

50

votre Carrière

REVUE de TECHNIQUE RADIO

magazine des futurs électroniciens



hebdomadaire pour la formation professionnelle — 3 - 10 février '66 — le numéro 1,60 F.

SUISSE 1,70 FS
BELGIQUE 23 FB
MAROC 1,85 Dh

ALGERIE 1,80 FA
TUNISIE 1,80 M
ALLEMAGNE 1,80 DM

GRANDE-BRETAGNE 3,5 sh
CANADA 50 cts
U.S.A. 50 cts

vosre Carrière

revue hebdomadaire

DIRECTION - ADMINISTRATION - ABONNEMENTS: Editions CHIRON - 40, rue de Seine
Tél. 633.18-93 - Paris (6^e) - C.C.P. 53-35.



La revue est en vente aux kiosques, chaque semaine: si le kiosque en est démuné, demandez l'envoi hebdomadaire directement à votre domicile.

Le Directeur: *Georges Giniaux*
Secrétaire de rédaction: *J. Lavergne*

ABONNEMENTS

Les abonnements peuvent être souscrits en cours d'année, à n'importe quelle date. Les numéros déjà parus au moment de la souscription seront envoyés en une seule expédition.

France - 1 an (52 numéros) = 70 F;
6 mois (26 numéros) = 38 F. -
Etranger - 1 an = 90 F. - Si vous possédez déjà des numéros, vous pouvez déduire la somme de 1,20 F par numéro.

S'adresser aux Editions CHIRON -
rue de Seine, 40 - Paris - C.C.P. 53-35.

Les anciens numéros peuvent être commandés séparément au prix unitaire (1,30 F).

Aucun envoi contre remboursement.

RENSEIGNEMENTS

Toute demande de renseignements doit être accompagnée d'une enveloppe timbrée à votre adresse.

S'adresser: Editions CHIRON - rue de Seine, 40 - Paris.

PUBLICITE

PUBLEDITEC - 13, Rue C. Lecocq
Tél. 250.88-04 et 88-05 - Paris, 15^e.

Cette Revue sera contrôlée par l' O. J. D.

DISTRIBUTION

Nouvelles Messageries de la Presse
Parisienne - 11, Rue Réamur - Paris.

COPYRIGHT

Dépôt légal éditeur 34 - 1^{er} trim. '66
Périodique N. 42 905 à la Commission Paritaire de la Presse.

Tous droits de reproduction, même partielle, réservés pour tous pays.

Sommaire

★ Informations	page 2
★ L'assistant: cet indispensable Maître Jacques	» 3
★ Technique des hyperfréquences ou micro-ondes (S.H.F.)	» 5
★ Circuits relatifs aux hyperfréquences	» 14
★ Questions sur les 148 ^{ème} et 149 ^{ème} leçons	» 23
★ Réponses aux questions du numéro précédent	» 23
★ Le radar	» 24
★ Dictionnaire Anglais-Français d'Electronique	» 29

Informations

Un émetteur récepteur de bord UHF.

Cet ensemble TR.AP.22-A construit par OMEGA/SEGID (licence SARAM) travaille dans la bande de fréquence de trafic de 225 à 399,9 MHz et dispose de 3 500 fréquences toutes utilisables, espacées de 50 kHz.

Le changement de fréquence se fait en 6 secondes maximum, la précision étant de ± 6 kHz.

Un récepteur indépendant est toujours accordé sur la fréquence de garde. Cette fréquence (généralement 243 MHz) est préaffichée pour l'émetteur récepteur de trafic.

Une des 3 500 fréquences peut être sélectionnée manuellement sur la boîte de commande.

La portée, fonction de l'altitude, est supérieure à 400 km à 10 000 mètres d'altitude, l'appareillage pouvant fonctionner jusqu'au dessus de 20 000 mètres, avec des températures de -40 à $+70$ °C.

—ooo—

Des images en trois dimensions, produites dans l'espace par le faisceau d'un laser, ont été récemment présentées à Washington.

Les nouvelles images en trois dimensions, enregistrées sur films sont appelées hologrammes et ne sont connues que depuis quelques mois. Les hologrammes diffèrent totalement des images en deux dimensions fournies par diapositives, films ou télévision. L'hologramme lui-même apparaît seulement comme un film photographique grisâtre et marbré. Mais lorsqu'il est éclairé par un laser, il forme une image ayant hauteur, largeur et profondeur, qui peut être délimitée comme un solide situé dans l'espace.

Un hologramme est réalisé en éclairant un objet avec un laser, de telle sorte que la lumière réfléchiée par l'objet et la lumière provenant directement du faisceau laser soient enregistrées sur un film photographique.

La figure impressionnée ainsi est trop

fine pour être vue à l'œil nu. Observée au microscope à la lumière ordinaire, il apparaît seulement une trame sans signification. Mais quand elle est vue éclairée par une lumière d'une seule longueur d'onde, le sujet original surgit car l'hologramme fractionne les ondes lumineuses en un réseau qui déboucle la lumière venant originalement de l'objet.

Bien qu'à l'heure actuelle il ne soit pas possible de connaître la portée de ces découvertes, on peut cependant par un procédé similaire obtenir des images agrandies, comme avec un microscope, sans utiliser les lentilles. On peut de même espérer que par application des techniques des rayons X, il sera possible de voir directement la structure atomique des molécules.

Il a été possible de construire des dispositifs d'hologrammes qui reconnaissent les formes indiquant instantanément sur une page imprimée les positions des mots présélectionnés. Donc dans un certain sens, nous avons un exemple embryonnaire d'une machine qui peut lire.

Il a été également présenté des images colorées formées par un remarquable « quatrième état » de matière appelés **cristaux liquides**. Ces matériaux ont la plupart des propriétés d'un liquide, mais en même temps, ont une structure cristalline semblable à celle d'un solide.

Cette structure provoque un changement radical de couleur quand ils sont soumis à de légères variations de température, de pression ou de concentration de produits chimiques.

Le changement de couleur est assez sensible pour détecter la baisse de température des extrémités des doigts due à la contraction des vaisseaux sanguins quand la fumée du tabac est aspirée.

Les plus sensibles des cristaux liquides sont des composés de cholestérol. Ce solide blanc, gras, est présent dans le corps humain et est considéré communément comme un facteur déterminant des maladies du cœur et des artères.

Le « 9^{ème} Salon International des Composants électroniques » se tiendra à la Porte de Versailles du 3 février au 8 février 1966. « **Votre Carrière** » sera présente au stand des Editions Chiron (Stand 92 - allée 8).

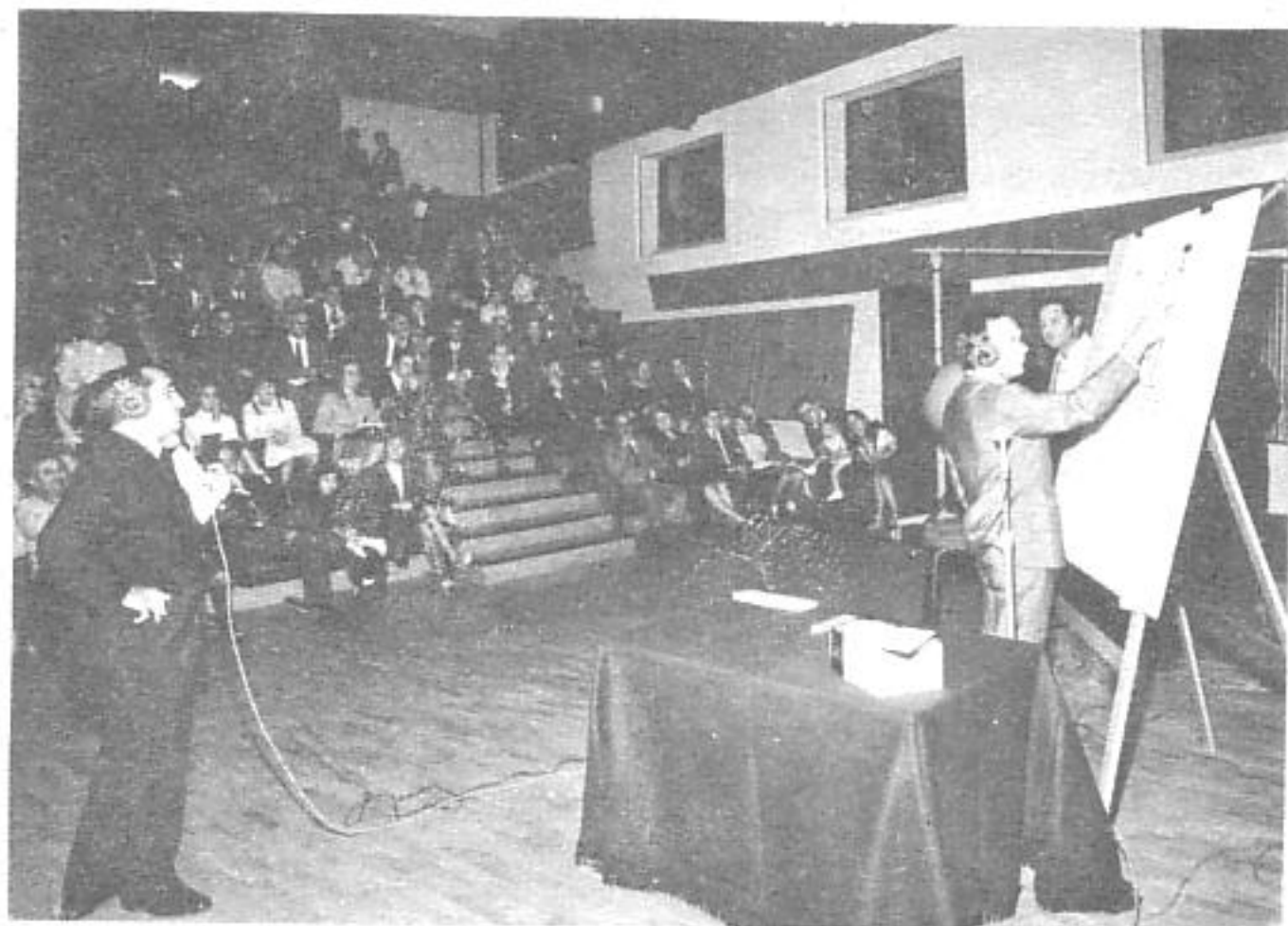
Du studio à l'antenne

Cet indispensable "Maître Jacques"

L'assistant

Une interview de Roger DELAYE

En cours d'une émission publique (ci-contre: « Entrée libre à l'O.R.T.F. ») l'assistant doit veiller à contenir l'enthousiasme des spectateurs. (Photo O.R.T.F.).



Toujours très déprimé lorsque j'ai dû affronter des examinateurs en chair et en os à l'occasion d'un examen oral, je n'en éprouve que plus d'admiration pour les candidats capables de sortir victorieusement de cette redoutable épreuve inventée par de modernes tortionnaires: les tests. Il y a quelques années, j'ai eu l'occasion de suivre une séance de tests imposés à un groupe de jeunes gens et de jeunes filles candidats au titre d'assistants de production de l'O.R.T.F.

C'était vraiment très difficile: il fallait tout d'abord indiquer le nom des producteurs d'émissions - maisons aussi nombreuses que variées: musique classique, jazz, dramatiques, jeux, puis indiquer le thème de ces productions, et en faire la critique, après les avoir analysées. Véritable supplice chinois, si l'on tient compte du fait que nombre de producteurs faisaient partie du jury. Il ne s'agissait pas de jouer les « *beni-oui-oui* », car tout approuver, tout admirer en bloc était trop simple, puisqu'on demandait une analyse, une critique, substantielles. Et je dois dire que la plupart des candidats ont fait preuve d'intelligence, de culture et de diplomatie. Les plus avisés s'étaient donné la peine de consulter les archives de revues spécialisées afin de bien graver dans

leur mémoire les traits des auteurs d'émissions. Ceux-là ont vu leurs efforts récompensés, puisqu'ils ont pu reconnaître les membres du jury et doser savamment leurs commentaires selon qu'il s'agissait d'un présent ou d'un absent. Le monde de la radio, comme celui des lettres, groupe des personnalités qui éprouvent envers leurs collègues des sentiments extrêmement amicaux, c'est bien connu. Mais c'est humain, amitié ne veut pas dire indulgence: on admettra fort bien d'entendre quelques critiques savamment enrobées, à propos de l'œuvre d'un confrère. Et, avec la même impartialité, on sera de tout cœur avec celui ou celle, qui saura mettre en valeur les qualités — évidentes — d'une production dont on est l'auteur, même si elle a été « *abimée* » par de méchants critiques.

La plupart des candidates — et des candidats — semblaient se promener à l'aise, tels des équilibristes, sur ce fil de fer radiophonique, et passèrent victorieusement cette première épreuve...

Mais ils n'en étaient pas quittes pour autant. Il leur fallut ensuite, après une brève audition d'un motif musical, identifier le compositeur, puis établir un plan de travail pour une dramatique: choix de comédiens, distribution, découpage, évaluation des heures de studio nécessaires aux répétitions et à l'enregistrement définitif. Je partageais les angoisses de ces aspirants - assistants, et je me demandais à moi-même si beaucoup de producteurs seraient capables de passer ces tests. D'autant que les « *impétrants* » devaient être titulaires d'une licence de lettres ou d'un diplôme équivalent. Je faisais part de ces réflexions désabusées, après l'examen, à l'une des personnalités les plus éminentes de la Radiodiffusion française, un homme qui sut lui imprimer un élan extraordinaire, la marquer du sceau de son intelligence, et aussi de son désintéressement. Il fut un grand poète et un grand animateur. Si profonde était sa modestie que le public n'entendit ses œuvres sur l'antenne que lorsqu'il nous eût quitté — si tôt, hélas...

« Je sais bien, me répondit-il, que ces épreuves peu-



... ce n'est pas toujours facile... (Photo O.R.T.F.).

vent sembler inhumaines, disproportionnées avec la tâche qui sera confiée ensuite à ces jeunes gens, à ces jeunes filles. Mais l'ère des bâtisseurs, l'ère des pionniers est passée. Nous devons opérer une sélection sévère. Ceux-là feront peut-être la radio de demain. A travers ces tests, nous cherchons avant tout à déceler les qualités indispensables aux gens de notre métier... ».

L'assistant de production

Un assistant de production travaille sous les ordres d'un réalisateur. Il s'agit alors d'émissions nécessitant la participation d'un grand nombre de personnes: comédiens, présentateurs, bruiteurs, speakers, pour des

« dramatiques »; solistes, chœurs, orchestres, commentateurs, lorsqu'on enregistre un programme de musique classique ou de variétés.

L'assistant doit tout d'abord s'acquitter des tâches administratives — nombreuses et complexes —: remplir les formulaires destinés à la Société des Auteurs, en indiquant le titre des oeuvres interprétées, avec le minutage exact, qu'il s'agisse de « direct », de disques, de textes originaux ou de citations. Il lui faut ensuite tenir le « livre de bord » de l'émission: mentionner sur un imprimé « ad hoc » toutes les séquences enregistrées, dans l'ordre, en indiquant les auteurs, les interprètes, le minutage de chaque élément.

Suite dans le prochain numéro

A nos lecteurs

CE QUE NOUS AVONS TENU

Depuis le 1er mars 1965, notre hebdomadaire a apporté régulièrement chaque jeudi, le contenu promis:

— **des rubriques** d'actualité, avec prédominance d'informations concernant l'exercice des métiers liés à l'électronique.

— **deux leçons de Radio**: l'une de « principes », l'autre de « réalisations ».

— **une troisième leçon** de pratique radio (applications) ou des tableaux ou abaques fort nombreux permettant de résoudre les cas pratiques des circuits radio.

— **un questionnaire** hebdomadaire se rapportant aux leçons données et publication des réponses correctes aux questions du numéro précédent, à la manière des périodiques posant des questions de jeux ou de culture à leurs lecteurs.

— **un dictionnaire technique anglais-français**, tantôt par 4 pages, tantôt par 2 pages, selon l'importance des matières à publier.

Nos lecteurs savent que grâce à un double numérotage des pages, ils pourront réunir dans des dossiers distincts, ou dans des reliures, le dictionnaire d'une part, le cours radio d'autre part.

OU EN SERONS-NOUS au NUMERO 52?

Nous avons promis de faire un tour complet des questions de Radio en un an. C'est gagné: le n° 52 terminera le cours Radio, tel que nous l'avions conçu. Ceux qui se sont abonnés pour un an, 52 numéros (le plus souvent en déduisant le prix des fascicules qu'ils avaient acheté au n°) vont donc avoir pour 70 F, 52 fascicules d'une revue périodique vivante et « enseignante ».

ET AVEC QUOI CONTINUE-T-ON ?

Dès le numéro 53, donc sans aucune interruption, « Votre Carrière » magazine des futurs électroniciens, comprendra:

— toujours nos **rubriques** d'actualité avec chroniques des métiers d'électronique, mais plus particulièrement ceux liés à la télévision, aussi bien la télévision industrielle que la télévision grand public.

— **une ou deux leçons de télévision** « principes » et « réalisations ».

— un petit « cours d'oscillographie », indépendant que l'on peut relier à part.

— **une autre leçon TV** « pratique » permettant de construire soi-même un téléviseur deux chaînes, tube 59 cm. Ni « Votre Carrière » ni les Editions Chiron n'auront rien à voir dans la vente des pièces et elles n'y auront aucun intérêt. Mais une maison bien connue et très sérieuse a accepté de fournir à nos lecteurs les pièces nécessaires, correspondant aux plans que « Votre Carrière » publiera sous la signature de notre Rédacteur et ami, Pierre Roques, ancien ingénieur en chef de l'une des plus grandes firmes de téléviseurs. Cette Maison fera une publicité dans nos colonnes, et les lecteurs intéressés s'adresseront directement à elle.

— la suite de notre **dictionnaire français-anglais**, par feuilles de 2 pages.

— la table des matières du cours radio (52 premiers numéros) passera par cartons de 4 pages au centre des numéros 53 et 54.

LA CADENCE

« Votre Carrière » seule de toute la presse de ce domaine a osé être hebdomadaire et continuera à l'être jusqu'au n° 52.

Cependant, nous remarquons que TOUS nos lecteurs posant des questions techniques, le font avec un décalage de six semaines à trois mois: autrement dit, beaucoup d'entre vous étudient en ce moment les numéros 30 à 40.

Ce sont les lecteurs qui sont essouffés: 32 pages à apprendre chaque semaine paraît beaucoup.

Nous pensons donc qu'il vaudrait mieux à partir du n° 53 (1er mars 1966) une parution « tous les deux jeudis » dite semi-hebdomadaire.

La 2ème année de « Votre Carrière », télévision et oscillographie comprendra donc 26 numéros (du n° 53 au n° 78) abonnement 36 FF (Etranger: 46 FF), un numéro tous les 14 jours.

Nous espérons que cette cadence plaira à tous et facilitera l'étude d'une part, les réalisations pratiques d'autre part.

ET ENSUITE

Les métiers de l'électronique sont très divers: la radio et la télévision constituent les bases à posséder par tous.

En télévision, nos lecteurs commencent déjà à se familiariser avec l'asservissement. C'est dire que nous n'avons aucune peine à mettre en chantier la rédaction de la troisième année de l'électronique très pratique.

Mais nous en reparlerons en 1967.

TECHNIQUE DES HYPERFREQUENCES OU MICRO-ONDES (S.H.F.)

Après avoir étudié les V.H.F. et les U.H.F. nous allons maintenant examiner les hyperfréquences ou micro-ondes (S.H.F.), ainsi que nous l'avons dit à propos de la subdivision des fréquences supérieures à 30 MHz.

Les circuits et les composants employés dans les équipements fonctionnant en hyperfréquences sont extrêmement différents de ceux que l'on utilise aux fréquences plus basses.

Les dispositifs d'émission et de réception ne sont plus basés, par exemple, sur l'emploi de lignes coaxiales ni sur l'emploi de lignes bifilaires que nous avons déjà traitées précédemment; dans ce cas on se sert de circuit spéciaux « guides d'ondes » et cavités résonnantes.

Cela a déjà lieu avec les fréquences supérieures à 1 000 MHz, quoique l'on puisse classer celles-ci dans la catégorie des U.H.F.

D'ailleurs, nous avons déjà dit qu'une subdivision bien nette n'est guère possible et qu'il existe des zones de transition très étendues entre deux gammes successives.

Historique

Les premières expériences sur les hyperfréquences furent effectuées en 1936: vers 1940, Boot et Randall, puis Duke, au département de physique de l'Université de Birmingham, en Angleterre, étudièrent et mirent au point les « magnétrons à cavités anodiques ».

Bien avant l'armistice de Juin 1940, la C.S.F., en France, leur ayant révélé l'utilisation de cathodes à oxydes sur les magnétrons, leur permit d'atteindre une puissance appréciable, insoupçonnée jusqu'à cette date. Nous nous occuperons de tels tubes plus loin.

Pendant la dernière guerre mondiale on a employé les micro-ondes au profit du fonctionnement d'un dispositif particulier: le « Radar » basé sur l'exploitation des phénomènes de réflexion de ces ondes sur les obstacles métalliques (avion ou bateau). Le « Radar » fut d'une grande utilité pendant la guerre et il est encore un auxiliaire précieux de la navigation maritime et aérienne. Plus tard nous étudierons de façon beaucoup plus détaillée cette découverte si importante.

A la même époque, on a essayé avec succès d'appliquer les hyperfréquences au domaine des communications radio-téléphoniques et à présent, on les utilise dans les faisceau hertziens (Radiotéléphonie Multiplex et relais de Télévision).

Les micro-ondes possèdent des avantages particuliers: avant tout, étant donnée leur forte directivité, elles permettent, pour effectuer leur rayonnement l'emploi d'antennes de dimensions réduites mais d'un rendement élevé et, bien que les appareillages fournissent une puissance relativement réduite, offrent la possibilité de communications à des distances considérables.

Il faut ajouter à cela qu'il est possible, dans ce domaine grâce à la valeur élevée de la fréquence de l'onde porteuse, d'obtenir des bandes passantes beaucoup plus larges que dans le domaine des V.H.F. et des U.H.F.

A ce point de vue, les équipements fonctionnant en hyperfréquence sont beaucoup plus pratiques que ceux qui fonctionnent sur les gammes de fréquences inférieures.

Une installation radiotéléphonique fonctionnant sur ces fréquences peut, par exemple, permettre plus de mille communications simultanées.

PROPAGATION des MICRO-ONDES

Nous avons pu voir en plusieurs occasions comment les ondes hertziennes peuvent prendre divers noms selon leur propagation. Nous connaissons, en effet: les ondes directes, les ondes réfléchies, les ondes de surface (terrestres) et les ondes d'espace. Les équipements fonctionnant en hyperfréquences exploitent, en général, uniquement la propagation par ondes directes; cependant l'onde réfléchie a aussi une certaine importance dans certains cas. A ce point de vue nous pouvons déjà constater un comportement tout différent par rapport à celui des appareils similaires fonctionnant dans le domaine des V.H.F. Ici l'onde directe et l'onde réfléchie prennent quelques fois la même importance.

Les ondes de surface et les ondes d'espace perdent pratiquement tout intérêt en hyperfréquences.

On se sert rarement des ondes terrestres et l'onde d'espace peut être considérée comme étant totalement absente, étant donnée la faible réfraction qu'elle subit par les couches ionisées de la haute atmosphère.

Un facteur d'une importance notable pour la réflexion est la nature de la surface réfléchissante. Une quantité quelconque d'énergie peut être réfléchie presque totalement dans une seule direction si la surface est polie: si la surface est irrégulière, l'énergie incidente

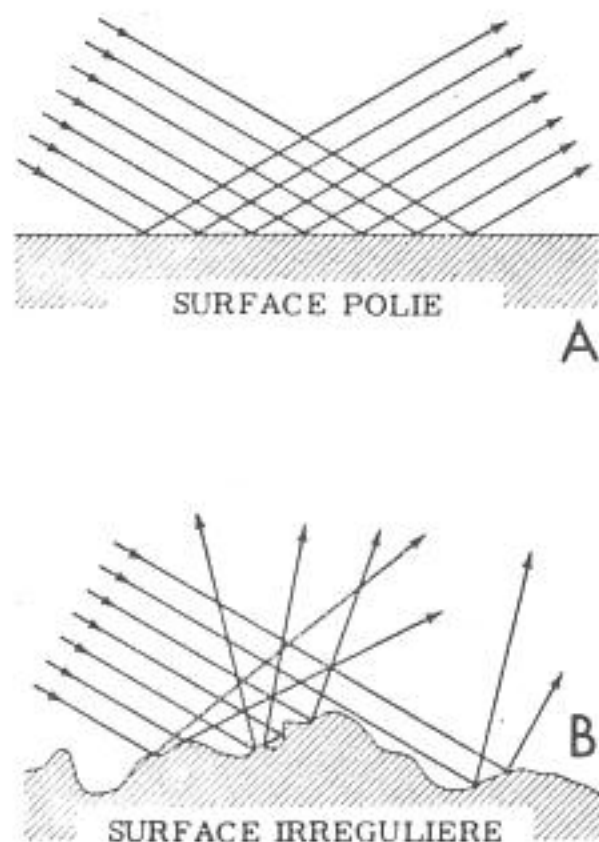


Fig. 1 - En A, réflexion sur une surface plane. En B, réflexion (avec déperdition de puissance) sur une surface irrégulière.

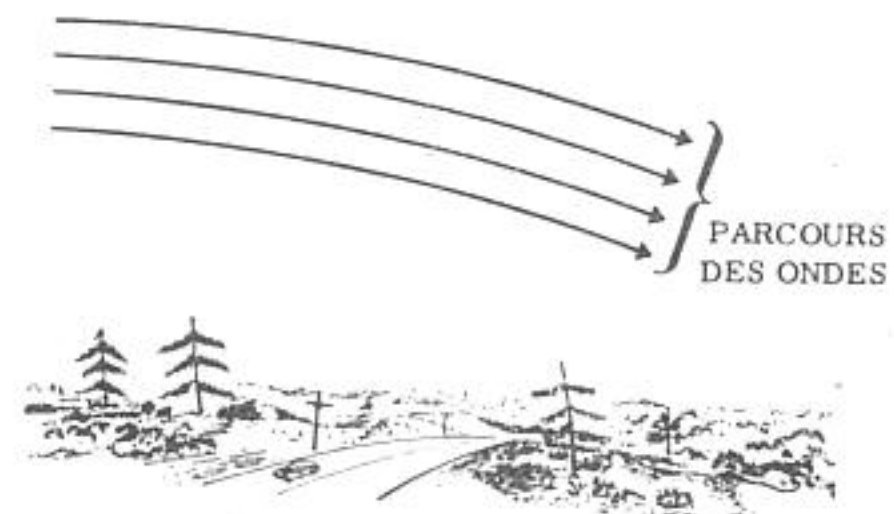


Fig. 2 - Propagation des S.H.F. tout le long des directions légèrement courbées, qui suivent, selon les caractéristiques des zones de l'atmosphère, la courbure de la terre.

est au contraire réfléchi dans plusieurs directions différentes; en conséquence, une petite partie seulement de l'énergie sera réfléchi dans une direction bien déterminée.

Par exemple, l'eau se comporte comme une surface polie en hyperfréquences tandis que la surface terrestre se comporte comme une surface irrégulière.

La figure 1-A représente la réflexion des ondes centimétriques et décimétriques sur une surface parfaitement plane et la figure 1-B montre, au contraire, la réflexion qui se produit sur une surface rugueuse.

Dans le premier cas, toute l'énergie est renvoyée dans une direction unique, c'est pourquoi, à une certaine distance, elle est entièrement utilisable; dans le second cas, l'énergie est dispersée dans plusieurs directions.

En fait, aux fréquences les plus élevées, les irrégularités du sol absorbent les ondes. De même, il existe dans l'atmosphère des bandes d'absorption pour certaines fréquences uniquement et spécialement dans l'atmosphère humide.

C'est ainsi que l'oxygène possède une bande qui absorbe les ondes de 0,5 cm et 0,25 cm et absorbant celles de 1,54 cm et 0,17 cm.

La propagation d'une onde de 3 cm est souvent gênée par les gouttes de pluie et, quoique de façon moindre, par la neige ou la grêle.

La direction de propagation des hyperfréquences, directes ou réfléchies, est généralement un peu courbée. Les signaux se propagent à travers l'atmosphère avec une vitesse qui dépend de la température, de la pression atmosphérique et du pourcentage d'humidité contenue dans l'atmosphère elle-même. En général, la vitesse de propagation est plus grande si la température l'est aussi; de plus, la vitesse de propagation des signaux est d'autant plus grande que la pression atmosphérique et la quantité de vapeur d'eau présente sont elles mêmes plus réduites. D'où l'on peut conclure que la vitesse de propagation des signaux varie avec la hauteur et, dans les conditions atmosphériques normales, la variation se traduit par un accroissement de la vitesse

avec l'altitude. Les ondes dont la fréquence est supérieure à 1 000 MHz se propagent comme le montre la figure 2.

En nous basant sur tout ce que nous venons de dire, il n'est pas difficile d'expliquer un phénomène assez courant affectant la propagation: dans certains cas, l'énergie rayonnée est renvoyée vers le sol par une couche réfléchissante, ou bien se propage entre deux de ces couches qui se forment dans l'atmosphère, comme dans un guide d'onde.

Ces couches, dont la pression, la température, la teneur en humidité, etc., dépendent de la saison ainsi que de l'allure du terrain, suivent dans leur forme la courbure de la surface de la terre.

Il en résulte des portées exceptionnellement grandes.

De cette façon une onde de la gamme des hyperfréquences touche une antenne de récepteur, même si elle est installée au delà de l'horizon optique.

L'onde réfléchi a une certaine importance, seulement quand on peut la recevoir avec une intensité plus ou moins comparable à celle de l'onde directe. Dans la plupart des installations fonctionnant en hyperfréquences, le signal réfléchi peut être négligé — répétons-le — parce qu'il est nul ou extrêmement faible. Par contre, lorsqu'il a une intensité considérable, il peut renforcer le signal direct s'il est en phase avec ce dernier, ou bien il peut l'éliminer s'il se trouve en opposition de phase avec lui.

Etant données les caractéristiques tout à fait particulières et critiques du matériel utilisé, du point de vue électrique comme du point de vue mécanique, les communications sur cette gamme ne sont pas à la portée du grand public.

Toutefois, à cause de leurs nombreux et considérables avantages l'importance des hyperfréquences croît énormément: faisceaux hertziens, accélérateurs de particules, étude de la matière, cuisine électronique, radio-astronomie, etc...

