

L'ONDE

ELECTRIQUE

29^e ANNÉE N° 271

OCTOBRE 1949

PRIX : 160 FRANCS

BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS
ÉTIENNE CHIRON, ÉDITEUR, 40, RUE DE SEINE, PARIS-6^e

MICROGRAPHIES DE
VAISSEaux DE L'OREILLE
D'UN LAPIN

L'ARTÉRIOLE ET SES
BRANCHES DE DIVISION
SE DILATENT

ÉNORME DILATATION DE L'ARTÉRIOLE
PROVOQUÉE PAR UNE EXPOSITION D'UNE
MINUTE A UN CHAMP DE MICRO-ONDES

LIRE
DANS CE NUMERO

René MESNY (1874-1949)

R. JOUAUST

Le Système "OBOE"

P. BESSON

Propriétés biologiques des micro-ondes

L. de SEGUIN

Le dipôle magnétique dans une
atmosphère stratifiée

G. ECKART

Le Salon de la Radiodiffusion,
de la Télévision et de l'Electronique
à la XXXVIII^e Foire
de Paris

à tous les stades
du téléreportage...



TÉLÉVISEUR
Réception sur
écran cathodique
de grand diamètre,
simplicité de
réglage.
Agrée par les servi-
ces de la Télévision
Française.



**MEUBLE DE
RÉCEPTION**
sur 64 Mégacycles,
avec démodulation
du son et de l'image



CAMION DE REPORTAGE AUTONOME
2 voies d'amplification pour 2 caméras,
Emetteur transmettant simultanément image
et son sur porteuse unique de 64 Mégacycles.



**CAMERA POUR
ICONOSCOPE**
2 objectifs et un téléobjec-
tif interchangeables ins-
tamment. Viseur électro-
nique. Angle d'exploration :
plan vertical 150
plan horizontal 360



**SADIR
CARPENTIER**

SADIR CARPENTIER, 101, BOULEVARD MURAT

PARIS-16^e - TEL. AUT. 81-25

L'ONDE ÉLECTRIQUE

Revue Mensuelle publiée par la Société des Radioélectriciens
avec le concours du Centre National de la Recherche Scientifique

ABONNEMENT, D'UN AN
FRANCE. 1650 »
ETRANGER. 1950 »

ÉDITIONS
Etienne CHIRON
40, Rue de Seine — PARIS (6°)
C. C. P. PARIS 53-35

Prix du Numéro :
160 francs

Vol. XXIX

OCTOBRE 1949

Numéro 271

SOMMAIRE

	Pages
René MESNY (1874-1949).....	R. JOUAUST 349
Le Système "OBOE".....	P. BESSON 351
Propriétés biologiques des micro-ondes.....	L. de SEGUIN 368
Le dipôle magnétique dans une atmosphère stratifiée.....	G. ECKART 378
Le Salon de la Radiodiffusion, de la Télévision et de l'Électronique à la XXXVIII ^e Foire de Paris.....	382

Sur la couverture :

Micrographies prises au cours d'une expérience sur l'animal montrant la grosse vasodilatation produite par une irradiation avec l'émetteur biologique de la C. S. F., sur une longueur d'onde de 20 μ .

Les opinions émises dans les articles ou comptes-rendus publiés dans L'Onde Electrique n'engagent que leurs auteurs

SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS FONDATEURS

† Général FERRIÉ, Membre de l'Institut.

† H. ABRAHAM, Professeur à la Sorbonne.
† A. BLONDEL, Membre de l'Institut.
P. BRENOT, Directeur à la Cie Générale de T. S. F.
J. CORNU, Chef de bataillon du Génie e. r.

† A. PÉROT, Professeur à l'Ecole Polytechnique.
† J. PARAF, Directeur de la Sté des Forces Motrices de la Vienne
La Société des Ingénieurs Coloniaux.

BUTS ET AVANTAGES OFFERTS

La Société des Radioélectriciens, fondée en 1921 sous le titre « Société des Amis de la T. S. F. », a pour buts (art. 1 des statuts) :

- 1° De contribuer à l'avancement de la Radiotélégraphie théorique et appliquée, ainsi qu'à celui des Sciences et Industries qui s'y rattachent;
- 2° D'établir et d'entretenir entre ses membres des relations suivies et des liens de solidarité.

Les avantages qu'elle offre à ses membres sont les suivants

- 1° Service gratuit de la revue mensuelle *L'Onde Électrique*;
- 2° Réunions mensuelles, avec conférences, discussions et expériences sur tous les sujets d'actualité technique ;
- 3° Visites de diverses installations radio-électriques : stations d'émission et de réception, postes de navires et d'avions, laboratoires, radiophares expositions, studios, etc. ;
- 4° Renseignements de tous ordres (joindre un timbre pour la réponse).

COTISATIONS

Elles sont ainsi fixées

- 1° Membres titulaires, particuliers 1.000 fr.
— sociétés ou collectivités..... 5.000 fr.
- 2° Membres titulaires, âgés de moins de vingt-cinq ans, en cours d'études 500 fr.
Les membres de ces deux catégories, résidant à l'étranger, doivent verser en plus un supplément pour frais postaux de 300 fr.
- 3° Membres à vie :
Les particuliers, membres titulaires, peuvent racheter leur cotisation annuelle par un versement unique égal à quinze fois le montant de cette cotisation, soit 15.000 fr.
- 4° Membres donateurs :
Seront inscrits en qualité de donateurs, les membres qui auront fait don à la Société, en plus de leur cotisation, d'une somme égale au moins à 3.000 fr.
- 5° Membres bienfaiteurs :
Auront droit au titre de « Bienfaiteurs », les membres qui auront pris l'engagement de verser pendant cinq années consécutives, pour favoriser les études ou publications techniques ou scientifiques de la Société une subvention d'au moins 10.000 fr.

Adresser la correspondance administrative et technique, et effectuer le versement des cotisations à l'adresse suivante

SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS
14, avenue Pierre-Larousse, Malakoff (Seine)

Tél. : ALÉSIA 04-16 — Compte de chèques postaux n° 697-38

Les correspondants sont priés de rappeler chaque fois le numéro d'inscription porté sur leur carte,
CHANGEMENTS D'ADRESSE : Joindre 20 francs à toute demande.

SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS
PRÉSIDENTS D'HONNEUR

† R. MESNY (1935) — † H. ABRAHAM (1940).

ANCIENS PRÉSIDENTS DE LA SOCIÉTÉ

MM.	
1922	M. DE BROGLIE, Membre de l'Institut.
1923	H. BOUSQUET, Prés. du Cons. d'Adm. de la Cie Gle de T. S. F.
1924	R. DE VALBREUZE, Ingénieur.
1925	† J.-B. POMEY, Inspecteur général des P. T. T.
1926	E. BRYLIŃSKI, Ingénieur.
1927	† Ch. LALLEMAND, Membre de l'Institut.
1928	Ch. MAURAIN, Doyen de la Faculté des Sciences de Paris
1929	† L. LUMIÈRE, Membre de l'Institut.
1930	Ed. BELIN, Ingénieur.
1931	C. GUTTON, Membre de l'Institut.
1932	P. CAILLAUX, Conseiller d'Etat.
1933	L. BRÉGUET, Ingénieur.
1934	Ed. PICAULT, Directeur du Service de la T. S. F.
1935	† R. MESNY, Professeur à l'Ecole Supérieure d'Electricité.
1936	R. JOUAUST, Directeur du Laboratoire Central d'Electricité.
1937	F. BEDEAU, Agrégé de l'Université, Docteur ès sciences.
1938	P. FRANCK, Ingénieur en chef de l'Aéronautique.
1939	† J. BETHENOD, Membre de l'Institut.
1940	† H. ABRAHAM Professeur à la Sorbonne.
1945	L. BOUTHILLON, Ingénieur en chef des Télégraphes.
1946	R.P. P. LEJAY, Membre de l'Institut.
1947	R. BUREAU, Directeur du Laboratoire National de Radio-électricité.
1948	Le Prince Louis de BROGLIE.

BUREAU DE LA SOCIÉTÉ

Président :	
M. M. PONTE, Directeur général adjoint de la Cie Gle de T. S. F.	
Vice-Présidents :	
MM. P. ABADIE, Ingénieur en chef au L. N. R. G. LEHMANN, Ingénieur-Conseil. De MARE, Ingénieur.	
Secrétaire général :	
M. R. RIGAL, Inspecteur général adjoint des P. T. T.	
Trésorier :	
M. R. CABESSA, Ingénieur au L. C. T.	
Secrétaires :	
MM. L. J. LIBOIS, Ingénieur des P. T. T. M. PIRON, Ingénieur du Génie Maritime. J. DOCKES, Ingénieur des P. T. T.	

SECTIONS D'ÉTUDES

N°	Dénomination	Présidents	Secrétaires
1	Etudes générales.	M. DE MARE.	M. FROMY.
2	Matériel radioélectr.	M. AUBERT.	M. ADAM.
3	Electro-acoustique.	M. BEDEAU.	M. POINCELOT.
4	Télévision	M. MALLEIN.	M. ANGEL.
5	Hyperfréquences.	M. GOUDET.	M. GUÉNARD
6	Electronique.	M. LÉAUTÉ	M. BRACHET.
7	Documentation.	M. VILLENEUVE	M. CHARLET.

Les adhésions pour participation aux travaux des sections doivent être adressées au Secrétariat de la Société des Radioélectriciens, 10 avenue Pierre-Larousse, à Malakoff (Seine).

INFORMATIONS

DEMANDE D'EMPOI

0.50. — Agent techn. connais. Radar, 8 ans de pratique, et études Radio, cherche emploi en rapport France ou Colonies. Ecrire au secrétariat de la Société des Radioélectriciens qui transmettra.

OFFRES D'EMPLOI

0.51. — Impte Société demande pr tenir BIBLIOTHÈQUE Technique de Laboratoire Hyperfréquences : DAME BIBLIOTHÉCAIRE 30-45 a., connaissant bien vocabulaire électronique ANGLAIS, ayt bnes notions RADIO, pr dépouillements revues techniques. 48 H. Avant. Sociaux. Cantine. Se présenter Vendredi et Samedi: LABORATOIRE de Recherches HYPERFRÉQUENCES 10, rue Nanteuil, Paris-XV°.

0.52. — On demande technicien très averti pour représentation

Firme radio professionnelle auprès administration et divers. Adresser demande à Société des Radioélectriciens qui transmettra.

0.53. — La Cie des Compteurs, 10, Place des Etats-Unis, à Mont-rouge, recherche un jeune Ing. pour être adjoint à un chef de Service Commercial, chargé, sous sa direction, de recherches de documentation technico-commerciale sur les appareils de mesure électroniques (Oscillographes, Générateurs, Accessoires) et s'occupant également des parties commerciales (Service vente et visite de la clientèle à Paris). Demandez le matin, Monsieur LAISNE, Alé: 58-70, Poste 306.

0.54. — Rech. pr serv. nouveau, pers. sér. compétences spéc. hyperfréquence, impulsions, tubes à vide, radars, télévision. INGÉNIEURS pos. 1-2-3. SOUS-INGÉNIEURS. AGENTS TECHN. 2 et 3. LA RADIO-INDUSTRIE, 59, Rue des Orteaux, Paris (20°).

Erratum à L'ONDE ÉLECTRIQUE, août-septembre 1949, p. 16 A (analyses)
420 — Broullage impulsif dans les récepteurs à modulation d'amplitude
références omises : D. WEIGHTON, J. I. E. E., 85, Part III, N° 34, mars 1948, 69-79

LISTE DES NOUVEAUX MEMBRES

Présentés par MM.		Présentés par MM.	
ALLENO Jean, élève à l'E. S. E. Section Radio	Colon. REVIRIEUX Cap. DAUPHIN.	BERTHET-BONDET, étudiant Ecole Française de Radioélectricité	J. BOUCHARD. PINEAU.
BAROZ André, Ingénieur A. M.	P. DAVID. J. FAGOT.	BOIVINET Gérard, étudiant Ecole Française de Radioélectricité	J. BOUCHARD. PINEAU.
BÉARD Raoul, étudiant Ecole Française de Radio-électricité	BOUCHARD. PINEAU	BOJIC, étudiant Ecole Française de Radioélectricité	J. BOUCHARD. PINEAU.
BERENGUIER Pierre, élève Ecole Nle Supérieure des Télécommunications	R. RIGAL. J. FRANÇOIS.	BURON Raymond, Sous-Lieutenant. Instructeur à la Division des Télécommunications	Cap. BASSERAS. Cap. ROUX.
BERTAIL Gérard, étudiant Ecole Française de Radio-électricité	J. BOUCHARD. PINEAU.	Cerri Jacques, étudiant Ecole Française de Radio-électricité	J. BOUCHARD. PINEAU.
BERTHE Jean, étudiant au C. N. A. M.	P. LORILLON. R. M. CAHEN.		

RENÉ MESNY

(1874 - 1949)

Une triste nouvelle nous est parvenue ; MESNY est décédé le 8 juin 1949 dans sa villa bretonne.

La Société des Radioélectriciens ne saurait rester indifférente à la disparition d'un homme auquel elle doit certainement une partie de sa prospérité actuelle.

Né à Brest le 19 juillet 1874, MESNY entra à l'Ecole Navale et fut d'abord attaché comme enseigne au stationnaire de Taïti. A son retour, il fut nommé professeur d'astronomie à l'Ecole Navale qui se trouvait alors sur le Borda.

Doté d'un esprit scientifique, MESNY prépara sa licence ès sciences qu'il passa à la Faculté des Sciences de Rennes et son temps de professorat terminé, il se fit verser dans le Corps des Professeurs d'Hydrographie. Il enseigna successivement à Saint-Raphaël, puis à Granville et au Havre, partageant son temps entre l'enseignement et l'étude de divers problèmes relatifs à la navigation et à l'astronomie.

Epris du progrès, il se lança dans le mouvement espérantiste, assista au congrès de Cambridge et publia dans la revue « *Scientia Associa* » un article sur les marées. Pendant de longues années, il se chargea de traduire en espéranto les sommaires des communications paraissant dans le Bulletin de la Société des Electriciens.

C'est la guerre de 1914 qui l'orienta vers la radiotélégraphie. Les professeurs d'hydrographie étaient mobilisés, la Marine leur donna la direction des postes radiogoniométriques Bellini-Tosi qui étaient établis dans quelques ports. C'est ainsi que MESNY se trouva pendant quelque temps à la tête du poste du Havre. Mais le développement des amplificateurs à lampes, rendait possible pour les relevés radiogoniométriques un procédé jadis préconisé par BLONDEL, l'emploi du cadre. Un laboratoire de recherches fut créé par la Marine à Toulon, MESNY y fut détaché et chargé d'établir des radiogoniomètres sur nos vaisseaux. C'est ainsi qu'il fut envoyé à Corfou pour équiper les navires de notre escadre méditerranéenne.

MESNY ne tarda pas à constater que les cadres ne donnaient qu'une extinction imparfaite et que ce

défaut d'extinction était dû à la capacité par rapport au sol de l'amplificateur et des batteries d'alimentation. Cet effet devait être combattu par la création d'une autre capacité entre le sol et le condensateur de réglage. C'est ainsi que MESNY fut amené à imaginer le compensateur qui porte son nom et grâce auquel une extinction parfaite pouvait être obtenue.

Les mérites du professeur d'hydrographie MESNY ne tardèrent pas à être connus du Général FERRIE qui le fit attacher à l'Etablissement Central de la

Télégraphie Militaire, se réservant de lui donner plus tard la direction du Laboratoire National de Radioélectricité qu'il voulait créer.

C'est à cette date que commencèrent les travaux de MESNY, travaux trop nombreux pour que nous puissions les énumérer tous. Ils ont du reste donné lieu à des articles parus dans notre Revue « *L'ONDE ELECTRIQUE* ».

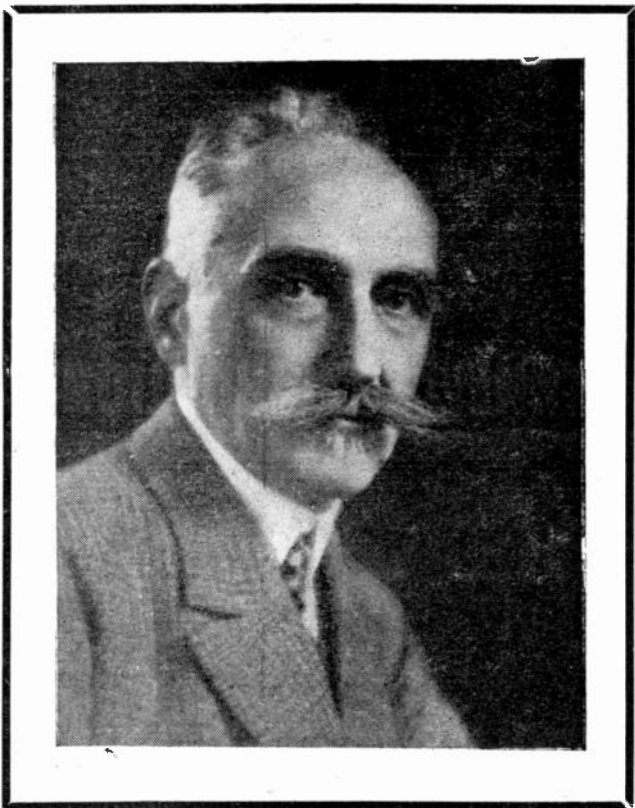
Tout d'abord MESNY continua à s'occuper de radiogoniométrie, cherchant, sans succès d'ailleurs les causes qui rendaient inexacts de nuit certains relèvements.

Par contre, se familiarisant avec les fonctions de Bessel, il put étudier la diffraction des ondes sur un cylindre conducteur et expliquer ainsi les déviations observées sur les navires et sur certains

îles de forme allongée comme les Iles Sanguinaires.

Il perfectionna le dispositif pour la mesure du champ des postes lointains établis à l'Observatoire de Meudon par PEROT et l'auteur de ces lignes. Le rayonnement des cadres, les formules pour le calcul des cadres correspondant à telle ou telle fréquence furent pour lui un sujet d'étude, tandis qu'il déduisait de ses mesures une formule permettant d'évaluer les résistances en haute fréquence.

Lorsque DUFOUR eut réalisé son oscillographe cathodique, c'est en collaboration avec MESNY qu'il étudia le fonctionnement des oscillateurs à lampe et que plus tard, en collaboration avec M. DAVID, fut étudié le fonctionnement de la superréaction.



MESNY fut ensuite chargé par le général FERRIE de l'étude des ondes courtes.

C'est alors qu'il imagina le dispositif symétrique connu sous le nom de montage MESNY, puis un dispositif permettant la production de courants polyphasés.

Il imagina le système de rideaux en grecques inventé en même temps du reste, par M. CHIREIX et qui fut longtemps utilisé en France sous le nom d'antenne CHIREIX-MESNY.

Enfin, en collaboration avec BEAUVAIS et M. DAVID, il se livra tout autour de Paris à des essais de réception d'ondes courtes, essais qui lui permirent de mettre en évidence le rôle de la réception sur le sol.

Ces travaux le conduisirent à publier un ouvrage de documentation intitulé « LES ONDES ÉLECTRIQUES COURTES » dans lequel étaient exposées pour la première fois en France les idées d'ECCLES sur le rôle joué par l'ionosphère dans la propagation des ondes.

En même temps, MESNY, dans un ouvrage de géophysique publié sous la direction de MATHIAS, indiquait le rôle joué par la haute atmosphère dans les télécommunications par les ondes hertziennes.

Tous ces travaux avaient attiré l'attention sur leur auteur et en 1921 l'Académie des Sciences lui décerna le prix de la Marine et le prix Wilde en 1925. En 1927, le Ministère de la Guerre élevait MESNY au grade de Commandeur de la Légion d'Honneur.

Lors de la réouverture en 1919 de la section de radioélectricité à l'Ecole Supérieure d'Electricité, MESNY avait été chargé de conférences sur la radiogoniométrie. Mais lorsque les nécessités de sa carrière militaire obligèrent le colonel CHAULARD à abandonner l'enseignement de la radiotechnique le général FERRIE demanda à MESNY de le remplacer. Déjà préparé par sa carrière de professeur et très intéressé par tout ce qui concernait l'enseignement MESNY fit un Cours dont se souviendront longtemps tous ceux qui ont suivi son enseignement : élèves français et étrangers. Cédant à de nombreuses sollicitations, MESNY consentit à la publication de ce cours qui parut sous le nom de Radioélectricité Générale.

La réputation de MESNY avait dépassé les frontières de la France et en 1946, lorsque l'Union Radioscientifique Internationale se réunit à Paris le Président, Sir Edward APPLETON, proposa la nomination de MESNY comme Président d'Honneur proposition qui fut votée par acclamations.

Mais le Laboratoire National de Radioélectricité ne se fondait toujours pas. MESNY démobilisé dépendait du Ministère du Commerce qui le mettait en demeure de reprendre ses fonctions de professeur d'hydrographie ou de prendre sa retraite. Ce fut cette dernière solution que MESNY accepta et sollicité par M. BELIN, il prit la direction de son usine.

Peu porté pour les questions industrielles, il ne resta que quelques années à cette direction, mais ce passage dans l'industrie l'amena à rédiger pour la Collection Armand Colin un ouvrage sur la Télévision.

Il se retira en Bretagne, près de Brest, mais jusqu'en 1939, il revenait tous les ans à Paris pour ses cours à la section de radioélectricité.

C'est en 1923, la deuxième année de l'existence de la Société des Radioélectriciens (alors Société des Amis de la T.S.F.) que MESNY prit le Secrétariat général de cette Société, qu'il remplit jusqu'en 1934.

Pendant ce laps de temps tous les Présidents sortants ne manquèrent pas dans leur discours de se louer de l'aide que leur avait apportée le secrétaire général.

Ce n'était pas là un vain compliment. MESNY était de ces hommes qui lorsqu'ils ont accepté une tâche, non seulement cherchent à la remplir au mieux, mais même veulent améliorer les intérêts qui leur sont confiés. Sans cesse MESNY fut sur la brèche pour préparer les séances de la société, assurer la publication de l'ONDE ÉLECTRIQUE, se heurtant à des difficultés financières qu'il cherchait à résoudre en collaboration avec notre éditeur.

C'est lui qui eut l'idée de créer un Prix, d'organiser des conférences de documentation, de créer des liaisons avec les amateurs.

Lorsque la Société des Radioélectriciens créa des Cours au Conservatoire des Arts et Métiers, MESNY assura une partie des Conférences.

Si la Société des Radioélectriciens est arrivée au développement atteint aujourd'hui, ses premières années furent pénibles. C'est grâce à MESNY qu'elle put surmonter de nombreuses difficultés. Aussi quand au bout de onze années de secrétariat, il demanda à être relevé de ses fonctions, la présidence de la Société lui fut accordée unanimement.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que du savant et du technicien, nous voudrions dire quelques mots de l'homme.

Son caractère droit, sa grande affabilité étaient universellement appréciés et tous ceux qui ont eu l'occasion de le fréquenter devenaient ses amis.

En 1939, malgré son âge, il fut mobilisé. Il n'avait d'ailleurs jamais rompu ses attaches avec la Marine. Il avait rempli longtemps les fonctions d'examinateur d'astronomie à l'Ecole Navale et avait été nommé membre de l'Académie de Marine. Il fut attaché au Service des Transmissions du port de Brest. Après l'armistice il voulut rentrer dans sa maison de Kersaint-Landunvez mais il la trouva habitée par des Allemands et dut passer l'occupation dans quelques pièces du bourg. C'est à ce moment qu'il ressentit les premières atteintes du mal qui devait l'emporter. Ce mal s'aggrava peu à peu ; les dernières années il était presque incapable de remuer. Mais son cerveau resté intact lui permettait de travailler et d'oublier ainsi son état. Il étudiait la mécanique ondulatoire, s'intéressait encore à la radioélectricité et peu avant sa mort soumettait encore à M. L. de BROGLIE ses idées sur la propagation des ondes.

Jusqu'au dernier moment, son activité scientifique se maintint et on peut dire qu'il s'est éteint après une vie bien remplie.

Je crois être l'interprète de tous les membres de la Société des Radioélectriciens qui l'ont connu en disant à Madame MESNY et à ses enfants que nous conserverons le souvenir de l'homme qui fut suivant l'expression même du général FERRIE, un grand radiotélégraphiste, mais en même temps un homme de bien.

R. JOUAUST

LE SYSTÈME "OBOE" (1)

PAR

P. BESSON

Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées

SOMMAIRE :

PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS.

- I. — Introduction.
- II. — Principe.
- III. — Historique.

DEUXIÈME PARTIE : RAPPELS DE LA TECHNIQUE DES IMPULSIONS.

- I. — Obtention d'impulsions.
- II. — Addition, Différentiation, Intégration.
- III. — Le « Phantatron ».
- IV. — Le « Sanatron ».
- V. — Modification des caractéristiques des impulsions.
 - a) Largeur.
 - b) Position.
- VI. — Multiplication et division de la fréquence.
- VII. — Sélection d'une impulsion.

TROISIÈME PARTIE : DESCRIPTION DE L'ÉQUIPEMENT INSTALLÉ A TERRE.

- I. — Dispositions générales.

- II. — Appareillage haute fréquence.
- III. — Appareillage de mesure de la distance.
- IV. — « Miestro ».
- V. — Calculateur.
- VI. — Système de communication avec l'avion.
- VII. — Système de communication entre les stations au sol.

QUATRIÈME PARTIE : DESCRIPTION DE L'ÉQUIPEMENT INSTALLÉ A BORD.

- I. — Répondeur de radar.
- II. — Système de communication avec le sol.
- III. — Fonctionnement de l'ensemble du dispositif. Perfectionnements envisagés.

CINQUIÈME PARTIE : APPLICATIONS EN TEMPS DE PAIX.

- I. — Géodésie, météorologie.
- II. — Photographie aérienne.
- III. — Mesure de la vitesse des ondes radioélectriques.

BIBLIOGRAPHIE.

PREMIÈRE PARTIE

GÉNÉRALITÉS

I. — Introduction

Le 5 mars 1943, les escadres de la R.A.F. déversaient, de nuit, sur les usines KRUPP, à Essen, 150 bombes de 2000 et de 4000 kg, qui, larguées avec précision, causaient des dégâts considérables. Ce résultat était la conséquence de l'utilisation, par des avions éclaireurs, destinés à guider les bombardiers, d'un nouveau système britannique de repérage, basé sur les techniques du radar, dénommé « OBOE », c'est-à-dire « hautbois » (2), et déjà essayé depuis décembre 1942 au cours d'opérations moins importantes.

Quelques jours après, en un raid de 30 minutes, 518 bombardiers bouleversaient, de la même fa-

çon, la région d'Elberfeld, où les destructions atteignaient le taux de 94 %.

Le nouveau dispositif — qui apparaissait après le système de navigation GEE (3), utilisé initialement en mars 1942, sur Lubeck et sur Cologne, et avant les radars de bord du type H'S, employés pour la première fois sur Hambourg, le 24 juillet 1943 — avait ainsi fait ses preuves, et était, dès lors, utilisé couramment, d'abord par l'aviation britannique seule, pour des opérations de nuit, puis, plus tard, en 1944, par la 9^e Air Force Américaine, pour des raids de jour.

L'OBOE, dont le principe sera indiqué ci-dessous, n'est pas, à proprement parler, un procédé de navigation de caractère général, comme le « GEE » ou le « LORAN » (4), mais un dispositif permettant, de terre, de suivre la marche d'un avion, de le guider vers son objectif, de lui indiquer l'instant pré-

(1) Communication présentée à la Société des Radioélectriciens le 12 mars 1949.

