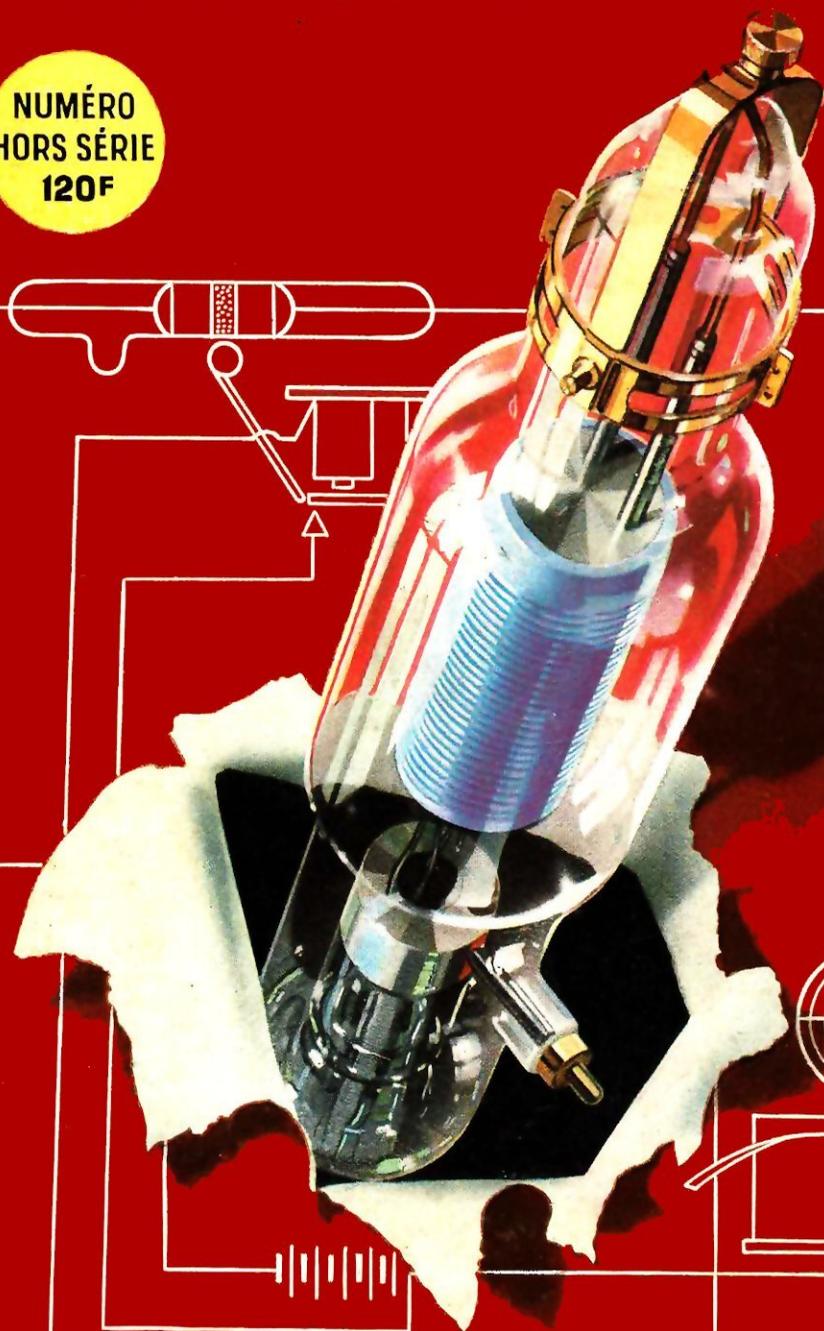


SCIENCE ET VIE

NUMÉRO
HORS SÉRIE
120F



**Radio, Radar,
Télévision...**

R. GÉRI

LA MARQUE



DE QUALITÉ

ÉCLAIRAGE

Lampes à incandescence pour tous usages.
Lampes pour usages spéciaux.
Lampes pour prises de vues photographiques et cinématographiques.
Lampes pour projection.
Lampes pour autos, motos et bicyclettes.
Lampes à décharge (sodium et mercure) pour éclairage public et industriel.
Lampes tubulaires fluorescentes.
Lampes de séchage à rayonnement infra-rouge.
Tous appareils d'éclairage : diffuseurs, réflecteurs, projecteurs.
Etude d'installations rationnelles d'éclairage.