Avant d'étudier les circuits des appareillages fonctionnant dans cette gamme de fréquence, il est opportun

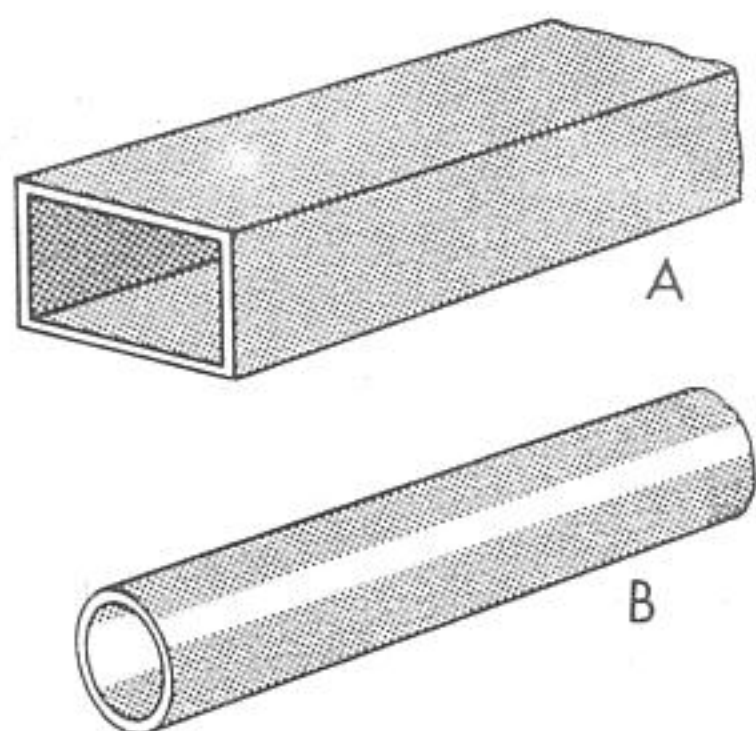


Fig. 3 - Les guides d'ondes peuvent être à section rectangulaire (A) ou à section circulaire (B). Il en existe aussi à section carrée, c'est-à-dire avec les deux côtés égaux entre eux.

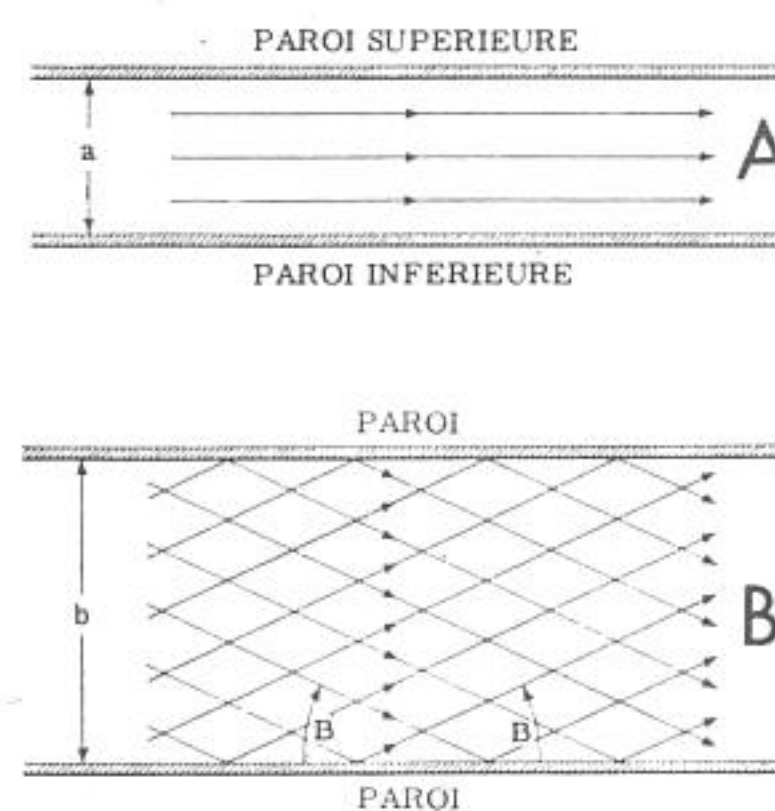


Fig. 4 - Propagation dans un guide d'ondes: en A par rapport aux parois supérieure et inférieure, en B par rapport aux deux côtés.

d'expliquer toutes les caractéristiques des composants dont l'emploi permet la production des micro-ondes ainsi que l'amplification, le rayonnement et enfin, la réception de celles-ci.

Les GUIDES d'ONDES

Le terme de **guide d'ondes** dérive de la caractéristique particulière de fonctionnement de ce dispositif. On peut, contrairement à de tout ce qui se passe avec les courants électriques alternatifs d'une fréquence moins grande, affirmer que dans le domaine des micro-ondes les ondes elles-mêmes peuvent se propager entre deux conducteurs parallèles, **sans les parcourir**.

En d'autres termes, on a pu expérimentalement vérifier que les micro-ondes peuvent parcourir l'espace limité par deux conducteurs parallèles, exactement comme un courant d'eau peut circuler entre deux parois qui limitent verticalement le lit d'une conduite d'eau.

De cette façon, les deux conducteurs métalliques n'agissent plus comme des conducteurs à proprement parler, mais ont la tâche de **guider** les ondes le long d'un parcours délimité par eux-mêmes.

Bien qu'un système quelconque d'émission (comme, par exemple, les « lignes de transmission » bien connues) puisse fonctionner comme un guide d'ondes, ce terme est en pratique réservé aux types qui se composent exclusivement d'un conducteur unique intérieurement creux. Outre cela, quoiqu'un guide d'ondes puisse, en pratique, avoir n'importe quelle forme, les deux types d'usage le plus courant sont les guides à section rectangulaire ou à section circulaire comme la **figure 3** les représente. Il est logique que la hauteur et la largeur soient les seules caractéristiques qui distinguent un guide d'ondes à section rectangulaire: elles se rapportent toujours à la superficie de la section du guide et à ses dimensions intérieures c'est-à-dire sans tenir compte de l'épaisseur des parois.

La caractéristique d'un guide d'ondes à section circulaire est, par contre, constituée du seul diamè-

tre que, dans ce cas, l'on considère exclusivement à l'intérieur du tube.

Les ondes électromagnétiques peuvent se propager à l'intérieur des guides d'ondes suivants deux modes: le mode TE_{mn} et le mode TM_{mn} . Les ondes se propagent selon le mode TE lorsque le champ électrique est transversal, c'est à dire lorsqu'il est contenu dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde; en d'autres termes, les ondes polarisées verticalement, se propagent le long d'une direction parallèle aux parois supérieure et inférieure du guide.

Les ondes se propagent suivant le mode TM quand, au contraire, le champ d'induction magnétique est transversal.

Le premier indice (m) indique le nombre de demi-longueurs d'ondes contenues le long du côté perpendiculaire à la direction de propagation, c'est à dire de plus petite dimension.

Le second indice (n), lui, précise le nombre de demi-longueurs d'ondes contenues le long du côté parallèle à la direction de propagation, c'est-à-dire de plus grande dimension.

Le mode le plus utilisé pour un guide rectangulaire, parce que le plus simple, est le mode TE_{01} ; cela signifie que le champ électrique ne varie pas suivant le côté de plus petite dimension du guide; par contre, le côté de plus grande dimension est égal à $\lambda/2$.

On a pris l'habitude d'appeler **hauteur** la dimension la plus petite et **largeur**, la dimension la plus grande d'un guide d'ondes, quelle que soit l'orientation de celui-ci.

Par conséquent, les parois les plus grandes du guide d'ondes prennent précisément le nom de **paroi supérieure** et de **paroi inférieure** tandis que les parois les plus petites prennent ordinairement le nom de **côtés**.

Le terme: polarisation verticale attribué à une onde électromagnétique qui se trouve dans un guide d'ondes à section rectangulaire, signifie donc que le champ électrique est parallèle aux côtés les plus courts du guide même.

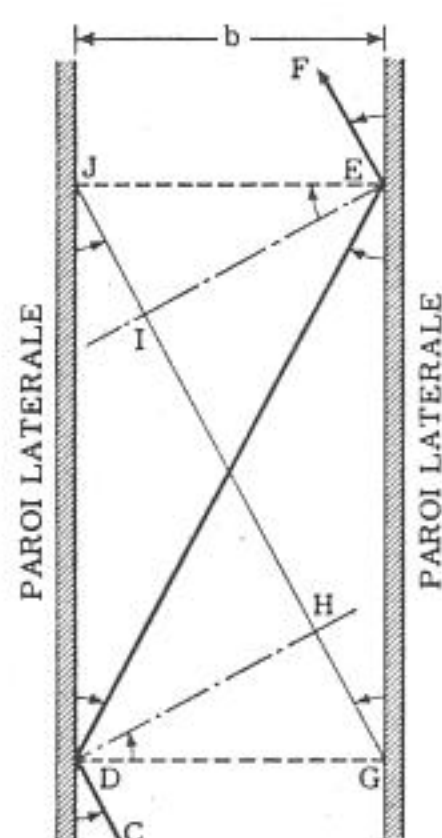


Fig. 5 - Représentation graphique des relations de phase entre les signaux réfléchis, à l'intérieur d'un guide à section rectangulaire.

En principe, l'on emploie généralement les lettres minuscules *a* et *b* pour indiquer respectivement la hauteur et la largeur.

La figure 4 représente en A les deux parois, inférieures et supérieures, d'un guide d'ondes à section rectangulaire vu de côté et en B la section du même guide vu d'en haut.

Les flèches contenues dans les deux figures montrent le sens de propagation des ondes et l'on peut facilement remarquer que ce sens est parfaitement parallèle aux parois supérieure et inférieure, tandis qu'il est croisé par rapport aux parois latérales.

L'onde progresse en subissant une série de réflexions sur les parois latérales.

Les deux arcs de circonférence terminés par une flèche, visibles sur la figure 4-B, déterminent deux angles égaux.

Il est facile de remarquer que cet angle reste constant par rapport aux ondes incidentes (provenant du côté gauche) ainsi que par rapport aux ondes réfléchies (dirigées vers la droite).

L'angle est indiqué par la lettre B.

On ne peut pas choisir à volonté la valeur de cet angle: au contraire elle dépend de *b* (c'est-à-dire de la largeur égale à $\lambda/2$) et de λ (c'est-à-dire de la longueur d'onde du signal). La relation qui existe entre les grandeurs peut être exprimée au moyen de la formule suivante:

$$\sin B = \lambda/2b$$

L'équation peut facilement être déduite de la figure 5. Supposons qu'une onde passant par le point C se meuve vers la gauche.

Elle est réfléchiée par la paroi gauche au point D, puis par la paroi droite au point E et finalement, elle se propage dans la direction EF, laquelle est parfaitement parallèle à la direction originale CD.

Un front d'ondes est toujours perpendiculaire à la direction de propagation et, du moment que DH est perpendiculaire à CD, DH constitue un front d'ondes pour les signaux qui se dirigent vers la gauche.

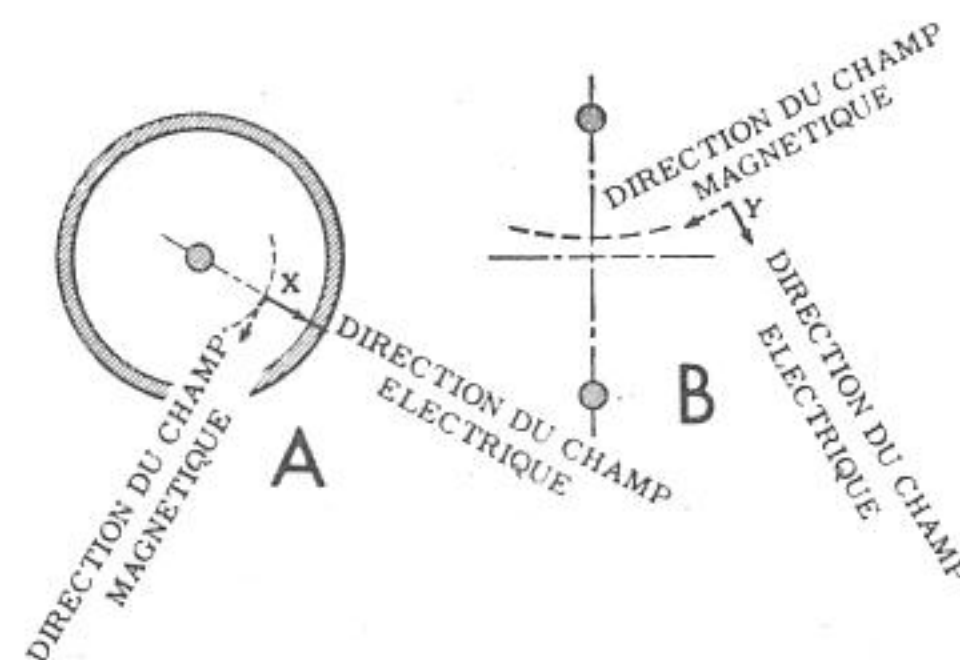


Fig. 6 - Distribution des champs électrique et magnétique dans une ligne de transmission coaxiale (A), et dans une ligne bifilaire (B). Les deux champs sont toujours perpendiculaires entre eux.

Comme nous l'avons déjà vu dans une leçon précédente (page 113, figure 1), la phase d'un signal est toujours la même en tous les points d'un front d'ondes. Par conséquent, un signal qui se meut vers la gauche par le point H est en phase avec le signal incident au point D. Si l'énergie doit se propager dans un guide d'ondes, le signal réfléchi au point E doit avoir la même phase que le signal se propageant vers la gauche au point I, pour autant que tous les deux se trouvent sur un front perpendiculaire à EF. Autrement, les signaux s'annuleraient mutuellement après avoir parcouru une distance très courte du guide d'ondes.

Du moment que le champ électrique des signaux est parallèle à la paroi réfléchissante, on a une inversion de phase au point D et une autre au point E.

A tout ce que nous venons de dire, il faut ajouter que l'angle B doit avoir une valeur telle que le parcours DE soit plus long que le parcours HI d'un multiple exact (nombre entier) de λ .

La formule précédente montre que l'onde TE₀₁ ne peut exister que si la longueur d'onde λ est inférieure à la valeur:

$$\lambda_c = 2b$$

En effet, le sinus d'un angle ne peut être supérieur à l'unité; il est toujours compris entre -1 et +1, en passant par 0. λ_c est appelé: longueur d'onde critique ou longueur d'onde de coupure.

Cette nouvelle formule montre à son tour que les guides d'ondes ne sont pratiquement utilisables que pour les ondes électromagnétiques centimétriques; pour les ondes plus longues, en effet, les dimensions des guides seraient prohibitives.

A la longueur d'onde de coupure, correspond la fréquence de coupure:

$$f_c = \frac{v}{\lambda_c} = \frac{1}{2b \sqrt{\epsilon \mu}}$$

Le comportement des guides d'ondes à section circulaire est similaire à celui des guides d'ondes à sec-

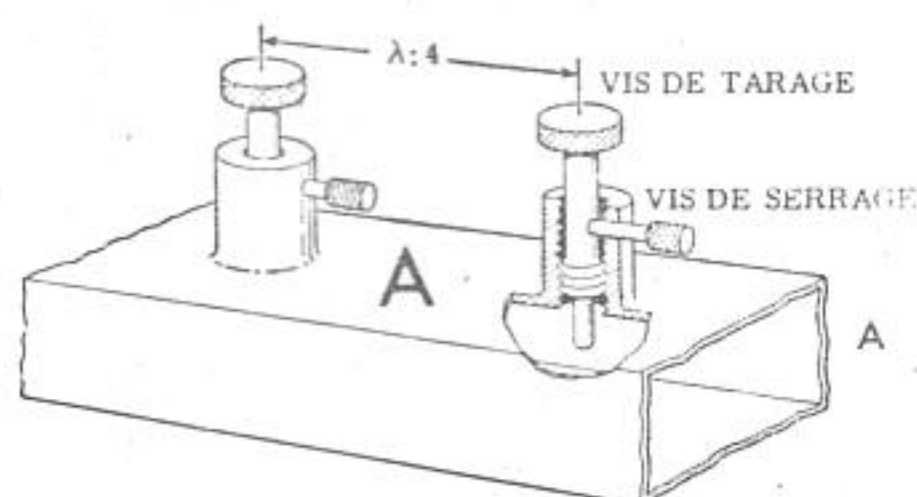


Fig. 7 - Dispositif d'accord à vis d'un guide d'ondes; en A, vue latérale, en B, vue frontale. L'accord est effectué en faisant varier la longueur du pivot qui pénètre à l'intérieur du guide.

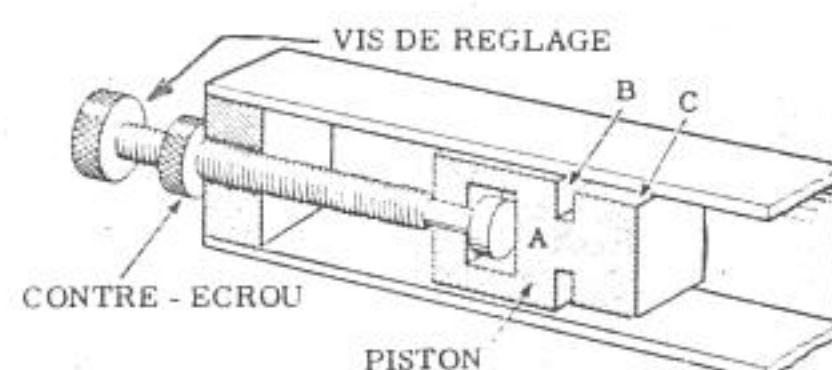
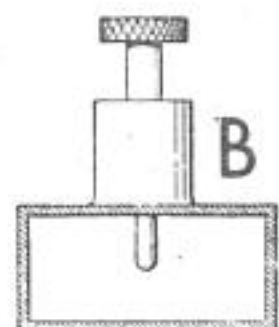


Fig. 8 - Dispositif d'accord à piston. En faisant fonctionner la vis extérieure (laquelle est bloquable au moyen d'un contre-écrou, lors de l'accord) on fait varier la position du piston et, par conséquent, de la paroi qui limite le guide. La fente périmétrique, dont les dimensions sont calculées d'avance, évite les inconvénients causés par un contact imparfait entre le piston et les parois.

tion rectangulaire. Le parcours des ondes dépend, comme cela se passe dans le guide d'ondes rectangulaires, des deux conditions suivantes, qui sont, à leur tour, subordonnées au fait que les parois du guide sont constituées par un bon conducteur: sur la surface d'une paroi, il ne peut exister un champ électrique parallèle à la paroi elle-même et il ne peut non plus exister un champ magnétique, variable, perpendiculaire à la paroi en question.

A cause de la courbure des parois d'un guide d'ondes à section circulaire, il est extrêmement difficile d'étudier le diagramme des champs avec la même précision que lorsqu'il s'agit d'un guide d'ondes à section rectangulaire.

Néanmoins, on peut en déduire l'aspect du diagramme de propagation par l'analogie avec le diagramme relatif à un guide d'onde où les dimensions a et b sont égales, c'est-à-dire, un guide d'ondes à section carrée.

Lorsqu'il s'agit de lignes de transmission coaxiales, les avantages offerts par un guide d'ondes, résident dans l'absence totale de conducteur central et de pertes réduites. Le phénomène connu sous le nom d'effet pelliculaire, qui se produit dans les conducteurs et que nous avons étudié page 226, est négligeable.

DISPOSITIFS D'ACCORD des GUIDES D'ONDES

Au premier abord, il semble impropre de parler d'impédance d'un guide d'ondes, étant donné que dans celui-ci il n'existe aucun point par rapport auquel on puisse mesurer la tension et l'intensité du courant. Malgré cela la notion d'impédance d'un guide d'ondes existe et elle est aussi utile et importante que celle d'une ligne de transmission.

Nous savons que l'impédance en un point quelconque d'une ligne de transmission correspond au rapport qui existe entre la tension et le courant: en calculant ce rapport il est logique de tenir compte de la relation de phase existant entre les deux grandeurs.

L'impédance d'un guide d'ondes en un point quelconque est pareillement, le rapport qui existe en-

tre l'intensité du champ électrique transversal et celle du champ magnétique transversal au même point.

Ce rapport est appelé **impédance d'ondes** dans le guide et il joue un rôle analogue à celui de l'impédance caractéristique dans les lignes de transmission.

L'impédance d'onde vaut (pour une onde TE):

$$Z_o = \frac{\mu}{\varepsilon} \cdot \frac{\lambda g}{\lambda}$$

Dans le vide, on trouve:

$$Z_o \text{ (en ohms)} = 376,6 \frac{\lambda g}{\lambda}$$

λg étant la longueur d'onde dans le vide:

$$\lambda g = \frac{\lambda}{\cos B}$$

Bien entendu en calculant le rapport il faut tenir compte de la relation de phase existant entre les deux champs, comme nous l'avons signalé plus haut, à propos de l'impédance caractéristique de la ligne de transmission.

La section A de la figure 6 représente la distribution des champs dans une ligne coaxiale et la section B représente les mêmes phénomènes dans une ligne bifilaire.

La ligne de transmission agit dans les deux cas comme un guide d'ondes.

En tout point où l'onde guidée est présente, au point « x » dans la section A et au point « y » dans la section B par exemple, les champs électrique et magnétique sont associés à l'onde guidée.

La composante transversale du champ électrique (le champ qui est situé dans le plan perpendiculaire aux conducteurs) dépend de la position du point et de la tension qui existe entre les deux conducteurs. Pour chaque point donné, l'intensité du champ électrique est proportionnelle à la tension.

D'une manière négligeable aux fréquences bas-

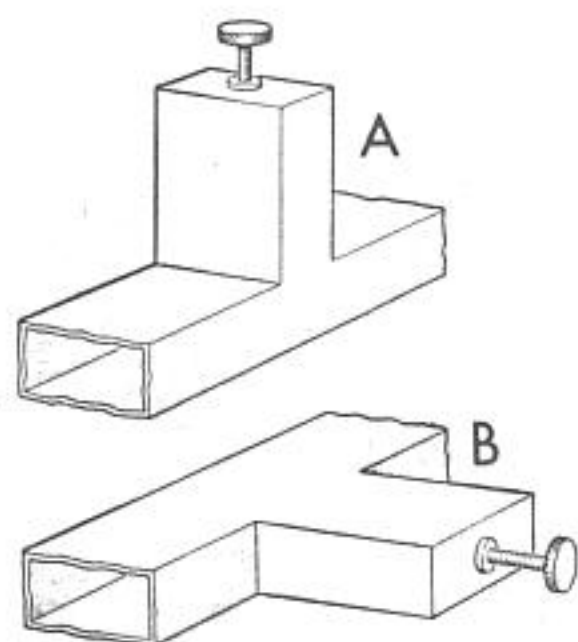


Fig. 9 - Applications d'un dispositif d'accord à piston; en A, jonction de type « E », (piston en série); et en B de type « H » (piston en parallèle).

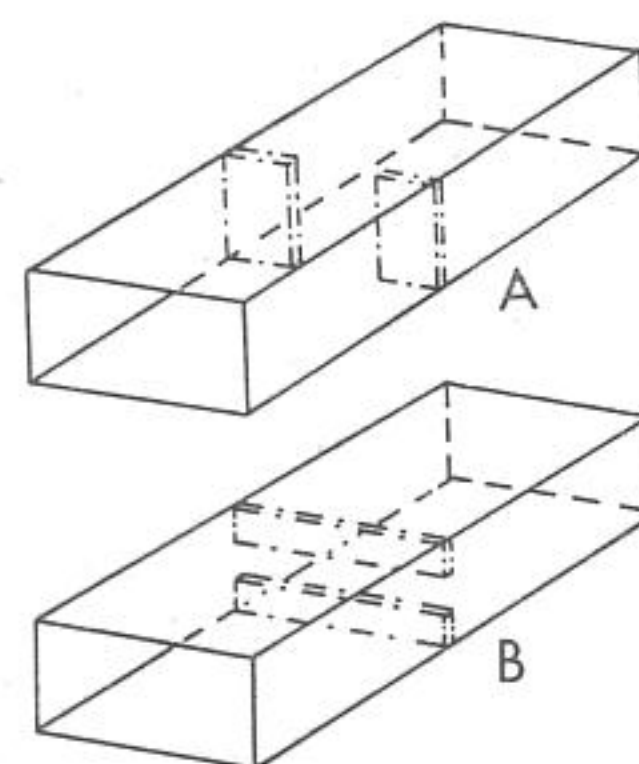


Fig. 10 - Dispositif d'accord à « fenêtre », en A, l'effet s'exerce principalement sur le champ magnétique; en B, au contraire, il s'exerce sur le champ électrique.

ses, mais qui aux fréquences élevées prend une importance telle que dans une ligne coaxiale, par exemple, le signal se propage **seulement** à la surface du conducteur intérieur, il en résulte une résistance de conduction inévitablement élevée.

Le conducteur extérieur, ayant une surface plus grande (rappelons-nous que la surface intérieure est la seule qui conduise le courant), offre une résistance notablement plus basse.

D'où il s'ensuit que la plus grande partie des pertes se produit dans le conducteur intérieur des lignes coaxiales, lequel est absent dans les guides d'ondes; de même, le champ magnétique transversal dépend de la position du point et de l'intensité du courant qui circule à travers les conducteurs. **L'intensité du champ magnétique est proportionnelle à celle du courant.**

Le champ transversal électrique ainsi que le champ transversal magnétique dépendent tous les deux directement de la position du point, c'est pourquoi **leur rapport** ne dépend pas de la position du point lui-même.

Le rapport entre les deux champs transversaux dépend, au contraire, du rapport qui existe entre la tension et le courant. Par suite, l'impédance caractéristique d'une ligne de transmission peut être calculée soit au moyen du rapport entre la tension et le courant, soit au moyen du rapport entre le champ transversal électrique et le champ transversal magnétique.

La seconde façon de définir l'impédance s'applique aux guides d'ondes.

On peut affirmer en pratique que l'impédance d'onde est égale à l'impédance caractéristique quand l'onde réfléchie est absente.

En présence d'une onde réfléchie, l'impédance d'onde diffère de la valeur de l'impédance caractéristique et elle est, de plus, variable d'un point à un autre du guide.

L'impédance est toujours la même pour tous les points d'un plan perpendiculaire à l'axe du guide d'ondes, exactement comme l'impédance caractéristi-

que d'une ligne de transmission (calculée d'après les champs électrique et magnétique et non en se basant sur la tension et le courant) est la même pour n'importe quel point d'un plan donné que l'on prend comme référence pour effectuer la mesure des champs.

Dans les circuits accordés fonctionnant sur les fréquences plus basses, la fréquence de résonance dépend des valeurs de l'inductance et de la capacité employées; ces valeurs donnent à leur tour une valeur déterminée d'impédance qui, lorsqu'elle correspond à la fréquence de résonance, atteint le niveau le plus élevé dans un circuit résonnant parallèle et le niveau le plus bas dans un circuit résonnant série. Quand il s'agit de guides d'ondes, on ne peut parler ni d'inductance ni de capacité: les dimensions d'un guide d'ondes ou celles d'une **cavité résonnante**, qui prend la place d'un circuit accordé normal dans le domaine des micro-ondes, sont celles qui déterminent la fréquence de fonctionnement ou, pour être plus précis, la bande de fréquences, étant donné qu'il existe une fréquence maximum et une fréquence minimum entre lesquelles le guide d'ondes peut se comporter d'une façon presque uniforme.

Il existe, cependant, des dispositifs d'accord, afin d'effectuer une mise au point soignée sur une fréquence donnée.

Ceux-ci se comportent d'une façon complètement différente de celle des dispositifs que nous avons étudiés jusqu'à présent.

La **figure 7** représente un dispositif d'accord à vis, au moyen duquel il est possible de faire varier légèrement les caractéristiques d'un guide d'ondes, afin de l'accorder sur une fréquence donnée.

Lorsque chacune des deux vis est plus ou moins introduite à la suite de la rotation du bouton extérieur moleté, un pivot métallique s'enfonce dans le guide d'ondes lui-même dans une direction parallèle au champ électrique et se comporte comme une petite antenne. Celle-ci est excitée par le champ électrique qui existe dans le guide d'ondes et, par conséquent, émet un si-

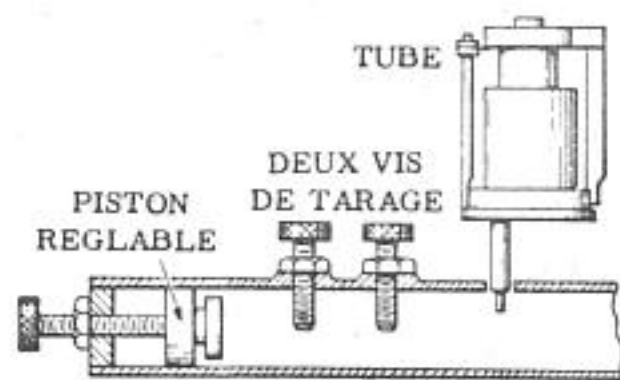


Fig. 11 - Couplage entre le tube final d'un émetteur et un guide d'ondes. L'électrode d'excitation, qui sort du tube lui-même, pénètre d'une certaine longueur dans le guide. Celui-ci, à son tour, est accordé au moyen de dispositifs à piston et à vis.

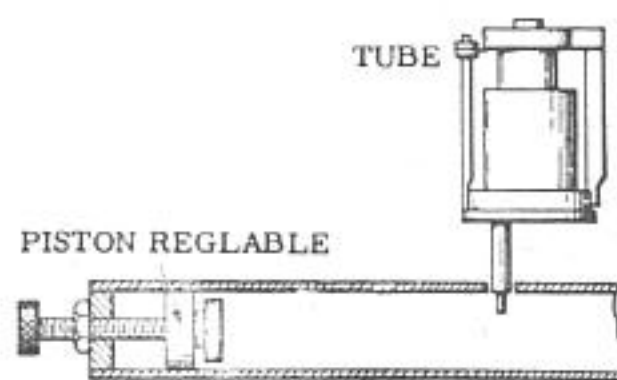


Fig. 12 - Couplage entre un guide d'ondes et le tube d'entrée du récepteur. Il est semblable au précédent, mais dans ce cas, l'électrode du tube capte le signal au lieu de le rayonner. L'accord peut seulement être du type à piston, ou d'un type plus compliqué.

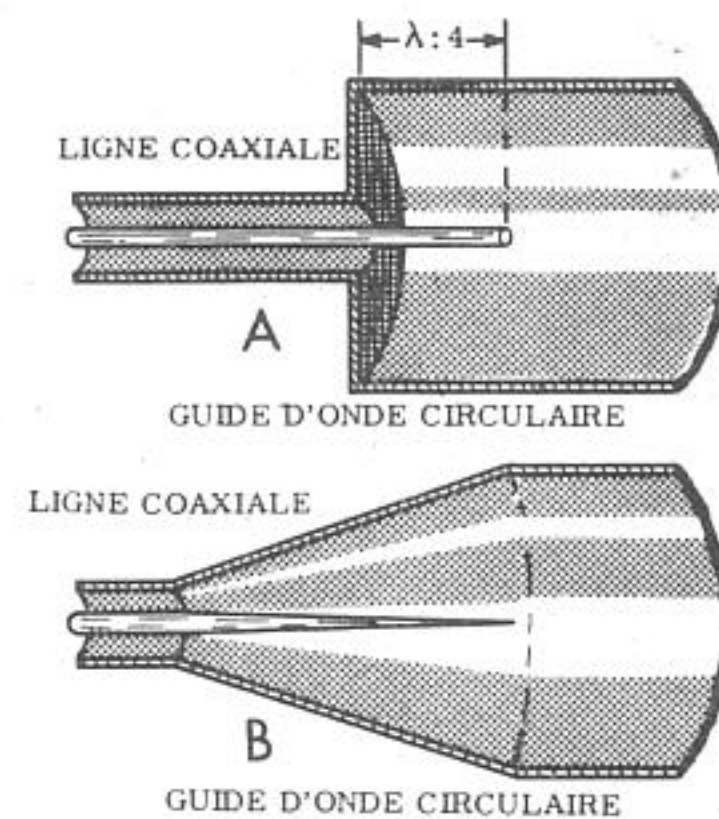


Fig. 13 - Deux systèmes de couplage entre une ligne coaxiale et deux types de guides.

gnal. La phase du signal réfléchi peut être modifiée en faisant varier la longueur du pivot métallique par l'intermédiaire de la rotation de la vis de tarage. Le dispositif n'a aucun effet quand sa longueur est égale à un quart de longueur d'onde; à partir de cette valeur elle peut varier dans les deux sens, c'est-à-dire jusqu'à atteindre la moitié et même plus, de la longueur d'ondes et jusqu'à prendre des valeurs inférieurs à $\lambda/4$.