(2) Il est généralement admis que le hautbois est l'un des instruments de l'orchestre dont il est le plus difficile de jouer convenablement. Or, et ainsi qu'il ressortira de l'exposé, les opérateurs actionnant les appareils de ce nouveau procédé de guidage, doivent être de véritables virtuoses, et avoir subi un long et délicat entraînement. D'où le nom choisi pour désigner l'ensemble du système.

(3) Système de navigation à impulsions, à coordonnées hyperboliques..., analogue au Loran, mais sur ondes plus courtes, et spécialement destiné à l'aviation.

(4) Voir la description du système Loran dans *L'Onde Electrique*, juillet 1949.

cis où il doit larguer ses projectiles pour atteindre ce dernier, et même de commander automatiquement à distance ce largage, au moyen d'un signal spécial actionnant, à bord de l'avion, un relais provoquant l'ouverture des soutes à bombes.

Le système permet de définir la position de l'avion à quelques mètres près, jusqu'à des distances importantes, limitées, toutefois, par les conditions de propagation des ondes métriques ou centimétriques utilisées, mais qui atteignent néanmoins 480 km environ, pour un avion volant à 10 000 mètres d'altitude.

On pourra également juger de la valeur des résultats obtenus en notant que l'erreur moyenne de bombardement, c'est-à-dire la distance moyenne entre les points de chute et le centre de l'objectif, pour un avion volant à 480 km à l'heure, et guidé à partir de stations situées à une distance de 180 km, est de l'ordre de 40 m si l'avion est à une altitude de 1800 m, et de 135 m si l'avion est à une altitude de 10 000 m. 10 % de cette erreur est imputable au dispositif OBOE lui-même, 45 % aux erreurs de vol du pilote, 30 % à l'incertitude des indications météorologiques (qui interviennent dans le calcul de la trajectoire de chute des bombes), et 15 % à des inégalités balistiques des projectiles.

La complexité de l'appareillage installé à terre et le fait qu'un ensemble OBOE ne peut, à un moment donné, s'occuper que d'un seul avion, ont, d'ailleurs, conduit à adopter la tactique suivante : seuls, quelques avions éclaireurs (pathfinders) sont équipés d'un OBOE, et guidés par les stations au sol. Arrivés sur l'objectif, ils laissent tomber des bombes éclairantes, qui signalent, ensuite, la zone à atteindre.

Pour les très grands raids, les éclaireurs se décomposent eux-mêmes, par exemple, en huit avions Mosquitos, munis du système OBOE, et dont chacun lance une bombe éclairante encadrant l'objectif, et en 20 gros avions Lancaster, qui, d'après les indications fournies par les Mosquitos, jettent d'autres bombes éclairantes et restent ensuite sur place pendant la durée du bombardement, de façon à renouveler l'éclairage en temps voulu. Le « Master Bomber », qui commande l'ensemble des bombardiers, se trouve à bord de l'un des Lancaster de repérage, et des liaisons radiotéléphoniques permettent naturellement toutes les communications nécessaires entre les divers avions, ou entre ceux-ci et le sol.

Quant à l'aviation américaine, elle opérait par groupes de 18 appareils, dont un seul équipé de l'OBOE, et chargé d'indiquer aux autres l'instant où il recevait le signal de largage.

II. — Principe

Deux stations de radars sont installées à terre, à une assez grande distance l'une de l'autre, avec des antennes à faibles propriétés directives (fig. 1). Elles émettent, toutes les deux, des impulsions, sur la même haute fréquence, mais avec des fréquences de répétition des impulsions différentes. L'avion A, suivi par les stations, porte un « répondeur » renvoyant des échos renforcés vers les stations, avec un certain retard, bien connu. La première station C

est dénommée « chat ». Elle évalue la distance à laquelle se trouve d'elle l'avion, et a pour mission de guider celui-ci sur une trajectoire circulaire MNP ayant pour centre la station, et passant par le point L où les bombes doivent être larguées pour atteindre l'objectif. A cet effet, et d'après les indications du radar, elle transmet, à l'avion, par radiotélégraphie, des « points » si celui-ci est trop près de la station, et s'il doit, par conséquent, s'en éloigner pour rencontrer la trajectoire circulaire à suivre, ou des « traits » si l'avion est trop loin, et s'il doit, par conséquent, se rapprocher, pour arriver à cette trajectoire. Quand l'avion est sur la trajectoire circulaire, la station envoie un trait continu de durée indéfinie (1).

La seconde station S, dite « souris », évalue également la distance à laquelle se trouve d'elle l'avion, mesure, en outre, la composante radiale de sa vitesse, et, sans s'inquiéter de la trajectoire suivie

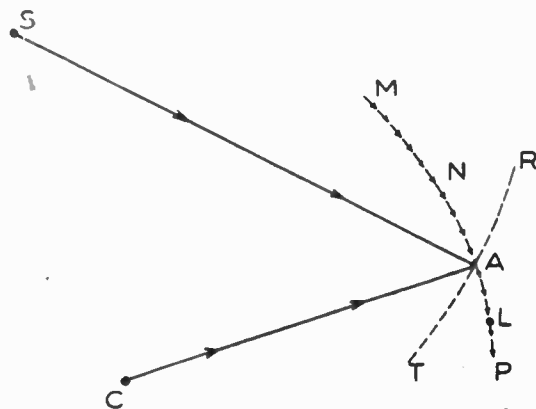


Fig. 1

— ce qui est l'affaire de la première station — indique à l'avion, tout d'abord, à quelle distance il se trouve du point de largage L des bombes et, ensuite, le moment précis où il doit effectuer ce largage, compte tenu de son altitude, de sa vitesse, de l'intensité et de la direction du vent dans la région. Bien entendu, tous les calculs de la trajectoire de chute des bombes dans diverses éventualités d'altitude et de circonstances météorologiques ont été préparés, au préalable, lors de la mise au point du raid.

Les indications fournies à l'avion par la station « souris » consistent en lettres successives de l'alphabet Morse, transmises par radiotélégraphie, et indiquant la durée de vol qui reste à effectuer avant le largage (à main ou automatique) des projectiles.

Les choses se passent donc de la manière suivante : le raid ayant été préparé, la trajectoire circulaire à

(1) Il est essentiel de noter que, bien que l'effet produit sur l'avion guidé soit le même, ce système de transmission est tout différent de celui des radioalignements à enchevêtrement qui créent dans l'espace des champs radioélectriques variant de telle façon que tous les avions qui se trouvent à droite de l'axe balisé entendent des points, que tous les avions qui se trouvent à gauche de cet axe entendent des traits, et que tous les avions qui se trouvent sur l'axe entendent un son continu. Ici, il s'agit simplement de transmissions télégraphiques qui, à un moment donné, sont reçues de la même façon par tous les avions qui peuvent les écouter et qui, par conséquent, ne peuvent être utilisées pour le guidage que par l'avion auquel elles sont destinées et dont l'écho, renforcé par le répondeur, apparaît sur les écrans des oscillographes de l'OBOE.

suivre déterminée, ainsi que les conditions du bombardement, notamment l'altitude à laquelle il sera effectué, l'avion navigue vers cette trajectoire en utilisant un procédé général de navigation, par exemple le système GEE. Lorsqu'il se trouve à environ 80 km de l'objectif, il se rapproche de la trajectoire circulaire MNP qu'il devra suivre, et sa distance à cette trajectoire lui est indiquée par la station « chat », qui lui envoie des points ou des traits, comme il a été exposé ci-dessus, et qui, de plus, interrompt cette émission de points ou de traits pour transmettre la lettre de l'alphabet Morse Z lorsque l'avion est à 24 km de la trajectoire, la lettre Y lorsqu'il en est à 16 km, et, enfin, la lettre X lorsqu'il en est à 8 km. Ensuite, les petits déplacements de l'avion, par rapport à la trajectoire, sont indiqués simplement par les points ou par les traits, qui permettent au pilote qui les entend au casque de rectifier son cap et sa route, — ou qui, dans certains essais, peuvent même agir directement sur un appareil de pilotage automatique.

L'avion étant ainsi guidé sur sa ligne d'approche MNP, la station « souris » lui transmet la lettre A, 10 minutes avant l'instant de larguage des bombes, puis les lettres B, C et D, respectivement 8, 6 et 3 minutes avant cet instant. C'est, cette fois, le navi-

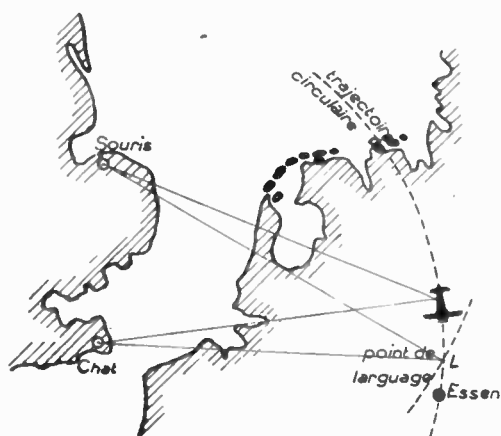


Fig. 2

gateur ou le bombardier qui entend dans son casque téléphonique ces lettres. Enfin, la station émet un signal spécial indiquant l'approche imminente du larguage. A son audition, le navigateur ou le bombardier appuie sur un bouton connectant, au récepteur OBOE du bord, le relais de larguage. Un instant après, la station envoie le signal proprement dit de commande du larguage, qui provoque automatiquement l'ouverture des soutes à bombes, et la chute de celles-ci.

Les deux stations suivent la marche de l'avion sur les écrans des oscillographes de leurs radars ; elles déterminent également la composante radiale, pour chacune d'elles, de la vitesse du bombardier, grâce à un appareil électronique automatique, lié au radar, et dénommé « Micestro ». La station « chat » enregistre la marche de l'avion et ses déviations par rapport à la trajectoire circulaire à suivre, et la station « souris » a également le moyen de connaître la durée

de chute des bombes, comme il sera expliqué plus loin.

Avec des opérateurs très entraînés, l'ensemble des opérations de bombardement, pendant lesquelles un groupe de deux stations OBOE s'occupe d'un avion déterminé, dure en moyenne une dizaine de minutes, et, par conséquent, le groupe de stations peut guider six avions par heure.

La fig. 2 montre, par exemple, la disposition des stations « chat » et « souris », qui ont été utilisées pour les bombardements de la région d'Essen.

Il y a, évidemment, intérêt à ce qu'au voisinage du point de larguage la direction de la station « souris » soit aussi voisine que possible de la tangente à la trajectoire circulaire qui a pour centre la station « chat ». L'emplacement des objectifs à bombarder ne permettait naturellement presque jamais de satisfaire à cette condition, mais on s'efforçait de s'en rapprocher autant qu'on le pouvait.

L'OBOE rentre ainsi dans la catégorie des dispositifs à impulsions et à estimation de distances, où les opérations sont effectuées au sol, et où la position cherchée est obtenue par l'intersection de deux arcs de circonférence (1).

Les dispositifs inverses, dans lesquels un avion porte un radar et actionne deux balises réceptrices et réémettrices, placées au sol — dispositifs dont fait partie, par exemple, le système américain « Shoran » — sont connus sous la désignation générale H ou GH, et ont également été très utilisés pendant les hostilités.

Chaque système présente naturellement ses avantages et ses inconvénients :

1°) A l'actif du système OBOE figurent, tout d'abord, une plus grande stabilité et une plus grande précision, puisque le matériel délicat est installé au sol, que la température de certains organes peut être stabilisée, et que les dimensions et le poids importent peu. Ce matériel est également protégé contre toute espèce de vibrations, ce qui n'est pas le cas des appareils installés à bord. L'estimation du point de chute des bombes s'effectue avec facilité, et, dans l'avenir, on peut envisager l'application du même procédé au guidage d'avions automatiques, ne possédant pas d'équipage, ou même de fusées.

L'inconvénient est qu'un groupe de stations ne peut s'occuper que d'un seul avion à la fois, et que la complexité du matériel exige des opérateurs spécialement entraînés, particulièrement pour les missions de guerre où toute erreur dans la détermination du point de larguage des bombes peut évidemment entraîner des conséquences d'une extrême gravité. Par ailleurs, ces opérateurs n'ont aucun moyen pratique de compléter les indications qui s'inscrivent sur les écrans de leurs oscillographes par une vision directe, même imparfaite, du but à atteindre, comme peut l'avoir un bombardier de bord, lorsqu'il s'agit d'opérations de jour tout au moins.

2°) Les systèmes H ont le grand avantage qu'un

(1) Voir *L'Onde Electrique*, Introduction à la Radionavigation, par P. DAVID — N° 262 — Janvier 1949.

couple de deux balises au sol peut être utilisé simultanément, sans saturation, par un grand nombre d'avions — une centaine par exemple — suivant, au besoin, des routes différentes. Il laisse au navigateur l'entière responsabilité de l'interprétation des indications obtenues, et il lui permet de compléter ces indications par celles de tout autre procédé de navigation, radioélectrique ou non. Par contre, des appareils délicats doivent être installés sur l'avion dans des conditions évidemment plus difficiles qu'à terre, et ils ne peuvent, pour le moment du moins, donner la même précision.

III. — Historique

D'après les publications anglaises, l'idée initiale de l'« OBOE » remonte à une note de mai 1941, présentée par l'Ingénieur A. H. Reeves, et qui proposait un dispositif comportant, à terre, deux stations émettant des impulsions synchronisées, et, à bord, un récepteur avec un indicateur visuel à aiguille, permettant à l'avion de suivre une trajectoire, lieu des points dont la différence des distances aux deux stations reste constante, trajectoire qui est, par conséquent, une hyperbole. L'une des stations mesurait, de plus, la composante radiale de la vitesse de l'appareil, et commandait automatiquement la chute des bombes.

La difficulté résidait, d'une part, dans la synchronisation des stations au sol, qui nécessitait une liaison entre elles, et, d'autre part, dans le fait qu'étant donné les régions où devaient avoir lieu les

bombardements, et les possibilités d'installation de stations en Grande Bretagne, la précision dans la détermination du point de largage risquait d'être insuffisante.

Après étude avec l'Ingénieur F. E. Jones, dans le courant de mai et de juin 1941, le dispositif fut modifié, et devint l'« OBOE », qui évite les deux inconvénients précités. L'équipe d'Ingénieurs, qui mit au point les divers appareils, comprit, entre autres, J. C. N. Cooper, C. L. Smith, P. Redfern, A. J. Blanchard, D. E. Bridges, F. Harrison, E. Rollinson, B. Milnes, F. C. Williams (ce dernier, notamment, pour le dispositif de « strobe mobile » qui sera décrit plus loin), et les constructeurs qui participèrent aux réalisations définitives furent principalement Pye Radio, Standard Telephones and Cables, Metropolitan Vickers et la General Electric Co Britannique.

Les premiers appareils, construits dans les laboratoires d'étude du « Telecommunications Research Establishment », et connus sous le nom de « OBOE MARK I » utilisaient des ondes de 1,50 m de longueur, car, en 1942 les magnétrons permettant de produire des ondes de 10 cm, avec une puissance notable, n'étaient pas encore entrés suffisamment dans la pratique, tandis que les appareils industriels construits par les firmes qui viennent d'être énumérées fonctionnèrent ensuite, en 1943, sur une longueur d'onde voisine de 10 cm ce qui permettait de produire des impulsions ayant un « front » plus raide, entraînant une plus grande précision dans la détermination de la distance de l'avion guidé.

DEUXIÈME PARTIE

RAPPELS DE LA TECHNIQUE DES IMPULSIONS

Avant d'aborder la description des divers appareils utilisés dans l'« OBOE », il ne paraît pas inutile de rappeler un certain nombre de principes et quelques dispositifs employés dans la technique des impulsions, ce qui allégera, d'ailleurs, la suite de l'exposé.

I. — Obtention d'impulsions

Tout radar de précision comporte un générateur produisant des impulsions à une fréquence bien constante, ce générateur étant stabilisé par quartz dans les appareils les plus précis. Ce sont ces impulsions qui, convenablement choisies, servent, les unes à déclencher le balayage des faisceaux des oscillographes cathodiques, les autres, après amplification suffisante, à exciter l'émetteur du radar et à provoquer l'envoi d'un train d'ondes, d'autres, enfin, à créer, sur les écrans des oscillographes, des échelles de temps exactes qui, étant donné la constance de la vitesse de propagation des ondes radioélectriques, constituent également des échelles de distance des buts perçus. Dans les radars comportant des oscillographes PPI (ce qui n'est pas le cas, d'ailleurs, des radars de l'« OBOE »), ces mêmes impulsions servent à réaliser, le cas échéant, des cercles marqueurs de

distance, de rayon constant, ou un cercle marqueur de distance, de rayon variable au gré de l'opérateur.

Les procédés pour créer de telles suites d'impulsions sont nombreux, et on se bornera à rappeler les divers montages de multivibrateurs, ou, d'une façon plus générale, d'oscillateurs à relaxation, d'oscillateurs bloqués, etc...

Dans le cas de l'« OBOE » où, étant donné la précision requise, on a besoin d'une très grande constance de la fréquence, on part du courant sinusoïdal produit par un oscillateur à quartz en thermostat, très bien stabilisé, que l'on déforme d'abord au moyen de plusieurs étages amplificateurs distordeurs, écrétant la sinusoïde produite, en lui donnant la forme de la courbe S de la figure 3.

On en fait ensuite découler, au moyen du montage à résistance et capacité qui sera indiqué ci-contre, un courant dont la valeur est la dérivée du courant précédent, ce qui engendre deux séries d'impulsions décalées, les unes positives, i_1 , i_2 , les autres négatives, i'_1 , i'_2 , i'_3 , etc... Au moyen d'une diode redresseuse, convenablement montée, on peut supprimer soit la chaîne des impulsions positives, soit la chaîne des impulsions négatives, et aboutir ainsi à une suite d'impulsions de même sens, de fréquence parfaitement liée à celle du quartz.

Si l'on voulait plus de raideur dans les fronts des impulsions, on pourrait différentier une seconde fois le courant, ce qui donnerait, pour chaque impulsion, i_1 , i_2 , etc ... un groupe de deux impulsions

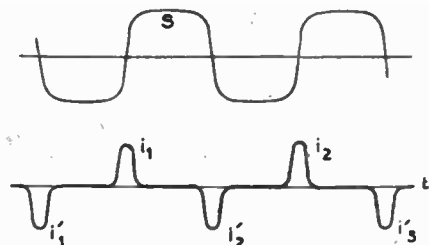


Fig. 3

très brèves, l'une positive et l'autre négative, et l'on ferait, ensuite, disparaître l'une des deux au moyen d'une diode, comme précédemment.

II. — Addition, différentiation, intégration

Une fois obtenu un courant ou une tension d'une certaine forme — par exemple reproduisant une suite d'impulsions — on peut avoir à se livrer à un certain nombre de manipulations de cette forme, en vue de satisfaire à tel ou tel besoin. Toutes les opérations de l'algèbre peuvent être ainsi réalisées sur la valeur instantanée du courant, au moyen de dis-

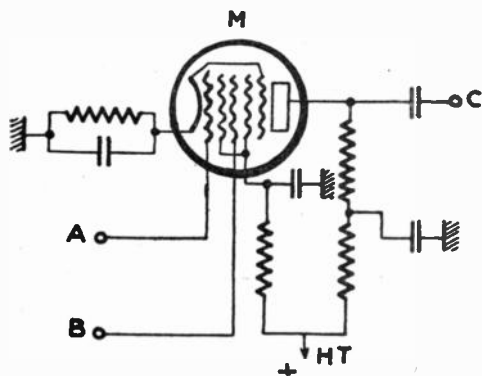


Fig. 4

positifs électriques ou électroniques. On se bornera à donner les exemples suivants, qui trouvent des applications dans l'« OBOE » :

a) *Addition d'impulsions.* — Si l'on dispose de deux chaînes d'impulsions dont on veut ajouter les effets, on peut, sans doute, le faire simplement en les appliquant aux bornes de résistances mises en série dans un même circuit, mais on préfère, pour éviter les réactions, appliquer chacune d'elles, par A et B, à l'une des grilles d'une lampe mélangeuse M (fig. 4).

Dans des conditions convenables de linéarité, on recueille alors, en C, sur la plaque de cette lampe, une tension qui, avec un changement de signe, est la somme de la tension appliquée en A et de la tension appliquée en B, multipliée par un certain coefficient. C'est ainsi que l'on peut, par exemple, ajouter à une chaîne d'impulsions ayant une cer-

taine fréquence, une chaîne ayant une fréquence sous-multiple de la première, ce qui réalise un renforcement de certaines impulsions, pour créer une échelle des temps facilement interprétable.

La bonne addition des tensions nécessite naturellement un réglage convenable de la phase des valeurs appliquées, ce qui ne présente, d'ailleurs, pas de difficultés particulières, et peut s'obtenir, par exemple, par un réglage convenable de la tension moyenne de grille de l'un des amplificateurs distordeurs.

b) *Différentiation.* — Si l'on applique une certaine tension V_1 aux extrémités d'un circuit comportant en série une capacité C et une résistance R (fig. 5), on obtient, aux bornes de cette résistance,

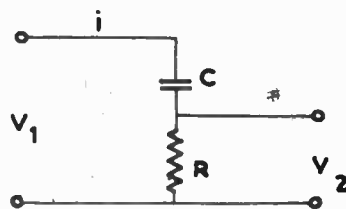


Fig. 5

une tension V_2 . Si R est assez faible, et si Q est la charge du condensateur C , on peut écrire.

$$Q = C V_1$$

$$i = C \frac{dV_1}{dt}$$

$$\text{d'où : } V_2 = Ri = RC \frac{dV_1}{dt}$$

La tension V_2 se trouve donc proportionnelle à la dérivée de V_1 et c'est par ce procédé que, sur la fig. 3, on est passé de la courbe S aux courbes des impulsions (1).

c) *Intégration.* — De la même façon, le montage de la fig. 6 permet d'obtenir une tension V_2 qui est

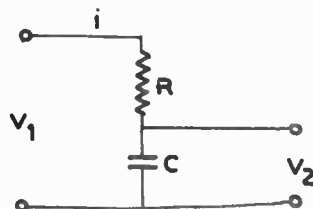


Fig. 6

la primitive de la tension V_1 , appliquée aux bornes de l'ensemble RC , sous réserve que la capacité C soit assez forte pour que la plus grande partie de la

(1) On peut remarquer également que le système de la fig. 5 fonctionne comme un filtre « passe-haut ». Si, dans le développement en série de Fourier de la tension V_1 , on supprime ou on réduit les termes des fréquences les plus basses, pour augmenter, par contre, la valeur relative des termes des fréquences les plus élevées, le développement de la fonction ainsi obtenue se rapproche du développement en série de Fourier de la dérivée de V_1 .

tension V_1 puisse être considérée comme appliquée aux bornes de R .

Une courbe de tension, telle que la courbe S de la fig. 7, se trouve, alors, transformée en une courbe telle que S' comportant des segments successifs, presque rectilignes.

Un autre procédé d'intégration est le montage à pentode, dit « Intégrateur de Miller », que représente la fig. 8, et qui est caractérisé par la présence d'un

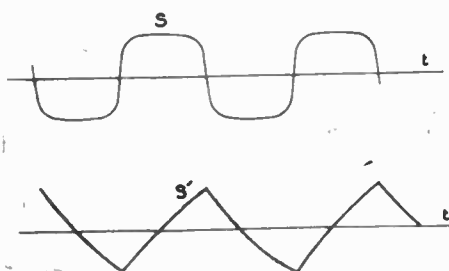


Fig. 7

condensateur C reliant la grille et la plaque de la lampe. Sans s'étendre sur la théorie de ce dispositif, on se bornera à rappeler que, grâce à l'effet de réaction de la capacité C , qui reporte sur la grille une fraction convenablement déphasée de la tension

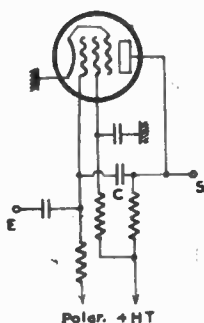


Fig. 8

apparaissant sur la plaque, la tension de l'anode a , en définitive, une forme telle que sa dérivée est une fonction linéaire de la tension appliquée à la grille (comparer avec le schéma de la fig. 5).

III. — Le « Phantatron »

Ce nom bizarre a été donné par les techniciens britanniques à un montage particulièrement simple utilisant une lampe pentode spéciale, et qui peut jouer des rôles multiples, analogues à ceux joués dans les appareils américains par certains multivibrateurs à couplage par cathode. Le « Phantatron » appartient à la série des montages dits « monostables », ce qui signifie qu'ils ont une seule position de stabilité, et que, si on les en écarte, par exemple sous l'action d'une impulsion de tension, appliquée en un point convenablement choisi, ils y reviennent, après un processus plus ou moins complexe, durant

un laps de temps bien déterminé, qui dépend des caractéristiques du montage (1).

Les « Phantatron » sont employés en très grand nombre dans l'« OBOE », et pour remplir des fonctions extrêmement variées (retardement d'impulsions, modulation par déplacement d'impulsions, division de fréquence, sélection d'une impulsion déterminée dans une chaîne d'impulsions, etc ...).

Il semble que l'une des raisons de la vogue de ce montage en Grande-Bretagne est que, outre sa simplicité, il fonctionnait particulièrement bien avec une lampe pentode, dénommée VR 116, dont les caractéristiques étaient parfaitement adaptées à cette réalisation (2) (grandes pentes, de 3 milliampères par volt, aussi bien par rapport à la grille de commande que par rapport à la grille supprimeur, et tension de grille de commande annulant le courant-plaque relativement faible, de l'ordre de 10 volts).

La fig. 9 représente le schéma le plus classique du « Phantatron », qui dérive de l'intégrateur de Miller, et comporte également une capacité C_1 reliant la première grille g_1 et l'anode a . Mais c'est ici la grille supprimeur g_2 qui joue le rôle d'électrode d'entrée, à laquelle on appliquera des impulsions. La lampe fonctionne avec un courant total de cathode peu variable, qui, en l'absence d'impulsions

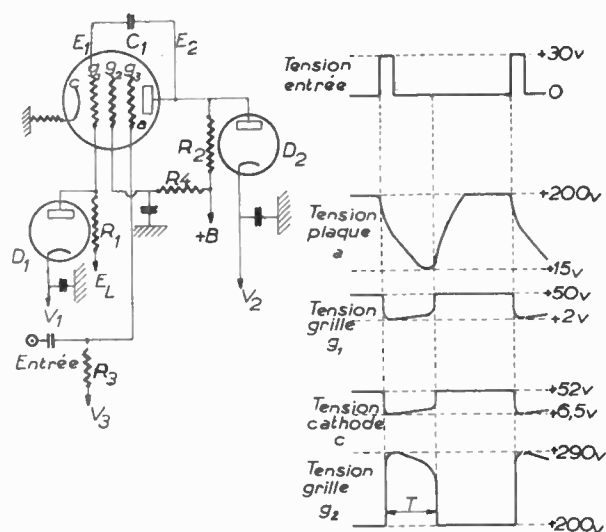


Fig. 9

(et comme conséquence de la polarisation négative par rapport à la cathode que possède la grille g_2 dans l'état de repos) se rend entièrement à la seconde grille g_2 , et pas du tout à l'anode a . La grille g_3 fonctionne, en somme, comme un robinet réglant la répartition de ce courant entre g_2 et a .

(1) D'une façon analogue, un ensemble est dit « astable » s'il n'a pas de position de stabilité, et s'il oscille, par conséquent, en permanence, comme, notamment, le multivibrateur Abraham-Bloch. Il est dit « bistable » s'il a deux régimes de stabilités, A et B, une impulsion convenablement appliquée le faisant passer du régime A au régime B, et une seconde impulsion, du régime B au régime A. Ces derniers dispositifs sont utilisés, en particulier, pour la détection des signaux modulés par paires d'impulsions.