RADIO

Postes émetteurs et récepteurs.
Tourne-disques. - Pièces détachées.

TUBES ÉLECTRONIQUES

Tubes émetteurs et récepteurs.
Tubes à rayons cathodiques.
Cellules photoélectriques.
Tubes stabilisateurs de tension.
Tubes récepteurs spéciaux pour ondes courtes et ultra-courtes, etc.

ÉLECTRO-ACOUSTIQUE

Microphones - Amplificateurs - Haut-parleurs - Transmetteurs d'ordres - Accessoires.

CINÉMA

Equipements de cabines - Projecteurs - Lecteurs de son - Amplificateurs haute-fidélité - Systèmes d'enregistrement pour studio.

MATÉRIEL INDUSTRIEL

SOUDURE A L'ARC
Postes et électrodes pour soudeuse à l'arc.

APPAREILS DE MESURE
Oscilloscopes ; Générateurs H. F. et B. F. ; Ponts de mesures ; voltmètres ; oscillateurs ; modulateurs, etc.

ELECTROTECHNIQUE
Chargeurs de garage. Redresseurs industriels. Filtrés magnétiques, etc.

CHAUFFAGE ÉLECTRONIQUE
Fours à haute fréquence.

TÉLÉCOMMUNICATIONS
Postes émetteurs récepteurs professionnels. Télécommandes.

RAYONS X

Toutes applications médicales et industrielles des rayons X.
Electrologie. Actinologie. Générateurs à très haute tension.

APPAREILS MÉNAGERS

Rasoir électrique PHILISHAVE.
Bouteilles isolantes.

PHILIPS

S.A. PHILIPS - ECLAIRAGE & RADIO - 50, AVENUE MONTAIGNE - PARIS. 8^e

1910



1948

*38 Années
de technique française
au service des
Radiocommunications*

RADARS
RADIOSONDES
RADIO GUIDAGE
RADIODIFFUSION
CABLES HERTZIENS
RADIOCOMMUNICATIONS
LAMPES D'ÉMISSION de Toutes Puissances

S^{TÉ} F^{SE} RADIO-ÉLECTRIQUE

79, Bd Haussmann — PARIS-VIII^e

FOURNISSEUR DE TOUTES LES ADMINISTRATIONS D'ÉTAT
ET DES GOUVERNEMENTS ÉTRANGERS

POUR VOS CONSTRUCTIONS
POUR VOS MISES AU POINT
POUR VOS DÉPANNAGES

CIRQUE-RADIO

MET A VOTRE DISPOSITION

100 TYPES DIFFÉRENTS D'APPAREILS DE
MESURES A DES PRIX A LA PORTÉE DE TOUS :

SUPER-CONTROLEUR

3-30-150 milliampères, 1-5-7,5 amp. Avec shunts 15-30-75 150 ampères, 1,5-7,5-30-150-300-750 volts. Indispensable pour le dépannage rapide. Complet avec cordons et mode d'emploi. Poids 0 kg 500. Prix..... 7.900

OHMMÈTRE

Muni d'un ampère-mètre à lecture directe continu et alternatif. Lecture directe de 1 à 2.000 ohms - Wattmètre continu et alternatif. Permet toutes les mesures électriques, isolement, etc.. Livré avec pointes de touches et notices..... 1.990

GÉNÉRATEUR

Équipé d'un multiplicateur spécial. Tensions. Tensions H. F. modulées et atténuées. Tensions B. F., alimenté par pile de 4 v 5. Coffret métal givré. Livré avec câble blindé et notice..... 3.350

POLYMESUREUR

L'appareil de mesures le plus complet et le plus moderne et que doit posséder tout laboratoire. Poids 5 kg 800. Prix..... 28.000

POLYMÈTRE

Toutes les mesures de radio. Tous les contrôles Industriels. Poids 1 kg 100. Livré avec notice d'emploi. 17.000

GÉNÉRATEUR B. F.

d'une conception nouvelle. Oscillateur à résistances, capacités; Pont de Tuttle U. S. A. Précision rigoureuse. Atténuateur gradué en volts et millivolts. Permet tous les dépannages B. F. sur postes et amplis. Livré avec notice d'emploi..... 9.990.