Le pivot métallique devient, en outre, inefficace quand il se trouve au même niveau que la paroi intérieure: dans ce cas, sa longueur peut varier dans une seule direction.

De tout ce que nous venons de dire, il résulte que le dispositif double d'accord à vis, du type illustré par la figure, a un champ d'applications limité et que, souvent, on fait appel à l'emploi d'un dispositif triple ayant entre les vis de régulation et par conséquent, entre les pivots, une distance égale à $3/8$ de λ .

Un système d'accord à double vis peut être mis au point en commençant avec les deux pivots complètement retirés de sorte que les pointes se trouvent au niveau de la paroi intérieure du guide d'ondes, c'est-à-dire dans la position où ils n'exercent aucune influence sur le fonctionnement. C'est alors que l'un d'eux est introduit à l'intérieur du guide en agissant sur la vis relative. Si cette manipulation augmente le désaccord, on retire le pivot et l'on essaie d'introduire l'autre. A partir de ce moment, on poursuit le procédé d'accord en alternant le réglage des deux pivots, exactement de la même manière que l'on effectue l'accord d'un transformateur M.F. en agissant alternativement sur les deux condensateurs.

En employant les **régulateurs à piston**, on obtient une autre méthode d'accord. Les dispositifs de ce genre offrent peu d'avantages par rapport à ceux que nous avons décrits précédemment, quoique, quelquefois on les emploie avec profit. La **figure 8** en reproduit un. Comme on peut le constater, il se compose d'une portion de guide d'ondes pourvue à l'intérieur d'un piston mobile, dont la position peut être modifiée au

moyen d'une vis de réglage. Le piston est construit en matériau bon conducteur.

Afin de pouvoir réaliser un contact électrique parfait entre le piston et les parois intérieures du guide d'ondes, c'est-à-dire pour assurer un court-circuit complet entre les quatre parois du guide, le piston est, à une certaine distance de la face intérieure, pourvu d'une fente périmétrique. Quand cette fente est vue de B, elle se comporte comme un secteur réduit de ligne de transmission aboutissant au court-circuit qui se présente au point A. La profondeur de la fente est calculée de sorte que cette portion de ligne ait une longueur électrique effective égale à un quart de longueur d'onde. Par conséquent, l'impédance au point B se comporte comme l'impédance infinie d'une portion de ligne quart d'onde court-circuitée, en série avec l'impédance du contact mobile entre le piston et les parois du guide d'ondes, à gauche de B.

La distance BC est aussi égale à un quart de longueur d'onde et l'impédance de l'intervalle existant entre le piston et les parois au point C est celle d'une section quart d'onde qui aboutit au point B.

Du moment que cette dernière valeur est toujours élevée (à cause de l'impédance de la fente) l'impédance au point C est à peu près égale à zéro, indépendamment de l'efficacité du contact entre le piston et les parois.

Le dispositif peut être appliqué à une paroi quelconque du guide d'ondes. Quand la jonction est appliquée à la paroi perpendiculaire au champ électrique, on l'appelle jonction E, et le piston est dit **en série**. L'impédance de ce dernier est en série par rapport à celle de la ligne principale. Lorsqu'au contraire, la jonction est appliquée à la paroi perpendiculaire au champ magnétique elle prend le nom de jonction H, et, par suite, le piston est dit **en parallèle**. L'impédance de ce dernier est en parallèle par rapport à celle de la ligne principale.

La section A de la **figure 9** représente le cas où le dispositif est appliqué par une jonction de type E et la section B représente le cas de la jonction de type H. Le premier est d'un usage plus courant.

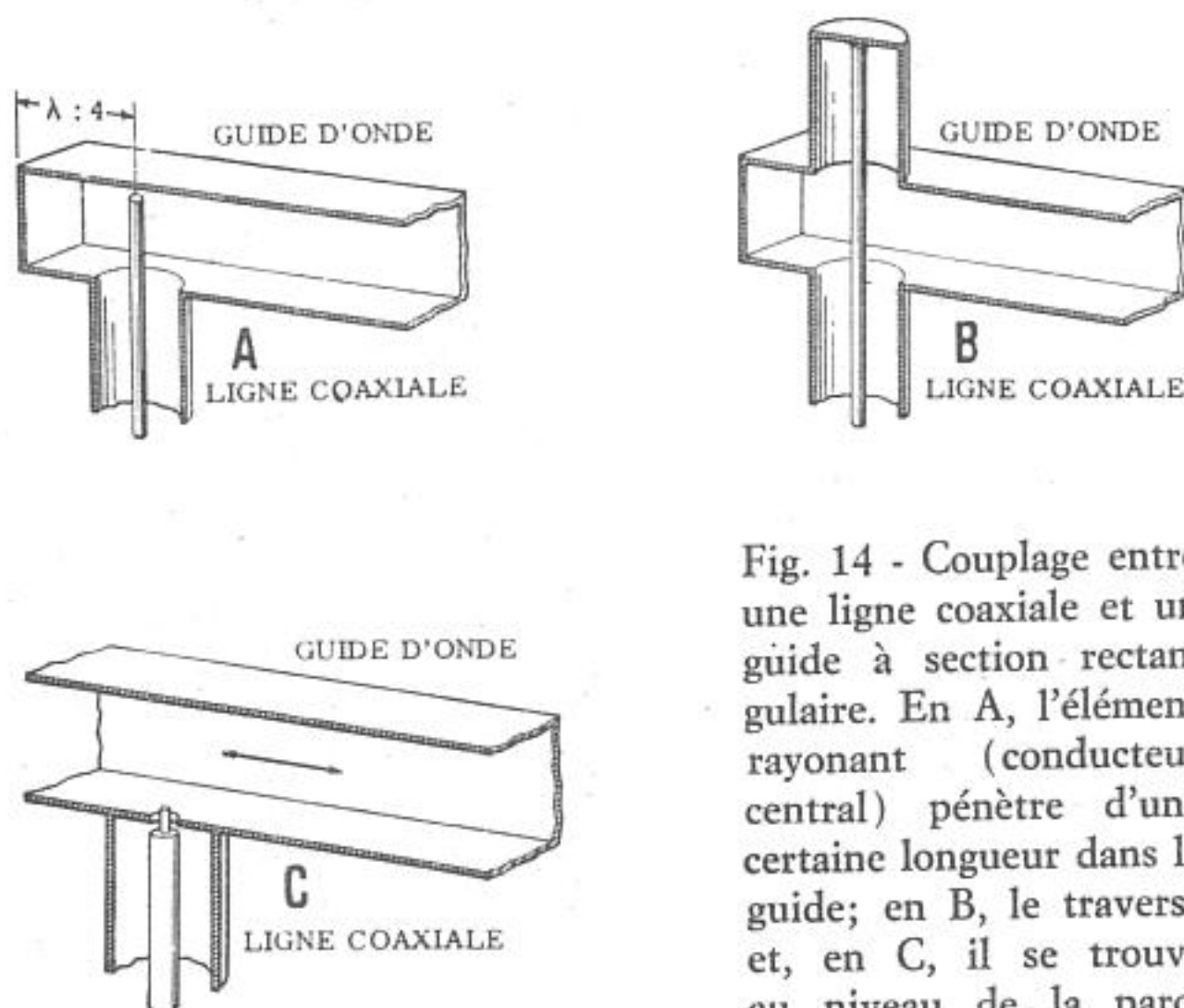


Fig. 14 - Couplage entre une ligne coaxiale et un guide à section rectangulaire. En A, l'élément rayonnant (conducteur central) pénètre d'une certaine longueur dans le guide; en B, le traverse et, en C, il se trouve au niveau de la paroi intérieure.

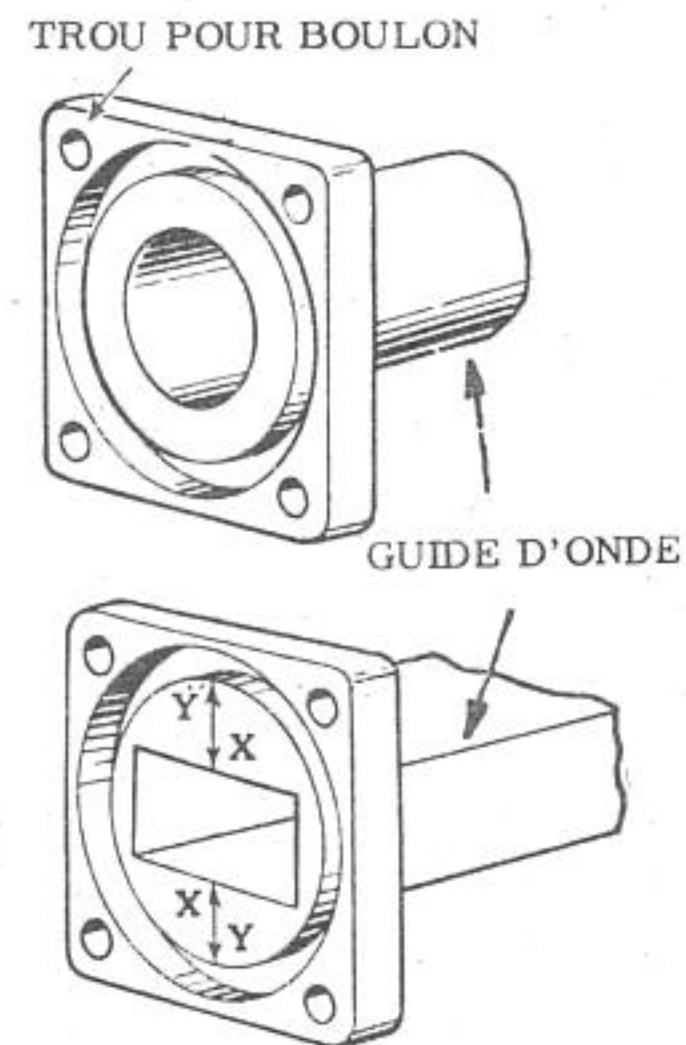


Fig. 15 - Exemples de raccords pour des guides à sections circulaire et rectangulaire.

Un autre dispositif d'accord est celui que l'on appelle à **fenêtre**. Deux dispositifs de ce type sont représentés par la **figure 10**. Du moment que les deux obstructions doivent être symétriques, la construction est plutôt difficile, néanmoins cette méthode est utile lorsque les deux obstructions peuvent être réglées d'avance.

Les dispositifs d'accord à fenêtre consistent simplement (voir la figure) en deux plaques de matériau bon conducteur mises à l'intérieur du guide. Dans le cas A, elles se trouvent aux points où le champ électrique est relativement faible et l'influence la plus grande s'exerce sur le champ magnétique. Du moment que le champ magnétique est comparable au courant en ce qui concerne l'impédance d'ondes du guide, un dispositif de ce type se comporte comme un régulateur de courant et il est comparable à **une inductance en parallèle** (celle-ci n'exerce aucune influence sur la tension) par rapport à une ligne de transmission conventionnelle. Dans le cas B, l'influence la plus grande s'exerce, au contraire, sur le champ électrique, ce qui signifie que le dispositif se comporte à peu près comme **un condensateur en parallèle** par rapport à une ligne de transmission conventionnelle.

RACCORDS, JOINTS et BORNES de GUIDE d'ONDES

Quoique ces dispositifs soient de nature assez compliquée, nous tâcherons toutefois d'analyser succinctement le principe de fonctionnement et de réalisation.

Couplage entre un émetteur et un guide d'ondes. - Le signal de sortie n'est pas disponible aux bornes d'une inductance comme cela est le cas aux fréquences inférieures, mais sur une électrode unique d'un tube spécial. La **figure 11** représente la méthode la plus commune de couplage entre un étage de sortie et un guide d'ondes, où l'on peut remarquer l'électrode d'excitation qui sort du tube et entre d'une certaine longueur dans le guide d'ondes réglable au moyen d'un dispositif à piston. Les dimensions du guide d'ondes sont calculées d'avance, afin qu'il puisse résonner sur une fréquence voisine de celle du signal. La longueur de l'électrode d'excitation, ainsi que la position du

piston peuvent être réglées afin d'obtenir les caractéristiques désirées.

La mise au point est effectuée de façon à obtenir une distribution rationnelle des champs électrique et magnétique, afin que l'énergie produite puisse se propager à l'intérieur du guide en le parcourant sur toute sa longueur avec un minimum de pertes.

Couplage entre un guide d'ondes et un récepteur. - La **figure 12** représente un des dispositifs les plus simples de couplage entre un guide d'ondes et le tube d'entrée d'un récepteur. Ce système est semblable à celui que nous venons de décrire; tout d'abord on cherche la meilleure position du piston, puis, on effectue la mise au point de l'accordeur de façon que l'adaptation d'impédance soit correcte. Quelquefois la sonde de l'oscillateur local est réglable, toutefois elle est normalement prédisposée dans la position la plus indiquée. Le signal de l'oscillateur local est injecté en voisinage de l'accordeur; les deux signaux entrent de la même façon, modifiés au moyen du réglage du piston.

Couplage entre une ligne coaxiale et un guide d'ondes. - Deux cas se présentent: le guide d'ondes, auquel la ligne coaxiale doit être couplée, peut être à section circulaire ou rectangulaire. Dans le premier cas, le dispositif de couplage est représenté par la **figure 13**. En A l'adaptation est réalisée en faisant aboutir le conducteur extérieur de la ligne coaxiale contre une paroi plane qui limite une extrémité du guide d'ondes; le conducteur central s'étend, par contre, à l'intérieur du guide d'une longueur égale à un quart de longueur d'onde de façon à construire une électrode rayonnante qui pourvoit à l'émission du signal. Dans la section B de la figure est représenté un système d'adaptation en forme de cône; la ligne coaxiale se termine par un élargissement en forme de cône du conducteur extérieur, lequel atteint, à une certaine distance, le diamètre du guide d'ondes. Le conducteur central qui pourvoit à l'émission du signal s'étend tout le long de la hauteur à l'intérieur du tronc de cône.

La **figure 14** représente trois méthodes pour coupler

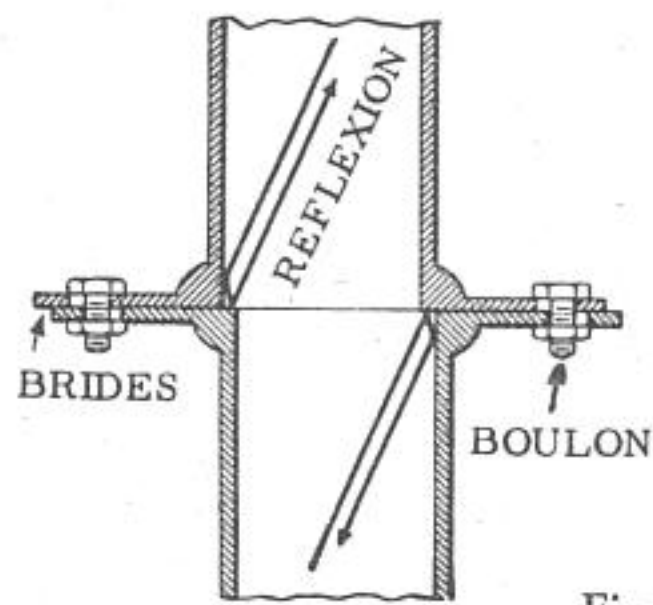


Fig. 16 - Si le joint n'est pas bien précis, le gradin qui se forme entre les deux segments provoque la formation de réflexions parasites. À côté, on peut remarquer le gradin de réflexion agrandi pour plus de clarté.

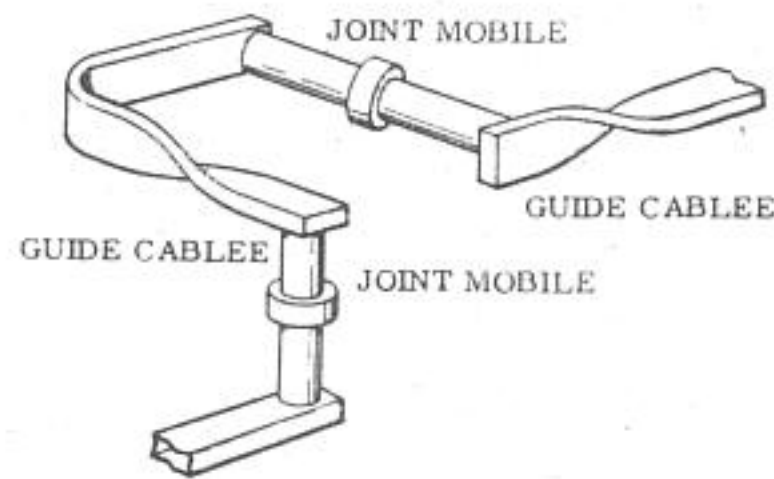


Fig. 17 - Divers types de joints dans un guide d'ondes, nécessaires pour faire varier l'orientation de la sortie dans toutes les directions possibles. On peut remarquer deux joints coulissants et deux segments de guide d'ondes repliés.

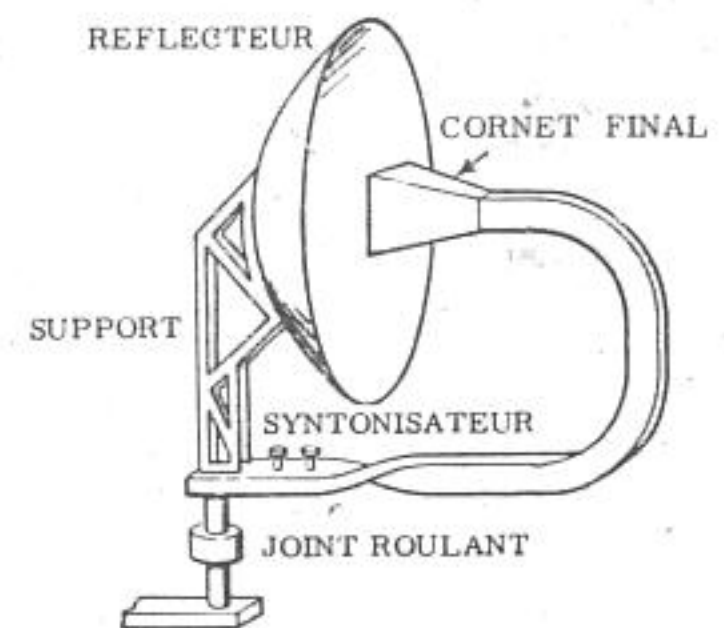


Fig. 18 - Système de couplage entre un guide d'ondes et un réflecteur parabolique orientable. Dès que les ondes sortent, elles sont réfléchies vers l'avant.

une ligne coaxiale et un guide d'ondes à section rectangulaire. Il s'agit toujours de connecter directement le conducteur extérieur de la ligne coaxiale à une paroi du guide d'ondes et, simultanément, de prolonger le conducteur intérieur de la ligne d'une certaine longueur à l'intérieur du guide. Sur la section A de la figure il est bien évident que la position du conducteur central qui avance à l'intérieur du guide par rapport à la paroi qui limite le guide lui-même prend une importance fondamentale pour l'adaptation. Il est nécessaire que la distance qui existe entre l'électrode rayonnante et la paroi qui sert de limite, corresponde à un sous-multiple de la longueur d'onde; dans le cas contraire, il ne se produit pas de phénomènes de réflexion tels que les signaux réfléchis puissent se renforcer l'un l'autre quand ils sont en phase. Les sections B et C représentent deux dispositions différentes.

Couplage entre les segments de guide d'ondes. - Il peut se présenter la nécessité d'avoir à prolonger un guide d'ondes au moyen de l'adjonction de segments de diverses longueurs. Pour obtenir une bonne propagation, sans compromettre les relations de phase entre les signaux réfléchis, l'emploi de joints spéciaux est requis (figure 15). Les deux points face à face doivent être construits avec la plus grande précision, afin d'éviter qu'entre le guide d'ondes et le segment ne se forme un gradin comme le montre la figure 16. Dans ce cas (voir les flèches qui représentent le signal en mouvement) on obtiendrait des réflexions nuisibles, lesquelles obligeraient le signal rayonné à se retourner vers la direction d'origine, ou bien à se propager tout le long du guide.

Les joints sont normalement munis (voir figure) d'une bride extérieure pourvue de trous pour la fixation au moyen de boulons. En cas de champ électrique intense, la distance « X-Y » (figure 15) est calculée de façon à correspondre à un quart de longueur d'onde. Les joints — quand il s'agit d'adapter le guide d'ondes à un ensemble de rayonnement (antenne) — peuvent être aussi du type coulissant. Grâce à la mobilité par rapport à l'axe propre de l'un d'eux, on peut étendre l'allongement du guide d'ondes dans différentes direc-

tions selon les nécessités. L'adaptation des deux brides est donc effectuée avec la possibilité de faire coulisser l'une d'elles jusqu'à ce que l'on trouve la position la plus indiquée. Pour les mêmes raisons, il est quelquefois nécessaire de replier un guide d'ondes sur lui-même, afin que les deux parois (dans le cas de la section rectangulaire) intervertissent leur position réciproque. Ce cas est représenté par la figure 17, où l'on remarque que le guide d'ondes en bas — couplé au signal — est couplé à son tour par un joint coulissant, puis par un guide d'ondes replié et ensuite au moyen d'un autre joint coulissant connecté à son tour à une nouvelle portion de guide d'ondes replié qui est, par suite, relié au dispositif de sortie.

Couplage entre un guide d'ondes et un élément rayonnant. - Les systèmes de couplage d'un guide d'ondes avec la sortie d'un émetteur à antenne direction, ont en commun le fait de concentrer la sortie du guide d'ondes vers l'élément réflecteur, afin que ce dernier puisse par la suite rayonner de l'énergie sous forme d'un faisceau directionnel. La figure 18 représente un cas typique. Le signal provenant du générateur arrive au dispositif de couplage à travers le guide d'ondes à section rectangulaire. Celui-ci est accouplé à un point coulissant à la sortie duquel se trouve une autre portion de guide d'ondes à section rectangulaire du type replié. À l'entrée de cette portion est fixé un dispositif d'accord muni de régulateurs à vis. Le signal qui se propage à travers cette dernière portion de guide d'ondes recourbé en « U », sort du guide lui-même en un point auquel est appliqué un cornet servant de borne. Ce cornet s'agrandit vers l'extérieur. La grosseur du cornet et sa distance à la parabole qui constitue l'élément réfléchissant, ainsi que les dimensions de ce dernier, doivent être calculées de façon à permettre le rendement le plus élevé possible. Le signal de sortie du guide d'ondes heurte un point de la parabole et se réfléchit sous forme d'un faisceau d'ondes fortement directionnel. C'est ainsi que toute l'énergie de l'émetteur est concentrée et se propage le long d'une ligne droite pour constituer l'onde directe dont nous avons parlé au commencement de la leçon.

Leçon n° 149

CIRCUITS RELATIFS AUX HYPERFREQUENCES

Nous venons de voir qu'entre les composants utilisés dans les circuits fonctionnant sur les fréquences qui s'étendent jusqu'à un maximum de 1 000 MHz et ceux fonctionnant sur des fréquences plus grandes, existent des différences notables. Nous savons par exemple, qu'une ligne de transmission est, normalement remplacée par un guide d'ondes au delà de 1 000 MHz. On peut en dire autant pour tout ce qui concerne les circuits accordés constitués par une inductance et une capacité: les composants (L et C) nécessaires pour obtenir l'accord sur une fréquence déterminée sont, dans le domaine des micro-ondes, remplacés par les «cavités résonnantes», lesquelles permettent, grâce à leurs caractéristiques de dimensions, l'accord sur une fréquence définie plutôt que sur une autre.

En tenant compte de ces différences, il n'est pas surprenant que les circuits fonctionnant sur des fréquences qui appartiennent à la gamme des hyperfréquences n'aient que quelques points en commun avec ceux fonctionnant sur des fréquences plus petites.

TUBES pour HYPERFREQUENCES

Les tubes utilisés aux fréquences supérieures à 1 000 MHz ont des caractéristiques tout à fait particulières. Nous avons déjà signalé le «Klystron» et le «Magnétron».

KLYSTRON. - Alors que dans les lampes phares on s'est efforcé de réduire le temps de transit des électrons en réduisant la distance qui sépare les électrodes, dans le klystron, on module la *vitesse* des électrons, en lui faisant subir de petites variations suivant une loi périodique à la fréquence désirée.

Le klystron se compose de quatre parties: un dispositif de production du faisceau électronique, (cathode); un dispositif de modulation de la vitesse du faisceau, constitué par deux grilles (g1 et g2) et une cavité résonnante dite «rassembleuse» (Buncher); un dispositif de «groupement» ou de «glissement» situé entre les grilles g1 et g2; un espace de «captation» comportant deux grilles (g3 et g4) et une seconde cavité résonnante dite collectrice (catcher); enfin, une anode qui recueille le faisceau.

La **figure 1** représente un klystron vu en coupe. Une tension positive est appliquée entre la cathode et l'ensemble des autres électrodes. Le principe de fonctionnement est alors le suivant: les électrons émis par la cathode sont accélérés par la grille g1. Ils pénètrent alors dans l'espace compris entre g1 et g2. Ces deux

grilles font partie d'une cavité résonnante appelée «cavité rassembleuse» (Buncher), où règne un champ alternatif de haute fréquence. Ce champ produit une **modulation de vitesse** du faisceau électronique. En effet, durant les demi-périodes positives du champ, les électrons sont accélérés, (ils empruntent alors de l'énergie au champ); pendant les demi-périodes négatives du champ, ils sont, au contraire, freinés (ils cèdent alors de l'énergie au champ). La distance qui sépare les deux grilles est petite, de façon qu'un électron ne puisse subir des effets opposés d'accélération et de freinage.

Le faisceau électronique ainsi modulé en vitesse pénètre dans l'espace de glissement; autrement dit, on obtient une modulation de densité. Les paquets d'électrons traversent un second espace, dit de «captation», limité par les grilles g3 et g4 et rencontrent une cavité collectrice, et induisent dans celle-ci un champ de même fréquence que celui de la cavité rassembleuse. Enfin, le faisceau électronique est recueilli, à la sortie de l'espace de captation, par l'anode portée au même potentiel, continu, positif, que l'ensemble des grilles. Si on excite la cavité rassembleuse et si l'on recueille l'énergie induite dans la cavité collectrice, le klystron fonctionne en amplificateur. On utilise de plus, dans ce but, des klystrons à 3 ou 4 cavités intermédiaires. Si on prélève de l'énergie dans la cavité collectrice pour la ramener, avec la phase convenable, dans la cavité rassembleuse, le klystron fonctionne en oscillateur. Enfin, il existe des klystrons à cavité résonnante unique et dont l'anode est portée à un potentiel négatif par rapport à la cathode; ce sont les klystrons «reflex».

LE MAGNETRON. - Un magnétron est essentiellement un tube diode, généralement à structure cylindrique. Il comporte donc, une cathode axiale à chauffage indirect, entourée d'une anode cylindrique (**figure 2**) ayant le même axe, portée à une tension continue positive par rapport à la cathode. Le magnétron se distingue de la diode classique par le fait qu'il est placé dans un champ d'induction magnétique continue et uniforme, parallèle à l'axe. Le champ d'induction magnétique peut être produit par un aimant permanent ou un électroaimant. Dans la majorité des cas, on utilise un aimant permanent au point de vue stabilité du champ (suppression du circuit d'excitation. Le magnétron à une seule anode massive ne présente pas un très grand intérêt. On a donc eu l'idée de construire des magnétrons à anode fendue, dans lesquels l'anode est divisée en

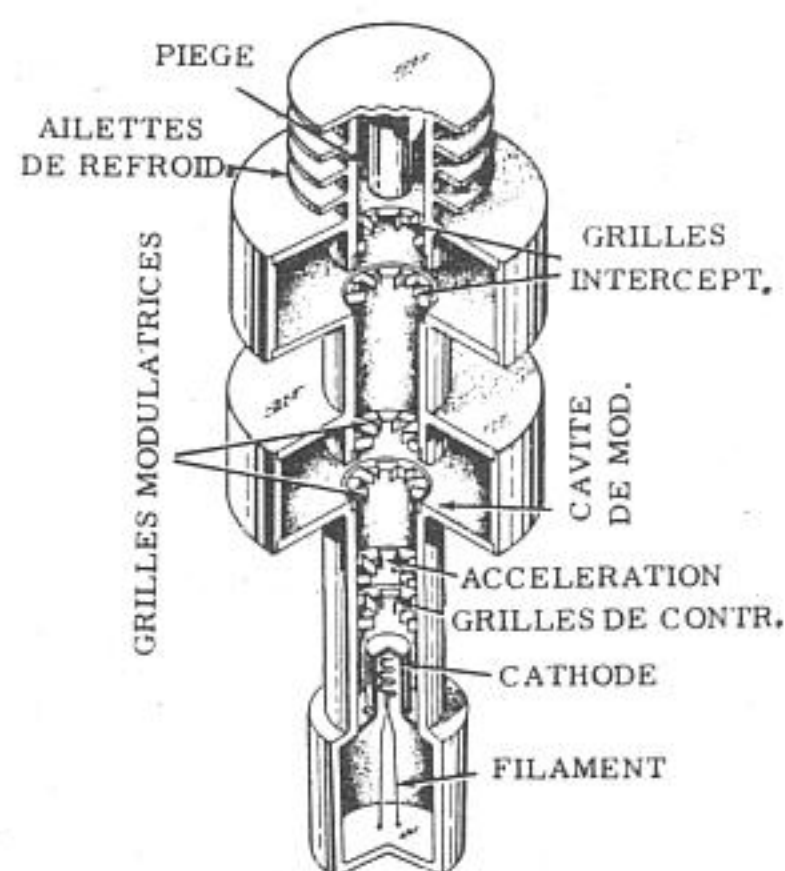


Fig. 1 - Un « klystron » vu en coupe.