(2) Parmi les lampes américaines, l'une des plus convenables pour la réalisation d'un « Phantatron » est la lampe 6AS6, qui est, toutefois, moins favorable que la lampe anglaise VR 116, ou son analogue AC/SP1. La lampe 6SA7 peut convenir également.

Les courbes de la fig. 9 montrent les variations d'un certain nombre de tensions. Au repos, le courant-plaque est nul, et la tension de l'anode atteint, par conséquent, une valeur élevée, de l'ordre de 200 volts et fonction de la haute tension d'alimentation et de la tension V_2 , à laquelle est portée la cathode de la diode D_2 . La cathode de la pentode est portée à une tension positive par rapport à la masse, du fait de la résistance intercalée dans son circuit, et la grille g_1 est également portée à une tension positive, mais un peu inférieure à celle de la cathode. Tout le courant de cathode aboutissant à la grille écran g_2 , celle-ci est à un potentiel positif, mais relativement bas, du fait de la chute de tension dans la résistance R_4 .

Enfin, la grille g_3 est à un potentiel positif par rapport au sol, mais assez notablement inférieur à celui de la cathode pour qu'elle bloque complètement le courant-plaque. Lors de l'application d'une impulsion positive élevant, pendant un court instant, la tension de g_3 au-dessus de la tension de la cathode, un courant-plaque va naître, et la tension de l'anode a va, par conséquent, s'abaisser, du fait de la chute dans la résistance R_2 , qui est très élevée. Cet abaissement se répercute, par le condensateur C_1 , sur la grille g_1 , dont le potentiel tombe, ce qui réduit quelque peu le courant de cathode et abaisse, par suite, corrélativement, le potentiel de celle-ci par rapport au sol. La différence de potentiel, toujours négative, entre g_1 et la cathode c , s'accroît légèrement, en liaison avec la réduction du courant de cette dernière. Le potentiel de la cathode s'étant abaissé, la grille g_3 n'est plus négative par rapport à elle, et ne bloque par conséquent plus le courant plaque, même lorsque l'impulsion de courte durée, qui lui a été appliquée, a cessé. Le courant plaque continue donc à décroître, l'action se poursuivant du fait de la présence du condensateur C_1 qui réagit sur la grille g_1 et sur le courant total de la cathode. La variation du courant plaque qui a commencé par une chute brusque, reste, ensuite, linéaire pendant assez longtemps, et la rapidité de chute peut être évaluée par l'expression :

$$\frac{E_L}{R_1 C_1}$$

ce qui, pratiquement, pour les valeurs normalement adoptées, conduit à environ 1 volt par microseconde.

Le moment vient, toutefois, où la tension plaque arrive à une valeur très basse, et où le courant ne peut continuer à augmenter, du fait même de cette valeur. Dès lors, le condensateur C_1 ne maintient plus une polarisation faible de la grille g_1 et le potentiel de celle-ci remonte, entraînant une certaine augmentation du courant total de cathode, qui provoque, à son tour, le relèvement de la tension de cette dernière. La grille g_3 redevient alors très négative par rapport à la cathode, et elle reprend son rôle de robinet qui se ferme, arrêtant brusquement le courant plaque. C'est le « point de déclenchement » (trigger point), qui provoque une élévation immédiate correspondante du courant de la grille g_3 , entraînant un abaissement brusque de la tension de cette grille.

A partir de ce moment, la tension plaque remonte, sa vitesse de remontée étant fonction de la constante de temps $R_2 C_1$; c'est donc à peu près exponentiellement que la tension de l'anode revient à sa valeur initiale. Le cycle est ainsi terminé, et il peut se reproduire dès qu'une nouvelle impulsion sera appliquée à la grille g_3 .

La réduction de tension plaque pendant la première partie du phénomène a entraîné, grâce au condensateur C_1 , un abaissement de la tension de la première grille g_1 ; mais il est essentiel d'obtenir que l'augmentation exponentielle de tension-plaque, après le point de déclenchement, ne provoque pas, à son tour, une élévation continue de cette même tension grille, élévation qui ne serait limitée que par la décharge du condensateur C_1 par la résistance R_1 , de grande valeur. Tel est le but de la diode D_1 , dont la cathode est portée à une tension V_1 , un peu inférieure à E_L . Cette diode intervient, d'une part, dans la fixation de la tension moyenne de grille pendant la période de repos, et, d'autre part, pendant la période où la tension plaque remonte, écrétant alors la remontée de tension de g_1 .

Quant à la diode D_2 , connectée à l'anode, elle remplit un double rôle :

a) Pendant la période de repos, elle stabilise la valeur de la tension de l'anode, comme D_1 stabilisait la valeur de la tension de la grille g_1 ; elle réduit, en même temps, les inégalités de fonctionnement pouvant provenir du fait que, d'une lampe pentode à une autre, le courant résiduel de plaque, de valeur très faible, qui subsiste en réalité dans l'état de stabilité, peut, en valeur relative, varier notablement, ce qui modifie la tension d'anode et change, par suite, la durée de fonctionnement du « Phantastron ». Avec la diode D_2 , dont la cathode est portée à un potentiel V_2 réglable et inférieur à celui de la haute tension B , le potentiel de a est principalement fixé par le courant qui traverse la diode, et il varie moins avec le courant plaque résiduel de la pentode.

b) En second lieu, lorsque, après le point de déclenchement, la tension plaque remonte, son retour au régime de stabilité ne fait intervenir, grâce à la présence de la diode D_2 , que la constante de temps $R_2 C_1$, ou même une valeur inférieure, alors qu'en l'absence de diode, la montée de la tension serait plus lente.

Le « Phantastron » permet ainsi, à partir d'une certaine impulsion, de provoquer diverses variations des tensions-plaque ou grilles, ayant une durée bien déterminée, et fonctions des valeurs des éléments du montage et de certaines tensions des électrodes, facilement réglables. La durée de la variation de la tension plaque n'est, toutefois, pas très constante d'une impulsion à la suivante, du fait de la remontée de tension qui se produit et se termine exponentiellement. Au contraire, la variation de la tension de g_2 commence et se termine très rapidement, et sa durée T est, par conséquent, très bien définie : c'est, en général, elle, qui est utilisée, par exemple, pour retarder de cette durée des impulsions successives, comme on le verra plus loin.

La méthode d'excitation du « Phantastron »,

par application d'impulsions positives sur la troisième grille, n'est pas la seule utilisée. On peut également appliquer des impulsions — mais alors négatives — soit sur la cathode de D_1 , ce qui excite la première grille, soit sur la cathode de D_2 , ce qui agit sur la plaque de la pentode. On trouvera des applications de ces modes d'excitation dans divers organes de l'« OBOE ».

IV. — Le « Sanatron »

Le « Phantatron » produit une variation de la tension de son anode linéaire pendant un certain laps de temps, et qui pourrait, à la rigueur, être utilisée pour provoquer le balayage des faisceaux électroniques des oscillographes cathodiques des radars. Néanmoins, cette linéarité est loin d'être parfaite, et, comme on désire une grande précision, on fait appel, pour ce balayage, à un montage plus complexe, dit « Sanatron », que reproduit la fig. 10, et qui possède l'avantage de provoquer une variation beaucoup plus linéaire de la tension de l'anode de la lampe V_2 .

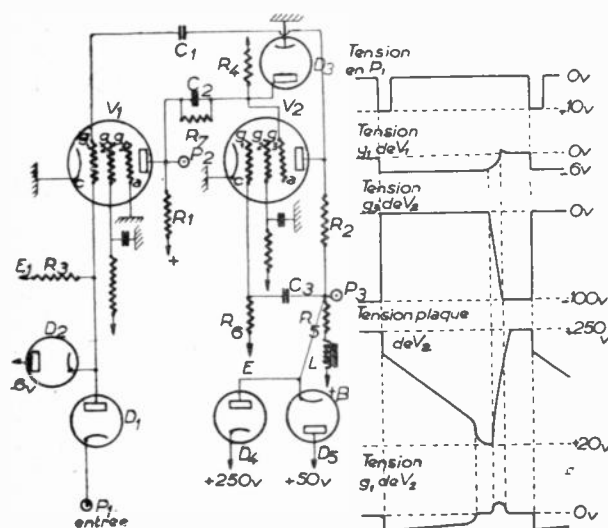


Fig. 10

L'application d'une impulsion négative en P_1 annule le courant de cathode de la lampe V_1 , ce qui fait monter la tension d'anode et provoque une impulsion positive sur la grille supprimeur g_3 de la lampe V_2 . Comme dans le « Phantatron », il s'ensuit une augmentation du courant plaque de V_2 , et, par conséquent, un abaissement de la tension de son anode a , suivant la forme représentée sur les courbes de droite de la figure.

Le condensateur de réaction C_1 maintient à une valeur négative basse la polarisation de la grille g_1 de la première lampe, même lorsque l'impulsion initiale a cessé. Lorsque la tension plaque de V_2 s'est suffisamment abaissée, et que l'on arrive dans la partie courbée de la caractéristique, la tension de la première grille de V_1 ne peut plus être maintenue basse, et elle remonte, entraînant une augmentation du courant de cathode et une baisse de la tension d'anode, provoquant le retour de la polarisation de

la grille g_3 de V_2 à une valeur telle qu'elle réduit le courant plaque de cette lampe et augmente corrélativement le courant de la grille g_2 . On se trouve au « point de déclenchement » et, à partir de là, la tension plaque de V_2 remonte exponentiellement, en fonction des constantes de temps du circuit. Le système revient à sa position initiale et est prêt à être excité par une nouvelle impulsion.

Les caractéristiques du montage sont telles que, grâce, notamment, à la présence de la bobine de self L , les variations de la tension d'anode de V_2 ou les variations de tension de la borne de sortie P_3 , sont très linéaires en fonction du temps, pendant une période assez longue. Ce sont elles que l'on recueille, et que l'on applique aux plaques de déviation horizontale de l'oscillographe pour provoquer le balayage désiré. Pratiquement, le circuit peut être réglé pour obtenir, à volonté, des variations allant de 1 volt par seconde jusqu'à 50 volts par microseconde.

Il est essentiel que les impulsions appliquées soient négatives, et que, si ces impulsions résultent du redressement d'une série d'impulsions alternativement négatives et positives, comme celles de la fig. 3, tous résidus d'impulsions positives, qui pourraient déclencher un autre mode de fonctionnement du « Sanatron », soient éliminés. Tel est le rôle de la diode D_1 , tandis que la diode D_2 , dont la plaque est portée à une tension constante de — 6 volts, limite à cette valeur les impulsions appliquées, et les rend, par conséquent, bien égales entre elles.

La diode D_3 évite que la grille g_3 de la lampe V_2 puisse, au cours du cycle de fonctionnement, prendre un potentiel positif par rapport à la cathode c de cette même lampe, ce qui entraînerait une émission secondaire de g_3 .

Quant aux diodes D_4 et D_5 , elles ont un rôle analogue à la diode D_2 de la fig. 9, et stabilisent les périodes de repos du « Sanatron » entre deux excitations, tout en réduisant la durée de retour de la tension plaque de V_2 à sa valeur initiale.

Comme pour le « Phantatron », on peut, d'ailleurs exciter le « Sanatron » par d'autres moyens que celui indiqué et, notamment, par une impulsion négative appliquée à la cathode de la diode D_4 , impulsion qui se trouve reportée sur la grille g_1 de la pentode V_1 par le condensateur C_1 . On peut aussi appliquer une impulsion négative de plus grande amplitude à la grille g_3 de V_1 , ce qui bloque le courant-plaque de cette lampe, accroît la tension de son anode et augmente le potentiel de la grille g_3 de V_2 .

On signalera, enfin, qu'il existe diverses variantes du montage, destinées à accroître encore la constance de la période de fonctionnement, malgré les fluctuations des tensions d'alimentation, ou les variations des caractéristiques des lampes.

V. — Modification des caractéristiques des impulsions

Des impulsions successives ayant été obtenues comme il a été indiqué ci-dessus, on peut être amené à vouloir modifier leurs caractéristiques, par exemple en réduisant ou en augmentant la largeur de chacune d'elles, ou en modifiant sa position.

a) *Largeur*. — La réduction de la largeur des impulsions, destinée, en particulier, à leur donner un « front » plus raide et à mieux préciser leur position dans le temps, s'obtient en différentiant le courant ou la tension, ce qui remplace chaque impulsion initiale par un groupe de deux impulsions, l'une positive, l'autre négative, de durées beaucoup plus faibles, et en éliminant, ensuite, les impulsions d'un certain signe, par l'action d'une diode.

Si l'on veut, au contraire, accroître la durée des impulsions, on pourra utiliser un « Phantatron » à la grille-suppresseur duquel on appliquera les impulsions initiales ; sur sa grille-écran, on recueillera (fig. 9 — courbe de droite de la figure) des impulsions de même signe que les premières, débutant au même moment qu'elles, mais ayant une durée T indépendante de leur durée, et réglable à la volonté de l'opérateur, en modifiant les caractéristiques du circuit du « Phantatron », ou certaines des tensions moyennes d'alimentation des électrodes.

b) *Position*. — Il peut être nécessaire de décaler d'un certain laps de temps, constant ou lentement variable, les impulsions successives d'une chaîne. Pour ce faire, on appliquera ces impulsions à un « Phantatron », on recueillera les impulsions de durée plus longue sur le circuit de sa grille-écran g_2 , on différenciera le courant correspondant, ce qui donnera des impulsions positives coïncidant sensiblement avec les impulsions initiales, et des impulsions négatives se produisant un temps T après elles. On éliminera les premières impulsions par une diode, et on aura ainsi atteint le résultat souhaité.

Dans certains cas, T sera fixe ; dans d'autres cas, on pourra faire varier d'une certaine manière la valeur de T , en modifiant la tension d'alimentation d'une électrode du « Phantatron », ce qui permettra de moduler en position les impulsions résultantes.

VI. — Multiplication et division de la fréquence

Pour multiplier la fréquence d'une chaîne d'impulsions provenant d'oscillations sinusoïdales stabilisées par un quartz, il suffit de déformer ces oscillations et de faire résonner dans un circuit accordé un certain harmonique de la fréquence fondamentale de ce quartz. On écrétera, ensuite, la tension obtenue, et on en tirera des impulsions, suivant le procédé de la fig. 3.

Quant à la division (ou démultiplication) de la fréquence d'une chaîne d'impulsions, elle peut être obtenue de bien des façons. La méthode utilisée dans l'OBOE consiste à faire appel, une fois de plus, à un « Phantatron ».

Représentons, à la partie supérieure de la fig. 11, la série des impulsions initiales de fréquence F , et supposons que l'une d'elles, a , par exemple, excite par la plaque le « Phantatron », en déclanchant le processus décrit précédemment, les caractéristiques des circuits étant réglées pour que la durée de fonctionnement de l'appareil soit assez longue.

La partie médiane de la figure montre les variations de la tension-plaque, qui revient à sa valeur initiale entre les impulsions b et c , de telle façon que le « Phantatron » soit de nouveau déclenché par l'impulsion c . En différenciant, soit la tension de

cathode, représentée à la partie inférieure, soit la tension de grille-écran, et en éliminant les impulsions positives, on extraira, dès lors, de l'appareil, une série d'impulsions coïncidant successivement avec les impulsions a , c , etc ..., c'est-à-dire dont la fréquence sera un sous-multiple de la fréquence

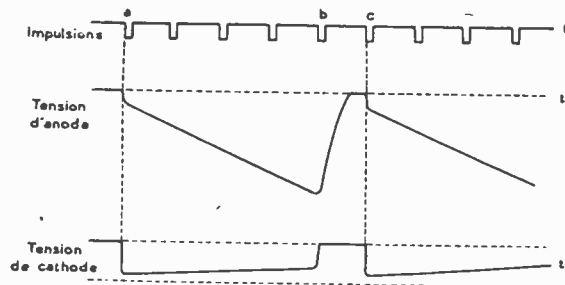


Fig. 11

initiale. La stabilité du fonctionnement nécessite naturellement que le retour à sa valeur initiale de la tension plaque s'effectue bien toujours entre les deux mêmes impulsions b et c , quelles que soient les variations des caractéristiques du montage ou les fluctuations normales des tensions d'alimentation. Ceci limite le nombre par lequel on peut diviser la fréquence. Pratiquement, on peut aller jusqu'à des valeurs de l'ordre de 10, et, avec des sources bien stabilisées, jusqu'à des valeurs de l'ordre de 20, comme on le verra ci-dessous. C'est, d'ailleurs, toujours par la plaque que l'on excite les Phantatrons diviseurs, les excitations par la grille supresseur ou par la cathode ne permettant pas d'obtenir la même stabilité.

Si l'on veut diviser la fréquence par un nombre plus grand, on agit par opérations successives, en deux ou plusieurs « Phantatrons ».

On pourrait également utiliser des « Sanatrons », dont la stabilité serait encore meilleure, mais il a été estimé inutile de compliquer davantage les montages dans l'OBOE.

VII. — Sélection d'une impulsion

Il est, enfin, un dernier problème qui se pose dans le domaine des impulsions et qui n'est, d'ailleurs, pas très différent du problème de la division de la fréquence examiné précédemment. C'est celui qui consiste, en partant d'une certaine impulsion de référence, faisant partie de la chaîne d'impulsions considérée, ou, plus souvent, distincte des impulsions de cette chaîne, et transmise dans un circuit différent, de « sélectionner » une impulsion bien déterminée de la chaîne, se produisant un temps fixé après l'impulsion de référence. Ici encore, c'est au « Phantatron » que l'on fait appel, avec un montage légèrement modifié (fig. 12).

On appliquera, par exemple, l'impulsion de référence à la première grille du « Phantatron », par l'intermédiaire de la diode habituelle D_1 , de manière à le faire quitter son régime stable. La chaîne d'impulsions dont il s'agit de sélectionner l'une d'elles, sera appliquée, elle, comme dans le montage classique, à la grille-suppresseur g_3 , mais avec une polarité

négligeable. Les courbes de droite de la figure montrent le fonctionnement du dispositif, les deux premières échelles reproduisant les impulsions de référence appliquées en A et la chaîne d'impulsions appliquée en B. L'impulsion de référence provoque l'abaissement brusque de la tension de cathode c , et, corrélé-

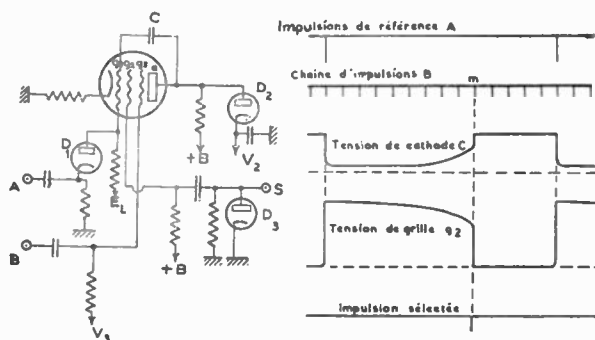


Fig. 12

tivement, l'élévation de la tension de la grille g_2 . Au bout d'un certain temps, la tension de cathode remonte, d'abord assez lentement, et il arrive un moment où l'addition à la tension moyenne de la grille g_2 de la tension négative supplémentaire due à une

impulsion m de la chaîne, provoque la fermeture du « robinet » constitué par cette grille, ce qui correspond au point de déclenchement du « Phantastron ». Alors, la tension de cathode c revient brusquement à sa valeur initiale, tandis que la tension de la grille g_2 tombe. En différenciant la tension de cette grille (par le montage habituel à résistance et capacité), on obtiendra, à la sortie S de l'appareil, une impulsion négative sélectionnée, correspondant à l'impulsion m .

La diode D_3 a pour but d'éviter que la tension de S puisse jamais devenir positive.

Le choix de l'impulsion sélectionnée, à partir de l'impulsion de référence, dépend de la durée de fonctionnement du « Phantastron », que l'on règle par la tension V_2 , appliquée à l'anode a par l'intermédiaire de la diode D_2 . Le bon accrochage de la fin de la variation de la tension de cathode sur une impulsion déterminée de la chaîne nécessite également un réglage précis de la tension V_3 , à laquelle est portée la grille g_2 .

Grâce à ce montage, on peut facilement, si l'on dispose, par exemple, d'une chaîne d'impulsions espacées entre elles de 50 microsecondes, sélectionner n'importe laquelle de ces impulsions, entre la première et la sixième.

TROISIÈME PARTIE

DESCRIPTION DE L'ÉQUIPEMENT INSTALLÉ A TERRE

I. — Dispositions générales

Les deux radars installés à terre, qu'il s'agisse de celui de la station « chat » ou de celui de la station « souris », sont, en fait, identiques, et permettent tous deux de mesurer, d'une part, la distance de l'avion, d'autre part, la composante radiale de sa vitesse. Une série de commutateurs permet de les faire fonctionner à volonté en station de guidage (chat) ou en station de langage (souris).

Comme on l'a déjà indiqué, les deux appareils émettent sur la même haute fréquence, la haute fréquence de réponse du répondeur de l'avion étant également la même pour les deux radars à terre, mais un peu décalée par rapport à la fréquence commune d'émission de ces derniers. Cette identité de fréquences d'émission n'entraîne, toutefois, pas de brouillage de l'une des stations par l'autre, car, les fréquences de répétition d'impulsions étant différentes, et la fréquence du balayage de l'oscillographe du radar d'une station étant synchrone de la fréquence de répétition de ces impulsions, seules, les réponses de l'avion destinées à cette station, sont rendues stationnaires sur les écrans des oscillographes, et sont visibles. Les réponses correspondant à l'autre station sont bien reçues, mais donnent des échos se déplaçant très rapidement sur les écrans, et qui n'apparaissent pas à l'œil.

Pratiquement, et comme on le verra ci-dessous, la fréquence de répétition d'impulsions de la station

« chat » est d'environ 133 c/s et la fréquence de répétition de la station « souris » est d'environ 97 c/s ces deux fréquences étant obtenues par division de la fréquence de l'oscillateur à quartz qui produit

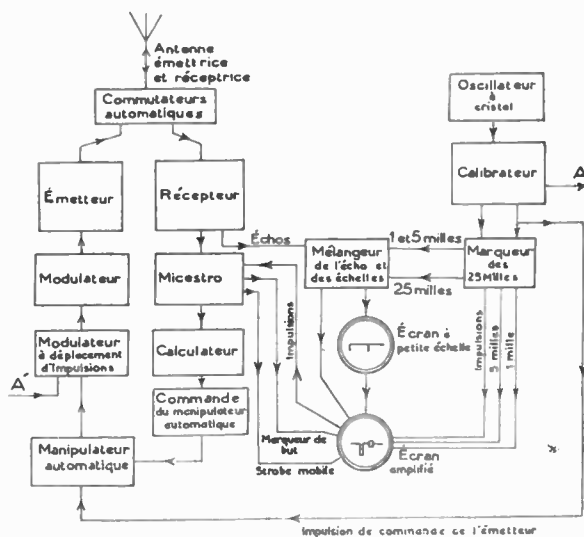


Fig. 13

également les diverses échelles de temps et de distance.

La fig. 13 montre la disposition générale schéma-

tique d'une station, qui comprend l'antenne émettrice et réceptrice du radar, avec les systèmes de commutation automatique habituels, par tubes TR et anti-TR, raccordant l'antenne à l'émetteur au moment où celui-ci va émettre une impulsion, et au récepteur immédiatement après. L'émetteur lui-même est alimenté par un modulateur, déclenché à partir de l'oscillateur à cristal. Le récepteur envoie les courants provenant des réponses de l'avion vers un oscillographe dont le spot se déplace horizontalement sous l'action d'une tension de balayage en dents de scie, produite par un « sanatron » non représenté sur la figure. Le déclenchement et la synchronisation du balayage sont provoqués par une impulsion de référence, provenant de l'oscillateur à cristal, et se produisant 50 μ s environ avant l'impulsion déclanchant l'émission du radar. Les tensions provenant de la réception directe de cette émission, comme les tensions des réponses de l'avion, provoquent des déplacements plus ou moins importants du spot vers le bas, de façon à réaliser la présentation de l'oscillographe dite « du type A ».

La distance de l'avion peut ainsi être appréciée par la distance du petit crochet correspondant à la réponse au grand crochet initial correspondant à la réception directe de l'émission du radar, et l'on pourrait se borner à disposer, à cet effet, le long de la trace horizontale produite par le spot, une échelle graduée en milles. On sait, toutefois, que la vitesse de déplacement horizontal du spot n'étant pas absolument constante tout le long du diamètre horizontal de l'oscillographe, et pouvant, d'ailleurs, varier légèrement avec le temps, il est d'usage courant d'éviter l'emploi d'une échelle géométrique, et de faire apparaître sur l'oscillographe une échelle des temps, qui devient une échelle des distances, produite par une ou plusieurs chaînes d'impulsions déviant le spot également vers le bas. A cet effet, les réponses provenant de l'avion sont, tout d'abord, envoyées dans un mélangeur, où elles s'ajoutent à une chaîne d'impulsions permettant d'obtenir, suivant le cas, des échelles graduées en distance tous les milles, ou tous les 5 milles, ou tous les 25 milles, et provenant de l'oscillateur à cristal.

Sur le premier oscillographe dont il vient d'être question, et qui permet de voir tout l'intervalle des distances entre le radar et le but, on obtient ainsi, à l'aide d'impulsions de 5 milles et d'impulsions de 25 milles, une échelle graduée de 5 milles en 5 milles, avec, tous les 25 milles, une dent plus importante, facilitant le comptage.

Sur un second oscillographe, de dimensions identiques au premier, on peut faire apparaître, très amplifiée, une petite partie de l'échelle du premier écran, ce qui permet beaucoup plus de précision dans la détermination de la position de l'avion. Le balayage de ce second oscillographe est obtenu par un second « sanatron », non représenté sur la figure, et qui est déclenché à partir de l'une des impulsions de 1 mille, convenablement sélectionnée.

L'oscillateur à cristal, qui commande tout cet ensemble, doit avoir une fréquence telle que, pendant une de ses périodes, les ondes radioélectriques

parcourent, à l'aller et au retour, un trajet de 1 mille, soit 2 milles en tout (1).

La vitesse moyenne des ondes de l'OBOE entre le radar situé au sol et l'avion guidé, supposé volant à une altitude de 10.000 m., est, d'après les résultats de l'expérience, de 186.234, 6 milles par seconde, soit 299.715 km par seconde (2). Ceci conduit à partir d'un oscillateur à cristal ayant une fréquence de 93.117 c/s, et très bien stabilisé en thermostat (la stabilité atteinte est de 5×10^{-6}).

Les diverses échelles sont produites, à partir de cet oscillateur à cristal, par le calibrateur qui sera décrit plus loin, et qui provoque également :

a) Périodiquement, l'impulsion de référence déclanchant le balayage du « Sanatron » du premier oscillographe, de façon que ce balayage ait déjà commencé à se produire lors de l'émission de l'impulsion primaire par le radar.

b) 50 μ s environ après, l'impulsion qui va déclancher l'émission du radar, laquelle, par conséquent, sera vue sur l'oscillographe, un peu après le début de la trace du spot.

Le premier oscillographe reçoit ainsi à la fois les échos revenant de l'avion et les chaînes d'impulsions correspondant à des distances successives de 5 et de 25 milles, la chaîne de 25 milles venant allonger les impulsions des 5 milles, toutes les 5 impulsions.

Le second oscillographe reçoit également l'écho de l'avion, ainsi que les impulsions des 5 milles et des milles, de façon à provoquer une échelle des distances graduée en milles, avec, toutes les 5 impulsions, une impulsion allongée.

Les impulsions des milles sont espacées entre elles d'environ 10 μ s et celles des 5 milles d'environ 50 μ s d'après ce qui a été indiqué ci-dessus.