VOLTMÈTRE A LAMPES

Cet appareil très peu coûteux permet d'obtenir des lectures précises en continu et alternatif sur un cadran pré-imprimé, sans aucune opération. Monté en Push-Pull avec une très forte réaction. Livré avec notice d'emploi..... 8.300

TOUTES LES PIÈCES DÉTACHÉES :

- 41 Modèles de Potentiomètres au graphite et bobinés.
- 139 Modèles de Condensateurs de toutes valeurs et de tous voltages,
- 86 Types de Résistances — 33 Modèles de Cadran
- 29 Modèles de Haut-Parleurs — 23 Modèles de Bobinages de 1 à 9 grammes, etc...

CIRQUE-RADIO

24, Boulevard des Filles-du-Calvaire - PARIS-XI^e
Métro: Filles-du-Calvaire et Oberkampf - Tél.: ROQ. 61-08

A 15 MINUTES DES GARES
D'AUSTERLITZ, LYON, S^t-LAZARE, NORD et EST

Fournisseur des P. T. T., Marine, Métro, S. N. C. F., Radio-diffusion, Air-France, Faculté des Sciences, de toutes administrations et des grandes firmes : "Sadir-Carpentier", Laboratoire des recherches atomiques, etc., etc...

COMME AUX TEMPS HEUREUX

SONNECLAIR-RADIO
vous offre
PRÉSENTATION
ET QUALITÉ



Selection 48
récepteur d'élite

SONNECLAIR-RADIO
7, PASSAGE TURQUETIL - PARIS XI^e - ROQ. 29-21 & 25-50

Transmission d'ordres ?
OUI !!!
MAIS SURTOUT
INTERCOMMUNICATION
IMMÉDIATE ENTRE TOUS LES SERVICES
SANS "OCCUPÉ" SANS "RECHERCHE"

Telespeaker
Telespeaker
Telespeaker

Le seul système économique à intercommunication rapide et totale, entre tous les services, tout en permettant la transmission des ordres, en général et particulier de la direction aux services.

Leul système, fruit d'une expérience de 12 ans et de milliers d'installations, n'a rien de commun avec un "interphone" quelconque.

Une installation "TELESPEAKER" s'installe en un temps record, car il y a économie affective de temps et augmentation d'EFFICACITÉ pour tout le monde.

Le matériel "professionnel" en qualité et "de luxe" en présentation

SOCIÉTÉ NOUVELLE DES ÉTABLISSEMENTS SCHNEIDER FRÈRES

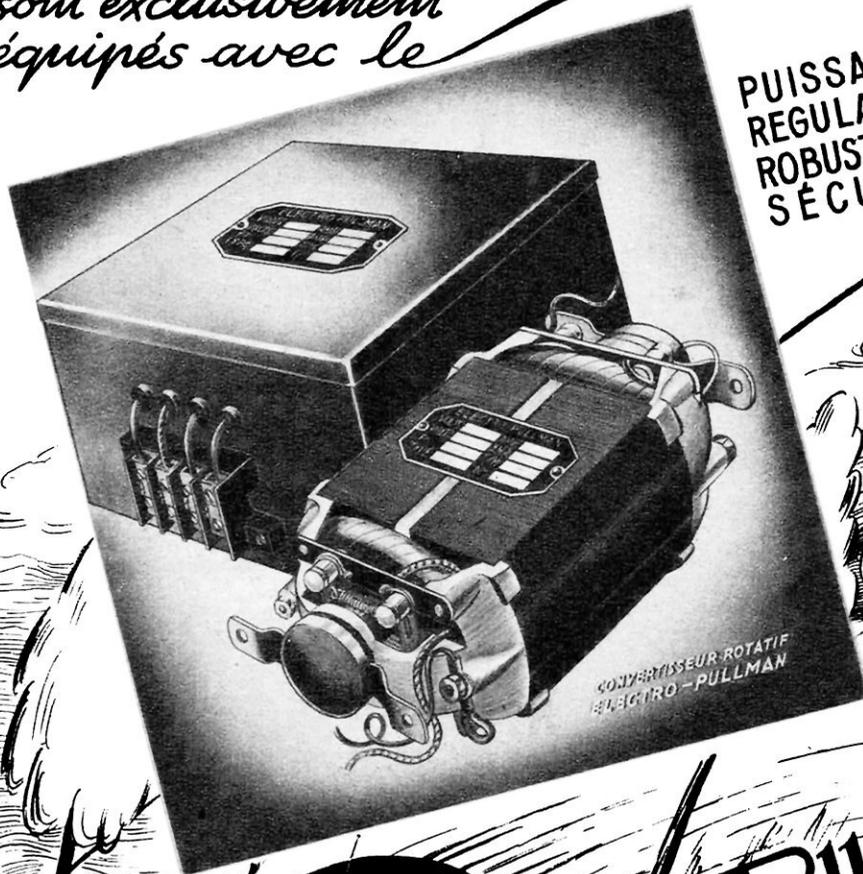
AGENCE DANS TOUS LES PAYS
LA FRANCE ET L'ÉTRANGER