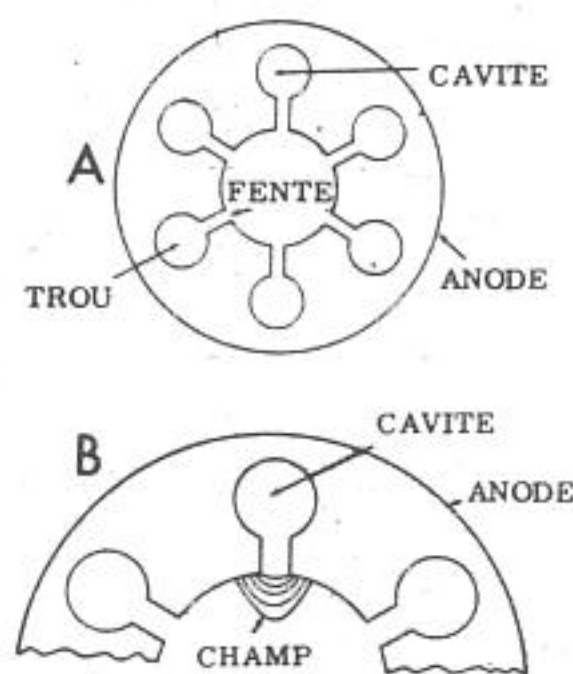


Fig. 2 - En A, aspect de l'anode d'un magnétron à cavités. En B l'on peut noter les lignes d'induction du champ à l'entrée d'une cavité.

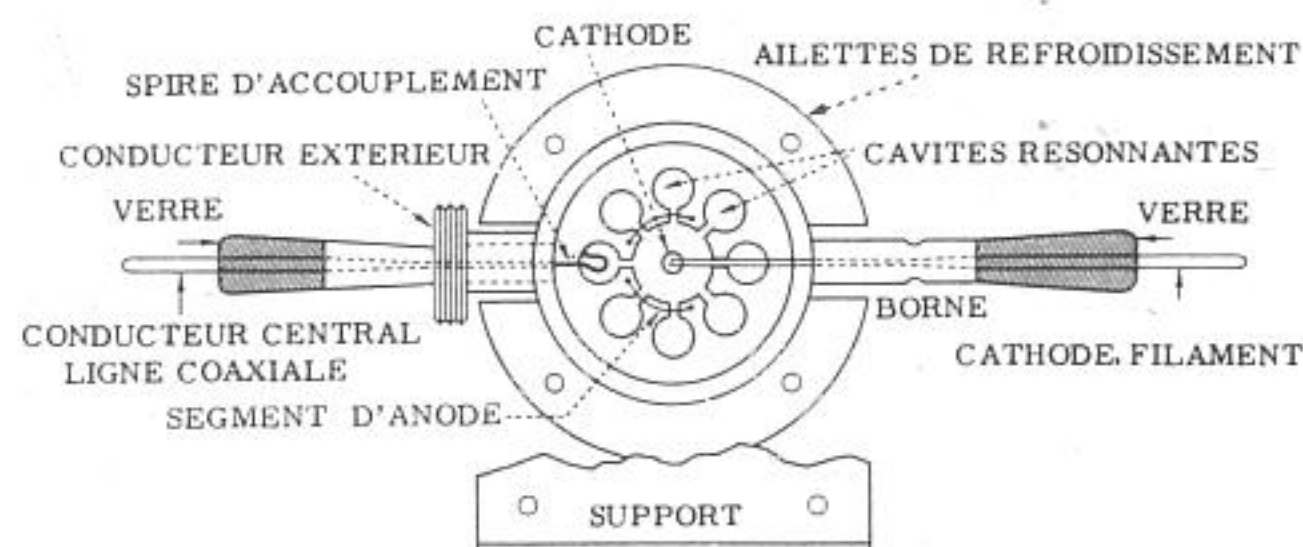


Fig. 3 - Dessin en coupe d'un magnétron. Les pièces polaires d'un aimant permanent sont appliquées aux deux faces, dont celle supérieure est visible dans le plan. Les lignes d'inductions sont parallèles à l'axe de l'anode.

plusieurs segments, tous au même potentiel continu.

Aux très hautes fréquences, il n'est plus possible, on le sait, d'utiliser des circuits accordés classiques. On emploie alors des cavités résonnantes. Il est particulièrement commode de creuser ces cavités dans la paroi même d'une anode massive de magnétron. On a ainsi réalisé des magnétrons à cavités, permettant d'atteindre la fréquence de 30 000 MHz.

La figure 3 représente un tel magnétron, pourvu de 8 cavités résonnantes : il existe, cependant, d'autres types ayant un nombre plus élevé de cavités. Il existe également des magnétrons à ailettes, des magnétrons à fentes inégales appelés « soleil levant » ; ce dernier type permettant d'atteindre les ondes millimétriques.

En général, les magnétrons fonctionnent en régime d'impulsion, dans les émetteurs de « Radar ». La tension anodique n'est appliquée que par impulsions très brèves, de l'ordre de la microseconde ; la fréquence de répétition est de l'ordre de 1 000 Hz.

Pendant les impulsions, l'émission de la cathode atteint une intensité de 50 ampères environ ; par conséquent, on fait appel aux oxydes ayant un coefficient d'émission élevé (oxydes de baryum et de strontium).

Cependant, aucune cathode ne serait capable de fournir par simple chauffage des courants aussi énormes. En réalité, la majeure partie de l'émission de la cathode est due au phénomène de chauffage en retour.

Durant le fonctionnement, un certain nombre d'électrons émis retombent sur la cathode ; l'énergie qu'ils développent contribue au chauffage de cette dernière et provoque une émission secondaire parfois très importante. Le chauffage direct peut donc être notablement diminué. Pour certains magnétrons puissants, il peut même être complètement supprimé sans provoquer l'arrêt du fonctionnement ; le chauffage en retour étant suffisant pour assurer l'émission électronique de la cathode. Si le champ électrique de l'anode existait seul (cas d'une diode classique de structure cylindrique), les électrons iraient directement de la cathode à l'anode, en décrivant un rayon, (figure 4) et le tube ne pourrait pas osciller. L'effet du champ d'induction magnétique est de courber la trajectoire des électrons vers la

cathode. Cette trajectoire est complexe (trajectoire en spirale) et son étude très compliquée. Enfin si le champ d'induction magnétique existait seul, les électrons décriraient un cercle. La figure 5 donne une représentation schématique de la structure interne d'un « magnétron », dont le fonctionnement comme oscillateur dans les gammes S.H.F. sera étudié plus loin.

Autres considérations sur les Tubes

Pour l'amplification, on utilise des klystrons (à l'émission). Les cavités, rassembleuse et collectrice, ayant un coefficient de surtension très élevé, la bande de fréquence que peut amplifier un klystron est relativement étroite.

Afin d'augmenter cette largeur de bande, on a réalisé des klystrons amplificateurs à 3,4 ou même 5 cavités résonnantes. Les cavités intermédiaires sont insérées dans l'espace de glissement. On obtient ainsi un gain en puissance de 50 dB (soit une amplification de l'ordre, de 40 000) et une puissance également élevée (10 kW à 3 000 MHz en régime permanent et 2 mégawatts en régime d'impulsion). Signalons que dans les klystrons de grosse puissance, les cavités résonnantes ne font pas partie du tube, mais s'emboîtent sur lui.

La composante haute fréquence du courant transporté par le faisceau électronique d'un klystron, comportant de nombreux harmoniques, le klystron peut être utilisé comme multiplicateur de fréquence. Les amplitudes des harmoniques 2 et 3 sont respectivement égales à 83% et 75% de l'amplitude de la fondamentale.

Enfin, pour obtenir une plus grande amplification, on peut monter deux klystrons en cascade, grâce à une ligne coaxiale qui couple la cavité de sortie (collectrice) du premier tube à la cavité d'entrée du second (rassembleuse).

On utilise aussi des tubes à ondes progressives, dans la gamme de fréquences comprises entre 1 000 et 15 000 MHz (30 cm à 2 cm). La puissance qu'ils délivrent est de l'ordre de quelques dizaines de watts. On peut cependant atteindre un kilowatt en refroidissant l'hélice, réalisé avec un tube de cuivre, par circulation d'eau.

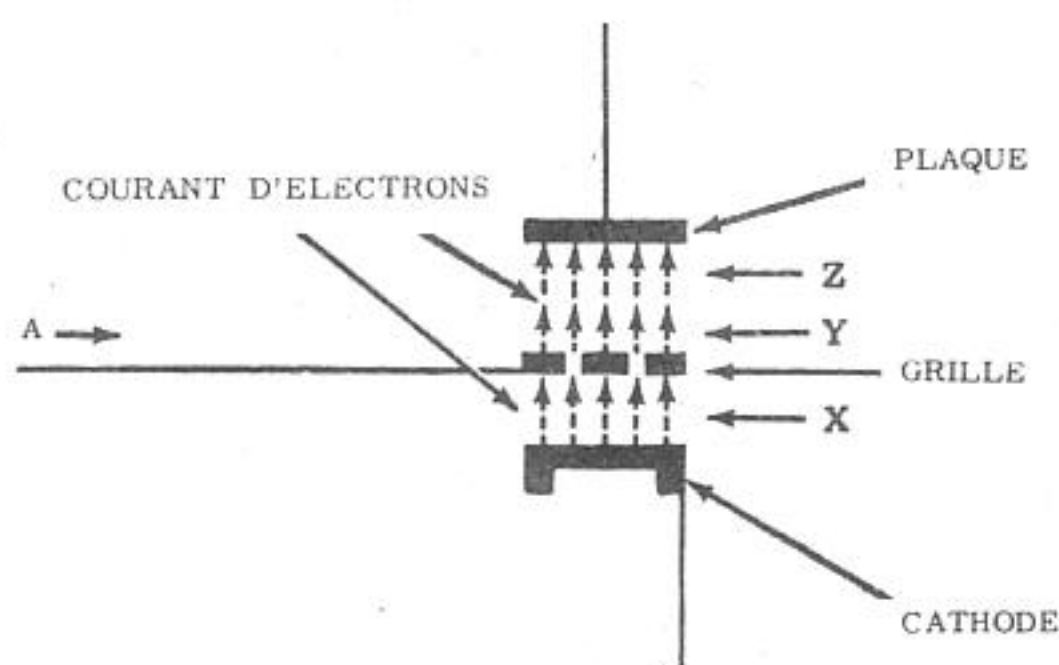


Fig. 4 - Si dans une triode la tension entre la plaque et la cathode est constante et la polarisation de grille est telle qu'elle empêche un courant de grille, l'intensité du courant anodique est la même dans les trois sections indiquées respectivement par X, Y et Z.

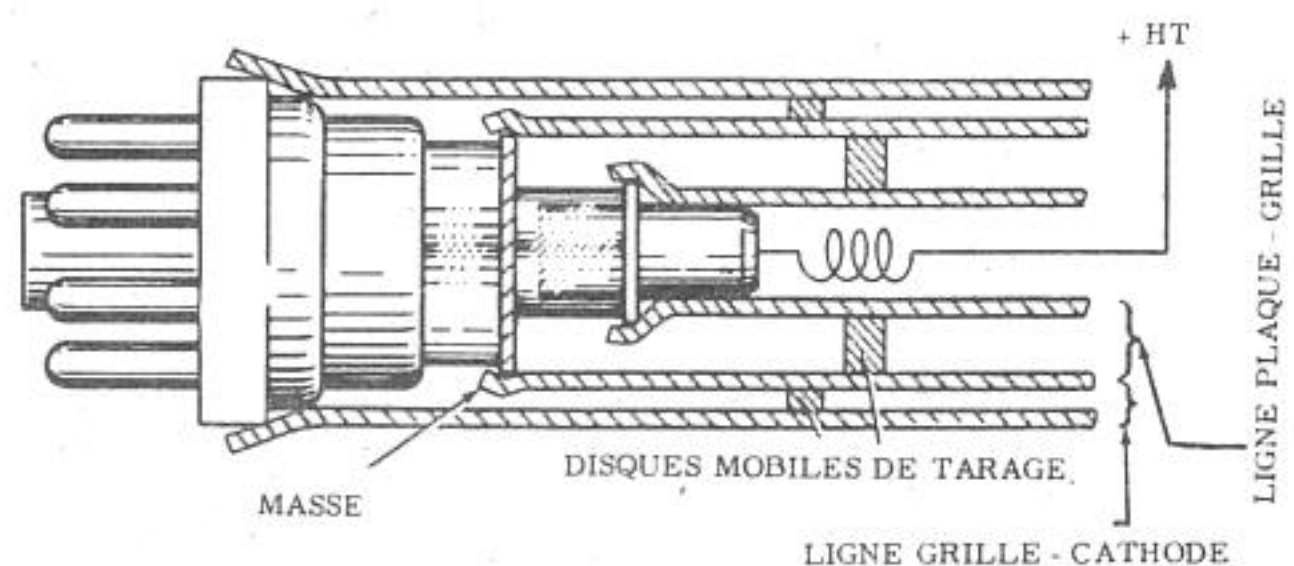


Fig. 5 - Emploi du tube « phare » comme étage oscillateur. Les circuits de grille et de plaque sont constitués par des lignes coaxiales rigides assemblées sur le même tube, de sorte que les connexions extérieures soient éliminées. L'anode est alimentée à travers une bobine d'arrêt dûment dimensionnée.

En ce qui concerne les oscillateurs, on emploie :

a) les klystrons à deux cavités (en couplant au moyen d'une ligne coaxiale les cavités d'entrée et de sortie) ou les klystrons réflex, dont la puissance de sortie est très inférieure à celle des précédents (quelques centaines de milliwatts). Aussi les utilise-t-on à la réception comme oscillateurs locaux, dans les gammes de fréquences allant de 1 000 à 75 000 MHz. Un modèle de klystron réflex, réalisé par Philips, dans lequel les électrons sont soumis à des réflexions multiples, délivre 15 watts à 3 000 MHz.

b) les **magnétrons**, entre 1 000 et 25 000 MHz. C'est un tube idéal pour la génération d'impulsions HF destinées au radar. C'est en effet un tube simple à construire, robuste et de rendement très élevé, pouvant dépasser 80% (magnétron à cavités). Les petits magnétrons, de la dimension d'un tube de réception classique, délivrent une puissance de quelques kilowatts. Les gros magnétrons (de la grosseur d'un tube d'émission) fournissent une **puissance de crête** de 10 000 kW (10 MW); en régime d'impulsion, cela s'entend.

c) les **carcinotrons** (ou tube à ondes régressives) pour les fréquences s'étendant de 1 000 à 10 000 MHz. Leur puissance oscillante est notable : plusieurs centaines de watts sur une longueur d'onde de 10 cm et quelques milliwatts sur $\lambda/2$ cm. Enfin, les récepteurs ressemblent aux superhétérodynes classiques. Les différences résident, d'une part, dans l'étage convertisseur (on peut utiliser un klystron monté en changeur de fréquence, la première cavité étant accordée sur la fréquence incidente et la seconde sur celle d'un oscillateur local); d'autre part, dans la valeur de la fréquence intermédiaire, qui est beaucoup plus élevée.

Avant d'entreprendre l'étude du fonctionnement des types de tubes que nous venons de mentionner « klystron », « magnétron », tube à ondes progressives, il est nécessaire que nos lecteurs se penchent sur tout ce que nous avons dit à propos de la production d'oscillations à fréquence plus petite; en d'autres termes, pour comprendre clairement les raisons pour lesquelles, dans le domaine des hyperfréquences, des dispositifs tout à fait particuliers sont nécessaires, il faut connaître par-

faitement les circuits utilisés pour la production d'oscillations à fréquence inférieure, ainsi que les inconvénients et les limitations dus à la fréquence elle-même.

L'énorme importance du temps de transit, c'est-à-dire, le temps que les électrons mettent pour aller de la cathode à la plaque d'un tube, nous est bien connue. Supposons (figure 6) que la tension entre la plaque et la cathode soit constante, ainsi que celle qui existe entre la grille et la cathode. Supposons, en outre, que le potentiel négatif de grille soit tel qu'il empêche un passage quelconque de courant dans le circuit de la même grille. Dans de telles conditions, le courant de plaque atteint une valeur constante quelques instants après l'application des deux tensions (de plaque et de grille) et le nombre des électrons qui s'approchent de la grille est égal au nombre des électrons qui s'éloignent d'elle.

Supposons maintenant que l'on superpose à la tension de polarisation de grille, une tension alternative sinusoïdale. Si le temps de transit est négligeable (ce qui a lieu aux fréquences relativement basses), les courants qui circulent entre la cathode et la grille et entre la grille et l'anode sont en phase, si bien que le courant dans le circuit de grille est toujours nul.

Lorsque le temps de transit ne peut plus être négligé (ce qui a lieu pour les fréquences très élevées), les deux courants sont déphasés par rapport à la tension de grille et l'un par rapport à l'autre; ils n'atteignent leur valeur maximale qu'avec un retard d'autant plus grand que le temps de transit représente une fraction plus importante de la période du signal. Signalons à ce propos que, dans un tube triode, le temps de transit cathode-grille est plus grand que le temps de transit grille-anode, car la grille est portée à une tension beaucoup plus faible que l'anode. Dans ces conditions, un courant apparaît dans le circuit de grille.

Ce courant peut être décomposé en deux composantes :

a) l'une en phase avec la tension de grille; elle traverse donc une résistance fictive dont la valeur est inversement proportionnelle au carré de la fréquence;

b) l'autre, en avance de 90° sur la même tension; elle

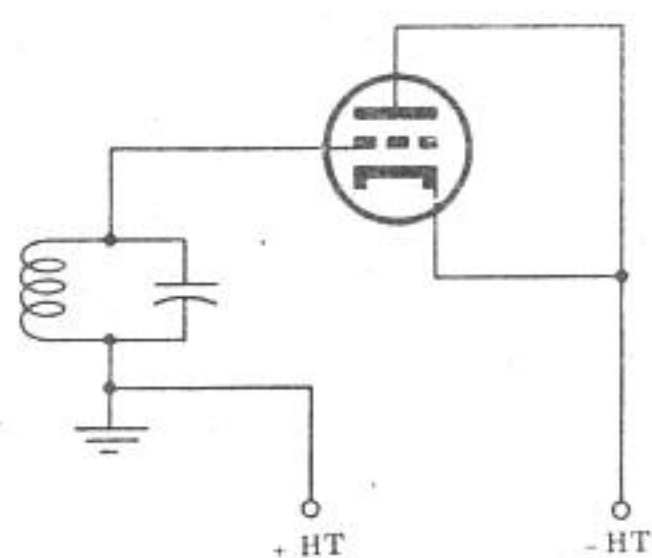


Fig. 6 - Dans l'oscillateur de « Barkhausen », la cathode et la plaque ont le même potentiel négatif et la grille est positive. Celle-ci laisse néanmoins passer quelques électrons, lesquels oscillent autour d'elle avant d'être captés.

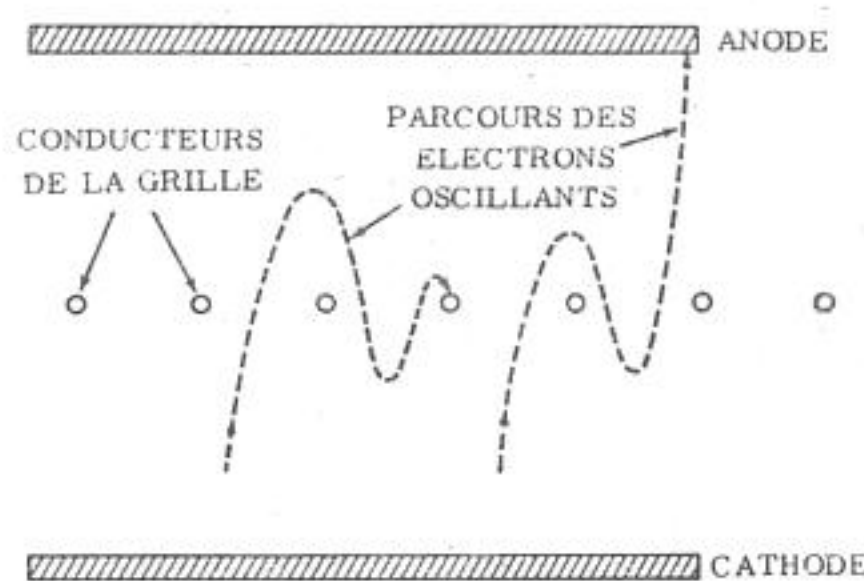


Fig. 7 - Pendant le fonctionnement, les électrons non captés traversent la grille, après quoi ils sont attirés de nouveau, la retraversent en sens inverse et ainsi de suite. Ils exécutent ainsi une série d'oscillations autour de la grille, avant d'être captés par elle.

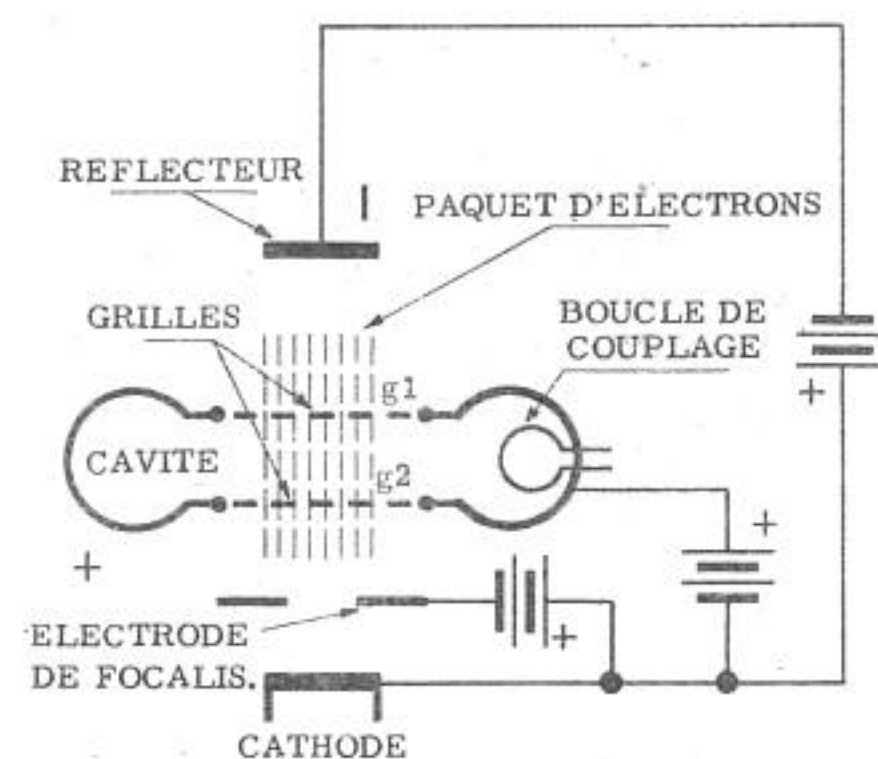


Fig. 8 - Représentation schématisée d'un « klystron réflexe ». Il y a deux grilles, une seule cavité résonnante et un réflecteur porté à une tension négative, qui repousse les électrons.

traverse donc une capacité fictive proportionnelle à la pente du tube. De plus, l'inductance des connexions internes a pour effet de ramener, en parallèle sur l'entrée, une résistance fictive inversement proportionnelle au carré de la fréquence.

On conçoit ainsi que l'impédance d'entrée devienne **extrêmement faible** aux fréquences très élevées, supérieures à 150 MHz, constituant un véritable court-circuit. D'où la nécessité d'utiliser des tubes spéciaux.

Oscillateur à tube « phare »

Dans la leçon 146, nous avons déjà eu l'occasion de faire connaissance avec un type de tube propre au fonctionnement sur les fréquences supérieures à 1 000 MHz; il s'agit du tube « phare », ainsi appelé à cause de sa forme extérieure caractéristique, illustré à la page 1177 (figure 20). Etant donné la disposition particulière et les dimensions des électrodes de ce tube, ainsi que la haute tension anodique, la capacité interélectrode et le temps de transit prennent des valeurs qui permettent le fonctionnement dans un secteur déterminé de la gamme des fréquences dont nous nous occupons. Étudions maintenant quelques types d'oscillateurs basés sur l'emploi de ce tube et, de suite, les oscillateurs qui utilisent des circuits spéciaux propres au fonctionnement sur les micro-ondes.

Le tube « phare » est, en général, utilisé dans un circuit avec grille mise à la masse. L'impédance entre la grille et l'anode est à caractéristique inductive tandis que celle qui existe entre la cathode et la grille est à caractéristique capacitive (réglable). La capacité existant entre la cathode et la plaque constitue, elle-même, la troisième réactance nécessaire au circuit de réaction, au moyen duquel les oscillations se produisent.

Les éléments qui déterminent la fréquence de fonctionnement sont, en général, des lignes coaxiales rectilignes (voir figure 7). Le conducteur extérieur et le conducteur intermédiaire constituent la ligne grille-cathode tandis que le conducteur intermédiaire et le conducteur intérieur constituent la ligne plaque-grille. Ces deux lignes sont accordables au moyen du déplacement de disques de court-circuit. Le signal de sortie est pré-

levé par l'intermédiaire d'une spire de couplage ou au moyen d'une sonde (non représentées), lesquelles sont placées dans l'espace compris entre les deux conducteurs concentriques de plaque et de grille.

Le dispositif est fréquemment utilisé pour la production d'oscillations dans la gamme la plus basse des hyperfréquences, ou bien, comme étage amplificateur dans les récepteurs fonctionnant sur de telles fréquences.

Oscillateur à grille positive ou oscillateur de « Barkhausen »

Ce type d'oscillateur, dont le nom dérive de celui de son inventeur, fonctionne, lui aussi, avec des tubes analogues aux tubes classiques qui sont bien connus de nos lecteurs. Cet oscillateur est rarement utilisé; cependant, l'analogie qu'il présente avec le type d'oscillateur basé sur l'emploi du « klystron » nous a incité à décrire sa construction et son fonctionnement.

Considérons une triode ordinaire, polarisée de telle sorte, que la plaque et la cathode soient au même potentiel tandis que la grille est, par rapport à ces dernières à un potentiel positif d'une centaine de volts (voir figure 8). Ces électrons émis par la cathode sont accélérés par la grille positive, celle-ci est constituée de spires assez fines ayant entre elles une distance relativement grande; pour cette raison, une bonne partie des électrons arrive à passer dans les espaces libres. Ils sont alors freinés par l'anode et finissent par rebrousser chemin, retraversent la grille en sens inverse, après avoir subi une nouvelle accélération. Ils sont alors à nouveau freinés mais cette fois par la cathode, portée au même potentiel négatif que l'anode; leur vitesse décroît et finit par s'annuler. Les électrons subissent alors une nouvelle accélération de la part de la grille et le même processus recommence; ils amorcent ainsi la figure 9. Dès que les électrons sont captés par la grille, ils sont remplacés par d'autres, provenant de la cathode. La fréquence des oscillations engendrées dans le circuit accordé, qui équivaut au double de celle avec laquelle les électrons oscillent, est déterminée par la tension appliquée aux électrodes, et par la distance existant entre elles. La fréquence est double de celle

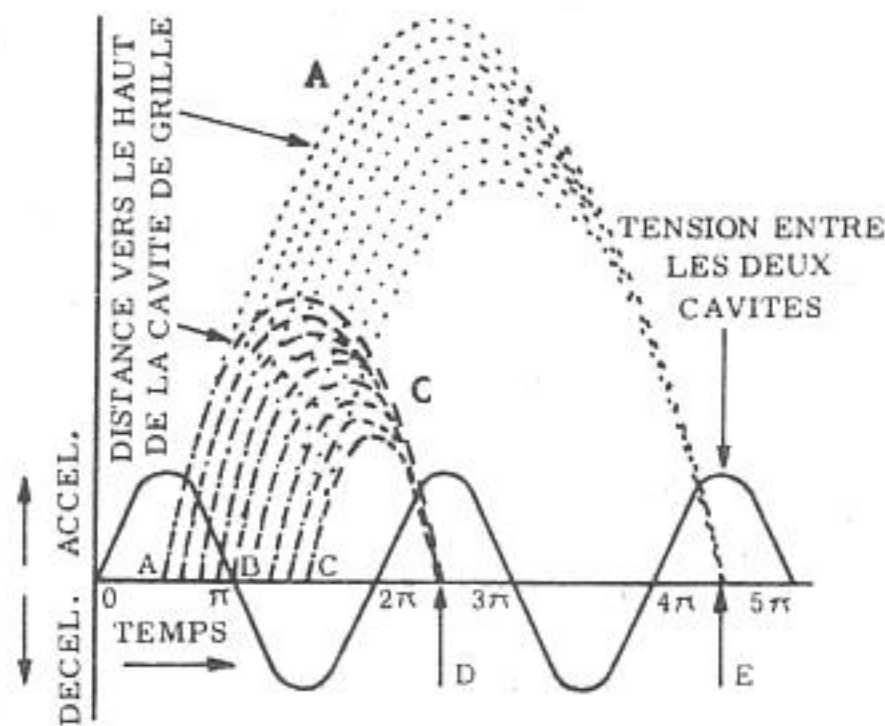


Fig. 9 - Mouvement des électrons dans un « klystron réflex »; la tension alternative existant entre les grilles provoque des accélérations successives des électrons (modulation de vitesse). D et E sont les points d'arrivée.

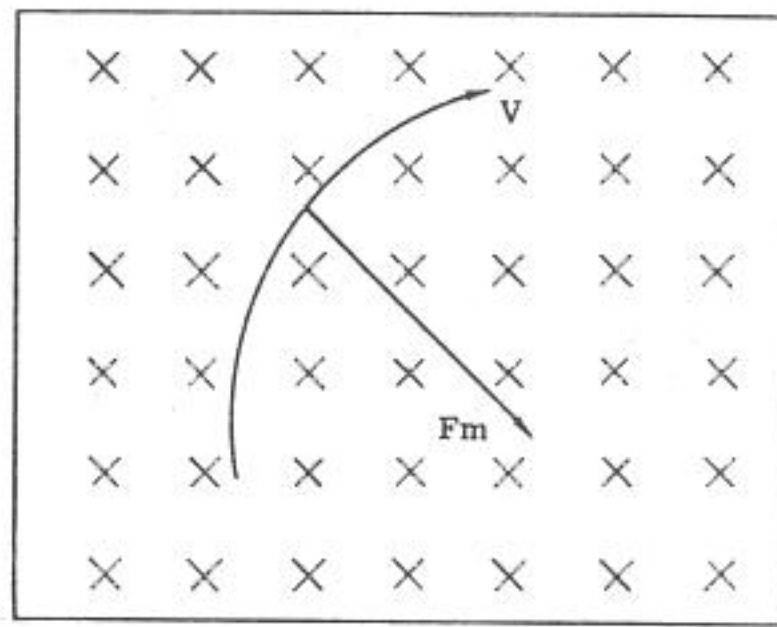


Fig. 10 - La force électromagnétique (F_m) exercée sur un électron en mouvement est perpendiculaire aussi bien à la direction du champ qu'à la direction de mouvement de l'électron (V), et tend à lui faire décrire un cercle.

Fig. 11-A - Pour une polarité donnée du champ (perpendiculaire à la page), le cercle est décrit dans le sens des aiguilles d'une montre.