Le récepteur du radar alimente enfin un appareil électronique complexe dénommé « Miestro » et dont le rôle principal est de produire une tension électrique variant linéairement avec la distance de l'avion à la trajectoire circulaire à suivre ou à l'objectif à bombarder, et une seconde tension variant linéairement avec la composante radiale de la vitesse de l'avion. Le « Miestro » envoie également sur le second oscillographe une impulsion appliquée au « Wehnelt » du tube dans un sens tel qu'elle efface le spot pendant une durée d'environ 1 μ s au cours du balayage, l'instant de cette impulsion par rapport aux impulsions de référence étant réglé, une fois pour toutes, au début d'une opération, pour que l'effacement du spot marque la position du but, ou la distance de la trajectoire à suivre. Le « Miestro » produit aussi une impulsion spéciale, d'une durée d'environ 1,25 μ s, appliquée au « Wehnelt », et augmentant la brillance de la trace, l'instant de cette impulsion par rapport à l'impulsion de référence étant réglable à la volonté de l'opérateur, qui, au moyen de boutons agissant sur des potentiomètres, amènera cette impulsion sur l'écho de l'a-

(1) Dans tout ceci, il s'agit du mille terrestre britannique, qui correspond à 1609,34 m.

(2) A faible altitude, et au-dessus de la mer, la vitesse serait un peu plus faible, de 186.217 milles par seconde, soit 299.687 km par seconde.

vion. Le point lumineux produit par cette impulsion sur l'écran de l'oscillographe amplifié est dénommé « strobe mobile ». C'est par le maintien de ce « strobe mobile » sur l'écho de l'avion que l'opérateur obtient la production des tensions fonctions de la distance et de la vitesse visées ci-dessus. Lorsque le « strobe mobile » a été amené sur l'écho de l'avion, un système automatique permet de l'asservir à cet écho, qu'il suit alors fidèlement dans ses déplacements, sans que l'opérateur ait à s'en occuper.

Les tensions de distance et de vitesse engendrées dans ces conditions par le « Micestro » sont envoyées dans un calculateur électronique, qui commande la manipulation de certains des signaux transmis radiotélégraphiquement à l'avion.

Ces émissions radiotélégraphiques pourraient être faites sur une longueur d'onde quelconque, et avec les procédés ordinaires de modulation et de manipulation, mais, afin de réduire les brouillages et d'améliorer la discrétion du système, on les réalise — que ce soit à la station « chat » ou à la station « souris » — en faisant émettre par le radar une impulsion supplémentaire qui vient s'intercaler entre deux impulsions successives de l'émission normale. Ces impulsions supplémentaires sont modulées en position, comme il va être indiqué. Il faut remarquer que, si elles actionnent évidemment aussi le répondeur de l'avion, les échos correspondants n'apparaissent toutefois pas sur les écrans des oscillographes des radars, pour la raison suivante :

Dans le cas, par exemple, de la station « chat », où la fréquence de répétition des impulsions est de 133 c/s environ, la fig. 14 représente la série des impulsions normales émises, chacune précédée, 50 μ s avant, par l'impulsion de référence déclanchant le balayage. Ces impulsions normales sont ainsi espacées entre elles de 7.518 μ s. Or, étant donné les distances jusqu'auxquelles est utilisé l'« ОБОЕ », le balayage du premier oscillographe dure, au maximum 3.500 μ s. L'impulsion supplémentaire ajoutée, qui est modulée en position, peut se déplacer entre la position a (correspondant à la moitié de l'intervalle entre les deux impulsions principales, c'est-à-dire 3.759 μ s après la première de ces impulsions, donc après la fin du balayage de l'oscillographe) et la position b, à égale distance de a et de l'impulsion principale suivante, c'est-à-dire 5.638 μ s après la première impulsion. Ainsi, quelle que soit la modulation des impulsions correspondant aux transmissions radiotélégraphiques, celles-ci ne sont jamais vues sur aucun des oscillographes, et n'en brouillent pas les indications.

On a indiqué, dans la partie inférieure de la fig. 14, comment s'effectue, à la réception, la détection de ces impulsions correspondant aux émissions radiotélégraphiques, et comment elle engendre un signal audible, transmis au casque du pilote, s'il s'agit de la station « chat », et au casque du bombardier ou du navigateur, s'il s'agit de la station « souris ».

Le récepteur de l'avion comporte, après détection, un circuit résonnant accordé sur une fréquence double de la fréquence de répétition des impulsions principales, c'est-à-dire, en l'espèce, sur 266

c/s. Ce circuit résonnant, s'il est excité par la première impulsion principale, suivant la sinusoïde représentée sur la figure, sera excité *en phase* par l'impulsion additive modulée, si cette impulsion se trouve à l'emplacement a, et sera excité, au contraire, *en opposition de phase* si elle se trouve à l'emplacement b. Avec les impulsions en a, on obtiendra donc, à la sortie du circuit oscillant, une tension intense, à la fréquence de 266 c/s, et, au contraire, avec les impulsions en b, une tension nulle. Pour la position intermédiaire c, on entendra un son d'intensité moyenne.

Dans le cas d'une station « chat », le marqueur de but indique, en réalité, la distance de la trajectoire circulaire à suivre, et les tensions sortant du « Micestro », sont fonctions, l'une, de la distance de l'avion à cette trajectoire, l'autre, de la composante radiale de la vitesse avec laquelle l'avion s'approche ou s'éloigne d'elle. Lorsque le « strobe mobile » est maintenu sur l'écho de l'avion, soit à la main, soit automatiquement, le calculateur produit alors un

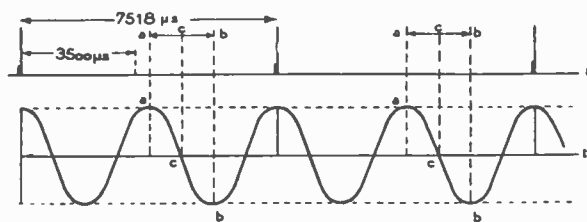


Fig. 14

déplacement convenable des impulsions supplémentaires qui, normalement, sont dans la position intermédiaire c, de façon à faire entendre au pilote, soit des points renforçant le son continu, soit des traits, suivant le côté de la trajectoire circulaire où il se trouve. Lorsque l'avion est exactement sur la trajectoire circulaire, les impulsions supplémentaires se trouvent placées en c, et on entend un son continu. Comme, d'ailleurs, la note à 266 c/s ne permettrait pas une appréciation facile des petites variations d'intensité des points ou des traits, le récepteur comporte un dispositif quadruplant cette fréquence, et faisant entendre au pilote un son à 1064 c/s.

À la station « souris » au contraire, le marqueur de but indique la position de l'objectif à bombarder, et, lorsque le « strobe mobile » se trouve accroché sur l'écho de l'avion, soit à la main, soit automatiquement, le « Micestro » envoie dans le calculateur une tension dépendant de la distance de l'avion au but, et une tension dépendant de la composante radiale de sa vitesse. Normalement, les impulsions complémentaires sont en b, et aucun son n'est, par conséquent, perçu par le navigateur ou le bombardier. Lorsque l'avion arrive à la distance du but qui correspond à l'instant de largage — compte tenu du temps de chute des bombes, qui a été calculé, au préalable, en fonction de l'altitude de bombardement — les impulsions complémentaires sont brusquement déplacées en a, par le calculateur, ce qui produit, au casque, un son de fréquence double de la fréquence de répétition.

tion des impulsions de la station « souris », c'est-à-dire, ici, 194 c/s. Il ne s'agit plus, alors, d'apprécier de petites variations de modulation correspondant à des points ou à des traits, la fréquence du son n'a pas besoin d'être élevée, et le courant correspondant est directement envoyé, soit dans le casque téléphonique, soit, après redressement, dans le relais d'ouverture automatique des soutes à bombes.

Les systèmes de manipulation automatique fonctionnant sous la commande du calculateur sont, d'une part, pour la station « chat », un manipulateur à moteur produisant des points ou des traits, à la fréquence de 2 c/s, le point durant 0,1 seconde et le trait 0,4 seconde (ce qui, pour la fréquence de 133 c/s, correspond à 13 impulsions pour un point et à 52 pour un trait). Quant aux lettres de l'alphabet Morse transmises tant à la station « chat » qu'à la station « souris », elles sont obtenues automatiquement par un ensemble de relais, actionnés à partir d'un courant à 10 c/s, obtenu par division de la fréquence des impulsions de référence. Un commutateur manœuvré par l'opérateur, qui évalue, d'autre part, la distance à laquelle se trouve l'avion, permet d'envoyer, à volonté, la lettre convenable, répétée un certain nombre de fois.

II. — Appareillage Haute Fréquence

Le radar émetteur est un appareil du modèle habituel, à lampes triodes pour les « OBOE » fonctionnant dans la gamme de 200 à 240 Mc/s, et à magnétron de construction américaine, accordable, pour les « OBOE » fonctionnant au voisinage de 10 cm. Dans ce dernier cas, l'accord des deux radars sur la même fréquence est obtenu grâce à des fréquences-mètres à cavité, étalonnés. La puissance de crête est de l'ordre d'une centaine de kW, avec des antennes assez faiblement directives, orientées vers la région où l'Oboe doit guider un avion.

Dans une première organisation, les fréquences suivantes ont été employées corrélativement, pour l'émission des deux stations, d'une part, et pour la réponse de l'avion vers ces deux stations, d'autre part :

Fréquences d'émission	Fréquences de réponse
3150 Mc/s	3135 Mc/s
3195 —	3180 —
3240 —	3225 —

Ultérieurement, 5 canaux ont été utilisés au lieu de 3, avec les fréquences suivantes :

Fréquences d'émission	Fréquences de réponse
3160 Mc/s	3150 Mc/s
3180 —	3170 —
3200 —	3190 —
3220 —	3210 —
3240 —	3230 —

La durée de chaque impulsion émise est d'environ 1 μ s.

Quant au récepteur pour 10 cm, il est également du modèle classique, avec changement de fréquence par cristal, et oscillateur local à klystron. La moyenne fréquence est de 15 Mc/s sur certains appareils et de 25 Mc/s sur d'autres, avec une largeur de bande passante d'environ 10 Mc/s, assurant une bonne conservation du front raide de l'impulsion de retour.

III. — Appareillage de mesure de la distance (1)

L'appareillage de mesure de la distance comprend l'oscillateur, le calibrateur, les oscillographes et les sélecteurs d'impulsions de déclenchement du balayage de ces derniers.

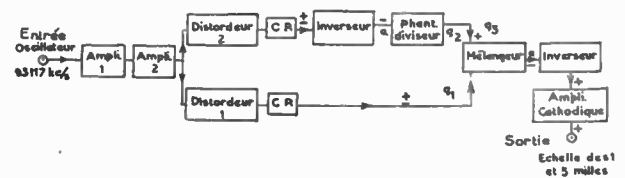


Fig. 15

A. — Oscillateur. — Comme on l'a déjà indiqué, l'oscillateur est d'un modèle à quartz, monté en pont, très stable, fonctionnant sur la fréquence de 93.117 c/s. Il est suivi d'un étage séparateur, qui alimente le calibrateur.

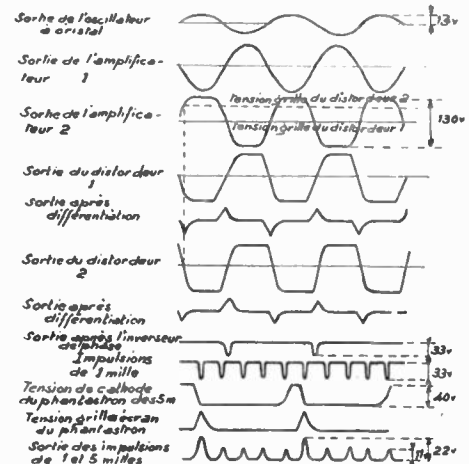


Fig. 16

B. — Calibrateur. — La fig. 15 fournit la disposition schématique de la première partie du calibrateur, et la fig. 16 montre les courbes des tensions en un certain nombre de points. L'appareil comporte, tout d'abord, deux amplificateurs, 1 et 2, élevant la tension d'entrée jusqu'à une valeur

(1) Les détails techniques donnés ici sont extraits des diverses études citées dans la « Bibliographie », notamment de l'article de JONES, où l'on trouvera les schémas détaillés (avec valeurs des résistances et des capacités) des étages diviseurs du calibrateur, des sélecteurs, et de la partie du « Miestro » créant le « strobe mobile ». Dans le volume XX « Electronic Times Measurement » de l'Encyclopédie Radar du Massachusetts Institute of Technology, on trouvera le schéma détaillé des Phantastons de régime d'action, de marqueur de but, et de strobe mobile.

maximum de 65 volts, et commençant à écrêter la courbe de variation de cette tension.

A la sortie de l'amplificateur 2, se présentent deux chaînes distinctes de circuits :

a) Le circuit inférieur, qui comporte un amplificateur distordeur 1, suivi d'un circuit à résistance et capacité, différenciant le courant, et marqué CR. A la sortie de ce circuit, on obtient des impulsions alternativement positives et négatives, deux impulsions de même signe étant espacées entre elles du temps que mettent les ondes à aller et à revenir sur une distance de 1 mille (soit environ 10 μ s).

b) Le circuit supérieur, qui va créer les impulsions de 5 milles (espacées d'environ 50 μ s), et qui comprend un distordeur 2, dont la tension de la grille d'entrée est un peu supérieure à celle du distordeur 1, de façon à décaler légèrement les impulsions qui seront obtenues, suivi du circuit de différenciation habituel, d'un étage inverseur de phase à polarisation négative assez forte pour éliminer les impulsions négatives, et d'un « Phantastron » divisant par 5 la fréquence. Ce « Phantastron » est attaqué par son anode, et sa tension de grille écran g_2 est différenciée, pour obtenir des impulsions positives et négatives. Ces dernières sont éliminées par une diode, et il ne reste donc qu'une chaîne d'impulsions de 5 milles, de polarité positive (1).

Les deux chaînes d'impulsions, de 1 mille et de 5 milles, sont appliquées aux deux grilles d'entrée g_1 et g_2 d'un étage mélangeur, où elles s'ajoutent, la polarisation négative de la grille g_1 étant suffisante pour supprimer les impulsions négatives de la chaîne des milles. A la sortie du mélangeur, et compte tenu de l'inversion de phase qui s'y produit, on obtient, par conséquent, des impulsions négatives de 1 mille, avec renforcement toutes les 5 impulsions. Ces impulsions sont changées de signe par un étage inverseur, et, après passage par un amplificateur à couplage cathodique, elles sont envoyées vers le second oscillographe.

Les impulsions de 25 milles sont obtenues en divisant par 5 la fréquence des impulsions de 5 milles, au moyen d'un nouveau « Phantastron », non représenté. Afin d'obtenir un calage constant de ces impulsions par rapport aux impulsions de référence précédant l'émission du radar, ces impulsions de référence sont appliquées à la grille supresseur du « Phantastron », de façon à la polariser négativement, ce qui supprime le courant d'anode. Le « Phantastron » revient ensuite au repos et est prêt à être actionné par la première impulsion de 5 milles qui suit l'impulsion de référence. Les impulsions de 25 milles sont, ensuite, mélangées aux impulsions de 5 milles, changées de phase par un étage inverseur, puis l'ensemble est appliqué à un amplificateur à couplage cathodique dont la sortie alimente le premier oscillographe.

Sur certains « OBOE » on a, en plus, ajouté une chaîne d'impulsions de 1/10 de mille, destinée à diviser encore l'échelle de l'oscillographe à écran amplifié, et à obtenir une plus grande précision.

(1) Sur les diverses figures, les signes + ou - indiquent la polarité des impulsions, au point du circuit considéré.

Ces impulsions sont obtenues à partir d'un oscillateur spécial, dont la fréquence est dix fois celle de l'oscillateur à quartz, et dont les oscillations sont calées sur celles de cet oscillateur.

D'autre part, le calibrateur doit également produire les impulsions de référence à la fréquence de 133 c/s ou de 97 c/s, déclanchant le balayage, et, 50 μ s après, les impulsions de même fréquence déclanchant l'émission du radar. Ce résultat est obtenu par division de la fréquence des impulsions de 5 milles, qui sont au nombre de $\frac{93117}{5} = 18.623,4$ par seconde. Pour arriver à une fréquence voisine de 133 c/s, il faut diviser cette fréquence par 140,

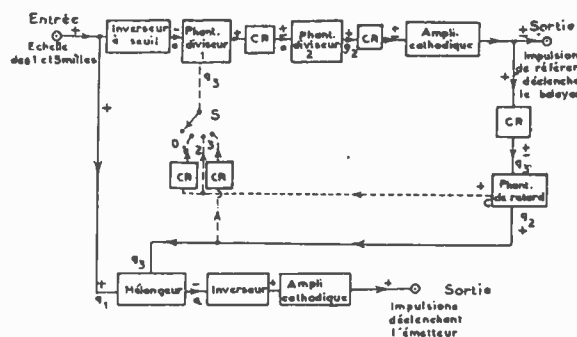


Fig. 17

et par 192 pour arriver à une fréquence voisine de 97 c/s. On utilise à cet effet deux « Phantastrons » diviseurs successifs 1 et 2 (fig. 17). Au premier « Phantastron », on applique, par l'anode, les impulsions de 5 milles de sens négatif, résultant elles-mêmes du passage de la chaîne des impulsions de 1 et 5 milles à travers un étage inverseur à seuil de fonctionnement, ce qui change la polarité et supprime les impulsions de 1 mille, moins intenses que les autres. A la sortie du premier « Phantastron » diviseur, se trouve un circuit de différenciation, produisant une série d'impulsions négatives et positives qui est appliquée, toujours par l'anode, au second « Phantastron » diviseur, dont la première diode élimine les impulsions positives. A la sortie de ce second « Phantastron », on recueille, sur la grille g_2 , des impulsions positives qui traversent un nouveau circuit de différenciation, et donnent des groupes d'impulsions négatives et positives appliquées à un étage amplificateur à couplage cathodique, et dont les pointes positives servent, ensuite, d'impulsions de référence, déclanchant le balayage du premier oscillographe. La diode d'entrée du « Sanatron » réalisant ce balayage élimine les impulsions négatives de cette chaîne.

Pratiquement, pour la station « chat », le premier « Phantastron » divise par 10, et le second par 14 ($10 \times 14 = 140$), et, pour la station « souris », le premier « Phantastron » divise par 12 et le second par 16 ($12 \times 16 = 192$).

Dans la partie droite de la fig. 17 il est, ensuite, indiqué comment, à partir de la chaîne des impulsions de référence, on obtient les impulsions retardées de 50 μ s, destinées à déclancher l'émetteur. A cet effet, la chaîne d'impulsions passe dans un cir-

cuit de différentiation rendant plus raide le front des impulsions, et la suite d'impulsions alternativement négatives et positives résultantes excite par sa grille supprimeur g_3 , un « Phantatron » de retard, réglé pour produire un retard d'environ 75 μ s. Les impulsions négatives n'ont aucune action, puisqu'elles augmentent la polarisation négative et l'effet de blocage de g_3 .

La fig. 18 représente, au-dessous les unes des autres, tout d'abord la courbe de tension de l'une des impulsions de référence, avec sa partie négative et le front raide de la partie positive, déclanchant le balayage, puis, au-dessous, les tensions résultantes, après différentiation, telles qu'elles sont appliquées à la grille g_2 du « Phantatron » de retard, et, enfin, la tension de cathode de ce « Phantatron », la tension de la grille-écran g_2 ayant une forme analogue, mais inversée. Cette tension de grille-écran est très légèrement retardée par un circuit à constante de temps convenable, et appliquée à la grille g_3 d'un mélangeur qui reçoit, d'autre part, sur sa grille g_1 , la chaîne des impulsions de 1 et de 5 milles, la polarisation négative de cette grille étant suffisante pour éliminer les impulsions de 1 mille et ne laisser subsister que celles de 5. La tension

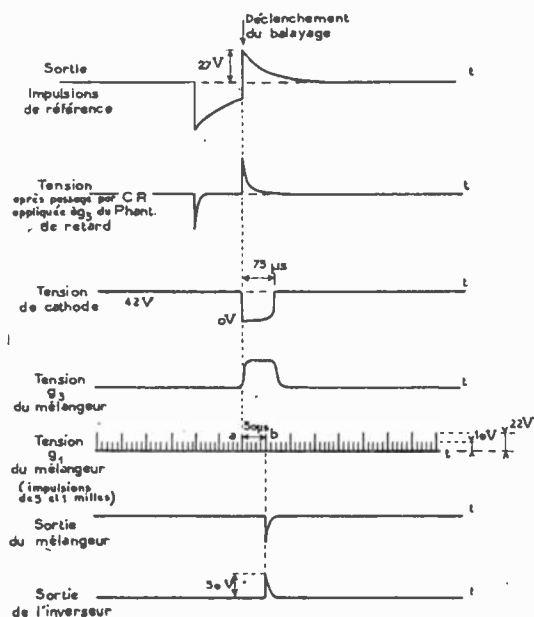


Fig. 18

de la grille g_3 agit ainsi qu'une « fenêtre », et, sur la plaque du mélangeur, on va retrouver des impulsions correspondant uniquement à celles des impulsions de 5 milles qui tombent à l'intérieur de cette « fenêtre », c'est-à-dire qui se produisent dans le laps de temps de 75 μ s suivant l'impulsion de référence. L'impulsion de référence étant synchrone d'une certaine impulsion de 5 milles a , qui tombe juste avant le début de la « fenêtre », c'est l'impulsion de 5 milles suivante b , 50 μ s environ après la première, qui, seule, donnera, à la sortie du mélangeur, une impulsion brève négative, dont on changera la polarité par un étage inverseur, et qui traversera, ensuite, un amplificateur à couplage

cathodique. A la sortie de cet amplificateur, on obtient ainsi l'impulsion décalée de 50 μ s que l'on envoie vers le modulateur du radar.

Le système se suffit ainsi à lui-même, pour réaliser les deux fréquences d'impulsions souhaitées, celle de la station « chat » et celle de la station « souris ». Mais les Ingénieurs qui l'ont conçu ont eu la coquetterie de vouloir le rendre plus général, et de réaliser un dispositif qui permette de diviser la fréquence initiale des impulsions de 5 milles par un diviseur quelconque, compris entre certaines li-

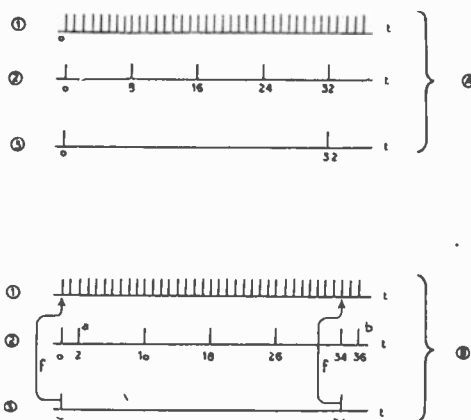


Fig. 19

mites, même si ce diviseur est un nombre premier, et si, par conséquent, on ne peut recourir à l'artifice simple de l'action de deux « Phantatrons » diviseurs successifs.

Tel est le rôle du circuit supplémentaire dessiné en traits ponctués sur la fig. 17, et qui permet, suivant la position du commutateur S , de modifier de quelques unités la valeur du diviseur. A cet effet, on prélève, soit sur la cathode, soit sur la grille g_2 du « Phantatron » de retard, une impulsion positive dont on peut modifier la forme par des circuits à constante de temps convenable CR , et que l'on envoie sur la grille g_3 du premier « Phantatron » diviseur. L'effet produit est le suivant : au moment où il reçoit cette impulsion, ce premier « Phantatron » voit ses conditions de fonctionnement modifiées, et il commence par diviser la fréquence des impulsions de 5 milles par un diviseur beaucoup plus faible que le diviseur normal correspondant. Il n'opère d'ailleurs qu'une seule fois cette division, et, l'impulsion provenant du « Phantatron » de retard ayant cessé, il reprend son régime habituel de fonctionnement. Suivant la position du commutateur S , on ajoute ainsi, au début de la période générale de fonctionnement de l'ensemble des deux « Phantatrons », un laps de temps correspondant à l'intervalle entre deux, trois ou quatre impulsions de 5 milles.

La fig. 19 schématise, dans sa partie supérieure A , le cas du fonctionnement de deux diviseurs sans intervention du système de réaction spécial (commutateur S sur la position zéro), avec une division par 8 au premier « Phantatron » et une division par 4 au second, soit 32 au total. L'échelle 1 repré-

sente les impulsions de 5 milles, l'échelle 2 les impulsions 8 fois moins nombreuses sortant du premier « Phantastron », et l'échelle 3 les impulsions encore 4 fois moins nombreuses sortant du second.

La partie B de la figure, au contraire, a trait au cas où le système de réaction intervient, avec le commutateur S sur la position 2, les flèches f symbolisant l'action de réaction entre l'impulsion sortant de la chaîne de division (après étalement par le « Phantastron » de retard) et le premier « Phantastron » diviseur. Le système étant supposé en fonctionnement, une impulsion de l'échelle 3 étalée agit sur ce premier « Phantastron », et fait que sa première impulsion, représentée sur l'échelle 2, est suivie d'une impulsion a correspondant à la division par 2 de la fréquence des impulsions de l'échelle 1. A partir de ce moment, le premier « Phantastron » reprend son régime normal, analogue à celui décrit précédemment, et divise par 8 la fréquence, jusqu'au moment où une nouvelle impulsion de l'échelle 3 provoque de nouveau une division par 2 (impulsion b). Ainsi, on a obtenu, en tout, la division par $8 \times 4 + 2 = 34$.

D'une façon plus générale, on peut, par ce procédé extrêmement ingénieux, obtenir la division par tout diviseur de la forme $D = k_1 k_2 + p$, p pouvant prendre les valeurs 0, 1, 2 ou 3, suivant la position du commutateur S. On voit aisément qu'il est possible, dès lors, de réaliser facilement, avec des valeurs de diviseurs de chaque « Phantastron » inférieures à 20, la division par presque tous les diviseurs entiers compris entre 90 et 150.

La vérification que la fréquence obtenue a bien la bonne valeur s'effectue grâce à un diapason dont la fréquence est, suivant le cas, de 133 ou de 97 c/s, et qui, par l'intermédiaire de tensions diphasées, produit le balayage circulaire, à sa fréquence, d'un petit oscillographe cathodique. L'impulsion de déclenchement du radar, sortant du calibrateur, est également appliquée au « Wehnelt » de cet oscillographe, de façon à produire un bref effacement du spot, pendant une microseconde. Si la fréquence est très voisine de celle du diapason, le point sombre ainsi obtenu est à peu près stationnaire, ou tourne très lentement. Dès que la fréquence diffère de celle du diapason, il se déplace, au contraire, beaucoup plus vite.

C. — *Oscillographes* — Les deux oscillographes sont identiques, et ont un diamètre de 30 cm. Leur balayage est obtenu, pour chacun, par un « Sanatron », dans les conditions suivantes :

Premier oscillographe. — Le « Sanatron » est excité par les impulsions de référence, et la durée d'un balayage est de 3.500 μ s environ, correspondant à une distance maximum de 300 à 350 milles. A cet oscillographe sont appliquées les impulsions des 25 et des 5 milles, et l'impulsion produite par la réponse de l'avion.

D'autre part, le « Sanatron » de balayage du second oscillographe engendre, pendant sa période de balayage, une tension qui est appliquée au « Wehnelt » du premier oscillographe, de façon à augmenter encore la brillance de la trace produite sur l'écran, ce qui permet de distinguer la partie de l'é-

chelle qui va être représentée de nouveau, mais amplifiée, sur le second oscillographe.