5 ET 7, RUE JEAN DAUDON - PARIS 15^e - TÉL. 83-77 ET 78
DOCUMENTATION SUR DEMANDE

Les postes voiture
de Haute Qualité
sont exclusivement
équipés avec le

118

PUISSANCE
REGULARITÉ
ROBUSTESSE
SÉCURITÉ



CONVERTISSEUR ROTATIF
ELECTRO-PULLMAN



DYNAMOTOR
DYNAMO ET MOTEUR

Electro-Pullman

Équipe : Défense nationale,
Marine militaire et marchande,
Air, P.T.T., etc...

20 ANS DE PRATIQUE
50.000 APPAREILS EN SERVICE

SOCIÉTÉ ÉLECTRO-PULLMAN
125, Bd LÉFEBVRE PARIS (15^e) LEC.99-58

ATTENDUE CHAQUE SAISON
 DEPUIS **18 ANS**
 L'EDITION 1948

Reste de naissance

92 PAGES 21x27
540 CLICHÉS
103 TABLEAUX
 « CARACTÉRISTIQUES
 et...
 des schémas de
 super-chassis
 éprouvés

**DOCUMENTATION PERMANENTE
 DE LA RADIO**

POUR RECEVOIR CETTE
 adressez 100 frs en mandat, chèque au ch. post.

Seul
 CATALOGUE
 DU
 GENRE

N'oubliez pas... de mentionner votre Numéro de R. C. ou R. M. et de vous référer de ce journal.

AU PIGEON VOYAGEUR
 252^{bis} Bd SAINT GERMAIN - PARIS 7^e - CH. Post. PARIS 28135

Oui! La Télévision est pratiquement réalisée avec le Téléviseur "ONTRA"

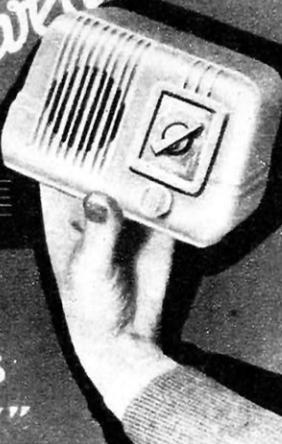


Le Téléviseur "ONTRA" est déjà en service à Paris et ses environs (jusqu'à 100 km). En avance dans la technique de la Télévision, "ONTRA" reste aussi au premier rang de fabricants de récepteurs Radio.

Demandez notices Télévision et notices Radio

ONTRA F. PICARD, Ingénieur-Constructeur
 34, rue Duranton, Paris - 15^e
 Tél.: LEC. 94-27