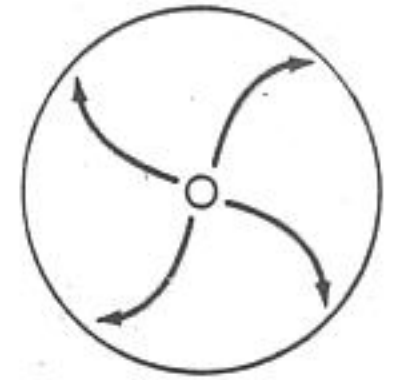


Fig. 11-B - En inversant la polarité du champ magnétique appliqué, la trajectoire des électrons s'inverse aussi.

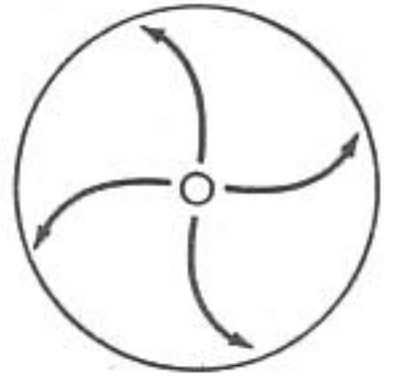


Fig. 11-C - En augmentant l'intensité du champ magnétique, ou en réduisant la tension qui existe entre la plaque et la cathode, la courbure de la trajectoire des électrons augmente.



des oscillations des électrons, étant donné que la direction du courant s'inverse quatre fois durant un cycle d'oscillation de chaque électron: deux fois lorsque la vitesse des électrons s'annulent et que ceux-ci rebroussement chemin et deux fois lorsqu'ils traversent la grille.

Supposons maintenant qu'une tension alternative ayant la même fréquence que le courant oscillatoire soit superposée au potentiel continu positif appliqué à la grille. Les électrons qui s'approchent de la grille durant la demi-période positive de la tension alternative appliquée et qui s'en éloignent durant l'alternance négative, engendrent des courants résistifs qui **absorbent** de l'énergie au générateur qui alimente la grille. Autrement dit, le courant associé au mouvement de ces électrons chemine vers la grille durant les demi-périodes positives de la tension et il s'en éloigne durant les demi-périodes négatives.

D'autre part, les électrons qui oscillent avec un déphasage de 180° par rapport aux premiers, fournissent de l'énergie à la grille, étant donné que les courants relatifs s'en éloignent durant les demi-périodes positives. De tels électrons fournissent par conséquent de l'énergie au générateur qui alimente la grille.

Considérons tout d'abord ce qui arrive à l'un des électrons qui fournissent de l'énergie à la grille. Durant une demi-période positive de la tension appliquée, il s'éloigne de la grille; durant la demi-période négative (suivante) il se dirige, au contraire, vers cette dernière. Il est par conséquent fortement attiré quand il s'éloigne de la grille et faiblement quand il s'approche d'elle. L'attraction assez forte qu'il subit pendant qu'il s'en éloigne, lui empêche de s'enfuir de la zone qui entoure la grille elle-même et, d'autre part, la faible attraction qu'il subit ensuite, lui empêche d'être immédiatement capté. L'électron continue pour cette raison à osciller pendant un temps relativement long.

En ce qui concerne les électrons qui absorbent de l'énergie du générateur alimentant la grille, il se passe exactement le contraire. D'après ces considérations on peut comprendre aisément que les électrons qui fournissent de l'énergie à la grille continuent à osciller pendant un temps plus long par rapport aux autres.

Dans le circuit représenté par la **figure 6**, une discordance momentanée quelconque entre les courants oscillatoires de la grille détermine la présence d'oscillations dans le circuit résonnant LC. Celui-ci fournit à son tour une tension alternative à la grille, ce qui provoque l'échappement de quelques électrons de l'espace environnant la grille, comme nous l'avons déjà dit. En conséquence, la nuée d'électrons oscillant qui l'environne continue à fournir des impulsions d'énergie au circuit résonnant extérieur, en entretenant ainsi les oscillations: ces oscillations qui sont indépendantes du temps de transit et de la capacité interélectrode, peuvent avoir une fréquence supérieure à 1 000 MHz.

KLYSTRON REFLEX (Oscillateur) — Un klystron réflex comprend essentiellement: a) Une cathode émettrice d'électrons; b) Une cavité résonnante unique avec deux grilles g_1 et g_2 , servant à la fois de cavité rassembleuse et de cavité collectrice.

Principe de fonctionnement

La cavité résonnante est le circuit oscillant du klystron; on peut se l'imaginer facilement dérivant du circuit LC classique. L'inductance se réduit à une seule boucle et la mise en parallèle de plusieurs boucles diminue encore sa valeur; à la limite nous obtenons un volume dont la partie centrale est capacitive et la partie périphérique inductive.

La cavité est portée à un potentiel V_c positif par rapport à la cathode. En l'absence de champ H.F., elle accélère les électrons uniformément. Le réflecteur est porté à une tension U_r négative par rapport à la cathode. Les électrons qui s'en approchent sont repoussés et reviennent vers la cavité qu'ils traversent et sont captés en grande partie par les parois du tube. S'il existe un champ haute fréquence entre les grilles de la cavité, la vitesse du faisceau est modulée: certains électrons sont accélérés et d'autres ralentis par rapport à la vitesse moyenne des électrons du faisceau. Il se forme des paquets d'électrons revenant vers la cavité.

Lorsque les électrons sont freinés à l'aller, ils cèdent de l'énergie au circuit. Le système peut osciller,

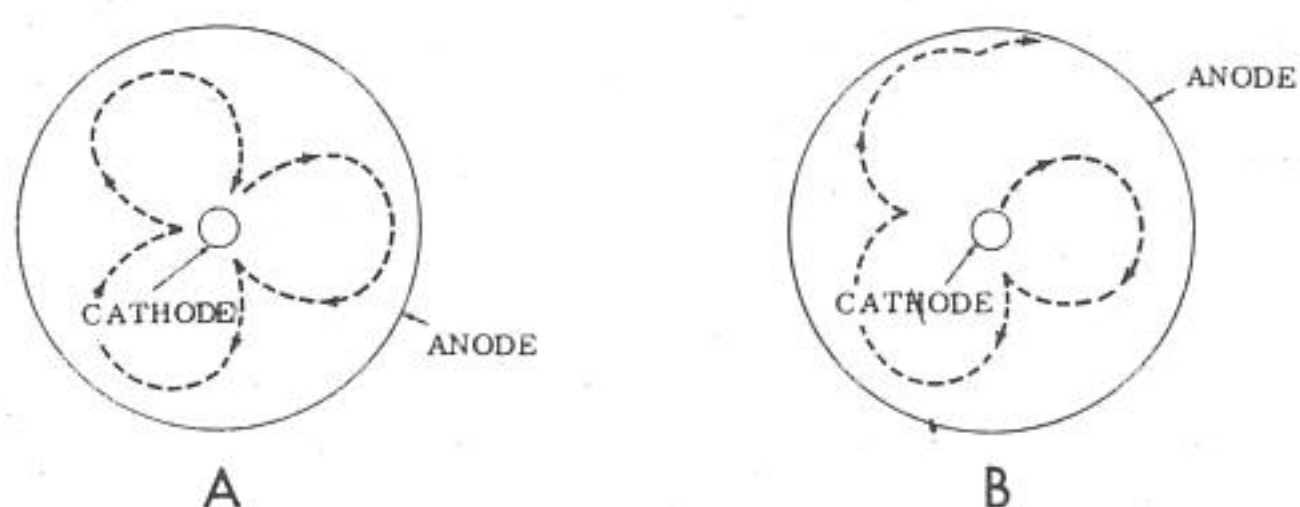


Fig. 12 - En A, parcours théorique des électrons correspondant aux relations déterminées entre l'intensité du champ et les tensions appliquées entre la plaque et la cathode. En B, altérations qui se produisent en pratique, par la répulsion mutuelle des électrons et à cause de la présence des effets des cavités de l'anode.

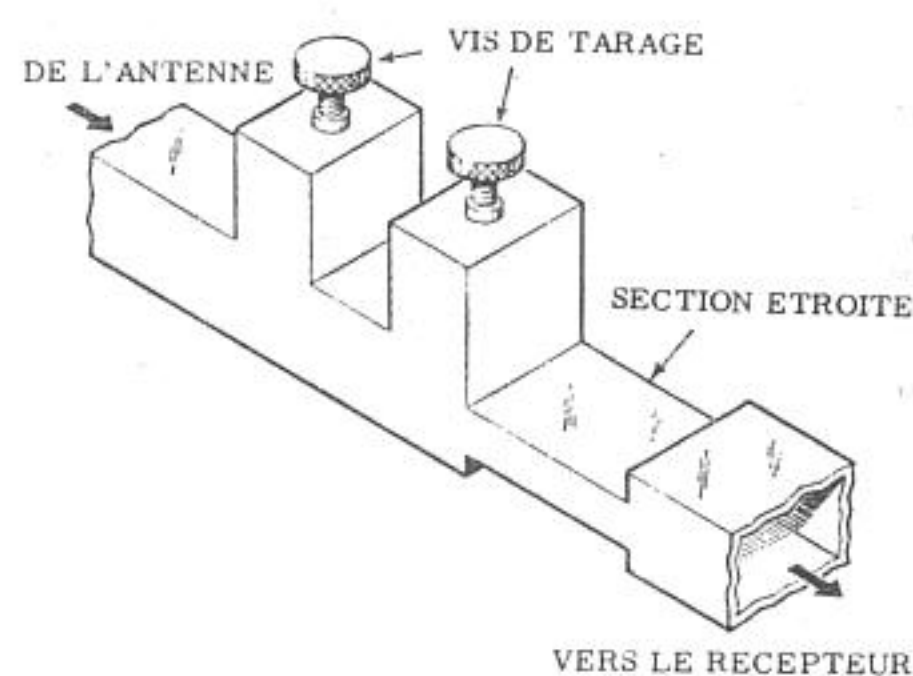


Fig. 13 - Pour la présélection du signal d'entrée, outre les dispositifs d'accord à vis, on a, en série avec le guide d'ondes, un segment à section plus petite qui présente une impédance plus grande aux fréquences à éliminer.

si cette énergie est suffisante, à une fréquence voisine de celle de la cavité. Cela se produit si les paquets d'électrons reviennent au moment convenable. On peut modifier cette fréquence par déformation mécanique de la cavité. On peut le faire par modification de la tension U_r . La figure 9 représente le mouvement des électrons à travers le klystron réflex. Si, à un certain instant, un paquet d'électrons traverse l'espace entre les grilles lorsque la phase de la tension HF est la plus décélératrice, le faisceau cède une plus grande quantité d'énergie et l'amplitude des oscillations est maximale. On ajuste la phase en réglant U_r .

Ainsi, l'électron A, qui apparaît, pendant l'alternance positive de la tension HF existant entre les 2 grilles, est accéléré et se dirige rapidement vers le réflecteur avant de rebrousser chemin. L'électron B, par contre, ne subit aucune modification de vitesse, car il arrive au moment où la tension alternative s'annule. Enfin, l'électron C, qui apparaît durant l'alternance négative subit un ralentissement, c'est pourquoi il rebrousse chemin après un bref parcours. Le processus de groupement se répète pour chaque cycle complet.

Comme dans les oscillateurs classiques, la cavité résonnante est excitée (c'est-à-dire que les oscillations s'amorcent) par la simple impulsion de courant qui résulte de l'application de la tension positive aux deux grilles. Du fait qu'il soit facile de régler la fréquence en modifiant la tension négative du réflecteur, les klystrons réflex sont très commodes et se prêtent admirablement au réglage automatique de fréquence des oscillateurs locaux des récepteurs et à la modulation de fréquence.

Le « MAGNETRON »

La théorie du fonctionnement d'un « magnétron » est basée sur le mouvement des électrons dans une diode cylindrique soumise à la fois à un champ magnétique et à un champ électrique. Une des caractéristiques principales par lesquelles il se différencie du « klystron » et que nous avons déjà signalée, réside dans le fait qu'il ne peut fonctionner qu'en générateur d'oscillations hy-

perfréquences. La loi qui régit le mouvement des électrons dans un champ électrique uniforme établit, que la force exercée sur eux par un tel champ est proportionnelle à l'intensité du champ lui-même et que la direction de la force exercée est opposée à celle de ce champ. Autrement dit, les électrons tendent à se déplacer des zones à bas potentiel vers celles à haut potentiel.

La loi qui régit par contre le mouvement des électrons dans un champ d'induction magnétique uniforme établit que si la vitesse des électrons est perpendiculaire au champ, ceux-ci subissent perpendiculairement à la direction de la vitesse, une force constante qui tend à leur faire décrire un cercle, comme le montre la figure 10. Dans cette représentation graphique, l'on suppose que le champ magnétique en question est dirigé vers le plan de la page. Remarquons que, si un électron est immobile dans un champ magnétique, il ne subit aucune influence de la part de ce dernier.

La figure 11 montre les effets d'un champ d'induction magnétique faible. Notons que le parcours des électrons est toujours courbé dans une même direction dépendant de la polarité du champ, (lequel est perpendiculaire au plan de la page). Si la polarité s'inverse, la trajectoire des électrons change de direction, comme on peut le constater en comparant les sections A et B de la figure. Si l'on applique un champ magnétique plus intense ou une tension inférieure entre la cathode et l'anode, on obtient une courbure plus grande de la trajectoire des électrons, comme le montre la section C de la figure. On peut donc se représenter le magnétron comme étant le siège d'un nuage électronique formant les rayons d'une roue qui tournerait autour de la cathode en synchronisme avec l'onde de tension anodique. Si, entre les intensités du champ magnétique et la tension appliquée entre la cathode et l'anode, des relations bien déterminées existent, le parcours des électrons prend une forme analogue à celle représentée par la figure 12-A. En réalité, l'expression graphique est exclusivement théorique, étant donné qu'elle ne considère pas toutes les interactions entre les électrons, ainsi que l'effet dû à la présence des cavités. En pratique, les

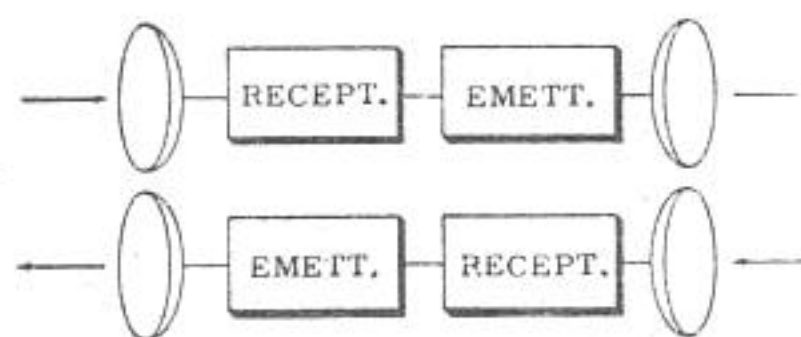


Fig. 14-A - Dans les stations intermédiaires à deux voies, on emploie quelquefois quatre antennes. Chaque paire capte dans une direction et rayonne dans une autre.

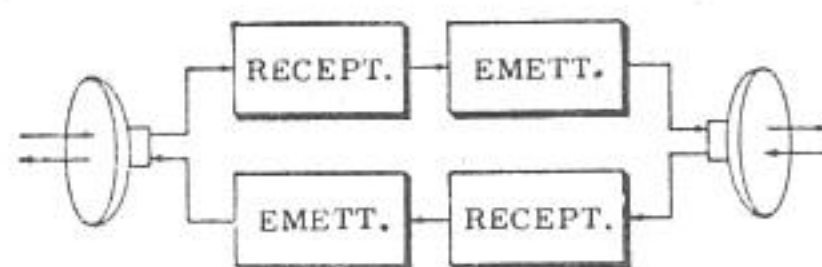


Fig. 14-B - On préfère parfois utiliser seulement deux antennes; chacune d'elles capte sur une fréquence et rayonne sur une autre simultanément.

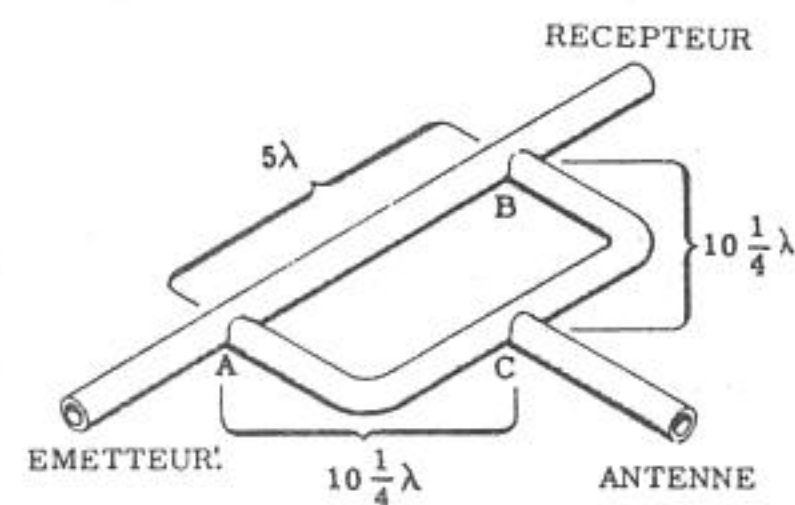


Fig. 15 - Exemple de connexion hybride. En pratique, il s'agit de déterminer les longueurs des conducteurs de façon à permettre le passage de chaque signal dans une seule direction.

collisions entre les électrons eux-mêmes dérangent la marche régulière de leurs parcours, lesquels vont de la cathode à l'anode et, de cette dernière retournent à la cathode. Il arrive toujours qu'une partie d'entre eux peuvent atteindre l'anode comme l'indique la section B de la figure.

Bien qu'il soit possible d'obtenir des parcours divers du courant anodique au moyen d'une tension anodique quelconque (si l'on utilise un champ magnétique adéquat) ou au moyen d'un champ magnétique quelconque (si l'on utilise une tension anodique adéquate) la possibilité de produire des oscillations (c'est-à-dire un transfert d'énergie des électrons aux cavités) dépend des relations qui existent entre la vitesse des électrons, laquelle est fonction de la tension anodique, la distance entre les cavités et la fréquence de résonance de ces dernières. Le « magnétron » oscille par conséquent seulement pour une gamme relativement réduite d'intensité du champ magnétique et d'amplitude de la tension anodique.

INSTALLATION de RAYONNEMENT S.H.F.

Ainsi que nous l'avons vu, le « klystron », qui peut être utilisé comme oscillateur ainsi que comme amplificateur, est employé pour la production d'oscillations de fréquence supérieure à 1 000 MHz; ces oscillations peuvent, si nécessaire, être de suite amplifiées au moyen de nouveaux étages (toujours du même type mais dépourvus de dispositifs de réaction). Les oscillations ainsi produites sont utilisées pour exciter un guide d'ondes ou une ligne coaxiale, comme le montre la figure 13 de la leçon précédente. Evidemment, le guide d'ondes doit être dimensionné de façon qu'il puisse parfaitement résonner sur la fréquence des signaux.

En ce qui concerne le rayonnement, nous avons vu qu'à l'extrémité du guide d'ondes est connecté un cornet de sortie, généralement sous forme d'un tronc de pyramide (pour les guides d'ondes rectangulaires), ou d'un tronc de cône (pour les guides d'ondes circulaires); ce cornet envoie les micro-ondes au centre d'un réflecteur parabolique (celui-ci aussi dûment dimensionné) qui, à son tour, produit le rayonnement. Quelquefois, pour des gammes déterminées de fré-

quences, on installe au centre de l'élément réflecteur un petit dipôle qui est directement excité par les ondes provenant du guide. Ce dipôle excite indirectement la parabole qui réfléchit vers l'espace extérieur le faisceau d'ondes directionnelles, tout comme cela se passe avec les U.H.F.

Les antennes utilisées en S.H.F. sont toujours du type parabolique, parce que, en tenant compte de la caractéristique de propagation de telles fréquences, la concentration en un faisceau fin est nécessaire de façon à permettre la propagation dans une direction unique avec le maximum d'énergie disponible. Voyons maintenant comment les hyperfréquences peuvent être reçues.

RECEPTEUR pour S.H.F.

Au commencement de la leçon précédente nous avons particulièrement signalé qu'un des principaux avantages des hyperfréquences par rapport aux fréquences inférieures réside dans la largeur notable de bande utilisable que l'on peut obtenir assez facilement. Dans les appareillages de télécommunications fonctionnant dans les gammes S.H.F., l'augmentation de la largeur de bande disponible permet d'augmenter le nombre de canaux qui peut être compris dans une gamme déterminée de fréquences. Les récepteurs fonctionnant sur de telles gammes sont semblables aux récepteurs « radar », que nous décrirons plus loin. En substance, ils sont assez simples, mais les appareillages qui les équipent sont, par contre, plutôt compliqués. Cela résulte du fait que les dispositifs d'accord pour séparer les canaux, ne sont pas faciles à réaliser comme cela est le cas pour les fréquences inférieures.

En général, les récepteurs sont du type superhétérodyne et il est toujours préférable d'utiliser un dispositif de présélection précédant l'étage changeur; surtout lorsqu'il peut se produire une interférence due la présence, à peu de distance, d'un émetteur fonctionnant sur une longueur d'onde voisine de celle de réception.

Dans les récepteurs fonctionnant sur la gamme la plus basse des hyperfréquences, on emploie souvent deux étages de présélection. Par contre, dans les gam-

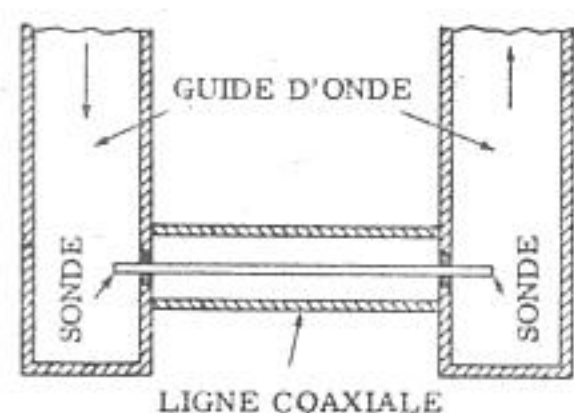


Fig. 16-A - Principe du tube à onde progressive. Il s'agit de deux guides d'ondes qui sont réunis entre eux par une ligne coaxiale. Le conducteur intérieur pénètre dans les deux guides.

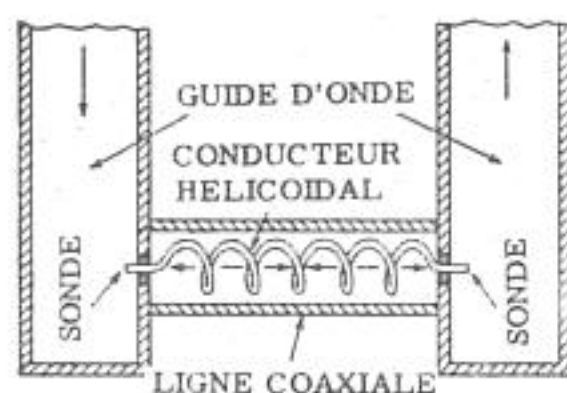


Fig. 16-B - En ajoutant un canon électronique à gauche, et une anode à droite, on obtient un tube à onde progressive. Les fenêtres permettent de pratiquer le vide, et elles laissent passer les ondes.

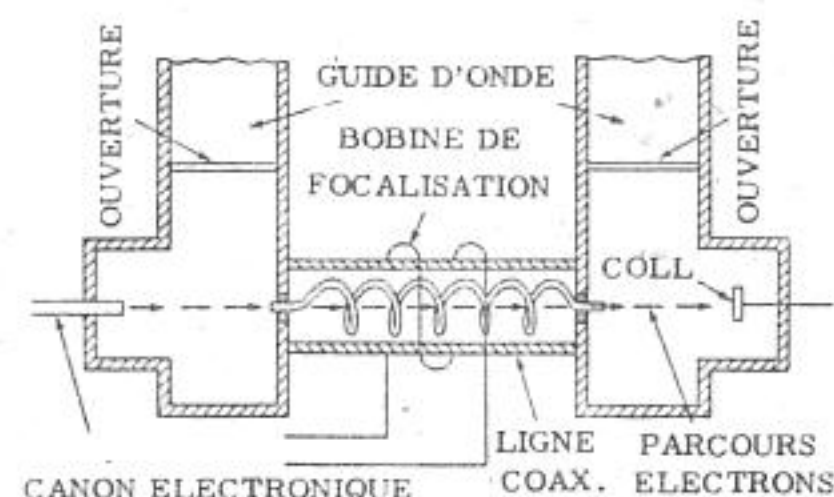


Fig. 16-C - Dans ce cas, le conducteur intérieur de la ligne coaxiale a une forme hélicoïdale. Le courant engendre un champ magnétique à l'intérieur, indiqué par les flèches.

mes plus élevées, cette tâche est confiée à des filtres (cavités résonnantes), du type à bande étroite. De telles cavités peuvent être accordées exactement sur la fréquence de fonctionnement, ou insérées le long du guide d'ondes à travers lequel le signal atteint le récepteur. La figure 13 montre une seconde méthode: il s'agit d'un guide d'ondes (connecté par une borne à l'antenne du récepteur et par l'autre au récepteur lui-même) le long duquel sont placés deux dispositifs d'accord à vis, suivis par une cavité résonnante ayant des dimensions différentes de celles de la ligne dont elle fait partie. Ce faisant, la ligne de transmission toute entière (à guide d'ondes), constitue une mauvaise adaptation à l'égard des signaux ayant une fréquence différente de celle que l'on désire recevoir et atteint, par conséquent, le but fixé. Si, afin d'augmenter la sélectivité, on désire éliminer une fréquence déterminée correspondant à un signal qui interfère à la réception, on peut y arriver au moyen d'une série de dispositifs d'accord à vis. Un de ces dispositifs est réglé de sorte qu'il constitue un court-circuit du guide d'onde par rapport au signal à éliminer; celui-ci est alors entièrement réfléchi vers la direction d'où il provient. Les autres dispositifs d'accord sont, au contraire, réglés de façon à éviter la réflexion du signal que l'on désire recevoir.

Comme nous avons dit au commencement, les communications par micro-ondes sont réservées aux stations intermédiaires (station « relais ») qui doivent recevoir et retransmettre des signaux d'un émetteur déterminé, en permettant par la suite la réception même dans les zones où les caractéristiques de propagation l'empêchent. Ces stations peuvent être du type à deux voies (fonctionnant dans les deux sens, c'est-à-dire en recevant, par exemple, du Nord et en retransmettant vers le Sud et vice versa).

Dans ce cas, on utilise normalement quatre antennes comme le montre la figure 14-A. Il existe cependant des cas où le fonctionnement au moyen de deux antennes peut être possible, comme le montre la figure 14-B. Dans ces conditions, il est nécessaire d'employer pour les antennes mentionnées des connexions dites hybrides, afin d'éviter que le signal de sortie de l'un

des deux émetteurs ne soit directement reçu par le récepteur dont l'entrée est reliée à la même antenne.

La figure 15 représente un exemple typique de connexion de ce genre. Les dimensions effectives n'ont pas beaucoup d'importance pourvu que la distance entre A et B soit un multiple exact de la longueur d'onde et les distances AC et BC soient, elles aussi, un multiple de la longueur d'onde, plus $\frac{1}{4}$ de la longueur elle-même (bien qu'il ne soit pas nécessaire que AC et BC soient égales entre elles).

Considérons le parcours qui existe entre l'émetteur et l'antenne relative: les signaux peuvent directement passer de A à C, aussi bien qu'à travers B. La longueur du parcours le plus court équivaut à $10 + \frac{1}{4}$ fois la longueur d'onde tandis que celle du parcours le plus long équivaut à $(15 + \frac{1}{4})$. En conséquence, les signaux provenant de A arrivent au point C en phase entre eux, étant donné que l'un de ces parcours est plus long que l'autre, exactement de 5 longueurs d'onde.

En ce qui concerne le parcours compris entre l'antenne et le récepteur, il est entièrement similaire à celui qui existe entre l'émetteur et l'antenne relative. Toutefois, le parcours entre A et B mesure 5 longueurs d'onde, et celui qui passe à travers C équivaut à $(20 + \frac{1}{2})$ fois la longueur d'onde. La différence entre les deux parcours se monte donc à $15,5 \lambda$, c'est pourquoi les signaux qui arrivent au point B à travers les deux parcours s'annulent, puisqu'ils sont déphasés entre eux de 180° . Un système de connexion hybride permet donc l'emploi d'une antenne unique avec un émetteur et un récepteur, simultanément, et sans aucune possibilité d'interférences. Le seul inconvénient provient du fait qu'une partie de l'énergie du signal reçu trouve la voie libre pour atteindre l'émetteur, où il est absolument inutile qu'il arrive. Cependant, dans des conditions déterminées, cela ne compromet pas complètement l'emploi d'une seule antenne.

TUBES à ONDE PROGRESSIVE

Les klystrons et magnétrons présentent l'inconvénient de ne permettre qu'une bande de fréquences étroite-

Tableaux des guides rectangulaires standardisés français

N° DE REFERENCE	a mm	b mm	LONGUEUR D'ONDE NOMINALE mm
- 10	4,986	2,216	7,1
- 9	5,807	2,581	8,2
- 8	6,762	3,005	9,6
- 7	7,874	3,499	11,1
- 6	9,169	4,075	13,0
- 5	10,68	4,745	15,1
- 4	12,43	5,526	17,6
- 3	14,48	6,431	20,5
- 2	16,86	7,493	23,8
- 1	19,63	8,725	27,8
0	22,86	10,16	32,3
1	26,62	11,83	37,7
2	31,00	13,78	43,8

N° DE REFERENCE	a mm	b mm	LONGUEUR D'ONDE NOMINALE mm
3	36,10	16,04	51,1
4	42,03	18,68	59,4
5	48,95	21,75	69,2
6	57,00	25,33	80,6
7	66,37	29,50	93,9
8	77,29	34,35	109,
19	90,00	40,00	127,
10	104,8	46,58	148,
11	122,0	54,24	173,
12	142,1	63,16	201,
13	165,5	73,55	234,
14	192,7	85,65	272,
15	224,4	99,73	217,

Guides circulaires
standards

DIAM. EN cm.	λ cm.	MODE TE ₀₁ λ_c cm.
2,38	3,20	3,11
	3,30	
	3,40	
3,02	3,20	3,94
	3,30	
	3,40	
6,35	9,1	8,29
	9,8	
	10,7	
6,99	9,1	9,12
	9,8	
	10,7	
7,62	9,1	9,95
	9,8	
	10,7	
10,16	9,1	13,27
	9,8	
	10,7	

On trouve souvent les guides américains:

R 48 U de dimensions 72,5 sur 34,2 mm.

R 52 U de dimensions 23,8 sur 10,25 mm.

tes, due au coefficient de surtension élevé des cavités résonnantes. On peut élargir la bande passante, en substituant à l'unique interaction entre le faisceau d'électrons et le signal HF, une interaction répétée, ce qui permet d'éviter l'emploi de la cavité résonnante.

Ce résultat est obtenu au moyen des **tubes à ondes progressives**. Rappelons qu'une ligne de transmission est le siège d'**ondes progressives** lorsque les **noeuds** et **ventres** de courant et de tension se déplacent constamment le long de la ligne. Si au contraire, les extrémités de la ligne réfléchissent l'onde incidente, l'onde réfléchie se superpose à l'onde directe, de sorte que les noeuds et les ventres sont immobiles en des points bien déterminés. La ligne est alors le siège d'**ondes stationnaires**.