Second oscillographe. — Le balayage de ce second oscillographe est obtenu par un autre « Sanatron », et, au moyen d'un commutateur, on peut réaliser trois durées de balayage différentes : 150,

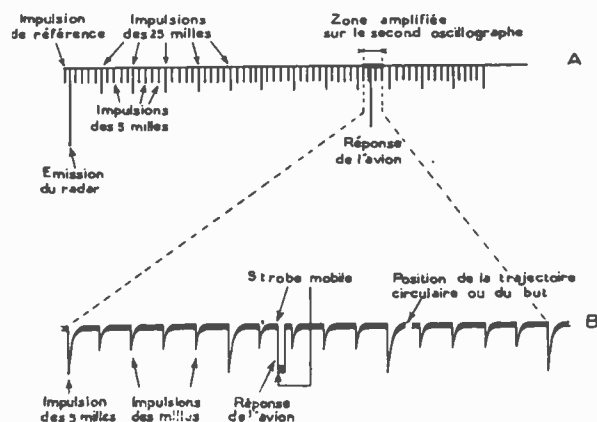


Fig. 20

60 ou 15 μ s, correspondant respectivement à des distances d'environ 15 milles, 6 milles et 1,5 mille. Dans ce dernier cas, qui réalise la plus grande amplification, un mille correspond à une longueur de la trace de l'oscillographe d'environ 20 cm, et l'on peut séparer des points distants entre eux, dans l'espace, de 6 à 7 mètres.

A ce second oscillographe, on applique, sur les plaques de déviation verticale, d'une part, les échelles des 5 milles et des milles — éventuellement l'échelle des 0,1 mille — d'autre part, la réponse de l'avion.

Au « Wehnelt » du tube on applique :

a) d'une part, dans le sens positif, l'impulsion de 1,25 μ s de durée, dont la position est réglable au gré de l'opérateur, qui a été dénommée « strobe mobile », et qui produit, par conséquent, un point brillant sur la trace du balayage.

b) D'autre part, dans le sens négatif, l'impulsion de 1 μ s de durée, produisant un bref effacement de la trace, et qui, à la station « chat », marque la position de la trajectoire circulaire à suivre, tandis qu'à la station « souris » elle marque la position du but à bombarder.

Le déclenchement du « Sanatron » de balayage de cet oscillographe est obtenu à partir de l'une quelconque des impulsions de 1 mille, convenablement sélectionnée, au gré de l'opérateur, par les sélecteurs qui seront décrits ci-dessous.

La fig. 20 montre l'aspect de l'écran du premier oscillographe en A, et du second oscillographe, amplifiant une partie de l'échelle du premier, en B.

Sur l'échelle A, on distingue, tout d'abord, l'impulsion de référence déclenchant le balayage, puis, après 50 μ s, l'émission du radar engendrant une impulsion de grande amplitude. Au-delà, on voit l'échelle des distances, constituée par les impulsions des 5 et des 25 milles. La réponse de l'avion est une impulsion d'assez grande amplitude, dirigée également vers le bas, et la partie de l'échelle qui va être

amplifiée sur le second oscillographe est plus lumineuse que la trace normale.

Sur l'échelle *B* figurent les impulsions des 5 milles et des milles, la réponse de l'avion, constituée comme précédemment, par une impulsion dirigée vers le bas, d'une durée de $1\ \mu\text{s}$, le « strobe mobile » qui se manifeste par une intensification de la trace pendant $1,25\ \mu\text{s}$ et que l'on a figuré placé à cheval sur le front de la réponse de l'avion, position que doit lui donner l'opérateur pour que le « Micestro » fournisse les tensions de distance et de vitesse convenables, enfin l'effacement de la trace pendant

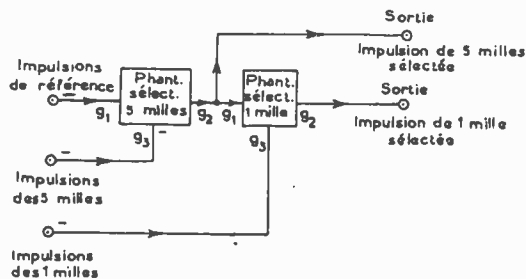


Fig. 21

$1\ \mu\text{s}$, qui marque la position de la trajectoire circulaire, ou l'emplacement du but.

1). — *Sélecteurs* — Les deux sélecteurs ont pour mission :

a) Le premier, en partant de l'impulsion de réf-

rence, de sélectionner une impulsion quelconque de 5 milles, choisie à volonté par l'opérateur, dans la chaîne de ces impulsions, entre la 3^e et la 60^e ;

b) Le second, en partant de l'impulsion de 5 milles ainsi sélectionnée, de sélectionner une impulsion quelconque de 1 mille, choisie entre la 1^{re} et la 16^e suivant cette impulsion de 5 milles.

L'impulsion de 1 mille, obtenue après cette double sélection, déclenchera le « Sanatron » de balayage du second oscillographe à écran amplifié. Quant à l'impulsion de 5 milles sélectionnée, elle est utilisée, non seulement pour exciter le sélecteur de l'impulsion de 1 mille, mais aussi pour déclencher, dans le « Micestro », le fonctionnement de divers « Phantastrons », comme on le verra ci-dessous.

Le montage de chacun des deux sélecteurs est analogue à celui de la fig. 12, et l'ensemble présente la disposition schématique de la fig. 21 : les impulsions de référence sont appliquées, avec une polarité négative, à la grille g_1 du premier « Phantatron » sélecteur, dont la grille g_3 reçoit, toujours avec la même polarité, les impulsions des 5 milles. L'impulsion de 5 milles sélectionnée est recueillie sur la grille g_2 ; d'un côté, elle est envoyée vers le « Micestro », d'un autre, elle actionne, par sa grille g_1 , le « Phantatron » sélecteur d'une impulsion de 1 mille, qui reçoit sur sa grille g_3 la chaîne de ces impulsions. Comme pour le premier sélecteur, la sortie se fait par la grille g_2 , reliée convenablement au second « Sanatron ».

(A suivre)

PROPRIÉTÉS BIOLOGIQUES DES MICRO-ONDES

PAR

Luc de SEGUIN

Docteur en Médecine

Maître de Recherches à la Compagnie Générale de T. S. F.

C'est une obligation impérative d'exprimer à ceux qui ont permis de conduire ces travaux, la reconnaissance de tous ceux qui y ont participé et ma reconnaissance personnelle.

En trois années passées à l'Institut Pasteur notre gratitude s'est accrue, chaque jour un peu plus, pour ceux qui ont bien voulu nous en ouvrir les portes.

Le cadre matériel et la possibilité de profiter des avantages pratiques d'une puissante organisation de recherches sont les avantages les plus immédiats, mais non les plus profonds. Il se dégage de ces laboratoires, de ces chercheurs qui, sans la moindre réticence, nous ont fourni tout l'appui possible, une atmosphère alliant l'émulation à l'entraide. Ce n'est pas le moindre bienfait de cette grande maison.

C'est à Monsieur Ponte, que nous devons d'avoir pu faire ces recherches. C'est le signe d'une rare ampleur de vue pour un technicien d'encourager, d'organiser même, des recherches scientifiques dans un domaine différent du sien.

C'est le signe d'un courage et d'un désintéressement certain pour un chef d'industrie, de subventionner des travaux qui n'avaient, à priori, aucune raison d'aboutir à des applications pratiques.

Monsieur Henri Gutton a suivi ces recherches pas à pas, suggérant certaines expériences, en corrigeant d'autres, nous expliquant avec beaucoup de patience l'aspect physique des problèmes.

Nous le remercions d'avoir bien voulu nous faire ainsi profiter de sa grande expérience de technicien et de chercheur.

Introduction.

A chaque progrès des techniques de production des ondes hertziennes correspondent des progrès de la thérapeutique.

Déjà, avant la guerre, l'espace compris dans le spectre électromagnétique entre les ondes courtes, métriques, et l'infra-rouge lointain, intriguait les biologistes. Malheureusement les ondes décimétriques et centimétriques, que l'usage groupe sous le nom barbare de micro-ondes, étaient produites avec des intensités trop faibles pour la recherche biologique.

L'énorme développement de ce domaine de la radioélectricité pendant et à l'occasion de la guerre permet de disposer de champs dont la puissance efficace peut aller jusqu'à des milliers de watts, c'est à dire dépasser largement ce qui est nécessaire en pratique biologique.

Les appareils qui ont servi à ces études sont des klystrons et des magnétrons émettant, en régime continu ou par impulsions, des champs hertiens

sur des longueurs d'onde comprises entre 23 cm et 3 cm.

Les moyens de transmission utilisés, moyens propres à ce domaine de fréquences, sont des guides d'ondes, cavités métalliques, de formes géométriques simples, généralement parallélépipédiques, véritables tuyaux dans lesquels se propage l'énergie électromagnétique.

Parmi leurs propriétés physiques, nous ne mentionnerons que celles qui pourraient avoir une incidence biologique :

Les conditions de propagation de ces ondes hertziennes dans le vide sont celles de la lumière. Il en est de même dans l'air, tant que l'on n'atteint pas des fréquences pour lesquelles les constantes diélectriques des gaz de l'air diffèrent de 1.

Dans les milieux absorbants, l'amplitude des vibrations électromagnétiques diminue exponentiellement avec la profondeur de pénétration de l'onde et une partie de l'énergie électromagnétique est alors transformée en chaleur. Au cours des applications biologiques, cette production de chaleur est le phénomène le plus évident, mais la connaissance de sa répartition est le problème le plus subtil. En effet, si l'on peut avoir une connaissance précise de la répartition statistique de la chaleur, millimètre par millimètre par exemple, savoir ce qui se passe dans l'intimité des édifices moléculaires d'une cellule ou d'une bactérie est une toute autre affaire.

Autre fait caractéristique, les phénomènes d'interférence et de diffraction sont à notre échelle. Ainsi les successions de nœuds et de ventres dans un guide d'ondes sont de l'ordre de grandeur de nos perceptions habituelles : centimètre, décimètre. Ce fait, qui peut faciliter certaines mesures, va avoir une conséquence pratique importante dans le domaine des irradiations thérapeutiques.

Avec ces hyperfréquences on approche des fréquences de résonance moléculaires de l'eau, des liquides courants et de nombreuses substances organiques. Cela seul inciterait à s'intéresser au comportement des organismes vivants soumis à ces ondes.

Ajoutons que ces ondes n'existent qu'en infime proportion dans la nature, qu'elles ne sont pas un des constituants habituels du milieu des êtres vivants, comme le sont les radiations lumineuses ou infra-rouges. Il ne serait donc pas étonnant, à priori, que les organismes biologiques eussent, sous l'action de ces ondes, un comportement différent de la normale.

1^{re} PARTIE

PROPRIÉTÉS BIOLOGIQUES

Pour avoir une notion des propriétés biologiques de ces hyperfréquences, nous avons choisi des objets d'expérimentation à différents degrés de l'échelle de l'organisation biologique.

Action sur les bactéries.

Nous espérons que ces ondes auraient des propriétés destructives, bactériostatiques ou bactéricides ; que, peut-être, la gaine lipodique entourant le bacille tuberculeux pourrait, par ses propriétés diélectriques, concentrer l'énergie à l'intérieur du bacille, produisant ainsi un échauffement sélectif. Malheureusement, tout le contraire se produit : les seuls effets que nous pûmes observer furent des effets stimulants.

Évidemment, si l'on expose un tube de culture à un champ assez puissant ou si l'irradiation est suffisamment prolongée, on finit par le stériliser. Ceci n'a rien d'étonnant, la température alors atteinte par le milieu étant incompatible avec la survie des germes (1). On peut reproduire ce banal phénomène, d'une façon moins coûteuse, avec n'importe quel moyen de chauffage ; si un jour les U. H. F. étaient employées pour les stérilisations bactériologiques, elles le seraient en raison de la facilité de la localisation de la chaleur qu'elles permettent, et non pour leurs propriétés biologiques dans ce domaine.

Cependant l'expérimentation sur les bactéries met en évidence une première propriété spécifique, qu'on ne peut reproduire par les moyens usuels de chauffage ; cette propriété est la diminution du temps de latence et l'augmentation de la vitesse de croissance dans la phase exponentielle des courbes de croissance de certaines bactéries (2).

Les difficultés rencontrées à cette occasion sont assez significatives : les mêmes petits problèmes pratiques se retrouvent dans d'autres sujets d'étude.

Méthode. — Un grand nombre de souches pathogènes de l'homme ont été irradiées : staphylocoques, streptocoques, pneumocoques, méningocoques, gonocoques, pneumobacilles, colibacilles, pyocyaniques, bacilles de Koch.

Voici résumée, la méthode employée pour l'étude de la croissance d'une souche de colibacilles (Coli. H.).

On ensemence sur milieu synthétique S₂ de Monod, auquel on ajoute 2 g. de glucose et 0,1 g. de cystine par litre. Après plusieurs repiquages, on prélève dans sa phase exponentielle 1 cm³ du milieu de culture. On dilue au 1/20. Trois tubes ou trois groupes

de tube, contenant chacun 6 cm³ du milieu de culture sont ensemencés avec la même quantité de la dilution au 1/20.

Ces tubes vont avoir des destinations différentes :

Le premier groupe sert de témoin. On le met à l'abri dans une autre pièce ou dans une cage de Faraday.

Le deuxième groupe est irradié.

Le troisième groupe sert de témoin au chauffage.

Les irradiations se font soit à la sortie d'un guide d'ondes, soit, plus généralement, dans un guide percé d'orifices au niveau du plan de champ maximum d'une onde H₀₁. Les germes sont irradiés dans leur milieu de culture, ou en suspension dans un milieu aqueux, pendant environ une minute. Les températures atteintes sont, dans la plupart des expériences, au voisinage de 34 degrés.

La première difficulté est de connaître la puissance absorbée par l'échantillon. Cette puissance absorbée est en relation avec l'élévation de température de l'objet irradié.

Dans ce genre d'expérience, on ne doit pas ouvrir inutilement les préparations et y introduire des objets (thermomètre) risquant d'apporter des germes étrangers, qui modifieraient les conditions de croissance. Aussi repère-t-on l'augmentation de température de plusieurs tubes témoins, en tous points semblables à ceux qui sont irradiés. L'introduction d'un tube dans un guide modifie considérablement la répartition du champ et, ce qui est plus grave, deux tubes qui paraissent très ressemblants peuvent modifier cette répartition de façons très différentes et donc absorber des quantités d'énergie très différentes (3).

Certaines précautions sont donc nécessaires. L'alimentation de l'émetteur doit être bien stabilisée, pour qu'aux autres causes d'erreurs ne s'ajoute pas celle d'une variation de la puissance d'émission, en cours d'expérience.

Les tubes qui vont servir à mesurer l'énergie absorbée doivent être choisis très soigneusement (même verre, même calibre, absence d'irrégularités, même quantité de liquide etc...). Ils doivent être placés exactement au même endroit.

On procède souvent sur des séries d'une dizaine de cultures, pour réduire la probabilité d'écarts importants. On obtient ainsi des évaluations des températures atteintes qui ne diffèrent pas de plus de cinq pour cent.

Pour savoir si les irradiations produisent des effets distincts de ceux de la chaleur, le troisième groupe de tubes est chauffé par des moyens banaux.

La seconde difficulté est d'obtenir dans chaque tube de ce groupe la même élévation de température, dans le même temps, que celle subie par le tube irradié dont il est témoin.

Au bain-marie, l'élévation de température débute

(1) Lorsque la chaleur est produite par des micro-ondes, il semble que la température de stérilisation soit un peu plus basse que dans le cas d'un autre moyen de chauffage. Mais il s'agit de différences très faibles, n'atteignant pas dix pour cent, difficiles à mettre en évidence et encore plus difficiles à affirmer.

(2) Le temps de latence est la période pendant laquelle des germes réensemencés ne se multiplient encore pas d'une façon sensible. On peut la considérer comme liée à une adaptation des germes microbiens à leur milieu physique et chimique. Lorsque rien ne s'oppose à la croissance, à ce temps de latence fait suite une phase exponentielle pendant laquelle la vitesse de la croissance est proportionnelle à la densité de la croissance.

(3) On ne peut corriger l'impédance dans chaque cas ; les tubes seraient irradiés d'une façon irrégulière et impossible à connaître pendant la correction.

par le verre et se propage au bouillon de culture, alors que, dans le cas des micro-ondes, elle débute par le bouillon pour se propager au verre.

Par un artifice qui consiste à soumettre le témoin à un chauffage d'une vitesse légèrement supérieure à celle du tube irradié, afin de compenser le temps pris par le chauffage du verre, les bouillons des deux tubes présentent, après un même temps, une même température. Mais on ne peut dire qu'ils aient été

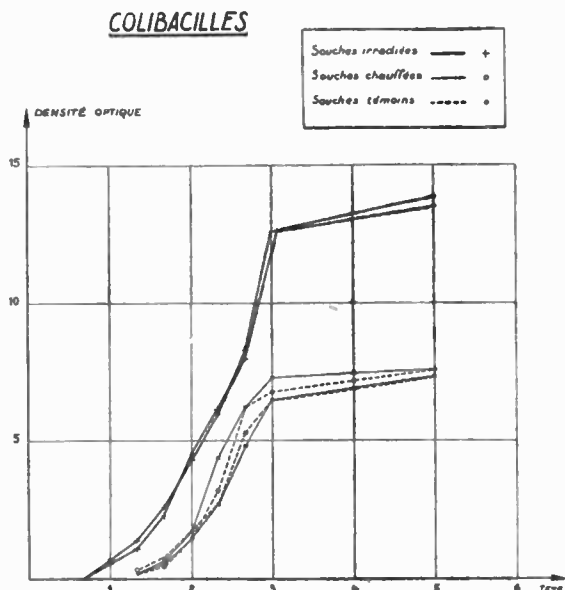


Fig. 1. — Courbes de croissance

En abscisses, les temps ; en ordonnées, les densités optiques des cultures. Ces courbes de croissances de cultures préparées dans les mêmes conditions mettent en évidence la stimulation de la croissance produite par une irradiation alors que les cultures chauffées croissent de la même façon que les témoins.

chauffés identiquement. Il est fort possible que les températures des bactéries en suspension diffèrent dans les deux cas (quoique pour peu de temps, par suite de leurs faibles dimensions et de l'importance relative de la masse du bouillon). Nous n'avons pas, en général, le moyen de le savoir.

Les irradiations et les chauffages terminés, les tubes des trois groupes servent à ensemercer des ballons contenant 125 cm³ du milieu de culture. La culture se fait au bain-marie avec agitation des flacons, par un dispositif identique à celui qui est employé pour les manomètres de Warburg. La forme du ballon permet de prélever des échantillons sans avoir à retirer les cultures du thermostat. C'est, modifiée de quelques détails dû à nos conditions particulières, la méthode désormais standard de Monod (4).

Les prélèvements sont faits à intervalles réguliers, toutes les vingt minutes. La densité des cultures est évaluée par néphélométrie. (La masse de substances vivantes est en relation avec la densité optique de la culture).

Les courbes de croissance sont établies en portant en abscisses le temps et en ordonnées les densités optiques évaluées en degrés Vernes (figure 1).

(4) Jacques Monod. La croissance des cultures microbiennes - pages 4 à 33 — Hermann. Editeur 1942.

Résultats. — Nous n'avons pas observé de modifications morphologiques différentes ou plus importantes que celles que l'on peut observer normalement.

Les tentatives d'altération des souches par des irradiations répétées, n'ont modifié d'une façon notable, ni les propriétés biologiques, ni la morphologie, ni certaines propriétés biochimiques des souches.

Le temps de latence est diminué pour la plupart des germes pathogènes. La vitesse de croissance est augmentée, pour le colibacille au moins. Ces deux phénomènes sont d'autant plus évidents que les conditions de croissance sont plus difficiles pour les germes.

On ne reproduit pas ces modifications par chauffage, ou en irradiant seulement le milieu, sans exposer la souche.

Action sur les cultures de tissus.

A un stade plus avancé de l'organisation biologique, l'étude des cultures de tissus in vitro, selon la technique de Harrison-Carrel, est un moyen précieux pour tenter de connaître le comportement de la matière vivante soumise à l'action de différents facteurs microbiens, pharmacodynamiques ou même physiques.

Comment se comportent les cultures de tissus soumises à des champs de micro-ondes ?

Méthode. — Voici d'abord les principaux points de la technique des cultures, en goutte pendante, de fragments de cœur d'embryon de poulet (fig. 2).

Un œuf est mis à l'incubateur à 39°. Au 9^e jour l'œuf est ouvert et le cœur de l'embryon est prélevé puis découpé en fines parcelles. Cette opération, comme toutes celles qui la suivent, est pratiquée aseptiquement, pour ne pas contaminer les préparations. Du plasma de cobaye, obtenu par ponction cardiaque, sert de milieu de culture. Une goutte de plasma est déposée sur une lamelle de verre ; on y ajoute un fragment du cœur de l'embryon. Les fragments ne peuvent survivre et se développer que si le milieu de culture contient des substances appelées « tréphones » par Carrel. Ces substances peuvent provenir d'extraits embryonnaires ou d'extraits

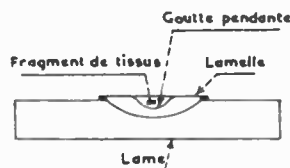


Fig. 2 — Schéma d'une préparation de culture de tissus

d'organes jeunes. On ajoute donc à la goutte de plasma qui contient le fragment, une goutte d'extrait embryonnaire ou d'extrait splénique de jeune cobaye. La parcelle de matière vivante se trouve emprisonnée dans le réseau de fibrine du plasma. On porte la lamelle sur une lame creusée d'une cavité dans laquelle pend la goutte ; sans cette cavité la préparation serait écrasée. On termine la préparation en luttant avec de la paraffine les bords de la lamelle.

Les lames de culture sont réparties en plusieurs

lots qui subissent des traitements différents dans l'heure qui suit leur préparation.

a) *Micro-ondes.* — Les cultures sont exposées à un champ électromagnétique dont la longueur d'onde est soit de 21 cm., soit de 3 cm. La puissance de l'émission est comprise entre 10 et 200 watts. Les durées d'irradiation sont échelonnées entre une et trois minutes.

b) *Irradiation des milieux de culture avant l'emploi.* — Les milieux de cultures de certains lots sont irradiés avant leur emploi, de façon à éliminer l'hypothèse d'une action des micro-ondes sur le milieu lui-même.

c) En ce qui concerne les moyens habituels de chauffage, la durée d'exposition et la puissance employée sont telles que l'on amène la goutte du milieu nutritif à la température atteinte par la goutte de la préparation irradiée dont elle est le témoin. Les durées d'exposition sont très voisines dans les deux cas.

Chauffage et infra-rouge : Différents moyens sont employés selon les lots : la lamelle de la préparation est maintenue au contact d'un cylindre métallique maintenu à une température constante ; le chauffage est réalisé par un courant d'air chaud ; la culture est placée dans le champ d'un rayonnement infra-rouge.

Ondes métriques : Deux plaques métalliques, reliées à un émetteur de 12 mètres, sont disposées sur chaque face de la lame et maintenues par une pince en bois.

d) *Témoins.* — Pour chaque expérience, les préparations témoins subissent toutes les manipulations, à l'exception de l'irradiation ou du chauffage.

Les cultures sont ensuite placées à l'étuve à 37° pendant 40 à 48 heures (les cœurs d'embryon de poulet atteignent leur développement maximum vers la 72^e heure).

Les aires de croissance sont dessinées, sur papier, à la chambre claire ; leurs images sont découpées et pesées. Les poids sont en relation avec l'importance de la croissance (fig. 3).

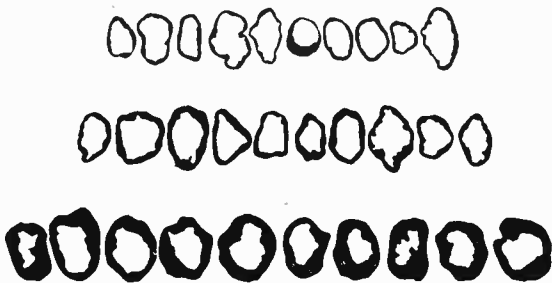


Fig. 3. — Aires de croissance de cultures d'embryon de poulet. La zone centrale, blanche, représente le fragment initial ; Les zones noires représentent les aires de croissance ; La rangée supérieure est composée de témoins ; la rangée du milieu est composée de préparations chauffées ; la rangée inférieure est composée de préparations irradiées.

Résultats. — Si les irradiations amènent la goutte du milieu nutritif à une température incompatible avec la survie des fragments de tissus, on observe les mêmes modifications que sous l'action de la chaleur.

Pour les irradiations plus faibles, nous n'avons pas observé de modifications de la morphologie cellulaire.

TABEAU 1

	Ondes métriques, 12 m.	I.R.	Chauffage	Micro-ondes		Milieu préalablement irradié, 21 cm	Témoins.
				21 cm	3 cm		
Cœur d'embryon de poulet « au début »	—	—	(10) 35	(19) 296	—	—	(11) 100
	—	—	—	—	—	(26) 52	(21) 100
	(18) 106	—	—	(12) 287	—	—	(16) 100
	—	—	—	(12) 254,5	(8) 266	—	(8) 100
	—	(23) 85	—	(10) 240	—	—	(12) 100
Repiquage	—	—	—	(6) 255,1	—	—	(7) 100

Chaque ligne de ce tableau correspond à une expérience. Les aires de croissance des témoins ont été ramenées à 100 dans chaque série, de façon à pouvoir comparer des expériences différentes. Le nombre de fragments de chaque lot figure entre parenthèses.

Mais les micro-ondes déterminent une augmentation importante de la vitesse d'extension des cultures, augmentation qu'on ne reproduit pas en portant les cultures à la même température par le chauffage de contact, les infra-rouges ou les ondes métriques (1).

Remarques. — Voilà les faits. Nous nous permettons quelques remarques.

a) Cette stimulation de la croissance ayant été obtenue tant avec des champs de longueur d'onde de 21 cm. qu'avec des champs de 3 cm, on peut penser qu'il s'agit là d'une propriété spécifique de cette bande du spectre électromagnétique, puisqu'elle n'est pas reproduite par les irradiations de longueur d'onde voisine, qu'il s'agisse des ondes courtes ou des rayons infra-rouges.

b) Les micro-ondes ne sont pas ionisantes, et il est difficile, dans l'état actuel de nos connaissances, d'expliquer cette curieuse action sur les cultures de tissus. Cependant, parmi les différentes hypothèses qu'on peut formuler, nous suggérons la suivante :

— Considérons quelques-uns des différents édifices macro-moléculaires, A, B, C, composant le noyau cellulaire (fig. 4).

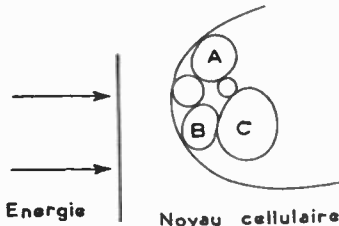


Fig. 4.

Dans le cas d'un chauffage de contact, A, B, C, sont à des températures très voisines. Dans le cas d'un champ électromagnétique, A, B, C, peu-

(1) Séguin (L. de), Lasfargue (E.) et Pelletier (M.) : C.R. Ac. Sciences, t. 227, séance du 18 oct. 1948, p. 783-784.

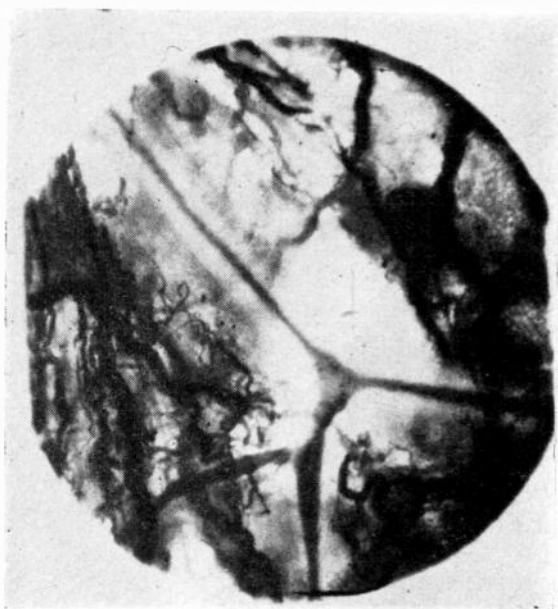


Fig. 5. L'aspect avant toute irradiation.