*Enfin!...
 une Nouveauté*



**LE
 MINIATURE
 4 LAMPES
 "BABY"**

LALY_RADIO
 8 RUE BERTRAND
 SEG. 77 91 PARIS

PUB RAPY

*avec 80 SCHEMAS
 modernes*

RADIO M.J.
 NOUVEAU CATALOGUE
 1948
 52 PAGES

ENVOI DE CE CATALOGUE CONTRE 15^F CENTIMBRES

PRIX 15^F

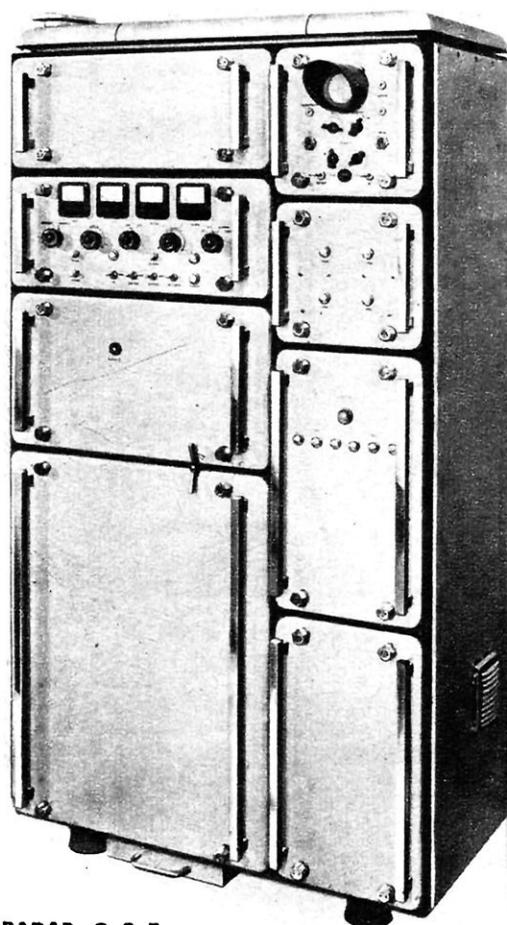
RADIO.M.J.
 19, RUE CLAUDE BERNARD (5^e) PARIS
 OU 6, RUE BEAUGRENELLE (15^e)

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE
**TÉLÉGRAPHIE
SANS FIL**

CENTRE DE RECHERCHES TECHNIQUES
23, RUE DU MAROC — PARIS-19•



CSF



RADAR C. S. F.

DÉTECTION ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE

NAVIGATION AÉRIENNE
NAVIGATION MARITIME
—— RADARS ——

HYPERFRÉQUENCES

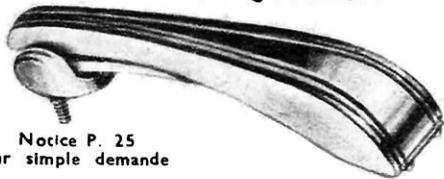
ÉMETTEURS ET RÉCEPTEURS
MAGNÉTRONS - KLYSTRONS
—— TUBES A VIDE ——

OPTIQUE ÉLECTRONIQUE

MICROSCOPE ÉLECTROSTATIQUE
ANALYSEUR A DIFFRACTION

PICK-UP

PIÉZO-ÉLECTRIQUE
DE HAUTE QUALITÉ



Notice P. 25
sur simple demande

Autres fabrications : MICRO AVEC PIED
DE TABLE ET DE SCÈNE, DÉCOLLETAGE
RADIO, ACCESSOIRES D'AMPLI.

PURSON

PARIS - FRANCE

Service commercial :

70, Rue de l'Aqueduc, PARIS-X^e

NORD 05-09 et 15-64

PUBL. RAPHY

Une vieille expérience au service des réalisations nouvelles

NOS RÉCEPTEURS :
Le H 31 sphérique artis-
tique.
La gamme des supers de
5 à 8 l., les radio-phones
et électrophones.
Documentation
sur demande

ETRI

91, RUE DE
LOURMEL
PARIS-15^e VAU. 47-20

ETRI

LES ÉTABLISSEMENTS GAILLARD

Spécialisés depuis 1933 dans le "POSTE COLONIAL"
présentent le

SUPERO.C.77

RÉCEPTEUR 7 TUBES ENTIÈREMENT TROPICALISÉ
BATTERIE ET SECTEUR — 4 GAMMES D'ONDES

P.O. : 190-570 m.
O.C. 3 : 28- 52 m.
O.C. 2 : 16- 30 m.
O.C. 1 : 9- 18 m.