Le fonctionnement du tube à ondes progressives peut être compris en observant la **figure 16**. Deux sections de guide d'ondes réunies entre elles par un segment de câble coaxial sont illustrées en A. A cause des pertes relativement élevées qui se produisent dans l'espace coaxial, ce dispositif est assez rarement utilisé. A chaque extrémité de l'espace coaxial se trouve une sonde, dont l'une est excitée par le guide d'ondes de gauche tandis que l'autre excite, à son tour, le guide d'ondes de droite. En B est représenté le même dispositif, mais avec une modification subie par le conducteur intérieur de la partie coaxiale, lequel a, dans ce cas, la forme d'une hélice.

Par suite de l'inductance déterminée par une telle forme, le signal qui traverse ce conducteur se déplace beaucoup plus lentement que dans le cas d'un conducteur droit comme en A.

Entre les deux conducteurs, intérieur et extérieur, existe un champ électrique, lequel ne diffère pas naturellement de celui existant dans une ligne coaxiale quelconque. A cause de la forme hélicoïdale du conducteur intérieur, il existe, de plus, un champ longitudinal, parallèle à l'axe de la ligne. Le champ longitudinal est indiqué sur la **figure 16-B** par les flèches en traits interrompus.

La section C représente un tube à ondes progressives complet. On remarque que les deux guides d'ondes latéraux ont été modifiés par l'addition de deux fenêtres en verre, lesquelles n'empêchent pas le passage du signal, mais permettent de faire le vide à l'intérieur de la partie située en dessous du guide d'ondes. De plus, on a ajouté un « canon électronique » dans le guide d'ondes de gauche et, dans celui de droite, on a placé une **électrode collectrice**. Grâce à la présence de ces dispositifs, il est possible de faire passer un faisceau électronique le long de l'axe de la ligne coaxiale, à l'intérieur de l'hélice. La focalisation des électrons est obtenue au moyen d'un champ d'induction magnétique produit par un solénoïde extérieur. L'onde se déplace le long de l'hélice métallique, avec une vitesse égale à celle de la lumière multipliée par le pas de l'hélice.

Il se produit une **interaction** entre cette onde et le faisceau électronique accéléré par une tension de l'ordre de 2500 volt, qui provoque le groupement en paquets des électrons, c'est à dire une modulation de vitesse du faisceau électronique. En outre, les paquets d'électrons réagissent, à leur tour, sur le courant circulant dans l'hélice de sorte qu'à la sortie de celle-ci, on recueille le signal considérablement amplifié.

Ces tubes fonctionnent sur des longueurs d'ondes comprises entre 1m et 1mm. La puissance atteint quelques watts en régime permanent et 200 kW en régime d'impulsion. Ils sont utilisés à l'émission, par exemple, derrière un klystron et peuvent l'être également à la réception. Signalons l'existence d'un tube particulier à ondes progressives, le **carcinotron**. Le tube utilise, pour l'interaction avec le faisceau électronique, non plus l'onde directe, mais l'onde de retour (réfléchie).

C'est donc un tube à **ondes régressives**.

Signalons enfin, pour terminer, l'existence d'un tube à ondes progressives (qui n'existe encore qu'à l'état de prototype) de très grande puissance, capable de fournir 1,1 kW sur 7,6 GHz. Rappelons qu'un gigahertz (GHz) vaut 10 Hz, soit 1 000 MHz.

QUESTIONS sur les LEÇONS 148 et 149

- N. 1 — Quel est l'avantage principal qui résulte de l'emploi des micro-ondes ?
- N. 2 — Pour quelle raison, dans la propagation des micro-ondes, on exploite presque exclusivement l'onde directe ?
- N. 3 — Dans quel cas la réflexion la plus grande du signal S.H.F. sur un obstacle dans une direction déterminée, se produit-elle ?
- N. 4 — Quels sont les facteurs qui déterminent la vitesse de propagation des micro-ondes ?
- N. 5 — Qu'est-ce qu'un « guide d'ondes » ?
- N. 6 — Quelle est la direction de propagation que l'on exploite normalement dans l'utilisation pratique d'un guide d'ondes ?
- N. 7 — Quels sont les deux phénomènes qui déterminent le parcours d'une onde à l'intérieur d'un guide, par rapport aux parois ?
- N. 8 — Quels sont les avantages des guides d'ondes par rapport aux lignes coaxiales ?
- N. 9 — Par quoi l'impédance d'un guide d'ondes en un point donné est-elle déterminée ?
- N. 10 — Quels sont les dispositifs d'accord d'un guide d'ondes ?
- N. 11 — Pour quelle raison un tube de type habituel ne peut-il fonctionner aux fréquences supérieures à 1 000 MHz ?
- N. 2 — Quelle différence substantielle existe-t-il entre un tube habituel et les tubes propres à fonctionner avec les S.H.F. ?
- N. 13 — Quelle différence existe-t-il entre le « klystron » habituel et le « klystron réflex » ?
- N. 14 — Quel est le principe sur lequel repose le fonctionnement de l'oscillateur « Barkhausen » ?
- N. 15 — De combien de façons peut-on employer un « klystron » ?
- N. 16 — De combien de façons peut-on employer un « magnétron » ?
- N. 17 — Quelle est la direction du champ magnétique dû à la présence de l'aimant permanent placé à l'intérieur d'un « magnétron » ?
- N. 18 — Quelle est la disposition par laquelle il est possible d'utiliser seulement deux antennes dans une station récepteur-émetteur intermédiaire à deux voies, fonctionnant sur deux fréquences différentes ?

REPONSES aux QUESTIONS de la p. 1171

- N. 1 — Un amplificateur qui amplifie uniformément une bande de fréquences d'au moins 1 MHz.
- N. 2 — A cause de l'aplatissement de la courbe de réponse, si la largeur de bande augmente le gain diminue; autrement dit, le produit gain $\times$ largeur de bande est constant.
- N. 3 — Le facteur de bruit est le quotient du rapport signal/bruit à la sortie.
- N. 4 — Le facteur de mérite est le rapport $S/2\pi C$.
- N. 5 — Il correspond au produit gain $\times$ largeur de bande.
- N. 6 — La gaine diminue à cause de l'influence des capacités parasites, c'est pourquoi la tension de sortie diminue.
- N. 7 — Cette influence est négligeable quand il s'agit de fréquences inférieures à 30 MHz. Pour les fréquences supérieures on doit, au contraire, la considérer.
- N. 8 — Dans les circuits à constantes localisées, les grandeurs R , L , C , sont concentrées dans une bobine et un condensateur. Dans ceux à constantes réparties, au contraire, elles sont réparties sur toute la longueur des circuits.
- N. 9 — Parce qu'ils ont un coefficient de surtension élevé et permettent ainsi des valeurs élevées d'impédances de charge, tandis que pour les circuits à constantes localisées, il est impossible, à cause des pertes considérables, d'obtenir de telles valeurs de Q et de Z à ces fréquences.
- N. 10 — Il a une forme spéciale. Les lames mobiles ont la forme d'un papillon tandis que les lames fixes sont évidées de manière à constituer l'inductance. Il est donc, à lui tout seul, un véritable circuit oscillant. Ce n'est pas bien entendu, le cas d'un condensateur variable ordinaire.
- N. 11 — Pour les fréquences relativement basses, on peut négliger la capacité répartie, tandis que dans les gammes VHF et UHF elle influe notablement sur le Q de la bobine.
- N. 12 — A cause de l'inductance très importante qu'elles présentent, du fait de leur structure même et qui a pour effet de multiplier la valeur de la résistance d'autant plus que la fréquence est plus élevée.
- N. 13 — Trois: on fait varier la longueur au moyen d'un disque mobile de court-circuit, ou bien en employant une électrode centrale télescopique, ou encore par l'intermédiaire d'une capacité variable à électrodes parallèles.
- N. 14 — Parce que dans ce cas, la grille remplit les fonctions d'un écran entre la cathode et la plaque, réduisant ainsi la capacité C_{p-k} .
- N. 15 — En deux triodes alimentées en série, dont la première est montée en amplificateur normal à cathode à la masse et la seconde, en amplificateur « grille à la masse ».
- N. 16 — La triode est caractérisée par un faible bruit de fond et par un facteur de mérite relativement élevé; toutefois, la capacité grille-anode implique la nécessité d'un neutrodynage.

LE RADAR

Le « radar » est un dispositif électronique au moyen duquel il est possible de déceler la présence des objets et de déterminer leur position. Ces relèvements sont réalisés en envoyant un faisceau d'énergie à haute fréquence dans une direction déterminée de la zone à explorer. Lorsque le faisceau rencontre un objet réfléchissant, celui-ci rayonne une partie de l'énergie qui l'atteint. Selon la nature de l'objet, une certaine quantité de cette énergie retourne au point de départ de l'onde originale: en ce point, à proximité de l'émetteur, il y a un récepteur à haute sensibilité capable de recevoir les signaux réfléchis et, de là, de déceler la présence en un point d'un objet ou d'une cible.

En dehors des cas où l'on réalise des recherches ou des expériences à caractère scientifique, l'emploi de ce type d'appareillage électronique est en particulier utile dans les applications militaires étant donné qu'il permet de déterminer l'éventuelle présence de l'ennemi (avion, groupe d'avions, navire, etc.) avec un laps de temps suffisant afin de prendre les mesures nécessaires, et surtout dans la navigation habituelle aérienne ou maritime. En effet, la possibilité de recevoir des ondes réfléchies d'un objet, et de faire varier tant la direction de transmission que celle de réception, permet de déterminer la présence, la distance et la position des objets (comme les montagnes (dans la navigation aérienne), les côtes, les icebergs, les navires, etc. (dans la navigation maritime ou fluviale), afin d'éviter par la suite, pendant la nuit ou dans les zones particulièrement brumeuses, des heurts par défaut de visibilité.

L'idée du « radar » a surgi vers 1922, lorsqu'on remarqua par hasard que, si un navire passait entre un émetteur et un récepteur, il réfléchissait vers le premier une partie des ondes transmises. C'est alors qu'on commença à faire des recherches, qui ont conduit, avec le temps et avec les progrès successifs, à la réalisation des équipements de « radar » modernes. Ces équipements sont de diverses caractéristiques, dimensions et puissance. Il en existe en effet à installation fixe, pour les organisations civiles ou militaires (aéroports, etc.), à haute puissance, et à installation mobile (sur les avions, les navires, etc.), évidemment de dimensions et, par conséquent, de puissance, plus petites.

TYPES D'INSTALLATIONS de « RADAR »

Système à ondes entretenues pures. - Une des méthodes qui permet de déceler la présence d'un obstacle, est basée sur un effet particulier de réflexion, appelé **effet Doppler**.

Lorsque l'énergie à hyperfréquence, rayonnée sans interruption, tombe sur un objet qui se déplace en se rapprochant ou en s'éloignant de la source d'énergie, celle-ci est réfléchi, mais avec une fréquence différente. La variation de fréquence est justement ce qui constitue l'effet « Doppler » et un exemple de cet effet — bien qu'il soit dans la gamme des fréquences acoustiques — peut être constaté tous les jours en écoutant le sifflement d'un train en marche.

Dans le cas de l'application au « radar », l'appareil mesure la variation de fréquence entre l'onde émise et celle reçue, afin de pouvoir déterminer la présence, la vitesse et la direction de déplacement de l'objet réfléchissant. Evidemment, la mesure peut être effectuée avec une approximation assez bonne si l'objet se déplace avec une vitesse notable, tandis qu'il perd toute utilité si le déplacement se fait lentement.

Système à modulation de fréquence - Si l'on fait varier la fréquence de l'énergie transmise périodiquement et sans interruption dans une bande déterminée, la fréquence du signal émis par l'antenne d'émission en un moment déterminé diffère de celle de l'onde qui tombe sur l'objet au même instant, et la différence est due au temps que l'onde met pour atteindre l'objet lui-même. Du moment que la différence de fréquence de l'onde réfléchi équivaut évidemment au double de la différence de fréquence entre l'onde directe et celle qui heurte l'objet, elle peut être exploitée — grâce à l'emploi des appareillages de mesure sensibles — pour connaître la distance du point où la réflexion a lieu, c'est-à-dire de l'objet réfléchissant. Naturellement, si ce dernier se trouve en mouvement, la variation de fréquence déterminée par la vitesse de l'objet peut compromettre l'exactitude de la mesure à cause de l'effet « Doppler ».

Système à modulation par impulsion - L'énergie à radiofréquence peut aussi être rayonnée sous la forme d'impulsions brèves, dont la durée peut varier de 1 à 50 micro-secondes. Dans ce cas, si l'onde transmise cesse d'exister avant que l'onde réfléchi par l'objet ait eu le temps de retourner au point de départ, le récepteur peut facilement distinguer l'impulsion transmise de celle réfléchi. Une fois que toutes les impulsions d'énergie transmises sont réfléchies, il est possible de rétablir les conditions de rayonnement et de répéter ainsi le cycle.

La sortie du récepteur est appliquée à un indicateur, lequel doit mesurer l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'émission des impulsions et leur retour au point de départ. Du moment que la dite énergie se meut avec une vitesse constante, l'intervalle mesuré permet d'évaluer avec une exactitude appréciable la distance de l'objet réfléchissant.

Ce système est indépendant de la fréquence du signal de retour, ou du mouvement éventuel de l'objet réfléchissant; par conséquent, les difficultés rencontrées dans les méthodes précédentes que nous avons décrites sont automatiquement éliminées. En pratique, ce dernier système est celui qui permet la majeure exactitude des relèvements.

DETERMINATIONS de la DISTANCE

L'application d'un système « radar » à modulation par impulsions consiste essentiellement à **déterminer la distance en fonction du temps**. Comme nous l'avons dit, l'onde rayonnée se propage dans l'espace à vitesse constante et, aussitôt qu'elle heurte l'objet réfléchissant aucune perte de temps ne se produit, mais plutôt une simple inversion de la direction de propagation d'une partie de l'énergie dirigée vers lui. La vitesse de propagation est celle de la lumière, comme on le sait,

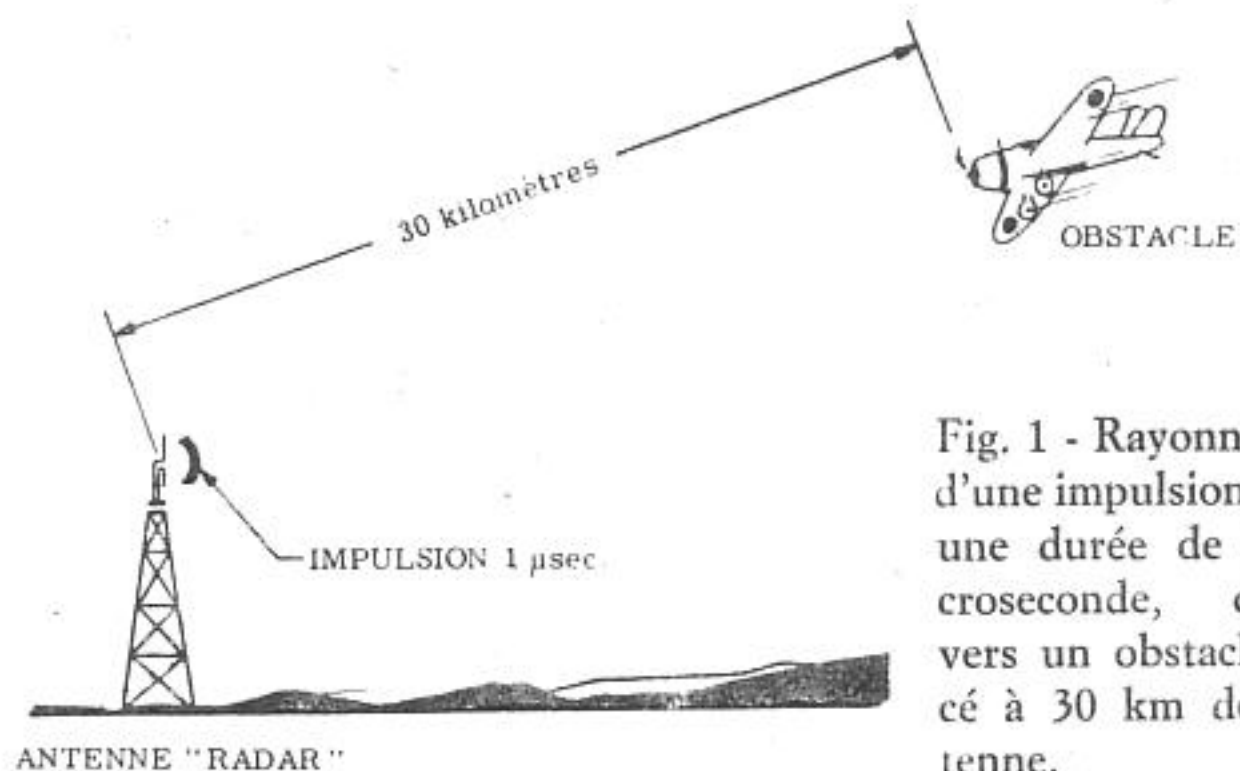


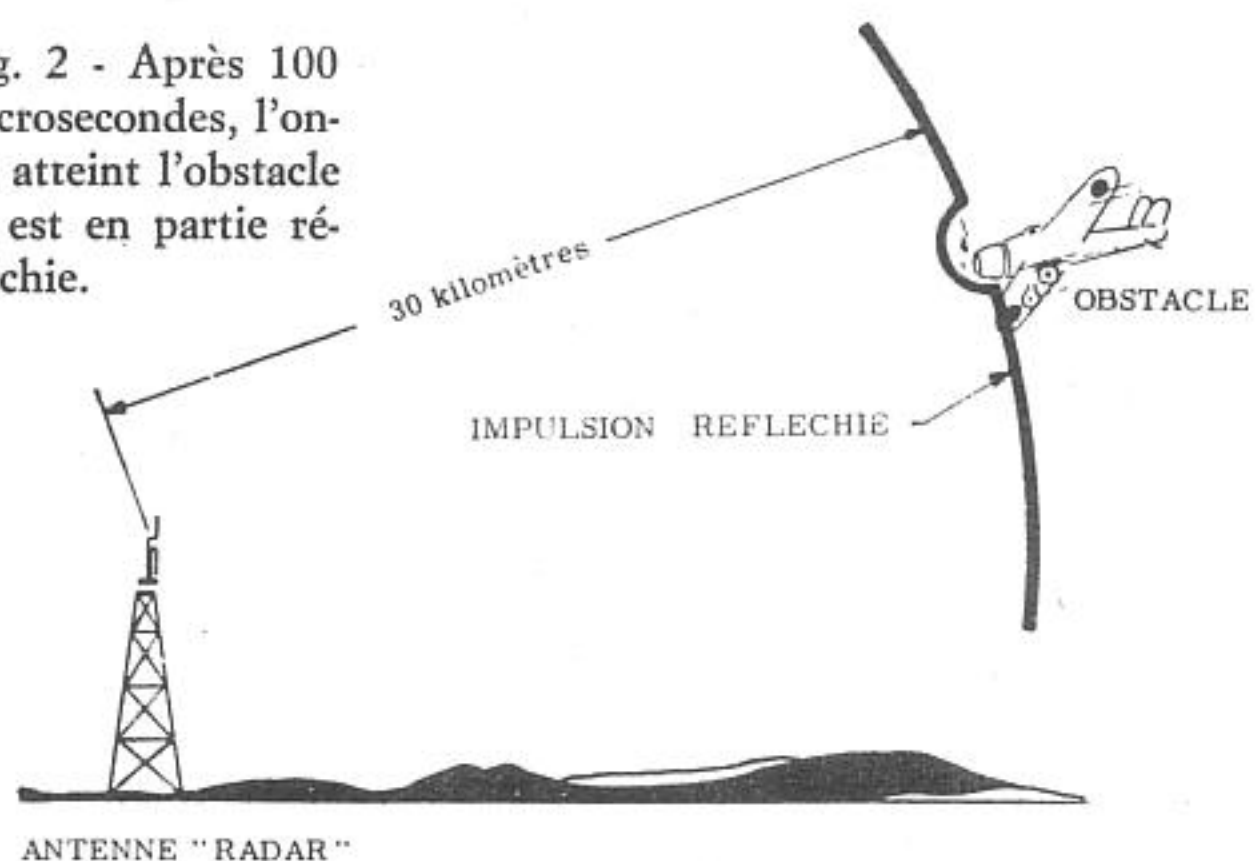
Fig. 1 - Rayonnement d'une impulsion ayant une durée de 1 microseconde, dirigée vers un obstacle placé à 30 km de l'antenne.

c'est-à-dire de 300 000 Km/s, ou bien 300 mètres par micro-secondes.

C'est justement l'avantage de la propagation à vitesse constante de l'énergie à radiofréquence qui est exploité dans le « radar » afin de pouvoir mesurer le temps mis par une impulsion lancée pour atteindre l'objet et pour retourner au point de départ à la suite de la réflexion. Par exemple, supposons qu'une impulsion de la durée d'une micro-seconde est lancée dans la direction d'un objet qui se trouve à la distance de 30 kilomètres de l'émetteur. La **figure 1** représente les conditions qui existent au moment du lancement de l'impulsion.

Lorsque l'énergie atteint l'obstacle (c'est-à-dire l'avion), elle aura parcouru la distance de 30 kilomètres à la vitesse de 300 mètres par micro-seconde, (égale à 0,3 km par micro-seconde). L'intervalle de temps nécessaire se monte donc à $30 : 0,3 = 100 \mu s$. La **figure 2** représente l'instant auquel l'impulsion heurte l'objet: à ce moment l'impulsion est réfléchiée et l'énergie retourne en répétant le parcours d'aller à la même vitesse. Du moment que le parcours est égal au premier (en considérant négligeable la vitesse de l'avion par rapport à celle de l'énergie à radiofréquence), le temps nécessaire pour que la dite impulsion puisse retourner au point de départ est toujours de 100 micro-secondes. La **figure 3** représente l'instant auquel l'impulsion en question retourne au point où l'appareillage « radar » est installé.

Fig. 2 - Après 100 microsecondes, l'onde atteint l'obstacle et est en partie réfléchiée.



L'intervalle de temps total entre l'aller et le retour se monte à 200 micro-secondes. La vitesse de propagation peut donc être considérée, comme étant égale à 150 mètres par micro-seconde. Dans notre exemple on a donc la distance d :

$d = \text{temps en } \mu s \times 150 = 200 \times 150 = 30\,000 \text{ m} = 30 \text{ km}$
Afin de pouvoir effectuer les mesures de distance,

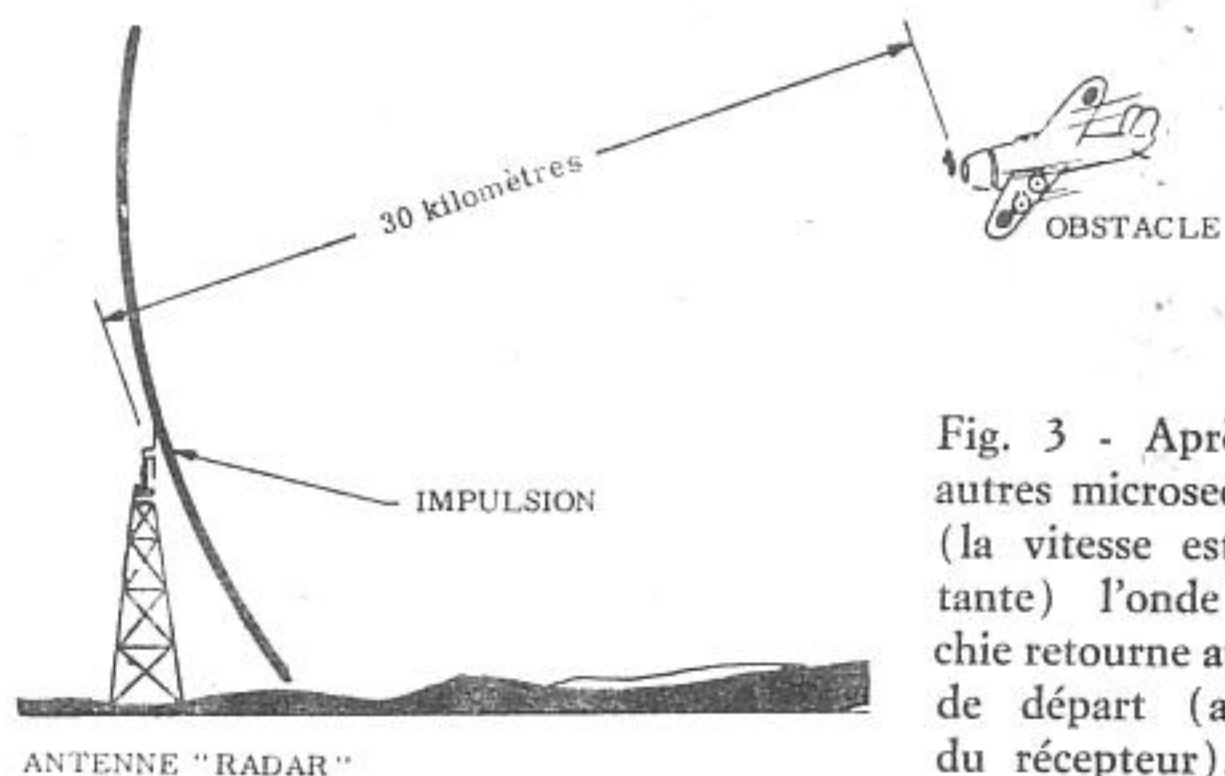


Fig. 3 - Après 100 autres microsecondes, (la vitesse est constante) l'onde réfléchiée retourne au point de départ (antenne du récepteur).

l'installation de « radar » doit être pourvue d'appareils aptes à mesurer de petits intervalles de temps, comme les fractions de seconde. Outre cela, du moment que — dans une même direction —, il peut exister plus d'un obstacle, elle doit être pourvue d'un dispositif qui puisse permettre de distinguer et de séparer les impulsions entre elles.

Le tube à rayons cathodiques se prête bien à un tel emploi, étant donné qu'il permet de voir l'impulsion réfléchiée sur l'écran et, simultanément, l'emploi d'une « base de temps » de référence. Cette dernière est utilisée de façon à savoir le temps que met le spot lumineux à parcourir le diamètre de l'écran, au moyen d'un mouvement linéaire.

La méthode de mesure de temps est représentée par l'exemple qui suit: supposons que le tube à rayons cathodiques soit mis en fonctionnement par un signal horizontal (signal en dents de scie), ayant une fréquence telle que le point lumineux se meut le long du diamètre horizontal de l'écran avec une vitesse de 0,25 millimètres par micro-seconde. Le signal de retour réfléchi par l'obstacle, est appliqué aux plaques de déviations verticales du même tube.

En conservant les mêmes données que celles énoncées dans l'exemple précédent, la **figure 4** représente l'instant auquel l'impulsion est lancée par l'antenne d'émission et auquel le signal de la base de temps démarre. Du moment que la durée de l'impulsion est de 1 micro-seconde, pendant cet intervalle de temps elle s'éloigne d'une distance de 300 mètres de l'antenne et, simultanément, le point lumineux se déplace de 0,25 millimètre le long du diamètre de l'écran.

L'impulsion est représentée sur l'écran par une déviation dans le sens vertical et cela lorsque le récepteur, dont l'antenne se trouve à proximité de celle de l'émetteur, capte le signal à l'instant même où l'antenne d'émission l'émet. Après 100 micro-secondes, l'impulsion atteint l'obstacle se trouvant à 30 kilomètres

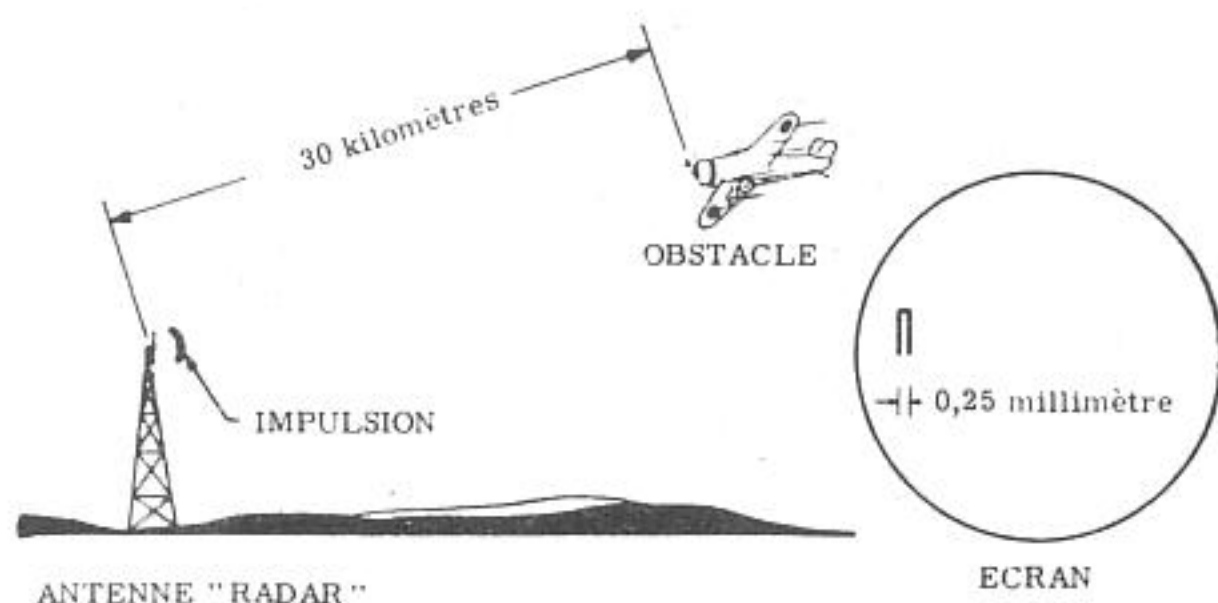


Fig. 4 - L'impulsion originale transmise correspond à une déviation verticale du point lumineux sur l'écran et mesure 0,25 mm.