On distingue, traversant le champ, une artériole entourée de sa gaine musculaire plus claire, et à partir de cette artériole les différentes branches de bifurcation du système artériel.

Le lacis qui entoure l'artère est composé de capillaires et des différentes branches, sinueuses, du système veineux.

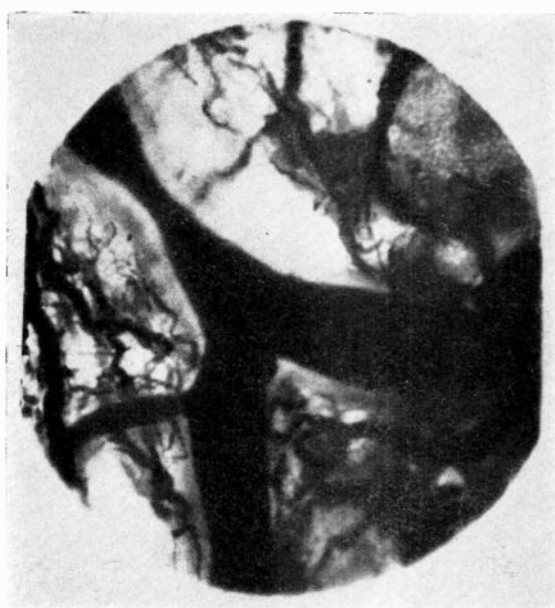


Fig. 6. — Sur ce cliché on peut voir l'énorme vasodilatation du système artériel provoquée par un champ de micro-ondes appliqué pendant 2 m 30 s. et produisant une élévation de 2°,8 par minute, de la température de l'oreille.

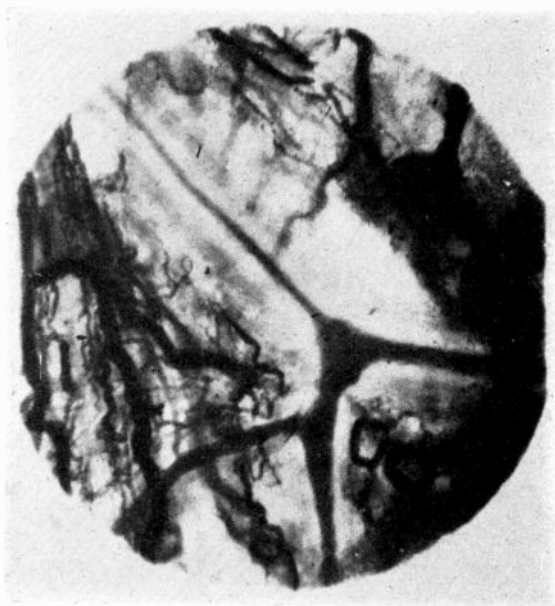


Fig. 7. — Ce cliché est pris une vingtaine de minutes plus tard.

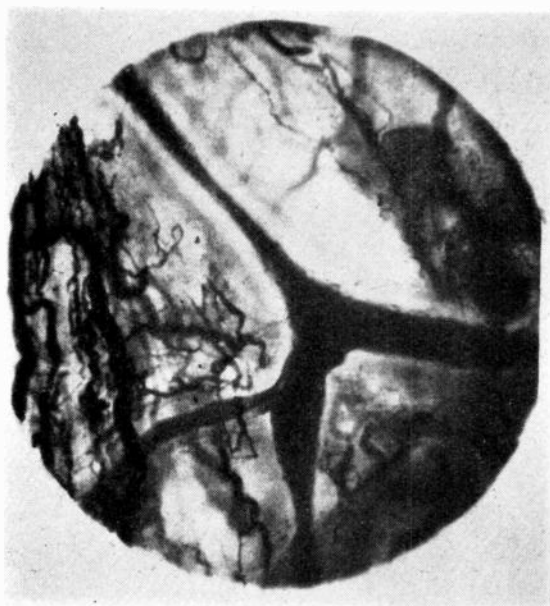


Fig. 8. — Ce cliché est pris après 3 minutes de chauffage par une source lumineuse produisant une élévation de 5°,1 par minute de la température de l'oreille du lapin.

Ces micrographies représentent l'aspect d'une portion d'oreille dénudée, à différents moments d'une expérience

vent avoir des coefficients de perte diélectrique très différents (ces coefficients variant avec la longueur d'onde), et, par, conséquent des températures, ou plutôt des états d'agitation moléculaire, très différents. Ces différences peuvent modifier la vi-

tesse et même le sens de quelques réactions biochimiques, lançant ainsi certaines réactions qui aboutiront à une multiplication plus rapide et plus précoce.

Action sur la circulation périphérique.

Un objet d'étude beaucoup plus proche de l'homme est la circulation périphérique, telle que l'on peut l'observer sur l'oreille du lapin. La méthode que nous a enseignée Paul Boquet consiste à enlever sur une fraction de cm^2 , la peau et le cartilage sous-jacent de l'oreille d'un lapin albinos. Le microscope permet d'étudier par transparence l'armature vasculaire sur la mince pellicule restant et ses modifications sous l'action d'injection de venin, de toxines microbiennes ou de tout autre produit pharmacodynamique. Ce test peut, en modifiant le système d'observation, servir à l'étude de l'action des U. H. F.

On peut observer, sous l'action d'ondes de 21 cm. et de 10 cm. :

a) d'énormes vasodilatations qui portent uniquement sur la partie du système vasculaire entouré d'une gaine musculaire (artères, artérioles, artérioles précapillaires, et portion initiale de certains gros capillaires artériels) ; ces vasodilatations persistent environ quarante secondes après l'arrêt du champ, puis les vaisseaux reprennent leur état initial.

On produit, en irradiant d'une manière interrompue (par exemple, en interrompant le champ une minute toutes les deux minutes) une véritable gymnastique artérielle qui pourra trouver des applications dans de nombreuses affections du système vasculaire.

b) Une très vive augmentation de la vitesse de circulation et de la quantité de sang présente dans la région exposée. De nombreux capillaires, fermés jusque là, s'ouvrent sous l'action du champ ; d'autres subissent une dilatation qui ne dépasse pas un tiers de leur diamètre initial et qui n'est absolument pas comparable aux dilatations que subissent les vaisseaux artériels musclés. Cette augmentation de volume semble due à l'augmentation de la pression du flot sanguin qui distend les parois des capillaires jusqu'à la limite de leur élasticité. (1).

c) Le système veineux ne subit, lui aussi, qu'une dilatation passive. L'augmentation des vaisseaux de ce système (veinules post-capillaires, veinules et

veines) est de $1/5$ à $1/3$, très rarement $1/2$ de leur diamètre initial.

Ici encore il faut déterminer de quelle façon l'action des micro-ondes diffère de celle de la chaleur. Nous utilisons pour chauffer l'oreille la lampe même qui sert à l'éclairer par transparence (2).

Au cours des irradiations par les micro-ondes, une cuve contenant du sulfate de cuivre est placée sur le trajet lumineux. Cette cuve absorbe la partie la plus chauffante du spectre de la lampe, de sorte que, la cuve en place, l'oreille s'échauffe d'environ $0,3$ par minute. Il suffit d'enlever la cuve pour obtenir un chauffage de l'oreille d'environ 5° à 6° par minute.

Le terme de comparaison des différentes expériences est l'élévation de la température de l'oreille. Le dispositif expérimental est tel que le champ de micro-ondes et le champ lumineux sont absorbés par la même quantité de tissus vivants, par la même portion de l'oreille du lapin.

L'émission U.H.F. est réglée de façon à produire, dans chaque cas, la même vitesse de chauffage de l'oreille que celle obtenue par le flux lumineux.

D'autres sources de chaleur ont été employées qui ont confirmé les résultats obtenus.

La chaleur produit des vasodilatations mais, des vasodilatations d'un type différent, moins intenses que sous l'action des micro-ondes.

Il faut un chauffage deux à trois fois plus prolongé ou deux à trois fois plus puissant pour obtenir une vasodilatation nette (3).

Les micro-ondes ne sont pas les seules à produire des vasodilatations. On a depuis longtemps signalé cette action pour la diathermie classique et les ondes courtes. Le fait particulièrement intéressant est qu'il faille beaucoup moins d'énergie U. H. F. que d'énergie lumineuse, pour produire une vasodilatation.

Cette action se double du fait que les micro-ondes pénètrent très bien à l'intérieur des tissus humains alors que le rayonnement lumineux et infra-rouge est arrêté extrêmement rapidement et ne dépasse pratiquement jamais le derme. Ceci est très encourageant pour les applications pratiques que suggère cette expérience.

II^e PARTIE

RÉPARTITION DE LA CHALEUR DANS LES TISSUS

Le problème important, passionnant, est celui de l'application à l'homme. L'étude du comportement des espèces biologiques n'est qu'un moyen. Le but est de savoir si, et dans quelles conditions, ces ondes peuvent être utilisées en thérapeutique.

Il convient donc de rechercher comment se répartissent les élévations de température liées à l'absorption dans les tissus vivants.

Il se pose ici un problème de grandeur relative,

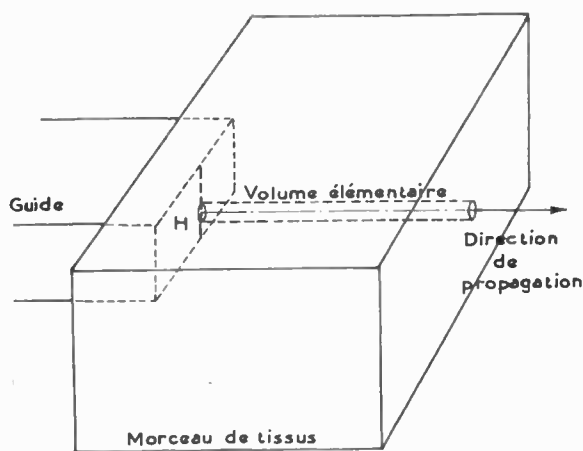
(1) On parle souvent de vasodilatations capillaires. En ce qui concerne le système périphérique, nous pensons que l'on se fait une idée fautive de la chose. Nous n'avons jamais, au cours de plus d'une centaine d'observations, vu de vasodilatations actives de capillaires mais seulement des vasodilatations passives en rapport avec la distension des parois, par augmentation de la pression sanguine locale.

(2) La température de couleur de notre source lumineuse est d'environ 2800° , sous la tension utilisée. Sa répartition spectrale est voisine de celle d'une lampe à incandescence pour la même température.

(3) Quel que soit le moyen de chauffage, lumière ou micro-ondes, au-dessous d'une certaine vitesse de chauffage, $0,9$ par minute, on ne produit pas de dilatation sur un lapin neuf, même en prolongeant l'expérience. Au-dessus de $1,1$ par minute on en produit toujours si le chauffage est prolongé. Il est curieux de constater une marge aussi faible pour un phénomène biologique. Des faits de cette nature pourraient intervenir dans une explication des vasodilatations produites par la chaleur, dont le mécanisme est jusqu'ici inconnu.

liés à l'absorption et à la production de chaleur un peu comme en optique physique.

Il fallait avant tout connaître un ordre de grandeur et classer les différents tissus suivant leur plus ou moins grande absorption.



H - Trace du plan de champ maximum.

Fig. 9

Nous indiquerons les résultats obtenus d'abord pour les tissus morts et ensuite dans quelle mesure ces résultats s'appliquent aux tissus vivants.

I) Tissus morts.

Nous utilisons pour cela un champ H_{01} à la sortie d'un guide d'ondes rectangulaire (fig. 9). Ce type d'onde, le plus couramment utilisé dans cette technique radioélectrique, présente l'avantage d'avoir, à la sortie du guide, une répartition très simple : le champ est maximum dans un plan symétrique et parallèle aux petits côtés du guide rectangulaire et décroît de ce plan de symétrie pour s'annuler sur ces petits côtés.

On place devant l'orifice un morceau, de forme parallélépipédique, du tissu étudié, du muscle par exemple.

La face par laquelle va pénétrer le champ est taillée de façon à être aussi plane que possible. Le morceau de muscle doit être d'un volume suffisant non seulement pour obstruer l'orifice de sortie du guide, mais pour qu'il n'y ait pas d'ondes stationnaires dans son épaisseur. Il s'est posé ici un problème qui, à l'époque, risquait d'être difficile à résoudre : pour un guide d'ondes de 21 cm. qui a 16 cm. $\times$ 6 cm., il fallait des morceaux de viande de plusieurs kilos ; la bienveillance du directeur de l'Institut Pasteur de Garches s'est manifestée une fois de plus et nous avons pu disposer des importantes quantités des différents organes nécessaires pour faire et répéter ces expériences.

Le morceau de tissu placé devant le guide, on corrige l'impédance de façon à avoir un champ d'ondes progressives. Même si la correction est mal faite, et si la face plane du muscle réfléchit une partie de l'énergie incidente créant ainsi un champ d'ondes stationnaires, cela n'a pas grande importance puisque nous nous occupons seulement de la partie de l'énergie qui pénètre dans le muscle.

Le champ est établi, le muscle s'échauffe.

Deux phénomènes se composent : l'absorption exponentielle de l'énergie incidente et la conduction de la chaleur ainsi produite (1).

On pourrait, mais c'est un très complexe problème de thermo-cinétique, déterminer, à partir des données expérimentales, les coefficients des relations donnant l'augmentation de température en fonction des coordonnées des différents points et, de là, déduire le coefficient de perte diélectrique.

Mais, en vue des applications pratiques, la connaissance de la répartition de la chaleur telle qu'elle est, est beaucoup plus importante que la détermination des coefficients de perte diélectrique. Ainsi nous nous sommes bornés à déterminer cette répartition pour les principaux tissus de l'organisme.

Si l'on construit, dans un échantillon de tissus, un volume élémentaire ayant une direction de propagation comme axe de symétrie, et que l'on coupe ce volume par un plan passant par le point d'abscisse A et perpendiculaire à cet axe, on peut considérer deux volumes élémentaires de part et d'autre de ce plan. Nous appellerons $A_{1/2}$ le point pour lequel les deux volumes présentent la même augmentation de la quantité de chaleur et $A_{9/10}$ le point pour lequel l'augmentation de chaleur est neuf fois plus grande dans le volume le plus proche de la source que dans le volume le plus éloigné, en fin d'irradiation.

Pour déterminer les distances A_n les repérages de température sont pratiqués seulement dans le plan de champ maximum. En effet,

si l'on compare la loi de la variation de l'augmentation de température à la fin d'une irradiation :

1° selon une direction de propagation passant par le plan de champ maximum ;

2° selon une direction ne passant pas par ce plan ;

on constate que la seconde se rapproche plus d'une fonction exponentielle, le champ étant plus faible, les différences de température moindres, et par conséquent, les échanges par conductibilité thermique moins importants. On vérifie cependant expérimentalement que l'erreur commise en acceptant la même loi, à une constante près, pour toutes les directions qui sont dans le prolongement de l'ouverture du guide, ne dépasse pas, dans nos conditions d'expérimentation, l'ordre de grandeur des mesures, et l'on peut dire que le plan passant par $A_{1/2}$ partage le corps irradié en deux parties présentant la même augmentation de la quantité de chaleur en fin d'irradiation. A_n pour un échantillon de tissus de dimensions et de densité données, dépend évidemment non seulement des pertes diélectriques mais aussi de la conductibilité thermique, de la durée d'exposition et de la puissance du champ.

Les températures sont repérées par un couple thermo-électrique dont la soudure chaude est fixée à l'extrémité d'une aiguille à injection, et la soudure

(1) (Notons à ce propos que les tissus sont relativement mauvais conducteurs de la chaleur. Par exemple dans un morceau de viande de la taille de ceux que nous utilisons, retiré d'une glacière et laissé à la température du laboratoire, il persiste entre le centre et la périphérie, une différence de plusieurs degrés après vingt-quatre heures).

froide plonge dans de la glace fondante. Le couple n'est pas monté sur un pont, mais simplement relié à un milli-voltmètre sensible, ce qui rend les lectures plus rapides.

Comme on ne peut introduire d'objets métalliques dans le champ pendant l'irradiation sans modifier sa distribution, immédiatement après l'irradiation, l'aiguille est piquée, de demi-centimètre en demi-centimètre, dans le plan de champ maximum, l'extrémité portant la soudure à égale distance des faces supérieures et inférieures du parallélépipède. On répète plusieurs fois cette opération.

L'extrapolation des courbes de variation de la température en fonction du temps écoulé après l'exposition donne la température des différents points en fin d'exposition.

Considérons le graphique représentant la variation de l'augmentation de température en fonction de la distance (fig. 10).

L'aire comprise entre la courbe, les axes et une verticale élevée d'un point d'abscisse A étant le produit d'une augmentation de température par une longueur est proportionnelle à la quantité de chaleur que l'on retrouve dans l'épaisseur A du volume élémentaire.

Le point $A_{1/2}$ est celui dont la verticale partage l'aire comprise entre les axes et la courbe en deux parties égales. On le détermine graphiquement sur la courbe. Le point $A_{9/10}$ est celui qui partage les aires dans la proportion de 9 à 1.

Voici quelques résultats :

Tissus.	A 1/2 (en cm.)	A 9/10 (en cm.)	Teneur en eau (1)
Poumon	1,2	3,1	79
Rein	1,2	3,4	77,8
Muscle	1,3	3,7	73,5
Rate	1,5	4,2	
Cerveau	1,65	4,3	76,2
Foie	1,7	4,2	70,8
Graisse	6,6		

On peut remarquer que, à l'exception du tissu cérébral, l'ordre est le même que l'on classe les tissus par teneur croissante en eau, ou par absorption croissante.

Ces longueurs augmentent avec la dessiccation des tissus ; c'est ainsi que le même tissu musculaire étudié à deux jours d'intervalle donnait A 1/2 m 1,33 et 1,64.

Les tissus deviennent moins transparents quand la longueur d'onde diminue. L'épaisseur de tissus dans laquelle on retrouve la moitié de l'énergie absorbée n'est plus que d'un cm pour une longueur d'onde de 10 cm ; de quelques mm. pour une longueur d'onde de 3 cm.

Résultats :

On peut résumer ces résultats, (1), quels que soient

la longueur d'onde et l'intensité de chauffage, en disant, que pour un tissu mort :

1° L'augmentation de la température est une fonction exponentielle de l'épaisseur de tissus traversée, comptée selon une direction de propagation du champ électromagnétique, si l'on fait abstraction des échanges thermiques.

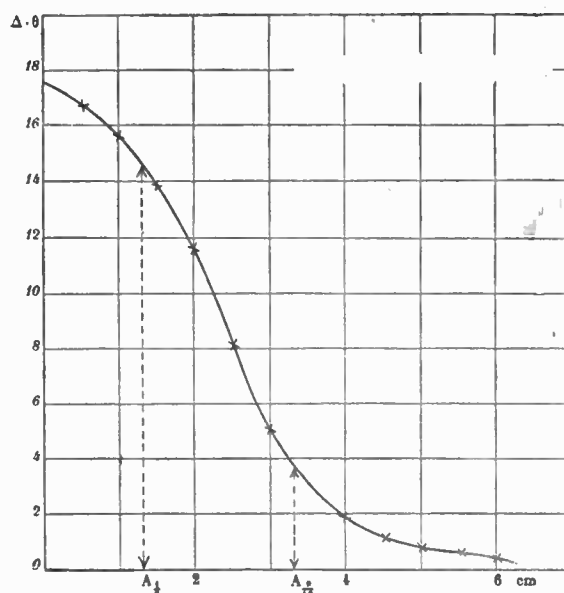


Fig. 10. — Exemple de détermination graphique des longueurs An.

En abscisses : les distances (en cm) à la face par laquelle pénètre le champ.

En ordonnées : les augmentations de température en fin d'irradiation, obtenues, pour chacun des points, par extrapolation des courbes de variation de la température en fonction du temps écoulé après l'irradiation, le repérage des températures étant impossible pendant l'irradiation.

2° Ces échanges thermiques se font principalement :

- Au niveau de la face par laquelle pénètre le champ, face qui se refroidit dans le milieu ambiant ;
- A l'intérieur du tissu où la chaleur se propage par conduction des couches plus chaudes aux couches plus froides (voir fig. 11).

3° Pour $\lambda = 21$ cm, l'épaisseur de tissu dans laquelle on retrouve, sous forme de chaleur, 50 % de l'énergie électromagnétique y pénétrant est de l'ordre de 1,2 cm, à 1,7 cm, selon les tissus. Le tissu adipeux est environ cinq fois plus transparent. Cette épaisseur diminue avec la longueur d'onde. Il est de l'ordre de 0,4 cm pour $\lambda = 3$ cm.

II. — Tissus vivants.

Quels sont les facteurs qui vont modifier ces lois pour les tissus vivants ?

A titre d'exemple, voici les résultats obtenus en irradiant la cuisse, préalablement rasée, d'un chien de 26 kilos :

Le repérage des températures est fait selon une méthode analogue à celle décrite pour les tissus morts.

La figure 12 montre la température de la cuisse rasée d'un chien de 26 kg, avant une irradiation, et les températures successives, à différents intervalles après l'irradiation.

La figure 13 représente, pour le même chien, la variation de l'augmentation de température en fin

(1) Luc de Séguin et Monique Pelletier. C. R. Ac. Sc., t. 226, 1948 pages 1048-1050.

(2) Luc de Séguin : C. R. Ac. Sc., t. 228, p. 135-137, 3 janvier 1949.

d'irradiation, en fonction de la distance à la surface. On voit que cette courbe est du même type *exponentielle déformée* que celles des figures 10 et 11 et que la circulation sanguine, joue un rôle moins important, en tout cas moins rapide, qu'on n'aurait pu le penser.

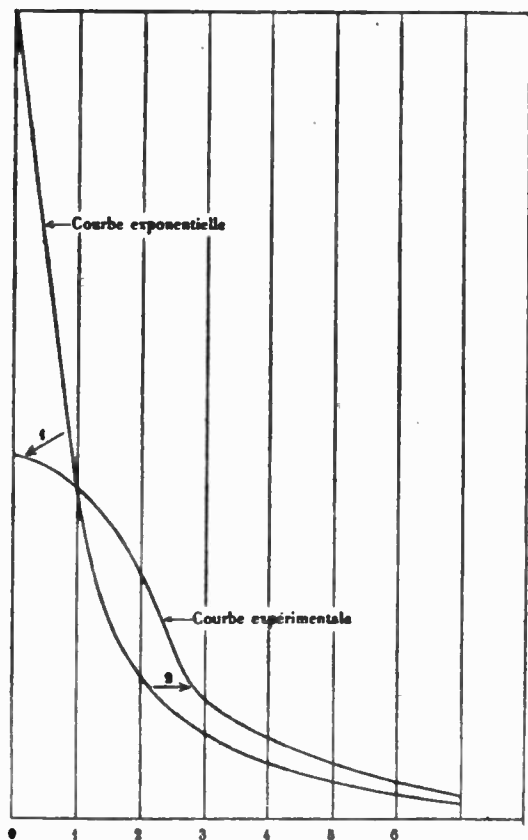


Fig. 11. — Courbe exponentielle et courbe expérimentale résumant la loi de l'absorption dans un tissu mort.

En abscisses : distance (en cm) à la face par laquelle pénètre le champ.
En ordonnées : augmentations de température.

Les deux flèches marquent les déformations de l'exponentielle dues aux échanges de chaleur : l'un 1, avec le milieu ambiant, l'autre 2, par conduction à l'intérieur des tissus.

Les trois principaux facteurs qui vont intervenir sont :

1° *L'existence de plusieurs tissus* : Le tissu adipeux et le tissu osseux ont seuls une absorption nettement différente de celle des autres tissus. En pratique, pour prévoir les élévations de température, il faut tenir compte de l'importance de la couche graisseuse sous-cutanée. De même qu'en optique il y a peu de réflexion entre deux substances d'indices de réfraction très voisins, la plupart des tissus ayant des absorptions très voisines, la réflexion de couche à couche est négligeable (fig. 14).

2° *La circulation sanguine*, qui intervient pour brasser le flux énergétique et égaliser les températures. L'importance de ce facteur dépend de la vascularisation des régions irradiées et de la puissance du champ.

3° *La différence physiologique de température* entre la peau et les plans profonds, différence qui est en sens inverse de celle produite par les irradiations. C'est un facteur très important dans la pratique.

Divers moyens, comme l'application de glace sur les régions voisines ou un courant d'air froid permettant d'agir sur ce facteur en l'exagérant.

Classification des irradiations.

Ceci amène à considérer pour les irradiations trois degrés différents d'intensité :

Premier cas. — Faibles irradiations, n'amenant pas une élévation de la température superficielle supérieure à 5° : ces irradiations portent la température des couches superficielles à une valeur voisine de celle des couches profondes.

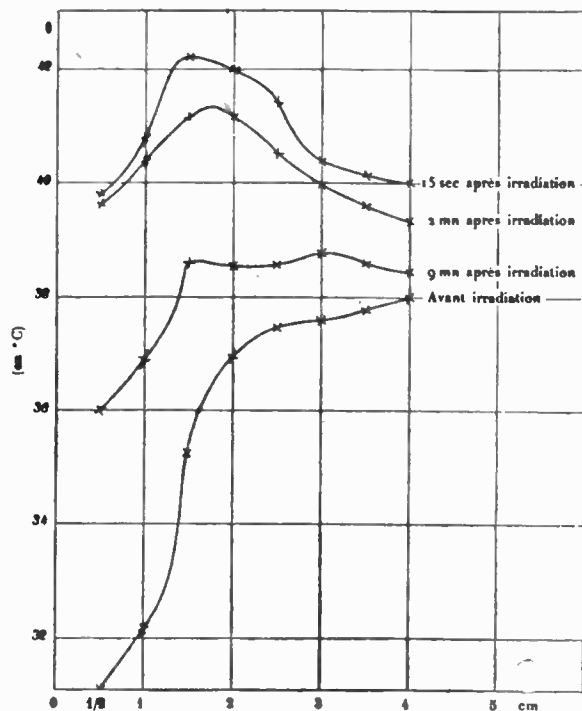


Fig. 12. — Irradiation de la cuisse d'un gros chien vivant.

En abscisses : distance à la surface (en cm).

En ordonnées : températures.

Deuxième cas. — Irradiations d'intensité moyenne. Elles portent la température de toutes les couches, jusqu'à 5 cm. de profondeur environ, à une valeur supérieure de 1° à 6° à celle de la température initiale profonde. Il y a un maximum de température situé entre 1 et 2 cm de profondeur, et d'autant plus près de la surface que le champ est plus intense.

Troisième cas. — Irradiations fortes et très fortes. Plus l'irradiation est forte, plus la différence normale entre les températures superficielles et profondes est rapidement comblée et plus la courbe de répartition des températures tend à se rapprocher de la courbe du tissu mort. Les très fortes irradiations provoquent des brûlures d'un type spécial, plus profondes que celles produites par les agents habituels de chauffage.

On voit se dessiner la raison qui, à notre sens, fera des micro-ondes le moyen de chauffage thérapeutique de demain : la possibilité de savoir avec précision ce que l'on chauffe et comment on le chauffe.