NOTICE SPÉCIALE SUR DEMANDE

AUTRES FABRICATIONS :

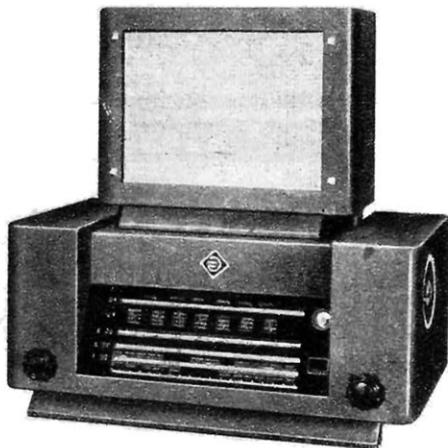
RÉCEPTEURS DE 5 A II LAMPES
dont la réputation n'est plus à faire

• CATALOGUE GÉNÉRAL FRANCO •

ÉTS GAILLARD

5, rue Charles-Lecocq Paris XV^e Téléphone
LEC. 87-25

PUBL. RAPHY

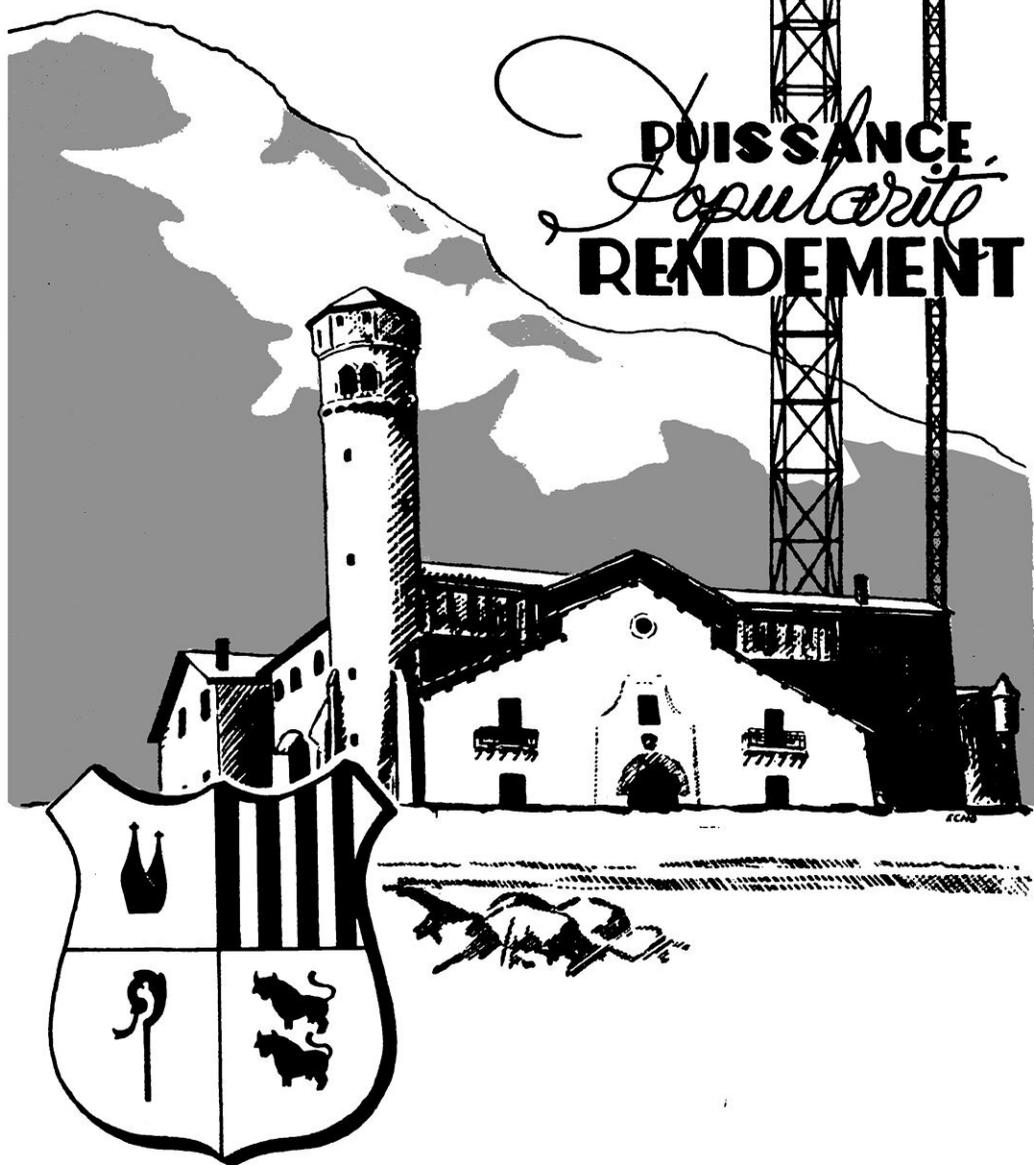


*"Le poste de
grande performance"*

RÉFÉRENCES MONDIALES

Radio Andorre

PUISSANCE
Popularité
RENDEMENT



LE SUCCÈS PAR L'EXCELLENCE

Le récepteur de T.S.F. est dans votre maison, un vivant et fidèle compagnon. Choisissez-le bien!