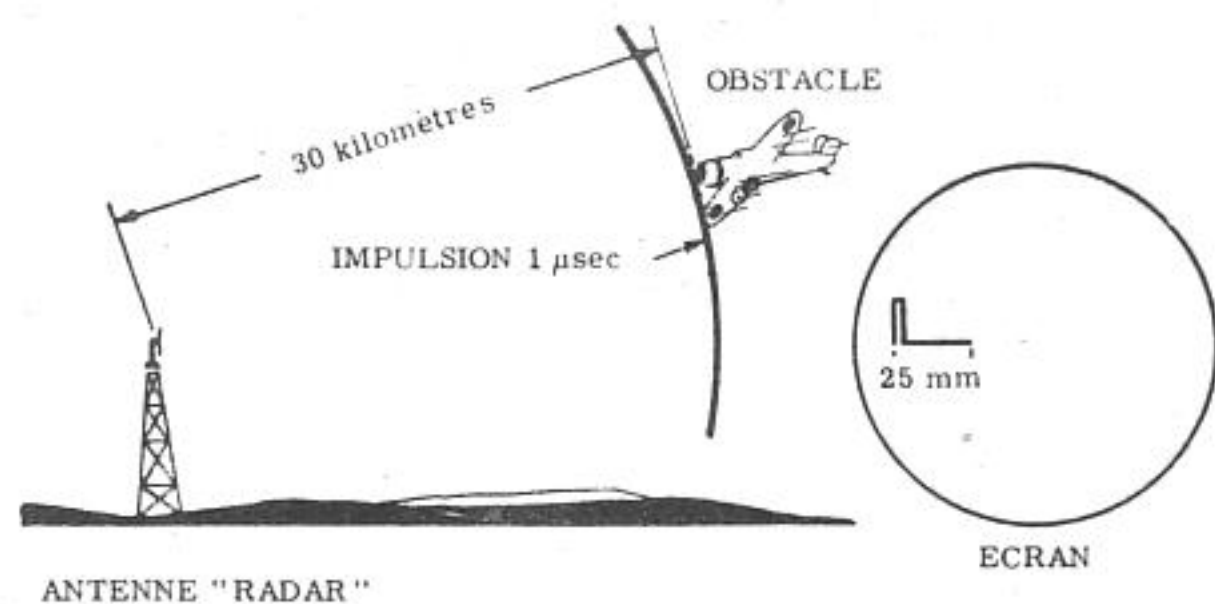


Fig. 5 - Pendant les 100 microsecondes employées par l'onde pour atteindre l'obstacle, le point décrit sur l'écran une ligne horizontale.

et, dans cet intervalle de temps, le point lumineux s'est déplacé de 25 millimètres, (voir figure 5). Dans ce cas, aucun signal n'excite l'antenne du récepteur, c'est pourquoi aucune déviation verticale du point lumineux ne se produit sur l'écran.

L'impulsion réfléchie atteint l'antenne du récepteur après 200 micro-secondes et, pendant ce temps, le point lumineux s'est déplacé de 50 millimètres. A l'instant auquel le signal réfléchi est reçu et pour la durée de l'impulsion réfléchi (toujours d'une micro-seconde), le point lumineux subit une déviation verticale (voir figure 6). Par conséquent, si la vitesse de déplacement du point sur le diamètre horizontal de l'écran est de 25 millimètres pour chaque 100 micro-secondes, il est possible de tracer sur l'écran même une échelle graduée qui donne la correspondance entre la vitesse conventionnelle de 150 mètres par micro-seconde de l'énergie à haute fréquence et le déplacement du point lumineux: autrement dit, la distance de 25 millimètres entre les deux impulsions verticales visibles sur l'écran indique une distance de 15 kilomètres de l'objet et, dans notre cas, une distance de 50 millimètres entre les deux impulsions verticales (figure 6), indique une distance de l'objet réfléchissant de 30 kilomètres.

Cependant, la représentation d'une unique trace lumineuse sur l'écran n'a pas une durée suffisante pour permettre la détermination de la distance et, en outre, il n'est pas facile de faire coïncider les instants auxquels l'impulsion originale est lancée et, simultanément, le balayage horizontal de l'écran commence. Pour cette raison, aussi bien la transmission des impulsions que le balayage de l'écran, sont accomplis et répétés à des intervalles réguliers. Si de plus, au moyen de systèmes spéciaux de synchronisme, on fait en sorte que les deux fonctions soient accomplies simultanément, les signaux originaux et ceux réfléchis provoquant deux

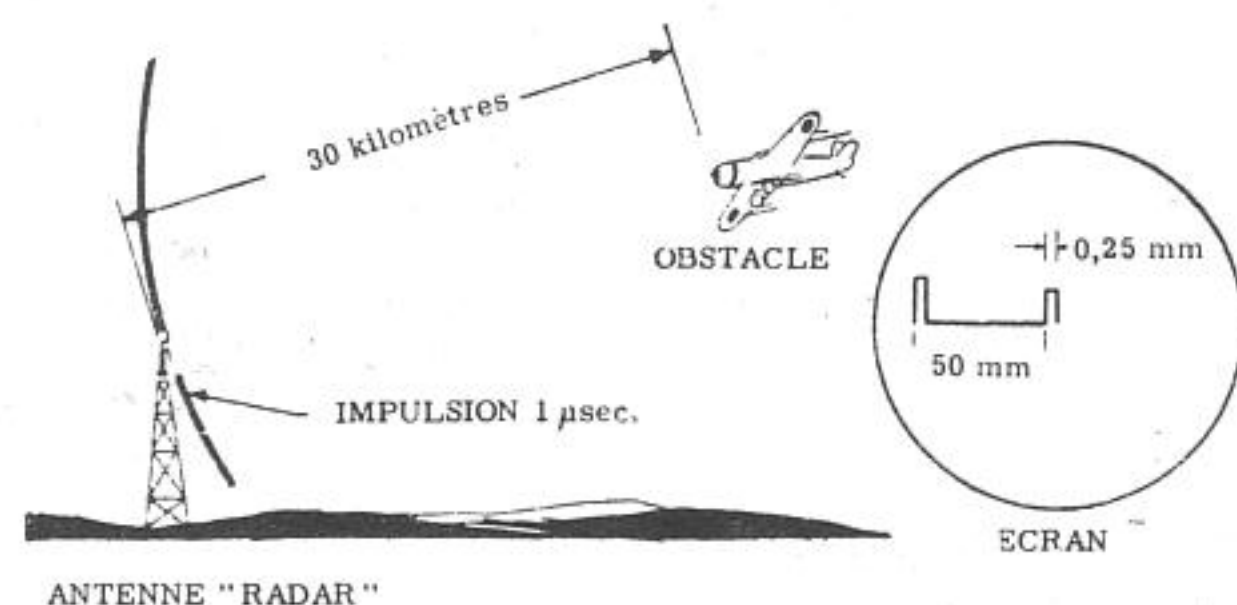


Fig. 6 - L'impulsion de retour (écho) se manifeste sur l'écran sous forme d'une seconde déviation verticale (plus basse), après 50 mm.

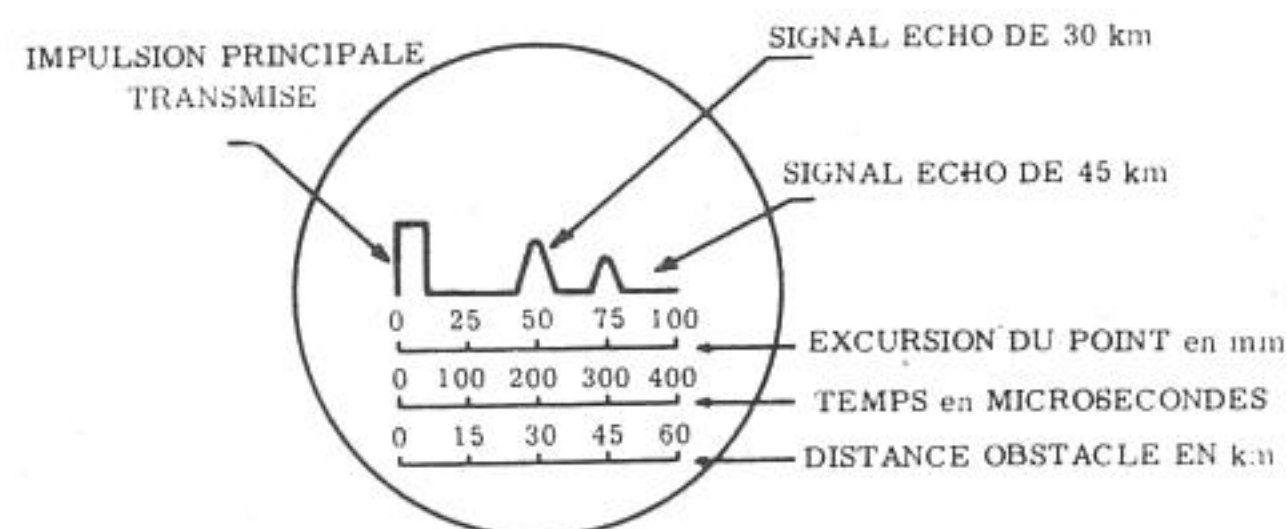


Fig. 7 - Représentation d'une échelle reportée sur l'écran fluorescent et relation entre le temps, la distance et la vitesse du point.

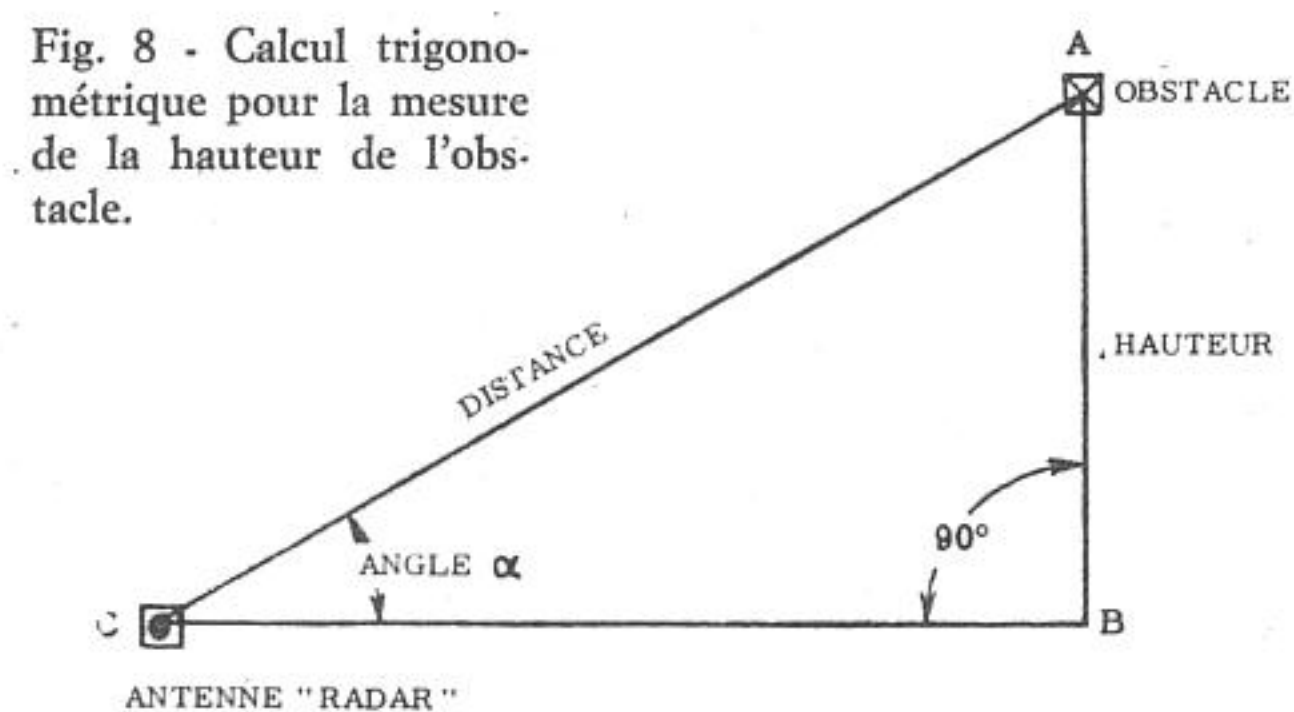
déviation verticales du point lumineux, se superposent facilitant ainsi la lecture, comme le montre la figure 7.

DETERMINATION de l'AZIMUT

La mesure de la direction d'un obstacle (par exemple un avion), est habituellement faite d'après la détermination d'un angle appelé **azimut**. Cet angle est formé par la droite passant par le point où l'installation de Radar est installée, matérialisée par une ligne de foi et la droite reliant le même point à l'obstacle (dans le cas d'une installation fixe à terre cette ligne de foi coïncide parfois avec la direction du Nord magnétique) ou bien par la droite le long de laquelle l'émetteur se déplace et celle qui réunit l'émetteur et l'obstacle (dans les cas d'une installation mobile, comme un avion, un navire, etc.). L'on peut, grâce aux caractéristiques directives des deux antennes (d'émission et de réception), mesurer l'angle sous lequel le signal réfléchi est reçu.

DETERMINATION de la HAUTEUR

La hauteur de l'obstacle ou site par rapport à la surface terrestre peut aussi être mesurée au moyen d'un équipement de « radar ». En examinant en effet la figure 8,



nous constatons que le point où se trouve l'émetteur (et, de là, le récepteur), le point où se trouve l'obstacle réfléchissant et sa projection sur la surface terrestre, forment un triangle rectangle.

Les antennes d'émission et de réception des installations de « radar » sont généralement munies de mécanisme permettant de connaître exactement l'inclinaison de la direction du faisceau d'ondes par rapport à la surface terrestre (que l'on considère comme une surface plane). De cette façon, connaissant l'angle formé par la direction de propagation de l'onde dirigée vers l'obstacle (ou provenant de ce dernier) et la surface terrestre, et en considérant que la projection

de l'obstacle sur cette surface détermine une droite perpendiculaire à elle, il est possible, au moyen d'un simple théorème trigonométrique, de connaître la hauteur de l'obstacle par rapport au sol.

En effet, la trigonométrie nous enseigne que la hauteur de l'obstacle par rapport au sol est égale à sa distance de l'émetteur, multipliée par le sinus de l'angle du faisceau d'ondes par rapport à la surface terrestre. En tenant compte des lettres de référence de la figure (A = obstacle, B = projection de ce dernier sur la terre, C = émetteur, et α = angle formé par la distance de l'émetteur à l'obstacle et à la projection de l'obstacle), on peut écrire: $AB = AC \sin \alpha$

Dans notre cas si l'angle α est, par exemple, de 30° , nous aurons: $AB = AC \times \sin 30^\circ$

La distance AC est directement mesurée par le « radar », supposons qu'elle soit égale à 10 kilomètres; on aura donc: $AB = 10 \sin 30^\circ$

En nous reportant aux tableaux trigonométriques (voir page 191), nous remarquons que le sinus de 30° est égal à 0,5; par conséquent:

$$AB = 10 \times 0,5 = 5 \text{ kilomètres}$$

L'obstacle se trouve donc à une distance de 5 000 m par rapport à la surface terrestre. Ce résultat ne tient pas compte de l'erreur (du reste négligeable dans les applications pratiques) introduite par la courbure de la surface terrestre.

Si, un certain temps après la détermination de la hauteur et de la distance d'un objet, on répète la mesure, il est aisé de concevoir qu'il soit possible, conformément aux nouveaux résultats, de connaître l'espace parcouru par l'objet (si ce dernier est en mouvement), pendant cet intervalle de temps, ce qui permet de calculer avec exactitude sa vitesse.

TYPES d'ANTENNES pour « RADAR »

Les principaux types d'éléments rayonnants utilisés dans les appareillages « radar » sont: les systèmes complexes à plusieurs dipôles groupés (avec des éléments réflecteurs et directeurs, comme dans les antennes « Yagi »), les dipôles à réflecteur parabolique et les éléments diélectriques utilisés avec des lignes de transmission à guide d'ondes.

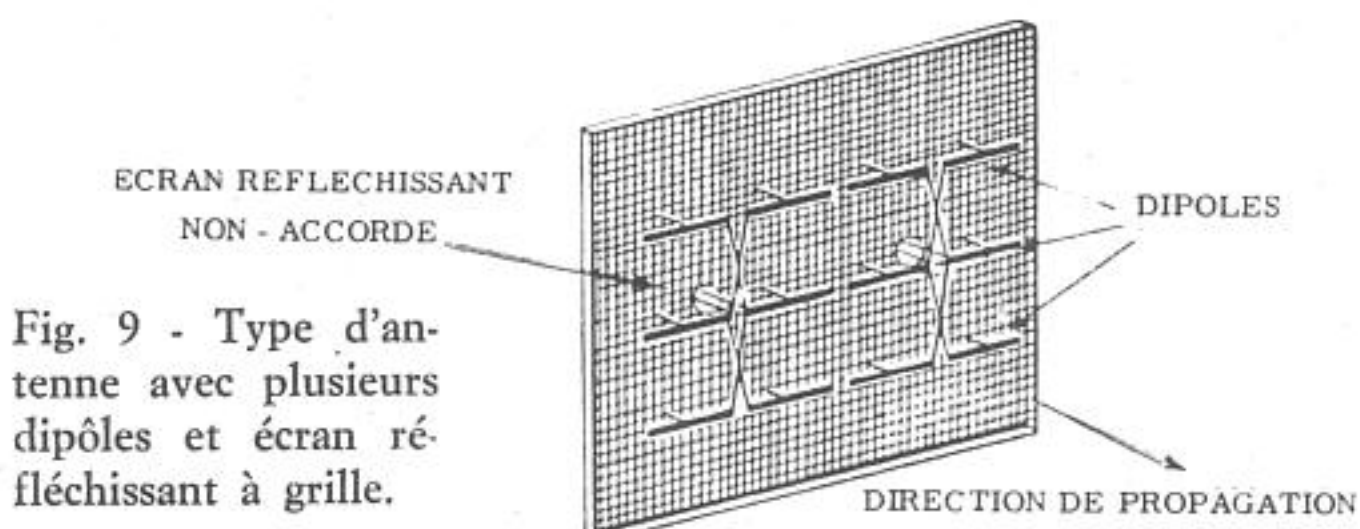


Fig. 9 - Type d'antenne avec plusieurs dipôles et écran réfléchissant à grille.

La figure 9 représente un exemple d'antenne du premier type: elle peut se composer d'une ou plusieurs séries de dipôles et elle peut être munie de commutateurs qui modifient les caractéristiques du diagramme de rayonnement, en branchant et débranchant des éléments actifs. L'ensemble tout entier est normalement rotatif pour pouvoir effectuer la mesure de l'azimut, de la hauteur, ou des deux.

La figure 10 représente un type d'antenne « Yagi », déjà connue de nos lecteurs, dans laquelle existe, outre l'élément rayonnant proprement dit, un élément réflecteur et trois éléments directeurs. Nous ne nous occuperons pas des caractéristiques de ce type d'antenne parce que nous les avons déjà décrites à propos des antennes pour V.H.F. et U.H.F.

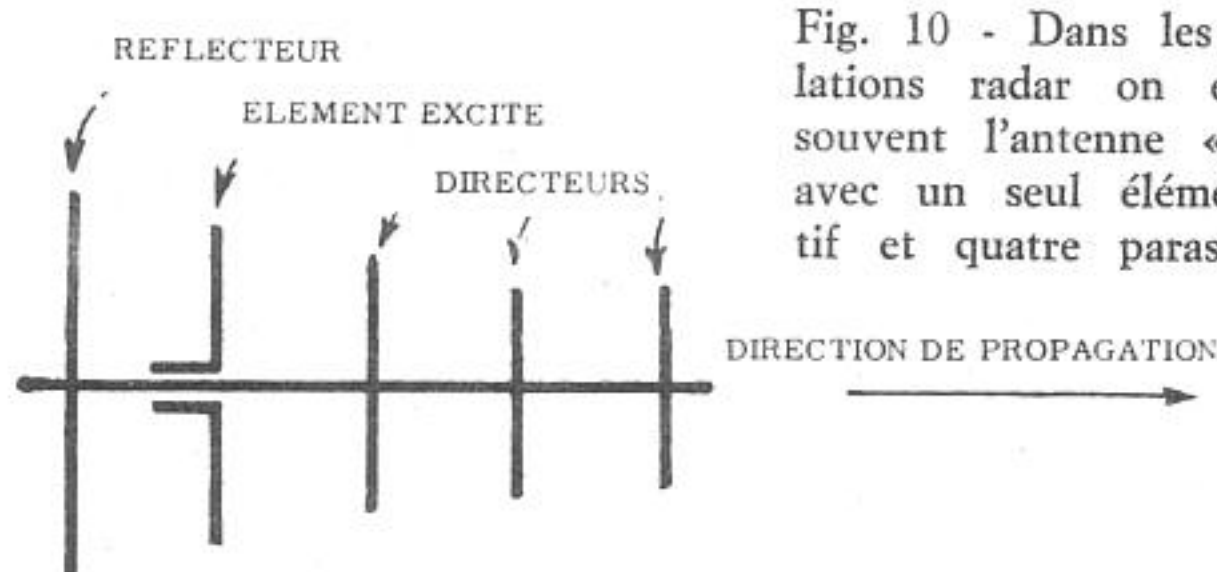
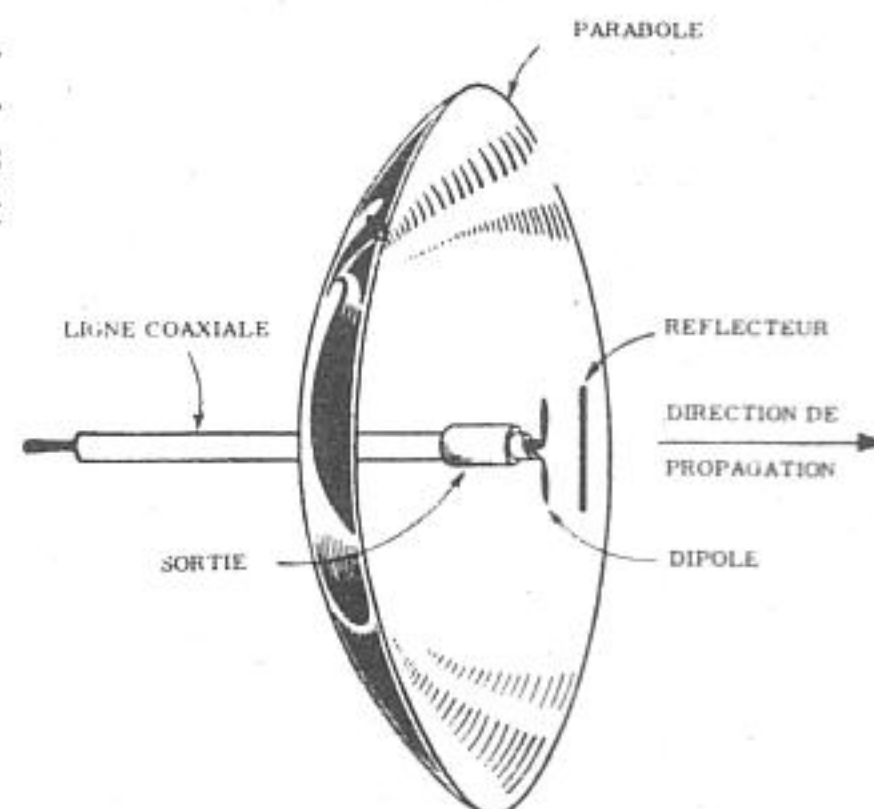


Fig. 10 - Dans les installations radar on emploie souvent l'antenne « Yagi » avec un seul élément actif et quatre parasites.

La figure 11 représente un type d'antenne à réflecteur parabolique, celle-ci aussi déjà décrite à son tour, qui se prête mieux que d'autres au rayonnement des ondes à faisceau concentré dans la gamme des micro-ondes. Le diamètre de la parabole est plus grand que la longueur d'onde du signal rayonné, ce qui permet la concentration de l'énergie à radiofréquence en un faisceau assez fin et caractérisé, par suite, par une intensité notable au profit de la portée.

L'élément rayonnant (dipôle), conjointement à l'élément réflecteur est, comme le montre la figure, placé au « foyer » de la parabole. Selon la fréquence de fonctionnement, ce type d'antenne est connecté à l'émetteur au moyen d'une ligne coaxiale ou bien au moyen d'un guide d'ondes. En tout cas, pour obtenir l'orientation dans la direction voulue, soit horizontalement, soit verticalement, le support de l'ensemble tout entier est désarticulé. De cette façon, il est possible de faire tourner la parabole et les éléments solidaires à elle, soit latéralement, soit verticalement. Il est évident que, afin de pouvoir effectuer des mesures avec assez de précision, les déplacements de l'antenne dans tous les sens sont enregistrés sur des instruments de lecture spéciaux et, à l'aide de relevements effectués sur l'écran fluorescent du tube à rayons cathodiques, ils permettent d'évaluer la distance, la position, la hauteur, la vitesse et la direction éventuelles de mouvement de l'objet réfléchissant.

Fig. 11 - Antenne parabolique. On remarque la position des éléments (dipôle et réflecteur).



La figure 12 représente enfin, un type d'antenne diélectrique, alimentée normalement par des guides d'ondes. Leur rôle consiste à adapter l'extrémité, afin qu'on

Reliability — Fiabilité (sécurité de fonctionnement d'un dispositif pendant un laps de temps donné, sans défaillance).

Reliability index — Taux ou indice de fiabilité.

Reliability test — Essais de fiabilité (d'un appareillage sous diverses conditions d'ambiance pour en évaluer la sécurité de fonctionnement).

Relieving anode — Anode auxiliaire de décharge (d'un tube à cathode à vapeur de mercure).

Reload (to) — Recharger.

Reluctance — Reluctance (mesure de la résistance d'un circuit magnétique à la production d'un flux magnétique. Est égal à la force magnétomotrice divisée par le flux magnétique ou du nombre des ampères/tours par le flux du circuit).

Reluctance microphone — Microphone à reluctance variable.

Reluctance motor — Moteur (synchrone) à reluctance.

Reluctance pick-up — Pick-up ou détecteur phono à reluctance variable.

Reluctivity — Reluctance spécifique (réciproque de la perméabilité).

Rem — Abréviation de « Roentgen equivalent man » (dose maximale d'irradiation supportable par un homme).

Remanence — Rémanence (induction magnétique qui reste dans un circuit après disparition de la force magnétomotrice appliquée).

Remanent relay — Relais à rémanence.

Remodulation — Remodulation (transfert d'une porteuse sur une autre).

Remodulator — Remodulateur (circuit qui transforme la modulation d'amplitude en modulation de fréquence pour la transmission des signaux en fac simile sur un canal radio de téléphonie).

Remote — A distance.

Remote control — Commande à distance, télécommande.

Remote control equipment — Appareillage de commande à distance.

Remote control inverter — Téléinverter, convertisseur commandé à distance.

Remote control station — Station de commande à distance.

Remote control switch — Télérupteur, interrupteur télécommandé.

Remote - cut off tube — Lampe à polarisation élevée (tube à amplification variable dont le point de cutoff se déplace selon le potentiel négatif de grille).

Remote drive — Commande à distance.

Remote indicator — Indicateur à distance.

Remote line — Ligne de transmission entre le point d'enregistrement d'un programme radio et la station émettrice.

Remote meter — Appareil de télémesure.

Remote metering — Télémétrie.

Remote pick up — Enregistrement d'un programme radio à distance, et transmission de ce même programme, en direct, par liaison radio.

Remote PPI — Voir « PPI repeater », (répétiteur d'écran radar PPI).

Remote steering — Commande à distance.

Removal — Suppression, déplacement, séparation (de l'information contenue dans un calculateur).

Renew (to) — Renouveler.

Renewable fuse — Fusible interchangeable.

Renewable fuse unit — Plaquette porte-fusibles.

Renewal — Substitution.

Rep — Abréviation de « Roentgen equivalent physical ».

Repair — Réparation.

Repair (to) — Réparer.

Repairable — Réparable.

Repeat — Répétition.

Repeat (to) — Répéter.

Repeatability — Répétibilité (d'un instrument de mesure).

Repeated signal — Signal répété, de répétition.

Repeated solidification — Solidification répétée (dans une barre de germanium).

Repeated until acknowledge signal — Signal répété jusqu'à obtention de l'accusé de réception (QSL).

Repeater — Répéteur.

Repeater distribution frame — Répartiteur d'un répéteur téléphonique.

Repeater jammer — Dispositif qui intercepte un signal radar et le renvoie après l'avoir brouillé.

Repeater station — Station répétitrice (station intermédiaire qui reçoit un signal d'une station, l'amplifie, et le retransmet à une autre station).

Repeater test rack — Table de contrôle d'un répéteur.

Repeating coil — Bobine répétitrice (transformateur habituellement de rapport 1/1, utilisé pour un couplage inductif entre deux sections d'une ligne téléphonique).

Repeating timer — Dispositif à minuterie répétant en permanence le propre cycle de fonctionnement d'un circuit.

Repeat point — Point de répétition d'accord (réception, avec un récepteur superhétérodyne, d'une station donnée, aux deux valeurs différentes de la fréquence de l'oscillateur local, quand la différence entre la fréquence du signal et celle de l'oscillateur est égale à la valeur de la Moyenne Fréquence).

Repeat point tuning — Accord sur un des deux points de battement (voir « Double spot tuning »).

Repeat signal — Signal de répétition.

Repeller — Electrode d'un klystron reflex qui renvoie les électrons contre la grille.

Reperforator — Reperforateur (appareil télégraphique qui perfore selon un code, un ruban ou une carte, traduisant les signaux reçus).

Reperforator switching — Commutation avec retransmission par ruban perforé.

Repetition — Répétition.

Repetition equivalent — Equivalent de répétition (dans un circuit téléphonique).

Repetition frequency — Fréquence de répétition.

Repetition rate — Taux de répétition.

Repetitive unit — Type de circuit, dans un calculateur, comportant plus d'un tour.

Replace (to) — Substituer, remplacer.

Remplacement — Substitution, remplacement.

Replacement tube — Tube de remplacement, équivalent.

Reply — Réponse.

Reply (to) — Répondre.

Reply amplifier — Amplificateur de lecture ou de reproduction.

Reply head — Tête de lecture ou de reproduction.

Report — Rapport, compte-rendu.

Reporting post — Installation radar de portée limitée.

Représentative calculating time — Temps nécessaire pour calculer la rapidité de réponse d'un calculateur.

Reprocessing — Traitement d'un matériau pour permettre sa réutilisation.

Reproduce (to) — Reproduire.

Reproduce head — Tête de lecture ou de reproduction.

Reproducer — Reproducteur, haut-parleur.

Reproducibility — Reproductibilité (dans un appareil de mesure).

Reproducing head — Tête de reproduction.

Reproducing stylus — Burin de reproduction, de gravure.

Reproducing unit — Appareillage de reproduction.

Reproduction — Reproduction.

Reproduction ratio — Rapport de reproduction.

Reproduction speed — Vitesse de reproduction (dans un récepteur fac simile).

Repulsion — Répulsion (la force qui tend à séparer des corps ayant une charge électrique ou une polarité magnétique égale, ou bien deux conducteurs parcourus par des courants de même sens).

Repulsion induction motor — Moteur à introduction-répulsion (moteur à courant alternatif à deux enroulements sur le rotor, dont un à cage d'écureuil).

Répulsion motor — Moteur à répulsion (moteur alternatif dans lequel la rotation du rotor se produit par répulsion entre le champ magnétique induit par le courant d'alimentation dans les enroulements du stator, et par le champ induit dans les enroulements du rotor; le courant d'alimentation parcourt seulement les enroulements du stator. Le rotor comprend un commutateur et des balais; ces derniers sont court-circuités entre eux).

Repulsion of charges — Charges répulsives (de même polarité).

Repulsion of magnet — Répulsion des aimants (de la même polarité).

Repulsion start induction motor — Moteur à induction démarrant par répulsion.

REP unit — Unité physique équivalente à un Roentgen (rayons X).

Reradiation — Reradiation (réflexion incidente d'un rayonnement; rayonnement indésirable de signaux, produits localement dans un récepteur).