A cela s'ajoute la facilité de la localisation de la chaleur que permettent les techniques radio-élec-

triques. On peut localiser dans une surface variant de la paume de la main à une fraction de cm.² selon la longueur d'onde employée, une puissance allant jusqu'à plusieurs centaines de watts efficaces, simplement en utilisant, à la sortie d'un guide d'ondes rectangulaire, une onde H_{01} , onde la plus courante dans ce domaine de fréquence.

Conclusions.

Comment peut-on appliquer des hyperfréquences à l'homme ?

Ces ondes ont indiscutablement des propriétés qui poussent à les appliquer en thérapeutique. Mais

fications de la circulation périphérique observées sur le lapin, seront reproduites chez l'homme. Au moins dans ce domaine, on peut déjà envisager l'application pratique.

Le second aspect est celui du chauffage thérapeutique. Par leur longueur d'onde à l'échelle de l'homme, ces micro-ondes impliquent la propriété de connaître les échauffements.

C'est le grand avantage qu'elles présentent sur les ondes hertziennes plus longues.

Elles sont beaucoup plus pénétrantes que les infra-rouges et les deux possibilités réunies les rendent très supérieures au chauffage de contact.

Parmi les techniques d'utilisation que l'on peut

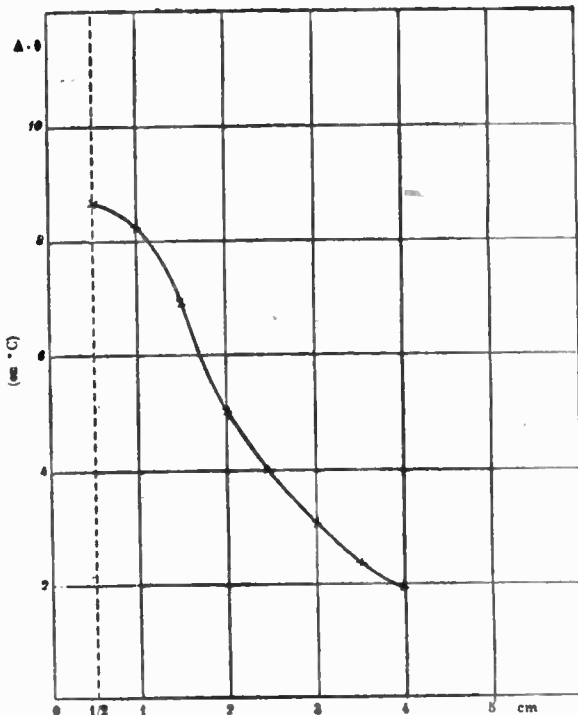


Fig. 13. — Irradiation de la cuisse d'un gros chien vivant

En abscisses : distance à la surface (en cm).
En ordonnées : augmentations de température.

de quelle façon peut-on le faire et ces applications à l'homme présentent-elle des avantages sur les méthodes de chauffage actuellement employées.

Cette question présente deux aspects.

Celui de la production d'effets spécifiques sur l'homme, tel qu'on les obtient sur les objets d'expérimentation biologique dont nous avons parlé.

La stimulation de la croissance des cultures de tissus « in vitro » incite évidemment à chercher à obtenir des effets analogues sur l'homme.

Mais il n'est pas du tout évident qu'un phénomène qui se produit in vitro, dans des conditions bien déterminées, ait des correspondances in vivo. On a tout au plus, le droit d'avoir des espoirs.

Cependant, il est légitime de penser que les modi-

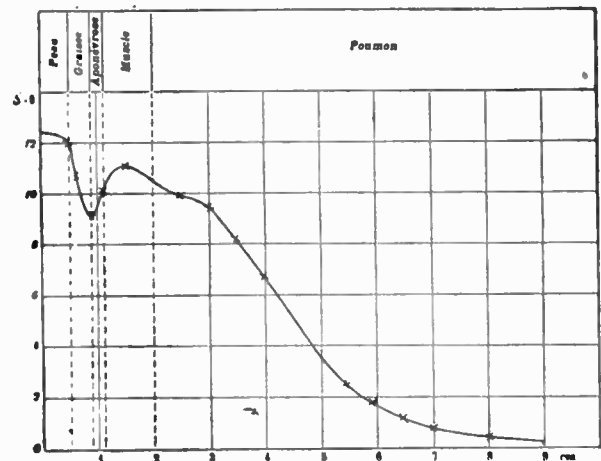


Fig. 14. — Irradiation d'un fragment de peau, avec ses tissus sous-jacents, juxtaposés à du poumon.

En abscisses : les distances (en cm) à la face par laquelle pénètre le champ.

En ordonnées : les augmentations de température en fin d'irradiation. Le minimum montre que la graisse est relativement plus transparente que les tissus avoisinants.

suggérer, celle qui consiste à établir sur l'animal vivant, un jeu de graphique, ne présente pas de grandes difficultés.

Connaissant la puissance de l'émission, la température de la peau et, au prix d'un traumatisme [minime, la température d'un point situé à quelques centimètres de profondeur, on doit pouvoir déterminer la température atteinte à quelques centimètres de profondeur.

Il nous est souvent arrivé, par jeu, au laboratoire, de deviner sans graphique la température atteint par un point d'un tissu mort ou vivant.

En ce qui concerne la localisation on peut envisager des sources multiples donnant des faisceaux croisés pour obtenir l'échauffement des régions profondes. Il est facile d'augmenter la déperdition de chaleur à la surface en refroidissant celle-ci par des moyens banaux tels que de la glace, ou de l'air froid.

Mais ce ne sont que des suggestions. C'est au sens pratique et à l'esprit de recherche des cliniciens que nous devons de connaître les techniques d'utilisation et les indications de l'emploi de cette nouvelle arme thérapeutique.

LE DIPOLE MAGNÉTIQUE DANS UNE ATMOSPHÈRE STRATIFIÉE

PAR

G. ECKART

Ingénieur de Recherches à l'O. N. E. R. A.

On y étudie le rayonnement d'un dipôle magnétique dans une atmosphère dont la constante diélectrique est une fonction linéaire de la coordonnée Z . On discute le résultat et on recherche aussi le rayonnement au-dessus d'un sol plan.

A) Position du problème.

B) Etude des problèmes

I. — Le dipôle dans l'atmosphère stratifiée :

a) mise en équation différentielle

b) séparation et intégration de cette équation

c) composition du rayonnement du dipôle

d) représentation asymptotique de la solution

e) obtention des composantes singulières du champ

f) discussion physique du résultat

1) la démonstration de la cohérence avec l'optique géométrique

2) les diagrammes du champ

3) la puissance rayonnée

II. — Le dipôle dans l'atmosphère stratifiée au-dessus d'un sol plan

a) les ondes réfléchies par le sol

b) représentation asymptotique de la solution

c) discussion

C) Sommaire

D) Bibliographie

Soit une atmosphère dont la constante diélectrique est :

$$(1) \quad \varepsilon = \alpha z + \beta$$

A. — Etablissons le rayonnement d'un dipôle magnétique, dont le champ se compose de E_r, H_r, H_θ (r, θ, φ coordonnées sphériques). Nous discuterons ensuite le résultat du point de vue physique et ajouterons une étude du dipôle au-dessus d'un sol plan.

B. — 1) —

a) Introduisons $e^{-i\omega t}$ en fonction de temps, nous avons les équations de Maxwell ; dérivons la force électrique E d'un potentiel de Fitzgerald :

$$(2) \quad E = i\omega \operatorname{rot} \Pi$$

où Π satisfait à l'équation d'ondes.

$$(3) \quad \Delta \Pi + \omega^2 \mu_0 \mu \varepsilon_0 (\alpha z + \beta) \Pi = 0$$

où :

$$(4) \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \left[\frac{\text{henry}}{m} \right]$$

$$(5) \quad \varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \left[\frac{\text{farad}}{m} \right]$$

Posons :

$$(6) \quad \omega^2 \mu_0 \mu \varepsilon_0 \alpha = a, \quad (7) \quad \omega^2 \mu_0 \mu \varepsilon_0 \beta = b = k^2$$

b) Posons :

$$(8) \quad \Pi = U(x) V(y) W(z) \text{ nous avons :}$$

$$(9) \quad \frac{1}{U} \frac{d^2 U}{dx^2} = -d_1^2 \quad (10) \quad \frac{1}{V} \frac{d^2 V}{dy^2} = -d_2^2$$

$$(11) \quad \frac{1}{W} \frac{d^2 W}{dz^2} + (\alpha z + \beta) = -d_3^2 \quad \text{où}$$

$$(12) \quad d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 = b.$$

Faisons intervenir les cosinus directeurs :

$$(13) \quad d_1 = k \cos \alpha \quad (14) \quad d_2 = k \cos \beta \quad (15) \quad d_3 = k \cos \gamma$$

nous avons comme solution de (9), (10), (11) :

$$(16) \quad U = e^{\pm i d_1 x} = e^{\pm i k x \cos \alpha}$$

$$(17) \quad V = e^{\pm i d_2 y} = e^{\pm i k y \cos \beta}$$

$$(18) \quad W^{(1)} W^{(2)} \frac{\sqrt{az + k^2 \cos^2 \gamma}}{k \cos \gamma} \frac{H_{1/3}^{(1)(2)} \left(\frac{2}{3a} (az + k^2 \cos^2 \gamma)^{3/2} \right)}{H_{1/3}^{(1)(2)} \left(\frac{2}{3a} k^3 \cos^3 \gamma \right)}$$

Comme l'auteur l'a démontré (références [1] —

[2] — [3]) $W^{(1)}$ a les qualités suivants :

$$1) \text{ si } a \rightarrow 0 \quad W^{(2)} \rightarrow e^{\pm i k z \cos \gamma}$$

$$2) \text{ si } z = 0 \quad W^{(2)} = 1$$

Supposé $e^{-i\omega t}$, $W^{(2)}$ correspond à une onde progressive vers $\pm z$ resp. Les branches des racines y sont déterminées en accord avec les significations :

$$W_{+a}^{(1)(2)} : \text{ si } a > 0 : \sqrt{az + k^2 \cos^2 \gamma} > 0$$

si $(az + k^2 \cos^2 \gamma) > 0$ réelle

$$W_{-a}^{(1)(2)} : \text{si } a < 0 : \sqrt{az + k^2 \cos^2 \gamma} < 0 \\ \text{si } (az + k^2 \cos^2 \gamma) > 0 \text{ réelle} \\ \text{et } \frac{2}{3a} \sqrt{az + k^2 \cos^2 \gamma} > 0 \text{ si } (az + k^2 \cos^2 \gamma) > 0 \text{ réelle}$$

L'auteur a établi une étude des ondes quasi planes (réf. [1] [2] [3]) $e^{ikx \cos \alpha + iky \cos \beta}$. W qui dans le cas du milieu homogène ($a = 0$) se réduisent à des ondes planes.

c) Remplaçons dans la théorie du dipôle dans le milieu homogène la fonction $e^{\pm ikz \cos \gamma}$ par $W_{(2)}^{(1)}$, nous obtiendrons les calculs dans le cas du milieu stratifié.

Selon WEYL (références [4] — [5] — [6]) on a la représentation bien connue :

$$\frac{e^{ikR}}{R} = \frac{ik}{2\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_A e^{ik[(x \cos \varphi + y \sin \varphi) \sin \theta + z \cos \theta]} \sin \theta d\theta \quad (19)$$

R étant la distance émetteur-récepteur

$$(20) \quad x = R \sin \theta \cos \varphi = R \sin \theta \sin \varphi, \quad z = R \cos \theta \\ \cos \alpha = \sin \theta \cos \varphi \cos \beta = \sin \theta \sin \beta, \quad \cos \theta = \cos \gamma. \\ A, \text{ le chemin d'intégration en } \theta \text{ va de } \theta = 0 \text{ à } \theta = \frac{\pi}{2} - i\infty$$

Remplaçons dans (19) $e^{ikz \cos \theta}$ par $W^{(1)}$

Il est facile de voir que les conditions de convergence de (19) sont alors satisfaites et on a :

$$(21) \quad \Pi(x, y, z, \alpha) = \frac{ik}{2\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_A e^{ik[(x \cos \varphi - y \sin \varphi) \sin \theta]} \\ \frac{\sqrt{az + k^2 \cos^2 \gamma} H_{1/3}^{(1)} \left(\frac{2}{3a} \sqrt{az + k^2 \cos^2 \gamma} \right)}{k \cos \gamma H_{1/3}^{(1)} \left(\frac{2}{3a} k^3 \cos^3 \gamma \right)} \sin \theta d\theta.$$

par $\lambda = k \sin \theta$ on peut trouver une forme d'intégrale correspondante à celle de SOMMERFELD (référence [7] et par $\lambda^2 = k^2 - \alpha^2$ la forme de WEYRICH (référence [8]).

d) On peut représenter l'intégrale (21) de manière asymptotique comme l'a fait WEYL et on obtient en laissant de côté les termes d'ordre $\frac{1}{R^2}, \frac{1}{R^3} \dots$

$$(22) \quad \Pi = \frac{e^{ikR}}{R} F^{(1)(2)}(z, \cos \tau) \quad \text{où}$$

$$(23) \quad F^{(1)(2)}(z, \cos \tau) = \frac{\sqrt{az + k^2 \cos^2 \tau}}{e^{ikz \cos \tau} k \cos \tau} \\ \frac{H_{1/3}^{(1)(2)} \left(\frac{2}{3a} (az + k^2 \cos^2 \tau)^{3/2} \right)}{H_{1/3}^{(1)(2)} \left(\frac{2}{3a} k^3 \cos^3 \tau \right)}$$

$$\text{avec } (24) \quad \cos \tau = \frac{z}{R}$$

Si $a > 0$

$F^{(1)}$ étant valable au demi espace supérieur ($z > 0$)

$F^{(2)}$ étant valable au demi espace inférieur ($z < 0$)

Si $a < 0$ inversement selon le choix des branches de fonction donnée en haut.

Nous supposons que dans l'intervalle où nous étudions Π ε n'est ni négatif, ni nul, ni infini.

e) Selon (2) nous allons dériver les composantes du champ ressortissant de Π .

Au milieu homogène on a au plan (y, z) :

$$(25) \quad E_x \text{ homogène} = -\frac{e^{ikR}}{R} (\omega k \sin \tau)$$

$$(26) \quad H_y \text{ homogène} = -\frac{e^{ikR}}{R} (\omega^2 \varepsilon_0 \varepsilon \sin \tau \cos \tau)$$

$$(27) \quad H_z \text{ homogène} = \frac{e^{ikR}}{R} (\omega^2 \varepsilon_0 \varepsilon \sin^2 \tau)$$

Par suite de la symétrie cylindrique on peut remplacer dans tout l'espace :

$$E_x \text{ par } E_r; (H_y, H_z) \text{ par } (H_\theta, H_R)$$

En milieu stratifié on aura :

$$(28) \quad E_x = E_x \text{ homogène } F$$

$$(29) \quad H_y = H_y \text{ homogène } F + \frac{e^{ikR}}{R} \frac{k^2}{\mu_0 \mu} \sin \tau \cos \tau F \\ + \frac{e^{ikR}}{R} \frac{ik}{\mu_0 \mu} \frac{y}{R} e^{i\frac{\pi}{2}} \frac{(az + k^2 \cos^2 \tau)}{k \cos \tau} \sqrt{\frac{(k \cos \tau)^3}{(az + k^2 \cos^2 \tau)^{3/2}}}$$

$$(30) \quad H_z = H_z \text{ homogène } F + \frac{e^{ikR}}{R} \frac{1}{\mu_0 \mu} (-az F)$$

Il est facile de voir que pour $a \rightarrow 0$ (28) (29) (30) se réduisent à (25) (26) (27).

f) Nous allons dès lors discuter ce résultat du point de vue physique.

On peut voir tout d'abord que les trois composantes E_x, H_y, H_z ne sont plus en phase, c'est-à-dire qu'on a une réflexion interne (Réf. [1]) dans le milieu parallèlement à l'axe z , ce qui produit des champs tournants de H . Mais si le gradient de ε, α est très faible cet effet n'est pas remarquable et l'on voit d'après (28) (29) (30) que les fronts d'onde se déplacent en avant ou en arrière suivant que α est > 0 où < 0 .

C'est l'effet bien connu en optique géométrique, l'expression de la loi de réfraction de Descartes.

Dans les diagrammes (1) nous avons tracé la distribution de la composante E_y du milieu homogène ($\alpha = 0$) (—) et du milieu inhomogène pour $\alpha > 0$ (—) et $\alpha < 0$ (—).

On obtient ces courbes en observant la représentation asymptotique de F pour $a \rightarrow 0$. Il est intéressant de remarquer si $a < 0$ les rayons sont courbés vers le bas, la valeur absolue de E_y est plus grande au demi espace supérieur, si $a > 0$ les

rayons sont courbés vers le haut, la valeur de E_y est plus grande au demi espace inférieur.

Le diagramme correspondant pour la composante radiale de H , H_r ($r = \sqrt{x^2 + y^2}$ = rayon cylindrique horizontal) est donné figure 2.

H_r est plus grand qu'en milieu homogène.

si $a > 0$ au demi espace supérieur ;

si $a < 0$ au demi espace inférieur ;

si $z = 0$ H_r hom. = 0, H_r inhomogène $\neq 0$

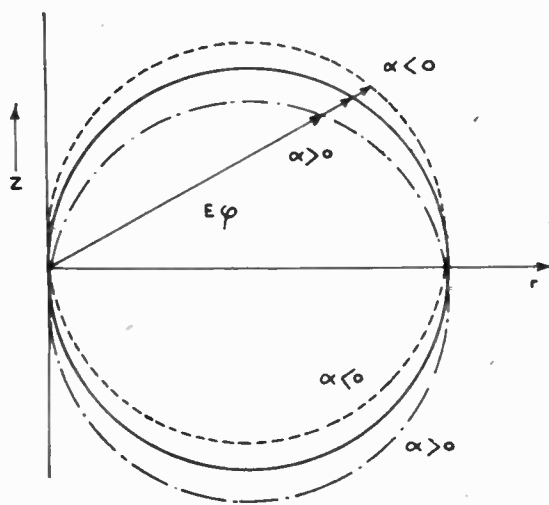


Fig. 1

En fonction de a , E_ϕ varie à l'inverse de H_r , c'est-à-dire si H_r croît, E_ϕ décroît et vice versa.

Le fait que sur $z = 0$ H_r est $\neq 0$ en milieu inhomogène est une conséquence de l'effet de réfraction : les fronts d'ondes sont déclanchés à $z = 0$; en milieu homogène ils sont perpendiculaires au plan x, y .

Par rapport à la puissance rayonnée on voit facilement : la solution est normalisée de manière que

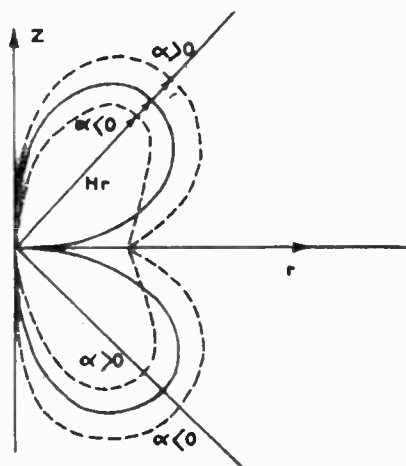


Fig. 2

l'intensité du champ à l'émetteur soit la même qu'en cas homogène ; cette normalisation correspond à un lobe dont le courant est constant.

D'abord on voit que pour de petites valeurs de α la puissance ne dépend que de α^2 : si α change son

signe, les deux moitiés de l'espace sont changées, la puissance n'est pas affectée.

Si nous fixons la tension d'alimentation en milieu homogène un gradient de α accroît la résistance, la puissance diminue ; pour maintenir le même courant qu'en milieu homogène il faut appliquer à l'antenne une tension un peu plus grande.

II) Etudions encore l'influence d'un sol plan au-dessous de l'émetteur à $z = -h$.

Il nous faut comme en milieu homogène ajouter à chaque onde de la direction γ de l'émetteur l'onde de la même direction réfléchi au sol.

Nous avons avec $k_1 = k$ atmosphère = b , $k_2 = k_{\text{sol}}$, $z > 0$

a) dans le cas $\alpha < 0$

$$(31) \quad \Pi = \frac{ik}{2\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} d\varphi \int_0^A d\theta e^{ik_1[(x \cos \varphi + y \sin \varphi) \sin \theta + z \cos \theta]} \frac{\sin \theta W_{+a}^{(2)}}{c i k_1 z \cos \theta} \left(1 + r_{+a}(\cos \theta)\right)$$

b) dans le cas $a < 0$

$$(32) \quad \Pi = \frac{ik}{2\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} d\varphi \int_0^A d\theta e^{ik_1[(x \cos \varphi + y \sin \varphi) \sin \theta + z \cos \theta]} \frac{\sin \theta W_{-a}^{(2)}}{c i k_1 z \cos \theta} \left(1 + r_{-a}(\cos \theta)\right) \quad \text{où}$$

$$(33) \quad r_{+a} = - \left(\frac{i k_2 \cos \theta_2 W_{+a}^{(2)} + \frac{\partial W_{+a}^{(2)}}{\partial z}}{i k_2 \cos \theta_2 W_{+a}^{(1)} + \frac{\partial W_{+a}^{(1)}}{\partial z}} \right)_{z=-h}$$

$$(34) \quad r_{-a} = - \left(\frac{i k_2 \cos \theta_2 W_{-a}^{(1)} + \frac{\partial W_{-a}^{(1)}}{\partial z}}{i k_2 \cos \theta_2 W_{-a}^{(2)} + \frac{\partial W_{-a}^{(2)}}{\partial z}} \right)_{z=-h}$$

et (35) $k_2 \sin \theta_2 = k_1 \sin \theta_1$, $\cos \theta_1 = \gamma_1 = \gamma$ en milieu supérieur, $W_{+a}^{(2)}$ donné par (18).

Il est facile de voir que $r_{\pm a}$, pour $a \rightarrow 0$, tend

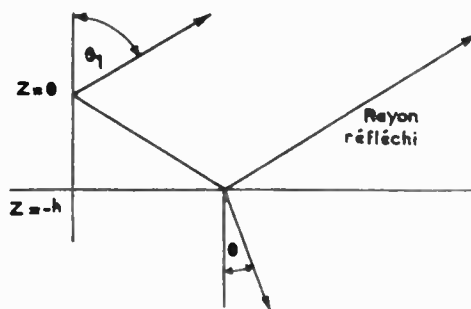


Fig. 3

vers les coefficients connus du milieu homogène qui sont identiques à ceux de FRESNEL comme fonction de θ .

b) Au cas $a < 0$, on représente l'intégrale (31

de manière asymptotique de la même manière que (21) et on obtient un résultat très simple :

$$(36) \quad \Pi = \frac{e^{ikR}}{2} F(z, \cos \tau) (1 + r_{-a}(\cos \tau))$$

où F est donné par (23)

En première approximation on a donc au récepteur au point z , R l'onde plane y arrivant de l'émetteur plus l'onde « plane » réfléchie au sol, de même qu'en milieu homogène, les ondes planes de ce milieu étaient remplacées par des ondes « planes » du milieu inhomogène (fig. 3).

c) La discussion physique sera donc bien simple. Il suffit d'expliquer le coefficient $(1 + r)$.

Si la conductivité du sol est infinie, le champ sur



Fig. 4

le sol est zéro, en raison du choix de la polarisation horizontale de E .

Si la conductivité du sol est finie, nous voyons



Fig. 5

que contrairement au cas du milieu homogène le champ au sol de l'ordre de grandeur $\frac{1}{R}$ ne s'annule pas si $a < 0$.

Nous avons au sol pour $h \rightarrow 0$:

$$(37) \quad r \rightarrow - \frac{ik_2 \cos \theta_2 - e^{-\frac{2}{3}\pi i} (3|a|)^{1/3}}{ik_2 \cos \theta_2 - e^{-\frac{2}{3}\pi i} (3|a|)^{1/3}} \quad (a < 0)$$

(θ) angle de direction du rayon pénétrant dans le sol).

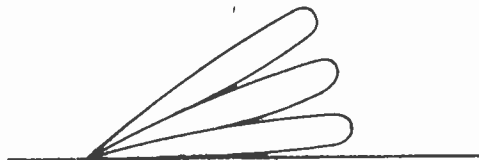


Fig. 6

On voit que pour $a \rightarrow 0$ $r \rightarrow -1$ et si $k_2 \rightarrow \infty$, $r \rightarrow -1$ ce que veut dire que les rayons directs et réfléchis ne s'annulent si $k_2 \neq \infty$ et $a < 0$.

La réfraction produit un champ de l'ordre de grandeur $\frac{1}{R}$ même au sol sauf si $k_2 = \infty$. Si $a > 0$,

les rayons sont courbés vers le haut (figure 5). On a une atténuation du champ. Pour voir cela il faudrait une discussion plus profonde de la formule (31) qui dépasserait le cadre de cet article.

On voit aussi que les maxima et les minima du champ se déplacent (figure 6) vers le haut ou le bas suivant que a est positif ou négatif.

c) Nous avons étudié les phénomènes qui se produisent dans un milieu stratifié dans une atmosphère libre et au-dessus d'un sol plan.

BIBLIOGRAPHIE

1. — G. ECKART. — Sur des ondes planes dans un milieu stratifié, I. Annales des télécommunications, Mai 1949.
2. — G. ECKART. — Sur des ondes planes dans un milieu stratifié, II. — Annales des Télécommunications, Juin 1949.
3. — G. ECKART. — Annales des Télécommunications 1949. La Recherche Aéronautique 1949.
4. — WEYL. — Annalen der Phys. 1919 S. 481.
5. — COURANT HILBERT. — Methoden der Math. Physik. II (Springer).
6. — NOETHER. — Rothe Ollendorff Pohlhansen Funktionentheorie und ihre Anwendung in der Technik (Springer).
7. — SOMMERFELD. — Annalen der Physik. 28 (1909) p. 665.
8. — WEYRICH. — Journal f. reine und angewandte Mathematik n° 172, p. 133, 1924.

LE SALON DE LA RADIODIFFUSION, DE LA TÉLÉVISION ET DE L'ÉLECTRONIQUE A LA XXXVIII^e FOIRE DE PARIS

(27 mai - 6 juin 1949)

Cette manifestation annuelle présentait cette année un caractère particulier. L'existence du Salon de l'Aéronautique avait impliqué son retour au hall de l'Electricité du Parc des Expositions, où elle avait été singulièrement réduite. Le nombre des stands se trouvait donc ramené de 300 à 220 environ, sans d'ailleurs que la qualité et l'intérêt de l'exposition eussent à en souffrir.

La caractéristique essentielle du Salon de 1949 réside dans l'introduction des applications de l'électronique, auxquelles un stand avait été réservé. Par contre, à l'inverse de l'an dernier, aucune démonstration de télévision n'avait pu être envisagée : en raison tant de l'exiguité de la surface attribuée que de la disposition des lieux. Mais, poursuivant sa tradition, le Réseau des Emetteurs français avait tenu à montrer l'activité opiniâtre et les succès remportés, dans le domaine des radiocommunications, par les amateurs-émetteurs, parmi lesquels se recrute incessamment une élite de zélés de la radiotechnique. Cette année, l'exposition avait surtout pour objet de montrer les performances qu'un amateur peut réaliser avec un émetteur dont la puissance peut être réduite à quelques watts et dont les frais d'établissement et d'exploitation sont relativement modestes. Les trophées ornant les séparations du stand nous enseignent que les membres du Réseau des Emetteurs français « contactent » l'Orient et l'Extrême-Orient, voire même le Chansi en Chine septentrionale. La station F 9 C Q du R. E. F., transférée au stand pendant la durée de l'exposition disposait sur le toit du hall de trois antennes correspondant respectivement aux liaisons sur 10, 20 et 40 m de longueur d'onde. En outre, le Réseau des Emetteurs français a pris une part active aux Concours internationaux de modèles réduits télécommandés, disputés le 29 mai sur le lac d'Enghien pour les embarcations et le 12 juin au champ d'aviation de Brétigny pour les aéronefs.