CÆLIVOX grande marque réputée vous offre la garantie de sa qualité et le choix complet parmi ses 7 modèles du portatif au radio-phono. Notice sur dem. V. excl. en gros



ETS LECOIN & C^{IE} 149, RUE VICTOR-HUGO
BOIS-COLOMBES (SEINE) CHA.19-65

Les Cloisons s'effacent..



TÉLÉPHONE IDÉAL EN HAUT-PARLEUR

Liaison directe et séparée entre tous vos services *avec*

INTERVOX
S.A.R.L.

135, AV. DU GÉNÉRAL MICHEL BIZOT (6 RUE VICTOR CHEVREUIL)
PARIS 12 - Tél. DI 03-92

Demandez Notice 27

PUBL. RAPY



MICROPHONE 75-A DYNAMIQUE

Le Microphone de la Radiodiffusion Française

MELODIUM

296, RUE LECOURBE · PARIS 15^e · VAU. 18-66

Moins cher qu'une copie dactylographiée

COPYCAT

reproduit immédiatement tous documents

Textes, dessins, tableaux comptables, articles de revues, lettres confidentielles, photographies, extraits de livres épais, peuvent être immédiatement reproduits par n'importe qui sans chambre noire dans votre bureau ou votre atelier avec le COPYCAT. Plus rapide et plus rationnel que n'importe quel procédé, supprimant toute possibilité d'erreur due à une faute de frappe ou à une distraction du dessinateur, le COPYCAT s'impose autant pour les professions libérales et le commerce que dans les administrations et l'industrie.

Renseignements détaillés sur simple demande à SERTIC Service 137, 54, rue de Varenne, Paris 7^e.

Agences ou représentants à Lille, Thionville, Lyon, Toulon, Bordeaux.

Achetez aujourd'hui le POSTE de DEMAIN

THE NEW



PACIFIC 8

CONDITIONS SPÉCIALES PENDANT UN MOIS

Garanti lampes américaines

Demandez dès maintenant le catalogue des nouveautés 1948

Expédition France et Colonies

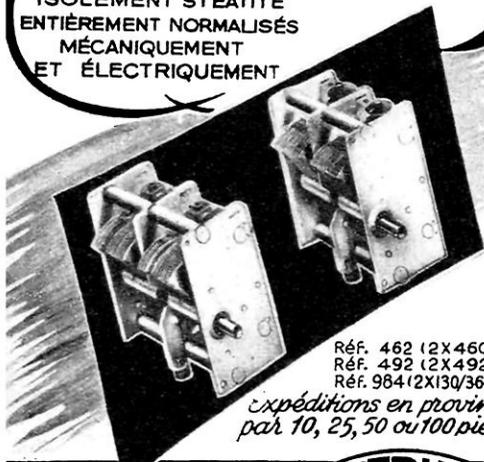
USINE PACIFIC de PARIS

26bis, rue Planchat — PARIS (20^e)

Quelques bonnes agences encore disponibles
FACILITÉS de PAIEMENT

Condensateurs série 49

ISOLEMENT STÉATITE
ENTIÈREMENT NORMALISÉS
MÉCANIQUEMENT
ET ÉLECTRIQUEMENT



Réf. 462 (2x460ppf)

Réf. 492 (2x492ppf)

Réf. 984 (2x130/360ppf)

Expéditions en province
par 10, 25, 50 ou 100 pièces

ET^S PARMÉ

73, RUE FRANÇOIS ARAGO
MONTREUIL - SEINE
A.R. 22-92

TAVERNIER

SADIR CARPENTIER

3, RUE LORD BYRON - PARIS 8^e

Téléphone : BAL. 22-51

RADIO

- ÉMETTEURS ET RÉCEPTEURS DE COMMUNICATIONS.
- RADIONAVIGATION.
- RADAR.
- TÉLÉVISION.
- RADIODIFFUSION.