Rerecord (to) — Réenregistrer.

Rerecording — Enregistrement obtenu à partir d'un enregistrement préalable.

Rerun point — Point du programme d'un calculateur, à partir duquel s'opère la reprise des opérations, par suite d'une erreur dans un problème.

Rescap — Ensemble de résistances et de condensateurs, formant un circuit intégré.

Research — Recherche.

Research reactor — Réacteur de recherche.

Reserve battery — Accumulateur de secours.

Reserve circuit — Circuit de réserve ou de secours.

Reserve equipment — Equipement de secours, de réserve.

Reservoir capacitor — Condensateur réservoir.

Reser (to) — Régler à nouveau, revenir à la situation initiale.

Reset control circuit — Circuit, dans un amplificateur magnétique, qui rétablit le flux d'une bobine à noyau saturable.

Reset flux level — Niveau du flux nécessaire pour le retour aux conditions initiales (d'une bobine à noyau saturable).

Reset pulse — Impulsion ramenant un contacteur électronique à zéro.

Reset rate — Nombre de corrections par minute effectuées dans un appareillage de contrôle.

Reset switch — Interrupteur ramenant aux conditions normales de fonctionnement un système de contrôle.

Resetting — Retour à la position initiale, nouveau réglage.

Resetting half cycle — Demi période de retour à la position initiale (de la tension d'alimentation d'un amplificateur magnétique).

Resetting interval — Intervalle de retour à la position initiale.

Reshaping circuit — Circuit modifiant la forme d'un signal.

Residual — Résiduel.

Residual activity — Activité résiduelle (d'une substance radio active).

Residual capacity — Capacité résiduelle (d'une substance radio active).

Residual capacity — Capacité résiduelle (d'un condensateur).

Residual charge — Charge résiduelle (d'un condensateur).

Residual current — Courant résiduel.

Residual discharge — Décharge résiduelle (d'un condensateur).

Residual error — Erreur résiduelle.

Residual field — Champ (magnétique) résiduel.

Residual flux density — Densité du flux résiduel.

Residual ionization — Ionisation résiduelle (de l'air ou d'un gaz).

Residual magnetic induction — Induction magnétique résiduelle (dans un matériau ferro-magnétique) rémanence.

Residual magnetisme — Magnétisme résiduel.

Residual modulation — Modulation résiduelle ou niveau de bruit de la porteuse.

Residual nucleus — Noyau résiduel (le noyau lourd constituant le produit final d'une transformation nucléaire).

Residual radiation — Radiation résiduelle.

Residual range — Portée résiduelle (la distance sur laquelle une particule peut encore produire une ionisation après avoir perdu une partie de sa propre énergie dans la traversée d'un matériau).

Residual resistance — Résistance résiduelle (d'un métal).

Residual voltage — Tension résiduelle.

Resin — Résine.

Resist — Vernis non conducteur résistant aux acides, utilisé dans la préparation des circuits imprimés.

Resistance — Résistance.

Resistance amplifier — Amplificateur à couplage par résistance.

Resistance attenuator — Atténuateur à résistance.

Resistance box — Boîte de résistances de précision, dans laquelle les valeurs varient normalement par multiples ou sous multiples de dix, et pour cela même appelée boîte à décades.

Resistance braking — Freinage d'un moteur électrique en l'utilisant comme générateur fournissant de l'énergie à une charge résistive dissipatrice de chaleur.

Resistance bridge — Pont à résistances ou de Wheatstone.

Resistance capacitance — Résistance capacitive.

Resistance capacitance circuit — Circuit RC ou à résistance et condensateur.

Resistance capacitance coupled amplifier — Amplificateur dans lequel les étages sont couplés par résistances et condensateurs.

Resistance capacitance coupling — Couplage RC ou à résistance et condensateur.

Resistance braking differentiator — Différentiateur à résistance et condensateur (circuit RC utilisé pour obtenir une tension de sortie dont l'amplitude est proportionnelle à la fréquence de variation de la tension d'entrée).

Resistance capacitance filter — Filtre RC ou à résistance et condensateur.

Resistance capacitance oscillator — Oscillateur RC ou à résistance et condensateur (oscillateur dont la fréquence est déterminée par les éléments résistances et capacités).

Resistance characteristic — Résistance caractéristique.

Resistance coefficient — Coefficient de résistance.

Resistance coil — Enroulement, constitué par un conducteur à haute résistance, qui peut être inséré dans un circuit pour réduire le courant.

Resistance coupled amplifier — Amplificateur couplé par résistances.

Resistance coupling — Couplage à résistance.

Resistance dimming — Réduire la lumière fournie par une lampe électrique par insertion dans le circuit d'une résistance (rhéostat).

Resistance drop — Chute (de tension) due à une résistance.

Resistance element — Élément résistant.

Resistance furnace — Four électrique, dans lequel la chaleur provient du passage du courant dans une résistance appropriée.

Resistance grounded — Résistance mise à la masse.

Resistance hybrid — Jonction hybride composée uniquement de résistances.

Resistance in parallel — Résistances en parallèle.

Resistance in series — Résistances en série.

Resistance in the primary circuit — Résistance du circuit primaire.

Resistance junction — Voir « Resistance hybrid ».

Resistance lamp — Lampe électrique utilisée pour couper le courant dans un circuit au dessus d'une limite fixée.

Resistance loss — Perte de puissance due au flux de courant à travers une résistance.

Resistance magnetometer — Magnétomètre dont le fonctionnement dépend de la variation de la résistance électrique d'un matériau placé dans le champ de mesure.

Resistance oven — Voir « Résistance furnace ».

Resistance pad — Atténuateur fixe à résistance unique.

Resistance pyrometer — Pyromètre à ré-

sistances (pyromètre dont l'élément sensible à la chaleur est constitué par un fil dont la résistance varie notablement avec la température).

Resistance spot welding — Soudure à résistance par points.

Resistance standards — Résistances étalons.

Resistance start motor — Moteur à conduction monophasée ayant une résistance de démarrage en série avec l'enroulement auxiliaire.

Resistance strain gauge — Jauge de contrainte, extensomètre composé d'une petite bande d'une matière spéciale résistante, fixée à la pièce en essais et dont la résistance électrique varie selon l'allongement ou la compression.

Resistance temperature meter — Thermomètre à résistance.

Resistance thermometer — Thermomètre à résistance.

Resistance voltage drop — Chute ohmique de tension dans une résistance.

Resistance welder — Soudeuse électrique à résistance.

Resistance welding — Soudure à résistance (soudure dans laquelle deux métaux à souder tenus sous pression sont chauffés jusqu'à la température de fusion par un courant électrique de très forte intensité).

Resistance wire — Fil recouvert d'un métal ou alliage métallique ayant une haute résistance par unité de longueur, utilisé pour la construction de résistances bobinées, etc.

Resistive — Résistif.

Resistive conductor — Conducteur résistant (conducteur ayant une résistance électrique élevée par unité de longueur).

Resistive coupling — Couplage résistif (couplage dans lequel on utilise des résistances comme impédances d'entrée et de sortie des circuits à accorder).

Resistive load — Charge résistive.

Resistive unbalance — Déséquilibre résistif (dans une ligne de transmission).

Resistive wall amplifier — Tube à ondes progressives à parois rayonnantes.

Resistivity — Résistivité (résistance spécifique d'un matériau par unité de volume).

Resistivity curve — Courbe de résistivité.

Resistor — Résistance.

Resistor capacitor unit — Voir « Rescap ».

Resistor color code — Code des couleurs des résistances (code international donnant, par points ou bandes, les valeurs des résistances).

Resistor core — Noyau de résistance (support isolant sur lequel l'élément résistif est enroulé ou fixé).

Resistor element — Élément résistif (la partie résistive d'une résistance: peut-être un métal pur, un vernis métallique, un aggloméré au carbone, etc.).

Resistor furnace — Four à résistances dans lequel la chaleur est produite par une résistance qui ne fait pas partie de la charge.

Resistor winding — Enroulement résistif.

Resnatron — Tétrode à faisceaux pour micro-ondes, formée de résonateurs à cavité, fonctionnant dans les bandes VHF et UHF. Refroidies par eau, les cavités sont parties intégrantes du tube même. Fonctionnent en amplificateur classe C avec puissance maximum de 60 - 65 kW.

Pour **RÉUSSIR** dans l'électronique
il faut des **MATHS**



... vous les apprendrez sans peine
grâce à **MATH'ELEC**
la méthode pratique de Fred **KLINGER**

Devenez plus rapidement agent technique ou sous-ingénieur en électricité ou électronique.

Suivez ce cours fait pour ceux qui doivent employer les maths comme un outil. Fred Klinger, à la fois praticien de l'électronique et professeur de mathématiques vous en donnera en quelques mois la maîtrise totale.

Essai gratuit. Résultat garanti. Recopiez ou retournez ce bon à

GRATUIT

sans frais ni engagement, envoyez-moi votre notice n° D. 35 concernant **MATH'ELEC**

NOM

PRENOM

ADRESSE COMPLETE

ÉCOLE DES TECHNIQUES NOUVELLES
FONDÉE EN 1946
20, rue de l'Espérance - PARIS XIII*

ET MAINTENANT,

confiez votre formation d'électronicien à un établissement spécialisé qui n'enseigne que l'électronique depuis 45 ans



Des milliers de techniciens, d'ingénieurs, de chefs d'entreprise, sont issus de notre école.

Avec les mêmes chances de succès, chaque année, de nouveaux élèves suivent régulièrement nos **COURS du JOUR (Bourses d'Etat)**. D'autres se préparent à l'aide de nos cours **PAR CORRESPONDANCE** avec l'incontestable avantage de travaux pratiques chez soi (nombreuses corrections par notre méthode spéciale) et la possibilité, unique en France, d'un stage final de 1 à 3 mois dans nos laboratoires.

PRINCIPALES FORMATIONS :

- Enseignement général de la 6^e à la 1^{re} (Maths et Sciences)
- Monteur Dépanneur
- Electronicien (C.A.P.)
- Cours de Transistors
- Agent Technique Electronicien (B.T.E. et B.T.S.E.)
- Cours Supérieur (préparation à la carrière d'Ingénieur)
- Carrière d'Officier Radio de la Marine Marchande

EMPLOIS ASSURÉS EN FIN D'ÉTUDES
par notre bureau de placement

Commissariat à l'Energie Atomique
Minist. de l'Intér. (Télécommunications)
Ministère des F.A. (MARINE)
Compagnie Générale de T.S.F.
Compagnie Fse THOMSON-HOUSTON
Compagnie Générale de Géophysique
Compagnie AIR-FRANCE
Les Expéditions Polaires Françaises
PHILIPS, etc...

...nous confient des élèves et recherchent nos techniciens.

Sur simple demande, vous recevrez les photocopies et lettres références de ces organismes, **PREUVE INDISCUTABLE** d'un enseignement valable et sérieux.

POUR LA **1^{re}** FOIS

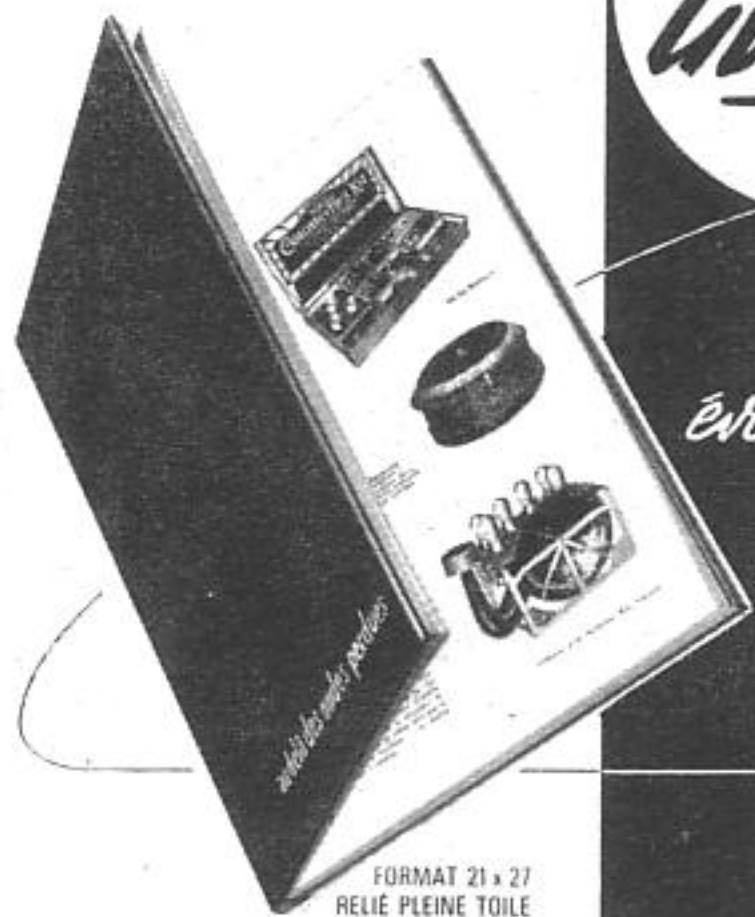


230 PAGES
300 ILLUSTRATIONS

évoquent

LE PASSÉ et le DEVENIR de la RADIO et de la TÉLÉVISION...

dans votre bibliothèque...
UN OUVRAGE PRESTIGIEUX QUE CHAQUE AMI DE LA RADIO SE DOIT DE POSSEDER...



FORMAT 21 x 27
RELIÉ PLEINE TOILE

au delà des ondes perdues

En plus d'un véritable musée iconographique... 25 témoignages autobiographiques de personnalités et pionniers de la Radio et l'Électronique vous permettent de suivre pas à pas

UNE DES PLUS PASSIONNANTES AVENTURES INDUSTRIELLES DE NOTRE SIECLE !

PRIX 60 F + PORT : 1,70 F
ou 50 F PORT COMPRIS
POUR LES ABONNÉS A
"VOTRE CARRIÈRE"

aux **EDITIONS CHIRON**
40, RUE DE SEINE - PARIS 6^e
C. C. P. PARIS 53-35

ÉCOLE CENTRALE des Techniciens DE L'ÉLECTRONIQUE

Reconnue par l'Etat (Arrêté du 12 Mai 1964)
12, RUE DE LA LUNE, PARIS 2^e • TÉL. : 236.78-87 +



Conseil National de
l'Enseignement Privé
par Correspondance

**B
O
N**

à découper ou à recopier

Veuillez m'adresser sans engagement la documentation gratuite **62 CV**

NOM

ADRESSE

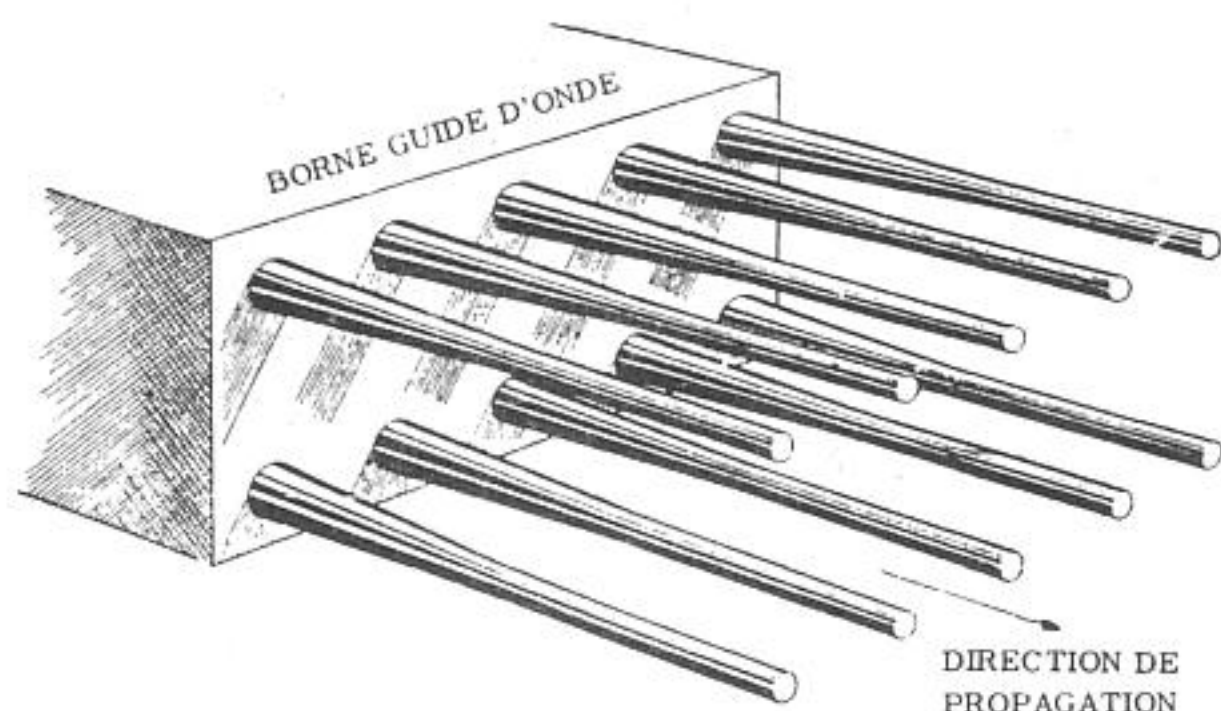


Fig. 12 - Type d'antenne diélectrique, constituée par plusieurs guides d'ondes, chacun desquels aboutit à un élément rayonnant.

puisse avoir un rayonnement d'énergie maximum et un minimum de pertes. La direction de propagation des impulsions est parallèle aux éléments sortant de la partie frontale du guide.

TYPES D'INDICATEURS

Le rôle de l'indicateur « radar », consiste à traduire visuellement les informations reçues, c'est-à-dire les impulsions de retour, outre celles d'aller, afin d'évaluer les positions réciproques.

Le tube à rayons cathodiques représente un moyen idéal pour obtenir ces traductions puisqu'il ne se limite pas à permettre seulement l'évaluation de la variation d'une grandeur électrique, comme par exemple la tension, le courant, etc., mais peut donner une indication assez exacte de la valeur relative de deux ou plusieurs variations synchronisées.

Il est en pratique employé avec des circuits analogues à ceux décrits à propos de l'oscillographe à rayons cathodiques et il est pourvu des mêmes commandes.

Le lecteur n'a certes pas oublié tout ce que nous avons dit à propos de la persistance de l'image sur le tube à rayons cathodiques. Dans, le cas des applications « radar », il est évident qu'afin de pouvoir évaluer la position de deux impulsions qui se présentent sur l'écran avec un certain intervalle de temps, au moyen d'une échelle reproduite sur l'écran même, il est nécessaire que les dites impulsions soient visibles simultanément. Outre ce que nous avons déjà dit à ce sujet (répétition de la trace) on peut adopter une persistance des couches fluorescentes d'une valeur plus grande que celles des tubes utilisés dans les oscillographes à rayons cathodiques aptes aux mesures de

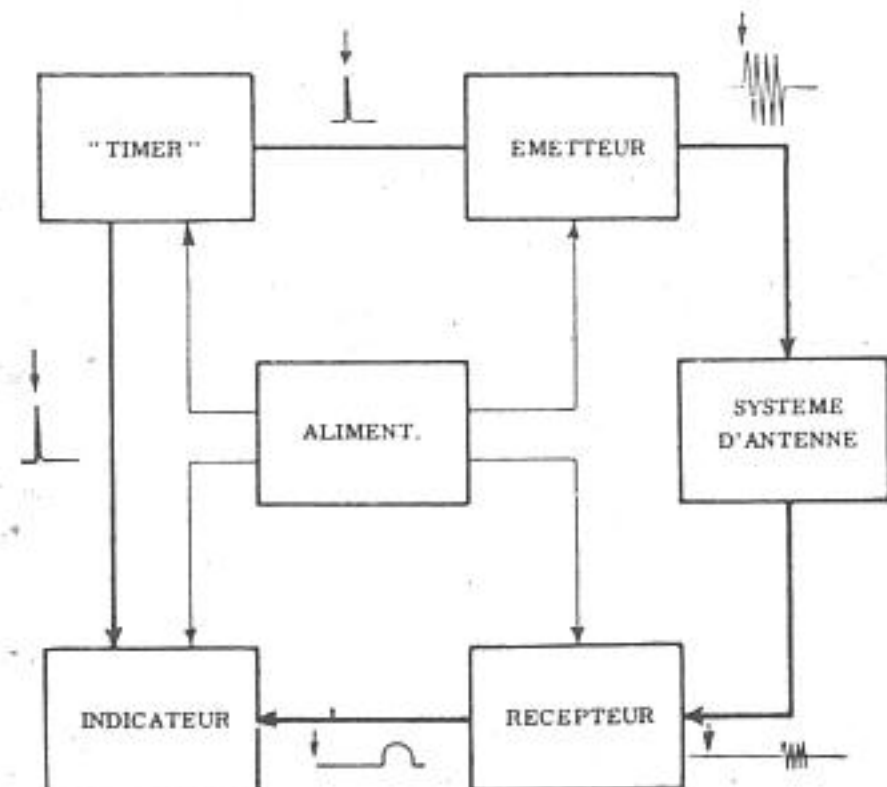


Fig. 13 - Schéma-blocs d'une installation radar complète. Tous les dispositifs qui la constituent sont représentés.

laboratoire. De la sorte, malgré l'existence d'un intervalle de plusieurs microsecondes entre l'impulsion originale et celle de retour, l'une et l'autre sont visibles, grâce à la persistance plus élevée.

CARACTERISTIQUES GENERALES des « RADAR »

La valeur de la fréquence porteuse est choisie selon la directivité désirée et selon les dimensions maximales que l'antenne (ou les antennes) peuvent avoir. Plus la fréquence est grande, plus la longueur d'onde est petite et, par conséquent, plus les dimensions de l'antenne sont réduites. Le problème de la production et de l'amplification des signaux à fréquence élevée se complique à cause de la plus grande fragilité et complexité des tubes et des composants nécessaires.

La fréquence la plus basse utilisée dans les applications du « radar » n'est pas d'habitude inférieure à 100 MHz; cependant, la gamme des fréquences utilisées est comprise entre 100 et 3 000 MHz et quelquefois, malgré les difficultés sérieuses du point de vue de la construction, on adopte des fréquences de l'ordre de 10 000 MHz.

Si l'intervalle entre deux impulsions réfléchies n'est pas suffisant, il se peut que le signal correspondant à un écho réfléchi par un obstacle lointain est supprimé par la présence d'une impulsion nouvelle à l'origine. La fréquence des impulsions est donc subordonnée à la portée de l'émetteur, à la sensibilité du récepteur, à la vitesse de rotation de l'antenne et à la persistance de la luminosité sur l'écran fluorescent.

Chaque installation est équipée d'un dispositif spécial nommé « timer » (pour la détermination d'intervalles réguliers par voie électronique), lequel doit assurer que tous les circuits qui prennent part au fonctionnement entrent en fonction avec une relation exacte de temps entre eux, et que les intervalles entre les impulsions aient la valeur convenable.

En d'autres termes, il s'agit de coordonner toutes les fonctions et précisément, la transmission de l'antenne sur le récepteur aussitôt que l'impulsion de retour provenant d'un obstacle se trouve à la distance minimum. Dans ce cas, il se produit le désamorçage de l'oscillateur qui engendre la fréquence porteuse. Outre cela, la rotation complète de l'antenne (de 360°) doit se faire à une vitesse en relation étroite avec le temps que le spot lumineux met pour traverser radialement l'écran. Cela représente justement le rôle assumé par le « timer ».

La figure 13 représente le schéma synoptique d'une installation « radar » de moyenne puissance. On remarque une alimentation unique qui fournit toutes les tensions nécessaires au fonctionnement des divers dispositifs. Un autre dispositif commun à l'émetteur et au récepteur est le « timer », que nous venons de signaler, lequel pourvoit à la synchronisation des mouvements mécaniques et des différentes commutations. Enfin, nous notons les deux unités proprement dites: l'émetteur qui engendre les impulsions et le récepteur. Ce dernier est, à son tour, connecté à l'indicateur « radar » constitué par un tube à rayons cathodiques, précédé par un nombre convenable d'étages amplificateurs sur lequel les relevés sont directement effectués.

— LES FOURNISSEURS DE VOTRE MATERIEL —

ELECTRONIQUE MONTAGE

111, BD RICHARD LENOIR - PARIS XI^e
(métro oberkampf)
SPÉCIALISTE MODULES RÉUSSITE COMPLÈTE
TOUS LES COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES
EXPÉDITION PROVINCE

Amateurs, Installateurs, Dépanneurs,
les valises de dépannage Radio TV Sptés
PAUL sont en vente dans toute la France.
5 modèles.
Adresse de nos Agents sur simple demande.
Spécialités Ch. PAUL - 28, rue Raymond Lefebvre
MONTREUIL (Seine) Tél. : 287-54-16

CIBOT RADIO

1 à 3, RUE DE REUILLY - PARIS 12^e
TEL. : DID. 66-90

TOUT L'OUTILLAGE
POUR L'ÉLECTRONIQUE

Catalogue complet de pièces détachées : 5 F

Catalogue de Kit

Ensemble de pièces détachées

Du poste à galène au téléviseur

EXPÉDITION A LETTRE LUE PARIS-PROVINCE

RADIO-BEAUGRENELLE

6, RUE BEAUGRENELLE - PARIS 15^e
Tél. : 828.58.30
TOUTE LA PIÈCE DÉTACHÉE RADIO
LAMPES-TRANSISTORS-TÉLÉVISION
EXPÉDITION PROVINCE
Envoi du tarif contre 3 timbres-lettre

MIEUX QU'UN CATALOGUE !
Tous ceux qui s'intéressent à la radio se doivent de posséder
le **MEMENTO ACER**
VÉRITABLE DIGEST DE L'ÉLECTRONIQUE
TOUTES LES PIÈCES DÉTACHÉES
TOUTE UNE GAMME DE MONTAGE EN KIT
ACER Envoi contre 6F pour frais
42bis, rue de Chabrol - PARIS 10^e



80 PAGES contre 2.50 en timbres pour frais d'envoi
● HIFI (amplis - HP - tuners FM - enceintes
acoustiques) ● Grand choix de pièces
détachées ● Appareils de mesures ●
Outillage ● Appareils électriques ● De
nombreuses réalisations ● Sur place : un
choix énorme à des prix "champion".

Comptoirs CHAMPIONNET

14, RUE CHAMPIONNET - PARIS 18^e
Tél. ORN. 52-08 - C.C.P. 12.358.30 Paris
Métro : Porte de Clignancourt et Simplon

RETEXKIT

CONSTRUISEZ-LE VOUS-MÊME
KIT POUR RADIO-AMATEURS
KIT D'APPAREILS ÉLECTRONIQUES

Demandez notre catalogue
sans engagement de votre part

TERA-LEC 51, RUE DE GERGOVIE
PARIS-14^e - SEG. 09-00

MAGNETIC-FRANCE SPÉCIALISTE DU "KIT" PIÈCES DÉTACHÉES POUR :

Tuners, magnétophones, amplis, orgue élec-
tronique, chambre d'échos, réverbérateurs.

- Lampes
- Transistors

SERVICES ET CONSEILS TECHNIQUES
175, RUE DU TEMPLE - PARIS-3^e
ARChives 10-74 Métro : Temple, République

COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES

Radio-Télévision • Industrie • Télécommande
Châssis Haute Fidélité • Amplis • Tuners FM
GROS DÉTAIL
RADIO-VOLTAIRE
GROSSISTE OFFICIEL "COPRIM TRANSCO"
GROSSISTE TUBES INDUSTRIELS "RADIOTECHNIQUE"
155, Avenue Ledru-Rollin, PARIS-11^e ROQ. 98-64

EMY-RADIO

Spécialiste des grandes marques d'importation
Téléviseurs - Récepteurs - Transistors - Magnétophones
Electrophones - HI-FI - Enceintes acoustiques - Emetteurs
récepteurs - Interphones, etc...
Toutes expéditions en province. Catalogue de nos prix sur
simple demande - 19, rue de l'Ancienne Comédie
PARIS 6^e Tél. : DAN. 63-05

POUR TOUS VOS BESOINS EN COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES ET ENSEMBLES A MONTER SOI-MÊME

AUX CONDITIONS LES PLUS AVANTAGEUSES GRACE A NOTRE FORMULE DE VENTE DIRECTE

Magasins pilotes :

80, BD HAUSSMANN - PARIS-8^e
9, BD ST-GERMAIN - PARIS-5^e

COGEREL

Départements :
VENTE PAR CORRESPONDANCE
COGEREL - DIJON (cette adresse suffit)

DOCUMENTATION GRATUITE SUR DEMANDE :
Catalogue KITS - CTR 8-493 - Catalogue PD - CTR 9-492
(joindre 4 timbres pour frais d'envoi)

RÉALISEZ VOS
POSTES A TRANSISTORS
LAMPOMETRE
SIGNAL TRACER



CONTROLEUR
UNIVERSEL



Economie
Sécurité
Réussite
assurée

Pièces détachées, en ensembles
complets, ou séparées avec schéma
et plans très détaillés

Documentation CA - contre 1,20 F en timbres

TECHNIQUE SERVICE

fermé le lundi
Métro
Charonne

17, Passage Gustave-Lepeu, Paris-11 - Tél. : ROQ. 37-71

CENTRAL-RADIO

35, rue de Rome - PARIS 8^e
522 12-00 et 12-01 CCP 728-45

Expédie dans toute la France toutes
les pièces détachées - Appareils de
mesure et l'outillage du Radio-
électricien.

CATALOGUE contre 4 timbres,
conseillers techniques à votre
disposition à nos magasins.

LE GRAND SPECIALISTE

des Petits Montages Récepteurs de Radio
et de la Radiocommande des Modèles Réduits.
- Ouvrages pour débutants -
Envoi du catalogue général contre 3 F
PERLOR-RADIO
16, R. Hérold, Paris (1^{er}) - Tél. CEN. 65-50

POUR
RECTA REUSSIR RECTA
A
COUP SUR ?
ESSAYEZ AVEC NOS
**SCHEMAS
GRANDEUR
NATURE**

MONTAGES FACILES

AMPLIS GUITARE 3 A 50 W
125 SCHÉMAS DE LAMPES
REMISE 25 à 30 %
SUR LAMPES-MAGNÉTOPHONES

Documentation complète c. 4,50 TP

Soc. **RECTA**
37, Av. LEDRU-ROLLIN - PARIS-12^e

NORD RADIO

TOUTES LES PIÈCES DÉTACHÉES ET
ACCESSOIRES DES MEILLEURES MARQUES
A DES PRIX IMBATTABLES

TÉLÉVISEURS - RÉCEPTEURS à transistors
AMPLIS HI-FI - ELECTROPHONES
MAGNÉTOPHONES - INTERPHONES, etc...
Vendus en "KIT" et en ordre de marche.

139, RUE LA FAYETTE, PARIS-10^e
Tél. TRUdaine 89-44 - Autobus et Métro : GARE DU NORD

TOUS LES MAGNÉTOPHONES
(GRUNDIG, PHILIPS, etc.)
TÉLÉVISEURS - ENCEINTES ACOUSTIQUES
PLATINES TOURNE-DISQUES, etc. (Consultez-nous).