON, dont ce fut la seule apparition dans l'espace, seul le tube de 20 watt français fonctionna correctement et put assurer une partie de la mission du satellite canadien.

Principe du TOP à hélice





Toute poussière pouvant être néfaste au fonctionnement d'un tube, et particulièrement d'un tube spatial, l'assemblage final des top est effectué dans une salle blanche

L'entrée aux USA

Ainsi s'était effectuée l'entrée des TOP spatiaux de THOMSON-CSF sur le continent américain, qui devait déboucher sur un flux de fournitures pour les satellites internationaux commandés par INTELSAT et pour des satellites « domestiques » américains. Elle se compléta de la reconnaissance de la position de pointe de ces tubes dans le monde par le choix fait par les laboratoires de la COMSAT pour leur premier marché d'étude de tube, passé au nom d'INTELSAT, de THOMSON-CSF. Il s'agissait de développer un tube de 18 gigahertz et le responsable de ce contrat à la COMSAT, « Bob » Strauss, avait, avec quelque étonnement, découvert avec notre proposition que les USA n'avaient plus dans tous les domaines une position de

force. « Bob » devait accompagner avec des positions et des dispositions variées l'aventure des TOP spatiaux venant (comme lui) d'Europe, en oscillant entre AEG et THOMSON-CSF...

Le Japon

Mais l'entrée au Japon, des tubes spatiaux français a été liée à l'apparition, qui allait devenir dominante des satellites de télévision, pour lesquels le Japon a joué un rôle de pionnier, sous l'impulsion de la NHK, mais sans disposer de tubes spatiaux. Ce n'est que quelques années après les fournitures de THOMSON-CSF, qui avait été choisi pour équiper ces premiers satellites qu'y apparurent des tubes fabriqués par NEC ou TOSHIBA, ressemblant étrangement aux tubes français.

Il faut rappeler que le premier satellite de télévision de NHK, réalisé sous maîtrise d'œuvre de GENERAL ELECTRIC, et lancé en 1984 ne fonctionna pas nominalemment pour diverses raisons.

En particulier, deux des trois amplificateurs équipés de TOP THOMSON-CSF n'ont pas rempli leur mission : la raison profonde n'en a jamais été élucidée.

Ceci créa des tensions à très haut niveau avec les Japonais, et si l'incident diplomatique a été finalement évité, c'est grâce au bon fonctionnement du 2^e satellite, lancé en 1985. Les TOP de THOMSON-CSF remplirent alors parfaitement leur mission.

Après l'échec du lancement du satellite OTS-1, ce TOP THOMSON-CSF fut retrouvé sur une plage de Floride, après une chute de dix mille mètres. Remis sur banc de test, il présenta des caractéristiques identiques à celles relevées lors de la recette en usine