Au cours d'un tour d'horizon effectué parmi les stands, nous nous efforçons de montrer les nouvelles tendances techniques et de signaler les réalisations les plus dignes d'intérêt, sans perdre de vue qu'il s'agit essentiellement d'une présentation d'échantillons à l'usage du public et non de matériels professionnels, pour lesquels le lecteur voudra bien se reporter au compte rendu de la section des Télécommunications au Salon de l'Aéronautique.

Electronique appliquée

Cette section a fait ses débuts au Salon de 1949 sous les auspices du Comité des Applications Industrielles de l'Electronique, organisme institué il y a dix huit mois dans le cadre du Plan Monnet, et sous le parrainage du Syndicat national des Industries radioélectriques et du Syndicat général de la Construction électrique, représentant très exactement les deux faces du problème : le contenu et le

contenant, le principe et l'application. Pareille symbiose apparaît aussi à l'occasion du problème des perturbations radioélectriques, bien qu'avec moins de chances de succès en raison de positions diamétralement opposées.

Les applications de l'électronique industrielle sont, d'ores et déjà, innombrables. Elle s'impose, en effet, pour augmenter le rendement, la précision, les performances diverses des dispositifs mécaniques et électromécaniques. Certains domaines sont, à cet égard, privilégiés : mesures électriques, mécaniques, acoustiques ; télécommandes, télé réglages, télémesures, régulations de toute espèce, servomécanismes. Rapidement l'électronique s'introduit dans la métallurgie, les mines, la construction mécanique et électrique. Elle a déjà pris une place de choix dans les industries chimiques, des machines-outils, de l'imprimerie et du papier, des produits alimentaires, dans l'exploitation de réseaux de distribution d'électricité et des réseaux ferrés.

A l'origine de l'électronique industrielle, il y a sans doute le tube à vide, mais encore le tube à gaz qui a fait l'objet, en France, de maintes recherches couronnées de succès. La rétrospective nous montre l'histoire du relais à arc de grande puissance, les triodes à gaz de Duncy et Toulon (1922-1925), le premier relais Toulon fonctionnant dans l'eau (1922), le relais à arc léger à cathode de tungstène pour manipulation télégraphique (3A, 110 V), enfin le relais à arc Toulon avec cathode calorifugée (1929).

L'exposition se poursuit par les tubes modernes pour électronique industrielle : des ignitrons de 600 à 1.200 k V-A, à tension inverse de 500 V, fournissant des courants redressés de 40 et 100 A ; des ignitrons de 750 kW pour la commande d'un moteur (Matériel SW) ; des thyatron monogridde de 0,25 à 10 A avec tension inverse de 2.500 à 10.000 V ; des thyatron bigridde de 2,5 à 6,4 A avec tension inverse de 1 000 à 2 500 V (C.F.T.H.) ; des phanotrons moins puissants de 0,25 à 2,5 A (L.C.T.).

Des démonstrations sont données du contrôle à l'oscillographe de la commande par déphasage de tension de grille de deux thyatron alimentés en courant alternatif. Le résultat de la commande du déphasage est appliqué à la variation d'intensité lumineuse. Sur l'écran apparaît le phénomène électrique à observer : courant redressé, courant alternatif, tension de commande de grille. (C.F.T.H.). Dans un ordre d'idées voisin, citons un gradateur électronique pour lampes à incandescence (S.F.R.).

Les servomécanismes sont nombreux : commande pour moteurs de toutes puissances (Hervittic), variateur électronique de 4 CV permettant d'obtenir, à vitesse constante, une variation relative de vitesse de 1 à 60. (Laboratoires Radicélectriques). On voit encore un régulateur de moteur de 3,7 kW pour machines-outils et équipements de papeteries et de textiles, un servomécanisme de positionnement

à commande photoélectrique (S.F.R.), un tour à copier à commande électronique (Ernault-Batignolles), un motorol de 9 CV monté sur une fraiseuse (Somua). Signalons un variateur électronique pour amplidyne (Alsthom), un appareil de commande électronique du mouvement longitudinal d'un tour à reproduire (L.C.T.), un régulateur de l'excitation d'un alternateur puissant (Alsthom), des électrovannes (L.R.).

La S.N.C.F. avait consacré un stand avec applications de l'électronique au service du rail. On y trouvait les éléments : lampe électromètre, amplificateurs spéciaux des capteurs de vibrations, oscilloscope et oscillographe enregistreurs. Des photographies montraient la disposition de deux voitures spéciales permettant des enregistrements en ligne à grande vitesse, des appareils transportables permettant d'effectuer jusqu'à 16 enregistrements simultanés. Un panneau mural enseignait la réalisation des cellules piézoélectriques pour capter les efforts, des détecteurs de pression, des potentiomètres de mesure, des boîtiers étanches contenant les lampes électromètres en atmosphère desséchée pour parfaire l'isolement. Un petit compresseur d'air en fonctionnement traduisait sur l'oscillographe son diagramme pression-déplacement. Les applications ferroviaires sont nombreuses : étude de la stabilité des locomotives à vapeur et électriques, enregistrement des efforts sur les essieux, et des diagrammes des cylindres de locomotives et de moteurs Diesel. Toutes ces mesures concourent à améliorer la puissance, le rendement, le confort, pour l'amortissement des vibrations et la régulation des accélérations.

L'électronique a recours à des réalisations inédites et originales : prédétection des incendies, l'ionisation des sels de radium décelant la fumée et les gaz, et commandant par cellules une lampe à néon à grille de commande. Un relais à effluve de 5 m A actionne finalement un voyant et une sonnerie d'alarme (Signum).

Un détecteur de métal sert à déceler des particules métalliques dans une masse diélectrique. Le stroboscope à lampe-éclair favorise l'observation au ralenti des phénomènes mécaniques rapides. Des relais électroniques commandent automatiquement des dispositifs électromécaniques, signalent, les valeurs limites de toutes constantes physiques (humidité, température, pression), procèdent au comptage sous l'effet d'impulsions. Un compteur décimal électronique enregistre les impulsions sur des échelles à décades. Les capteurs de vibrations, les jauges à fil résistant sont les éléments indispensables des mesures (Philips, Ribet et Desjardins). Il ne nous est pas possible de nous étendre longuement sur ce sujet, pour lequel nous renverrons le lecteur aux comptes rendus du Salon de la Pièce Détachée et de celui de l'Aéronautique.

Récepteurs de Radiodiffusion.

Plus encore que l'an dernier, on peut dire que la technique est stabilisée. Le récepteur normal est toujours le superhétérodyne. Le condensateur variable de 490 pF, normalisé en 1948, est fabriqué exclusivement depuis le 1er janvier 1949, sous la forme simple ou sous celle à stator fractionné (130

+ 360 pF), la seconde convenant particulièrement aux postes à 4 gammes d'ondes ou plus. La nouveauté essentielle résiderait dans la substitution des tubes miniatures aux anciennes séries normales. D'ailleurs, leurs caractéristiques sont sensiblement les mêmes. La principale différence consistant dans la réduction du volume et du poids.

Les performances les plus intéressantes caractérisent les postes de luxe dont le nombre de tubes atteint parfois 8 ou 9 et le nombre de circuits accordés, 10. Le nombre de gammes d'ondes est variable. Certains se contentent de 4 gammes (GO, PO, OC₁, OC₂), d'autres ont jusqu'à 9 gammes, dont 6 étalées en ondes courtes ; d'autres encore reçoivent 8 bandes semi-étalées de 12,50 à 68 m, ou bien les bandes de radiodiffusion étalées (16, 19, 24, 30, 40 et 48 m). Parmi les perfectionnements apportés, on peut signaler la sensibilité meilleure que 10 μ V, le réglage automatique de sensibilité sur trois étages, la sélectivité variable, la commande gyroscopique de l'accord, la combinaison de la tonalité et de la sensibilité, la puissance portée à 6 ou 8 W avec distorsion limitée à 5 %, la sortie symétrique en classe A B sur haut-parleur à aimant permanent orienté sous champ (« ticonal »). Parfois la qualité acoustique est améliorée par l'emploi d'un haut-parleur double à deux membranes, de la compensation et de la correction en basse fréquence avec contre-réaction sélective. Notons encore la séparation des canaux d'amplification acoustique et l'utilisation d'un « clavier musical » à 9 touches pour le dosage de la tonalité.

On constate avec satisfaction l'amélioration constante de la qualité intégrale : qualité technique, sécurité, qualité acoustique. Après les étapes du label intérieur (1943) et du label des radiorécepteurs destinés à l'exportation (1947), on en est arrivé à la marque nationale de qualité des récepteurs (conformité aux Règles d'établissement des récepteurs radiophoniques, publication n° 122 de l'Union Technique de l'Electricité), dont la réalisation sera d'ailleurs facilitée par la mise en vigueur de la marque nationale de qualité des pièces détachées, sur la base des règles d'établissement de ces diverses pièces (Publications 98-1 à 98-14 de l'U.T.E.).

Quelques réalisations individuelles attirent l'attention : le changement de gammes d'ondes par poussoir, le compensateur musical à trois potentiomètres correspondant à trois registres de tonalité, la démultiplication combinée avec le système d'accord silencieux, la préamplification à haute fréquence sur toutes les gammes d'ondes. Enfin le retour au cadre monospire incorporé, considéré comme collecteur d'ondes antiparasite.

Rien de bien nouveau à signaler dans les récepteurs normaux, qui comportent 4 à 5 tubes à fonctions multiples, sinon l'amélioration nette de la qualité du haut-parleur, généralement plus sensible et plus puissant, présentant moins de distorsion et une réponse améliorée.

La technique des postes portatifs n'est pas essentiellement différente, le criterium paraissant être celui de l'encombrement minimum, qui vient de recevoir une nouvelle limite inférieure par l'utilisation des tubes et matériels miniatures. Cependant, cer-

tains constructeurs s'orientent, pour diverses raisons, vers la suppression du condensateur variable et son remplacement par une inductance à noyau plongeur. La construction normale du poste à 4 gammes d'ondes (GO + PO + 2 OC) se transforme pour les zones tropicale et équatoriale, par la suppression des gammes les plus longues et un glissement général vers les fréquences les plus élevées. La sensibilité est de l'ordre de $25 \mu V$ en G.O. : $12 \mu V$ en P.O. et $10 \mu V$ en O.C. La puissance, de 2,5 W environ. Certains appareils comportent en supplément la bande maritime (75 à 200 m). Dans d'autres, les gammes se recouvrent de 13 à 2.000 m sans solution de continuité.

Les difficultés économiques de l'heure ont suscité la fabrication de postes à amplification directe, ne comportant que 2 tubes et 1 valve et permettant une bonne réception en haut-parleur des émissions locales.

Le câblage appliqué, analogue au procédé « pre-packing » de la Franklin Airloop Corporation, s'est doublé cette année du câblage imprimé. Dans le premier, les liaisons se font par bandes de métal noyées dans l'isolant, entre pièces détachées spécialement étudiées : condensateurs électrochimiques miniatures, condensateurs au mica, condensateurs au papier miniatures (longueur 30 mm, diamètre 8 mm). Dans le second procédé les résistances et leurs connexions sont imprimées sur bakélite au moyen d'une peinture à base de poudre de fer (?). On peut ainsi fabriquer un changeur de fréquence à 5 tubes miniatures débitant 3 W sur haut-parleur de 19 cm. Ces procédés, qui d'ailleurs ne sont utilisés que partiellement, paraissent de nature à réduire le prix de revient de la construction.

Nous nous abstenons de commenter ici les formes données aux récepteurs, qui relèvent de considérations plus commerciales que techniques. Nous devons signaler cependant que la révolution qu'on observe cette année dans la présentation des appareils paraît être une conséquence du remplacement des ébénisteries classiques, en bois ou en bakélite, par des coffrets métalliques en tôle. Cette matière se prête — heureusement ou non — à la diversité des formes, du coloris, de l'aspect qui sont, paraît-il autant d'arguments de vente.

Par voie de conséquence, le cadran classique et plan est en régression au profit du cadran circulaire à aiguille rotative et du cadran tubulaire, lequel est généralement complété par deux molettes coaxiales montées en bout.

Technique des récepteurs spéciaux.

Le récepteur dit « tropical » s'est modifié cette année par l'adaptation de la bande dite des « ondes coloniales » de 50 à 100 m de longueur d'onde, conformément aux décisions de la Convention internationale des télécommunications. Le récepteur colonial ne comporte pas toujours les petites ondes, mais toujours les ondes courtes de 11 ou 13 m à 100 m environ. L'adaptation à partir du poste normal pour la zone européenne est obtenue par un glissement des gammes vers les fréquences plus élevées. Certains récepteurs ne comportent que des gammes semi-étalées, d'autres possèdent des bandes confortablement étalées sur le cadran. Parfois, la

sensibilité atteint $3 \mu V$ sur l'onde de 13 m. Le cadran est gradué en mètres ou mégahertz. L'alimentation est souvent mixte, assurée à volonté par le réseau ou par une batterie d'accumulateurs et un vibreur ou une commutatrice. Les postes Coloniaux le mieux étudiés sont montés en boîtier métallique étanche, avec antenne télescopique incorporée.

La reprise de fabrication des tubes de 1,4 V, et principalement l'avènement de ces nouveaux tubes en série miniature, ont précipité la construction des récepteurs à batteries et mixtes. Il y a, en effet, une demande importante à satisfaire pour les campagnes non électrifiées, ainsi que pour certains usages spéciaux : postes de marinières, de voyage, de camping. On a donc repris la fabrication des récepteurs à piles de type normal, mais allégé grâce à l'emploi de 6 tubes miniatures (1R5, 1T4, 1T4, 1S5, 3S4, 3S4) ou analogues. Un commutateur permet de réduire la puissance en éliminant certains tubes, pour économiser les batteries. La consommation de courant anodique est limitée à 5,7 ou 9 m A. Le chauffage est assuré par 50 m A sous 1,5 V pour chaque tube. Le service qu'on peut attendre d'un tel appareil est celui d'un « tous courants » normal, lorsqu'il est équipé d'un bon haut-parleur à aimant permanent. Avec une antenne convenable, on peut recevoir la nuit 50 émissions environ dans un rayon de 2.000 km. La qualité de l'audition est généralement bonne, en raison de la réduction du niveau des perturbations et de la transmodulation, surtout si l'écoute est pratiquée sur cadre orientable accordé. Ces postes possèdent souvent un cadre incorporé auquel on peut adjoindre une antenne, pour augmenter la sensibilité.

La question délicate reste celle des piles. Un poste moyen consomme chaque semaine une ou deux piles pour le chauffage et tous les deux mois une pile de tension anodique. La dépense mensuelle pour le renouvellement des batteries d'un tel poste serait de l'ordre de 300 à 450 frs environ, selon l'utilisation qui en est faite.

De très nombreux modèles de postes à piles ont été réalisés, la plupart sous forme de valises ou de sacs à bandoulière, cette dernière fonctionnant comme cadre ou antenne. Certains postes à 4 et 5 lampes miniatures pèsent de 1,5 à 4 kg et reçoivent sur 3 ou 4 gammes. Mais on construit également des « bilampes » et même un « monolampe » qui, ne pesant que 0,7 kg, permet encore la réception d'une dizaine de stations, au casque, sur antenne et terre.

Les postes « miniatures-secteur » se sont considérablement développés cette année et rivalisent d'encombrement minimum. Un récepteur à 5 lampes médium tient dans un coffret de 19 cm × 13 cm et fonctionne sur les gammes PO + GO, avec accord par noyau magnétique, haut-parleur de 10 cm de diamètre recevant une puissance modulée de 1 W et consommant 20 W sur le réseau. La recherche de la miniaturisation n'exclut pas celle de la qualité, puisque ces postes bénéficient du label des récepteurs. Dans certains, la consommation est abaissée à 16 W. D'autres reçoivent sur 3 gammes d'ondes. Certains répondent même aux exigences de la marque nationale de qualité.

Enfin le poste-voiture s'est peu modifié, mais doit répondre aux conditions strictes qui vont lui être imposées par les règles d'établissement en voie d'élaboration. Les voitures françaises, petites et économiques, n'étant pas, en général, des « salons sur la route », sont bruyantes et trépidantes. En contrepartie, le poste-auto français doit être sensible au signal, insensible aux parasites, puissant, protégé contre les vibrations et d'un encombrement modeste. C'est, d'ordinaire, un superhétérodyne toutes ondes, à 5 lampes miniatures, alimenté par convertisseur, énergiquement antiparasité, muni d'une antenne télescopique et d'un haut-parleur convenable (17 cm de diamètre). Mais certains n'ont que 2 gammes d'ondes, tandis que d'autres en comptent 4 (PO, GO, 20C). Les postes « monobloc » sont plus rares que ceux répartis en plusieurs coffrets élémentaires (haut-parleur, convertisseur et récepteur), dont la dissimulation est facilitée. Certains modèles puissants pour autocars desservent jusqu'à 5 et 6 haut-parleurs.

Collecteurs d'ondes antiparasites.

On assiste, cette année, à une floraison de collecteurs d'ondes antiparasites constitués très simplement par une spire de métal unique, montée sur un coffret qui contient en outre un condensateur d'accord, un commutateur de gammes d'ondes, un transformateur d'adaptation et un tube de couplage. L'idée n'est, certes, pas nouvelle, mais la réalisation pouvait correspondre à une nécessité de l'heure. Le niveau des parasites est-il plus gênant ? Les antennes antiparasites sont-elles trop chères ? Toujours est-il que l'auditeur désabusé paraît avoir renoncé à la formule classique : « Une prise de courant, et c'est tout » pour s'imposer à nouveau la sujétion du cadre orientable accordé, auquel il avait renoncé depuis 20 ans !

Electroacoustique.

Contrairement à ce qu'on pourrait croire, cette technique est en fermentation. Le disque change de caractéristiques : son diamètre se réduit, sa vitesse aussi, mais la durée de l'enregistrement est augmentée par l'utilisation des microsillons. D'où la nécessité pour les tourne-disques de s'adapter. Certains dispositifs d'adaptation permettent de passer, pour la reproduction comme pour la gravure, des disques de 33,33 à ceux de 45 et de 78 t : mn. L'aiguille d'acier paraît éclipsée par le saphir, qui permet la réalisation de bras développant une force de pression très faible (6 à 20 g sur le disque). Les lecteurs de sons usuels sont du type piézoélectrique à lames de sel de La Rochelle. Un mécanisme simple assure le soulèvement et le retour automatiques du bras. De nouveaux moteurs à induction, autodémarrateurs à vitesse constante éliminent le régulateur de vitesse et comportent des paliers à rotule, un doigt de déclenchement réglable à freinage progressif.

Les changeurs de disques fonctionnent avec des disques de divers diamètres, choisissent l'enregistrement désiré, peuvent intervertir l'ordre des enregistrements, permettent de régler l'intervalle entre la reproduction de deux disques consécutifs de 6 à 5 mn.

Les radiophonographes combinent les caractéristiques des électrophones à celles des récepteurs de radio-diffusion de luxe, et s'annexent parfois le téléviseur.

Les enregistreurs à fil ou bande magnétique sont plus nombreux et leurs applications se développent. Le fil d'acier ou nickel utilisé à un diamètre de 0,03 à 0,10 mm et passe dans les têtes à la vitesse de 30 à 60 cm : s. Chaque bobine assure 1/4 d'heure à 1/2 heure d'audition. Le poids de l'appareil portable est de 9 kg environ, sa consommation de 70 W.

Ajoutons enfin la présentation d'un nouveau diffuseur de son en forme de paraboloïde de révolution, dans lequel le son est projeté par un conduit perpendiculaire à l'axe.

Pour ce qui est du matériel de sonorisation proprement dit, le lecteur voudra bien se reporter à l'analyse que nous en avons faite lors du dernier Salon de la Pièce Détachée.

Les téléviseurs.

Les démonstrations n'ont, par suite des circonstances, pu être données dans les stands des constructeurs ni, comme l'an dernier, dans une galerie spécialement aménagée à cet effet. Mais les constructeurs invitaient les visiteurs à se rendre dans des salles du voisinage où les appareils étaient montrés en fonctionnement. Ce n'est donc qu'à l'état statique que les téléviseurs ont été vus dans les stands.

L'exposition 1949 a été caractérisée par un grand nombre d'appareils de conception variée, s'étendant du « midgel » à tube de 16 cm au poste de luxe à projection sur écran confortable. Si l'on en croit l'expérience des Américains, les récepteurs à trop petite image n'ont pas de succès. Mais il semble que cette règle ne concerne pas les Français, certains préférèrent une petite image à rien du tout. Le poste normal moyen paraît commencer avec le tube cathodique à écran de 22 cm de diamètre.

Aux inconvénients de l'image exiguë, qui ne peut guère être vue que par un seul spectateur à la fois, on peut obvier par le moyen optique d'une simple loupe, mais de grandes dimensions. Certaine loupe française « magnaniste », plan convexe, en plexiglas, est remplie d'un liquide réfringent. Une autre loupe américaine, en lucite moulée, est une lentille de Fresnel à microsillons.

Le nombre des tubes utilisés dans les téléviseurs varie, d'ordinaire, de 17 à 30. Un téléviseur deluxe à 24 lampes en compte 4 pour le balayage de lignes ; 2 pour le balayage d'images ; 3 pour la synchronisation ; 7 pour l'amplificateur d'image, 3 pour l'amplificateur de son, plus 3 valves à basse tension et deux lampes pour la haute tension avec redressement du courant à 11.000 Hz. L'antenne dipôle est branchée sur câble coaxial. Les images les plus confortables sont obtenues sur tube de 31 cm ou de 36 cm.

Dans les combinés radio-phono-téléviseurs, on assure parfois la commutation automatique du poste de radiodiffusion et du poste de télévision (son et image). La consommation totale est de l'ordre de 175 à 200 w. La sensibilité atteint 50 µV environ. La brillance de l'image est telle qu'elle reste visible dans une salle éclairée.

La qualité des postes de table ne le cède en rien à celle des téléviseurs- consoles. Une image sur écran de 31 cm peut être regardée par une dizaine de personnes échelonnées entre 2 et 3 m de distance. La bande passante est de l'ordre de 3,5 MHz pour la définition de 455 lignes. La netteté de l'image est parfois accrue par la détection au germanium.

La réalisation de télévision à écrans miniatures de 16 et 18 cm de diamètre correspond au désir d'abaisser le prix de revient, qui arrive cependant à dépasser 40.000 fr. La complexité du poste de télévision et la difficulté de son installation correcte ont conduit certains constructeurs à proposer à leur clientèle des conditions particulières de location, de vente et d'abonnement à l'entretien. Signalons pour terminer la mise au point d'une mire électronique, génératrice de signaux destinés à l'analyse et au contrôle des téléviseurs, qui se révèle particulièrement utile pour leur installation, leur vérification et leur réparation à domicile.

Matériel professionnel

Cette section, assez faiblement représentée dans cette exposition, nous montre cependant un appareil de conception nouvelle. Il s'agit d'un émetteur-récepteur à ondes métriques (300 à 400 MHz) assurant en téléphonie des liaisons bilatérales. À portée de la main de l'opérateur, un bloc formant pupitre, surmonté du combiné microtéléphonique, présente deux manettes pour le réglage du gain et de la modulation sur la tonalité fixe de 400 Hz. Le passage d'émission à réception est effectué au moyen d'une manette de type pédale montée sur le combiné. L'émetteur et le récepteur sont montés dans un boîtier métallique cylindrique, fixé sur un support élevé d'où sortent diamétralement les deux brins du dipôle à travers des pièces de sortie en alcaathène. Cette liaison fonctionne en visibilité directe. La portée maximum est de 10 à 15 km. Les applications en sont faites aux chantiers, aux voies ferrées, aux gares de triage, aux écoles de pilotage, aux exploitations agricoles.

À signaler aussi une présentation de téléimprimeurs à impression sur page ou sur bande : chaque caractère est transmis sous forme d'un train de 5 impulsions électriques d'égale durée, positives ou négatives, dont la combinaison de polarité est définie par un code. La cadence de frappe est inférieure à la limite imposée par la vitesse de transmission fixée à 50 bandes (impulsions élémentaires de 20 ms). Le clavier est celui d'une machine à écrire.

Notons encore des collections de redresseurs secs et de cristaux détecteurs au silicium et au germanium, qui trouvent leur utilisation dans les liaisons en hyperfréquences (radar et autres). Un oscillateur à triode de germanium, genre transistor, est mis en démonstration à titre expérimental.

Instruments de mesure

Quelques nouveautés intéressantes ont été présentées à cette exposition qui, sous ce rapport, ne saurait néanmoins rivaliser avec le Salon de la

Pièce Détachée ni avec celui de l'Aéronautique.

Au point de vue professionnel, on remarque une table de contrôle de fabrication des tubes électroniques, meuble de grandes dimensions, aux châssis séparés et interchangeables, qui permet la mesure précise des performances des lampes : pente, facteur de puissance, résistance intérieure. L'approximation est de l'ordre de 0,1 pour 100. On observe sur l'oscilloscope l'aplatissement d'une ellipse de Lissajous, qui vient se confondre avec son grand axe. Les valeurs de U , I et s sont lues sur les décades. L'alimentation est largement prévue. Les tubes à mesurer sont préchauffés dans les conditions d'emploi, avec application des tensions de régime.

Parmi les appareils le plus récents, nous notons encore un comparateur électronique d'impédances, convenant pour les résistances de 5 ohms à 5 MΩ, les capacités jusqu'à 0,5 μF, les inductances de 2 mH à quelques henry, à la fréquence de 3.000 Hz.

Une base de temps monocourse permet d'obtenir le déclenchement instantané du spot pour un seul balayage horizontal pour l'analyse des régimes transitoires. Un commutateur électronique à cinq traces permet d'examiner simultanément cinq phénomènes provenant de cinq amplificateurs. Un oscilloscope d'alignement, transportable et pratique, fonctionne avec un tube de 70 mm. Un oscilloscope cathodique à très haute fréquence, comportant un tube à post-accélération de 100 mm, est caractérisé par une bande passante de 10 MHz avec gain de 300 et balayage relaxé et déclenché jusqu'à 500 kHz.

Quelques appareils spéciaux pour les applications de l'électronique : détecteurs de vibrations et de pressions avec membrane à variation de capacité contrôlant l'accord d'un discriminateur avec oscillateur à quartz, mesureurs de déformation par jauges résistances avec générateur et pont d'équilibrage, la lecture de la tension proportionnelle à la déformation étant faite sur un oscillographe à traces multiples. Rappelons encore le comparateur magnétique développant sur l'écran de l'oscilloscope la courbe de magnétisme de l'échantillon d'acier analysé, et les autotransformateurs à variation continue de tension.

En conclusion, le succès même remporté par ce Salon semble prouver que la formule en a été appréciée. Les circonstances économiques ont incité les constructeurs à porter leurs efforts sur les appareils spéciaux : postes pour voitures, postes coloniaux, postes miniatures, postes à batteries et mixtes. Formules heureuses, puisqu'elles ont, à n'en pas douter, répondu aux goûts du public. Ainsi l'industrie radioélectrique, qui semblait souffrir d'une certaine stagnation, s'est renouvelée. La télévision a déjà préparé une gamme très complète de prototypes qui n'attendent qu'un signal pour se multiplier. Enfin, du point de vue industriel, l'électronique est une nouvelle voie ouverte aux activités radioélectriques. En somme, les industries radioélectriques, pleines de vitalité, sont riches de promesses, dont la réalisation n'est plus tributaire que de la conjoncture générale, dont on attend impatiemment qu'elle veuille bien s'améliorer.