MESURES

- APPAREILS DE MESURE ÉLECTRIQUE.
- PYROMÉTRIE.
- CONTROLE DE CHAUFFE.
- ANALYSEURS DE GAZ.
- OSCILLO - PERTURBOGRAPHES.

ÉLECTROMÉCANIQUE

- GYROSCOPES, COMPAS GYROMAGNÉTIQUES.
- TRANSMISSION ET RÉPÉTITION A DISTANCE.
- MOTEURS SYNCHRONISEURS TRANSYN.
- PÉRISCOPIES.
- ACOUSTIQUE SOUS MARINE.



RADIO • 101, Bd MURAT - PARIS 16^e
TÉLÉPHONE AUT. 81-25

L'art
du son

ARTSON



**L'AMPLIFICATION
RATIONNELLE**

QUALITÉ - PRIX

- Mallettes tourne-disques extra-plates.
- Mallettes électrophones type professionnel 6 W et 12 W ; type salon 3 W et 6 W.
- Amplis de puissance série sécurité et amplis de cinéma.
- Pavillons directs pour haut-parleurs.
- Bras de pick-up magnétiques et piézo.
- Microphone piézo à filtre acoustique.

DEMANDEZ DOCUMENTATION S.V.
Très bonnes conditions à MM. Vos revendeurs

ARTSON

33, RUE BOUSSINGAULT - PARIS - 13 GOB. 34-33



*L'Ambassadeur de la
Qualité Française*

**Une des plus importantes
productions de France
Classe Internationale.**

Radio-Télévision

USINE ET ADMINISTRATION :

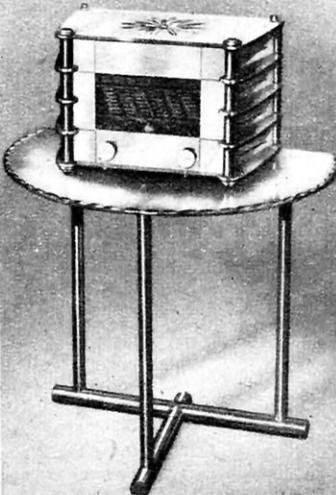
66-72, rue Marceau, MONTREUIL (Seine)

Téléphone : AVRON 19-90 (5 lignes)

à 300 mètres des métros Bérault et Robespierre

Revendeurs!..

**SORTEZ DONC
DES
Sentiens bathas**



LE POSTE



est
**LE MODÈLE DE LUXE
DES AMATEURS
DE BEAUX POSTES**

Ce récepteur de conception toute nouvelle, est entièrement réalisé en aluminium doré inoxydable, et glaces biseautées et argentées. Un démontage facile est prévu pour atteindre les éléments du poste. C'est un super 5 lampes 3 gammes - avec un grand cadran très lisible, et qui comporte un haut parleur de grand diamètre, assurant une reproduction musicale parfaite.

ETS SCHAEERER

52, RUE NOLLET - PARIS - (18^e)

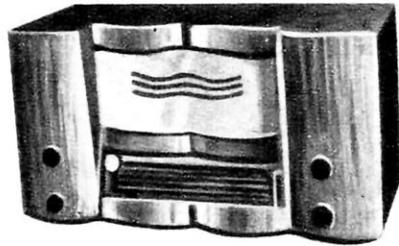
TELEPHONE : MAR. 52-90 - METRO CLICHY



PUBLÉDITEC-DOMENACH

Avec Son Nouveau Modèle
CELARD ERGOS

GRANDE MARQUE DE FRANCE



SPÉCIAL 648

"BANDES SPRED" 4 gammes d'ondes

Appareil de grande classe avec 2 bandes d'ondes courtes. Haut-parleur 24 cm. avec dosage de tonalité-parole, chant, musique. Grand cadran lumineux, commande gyroscopique. ÉBÉNISTERIE GRAND LUXE

vous présente

UNE GERBE COMPLÈTE DE
PRODUCTION DE GRANDE CLASSE
CATALOGUE GRATUIT SUR DEMANDE

CELARD ERGOS

1, AV. ALSACE-LORRAINE - GRENOBLE - TÉL. : 226
AGENCE PARIS, 65 CHAMPS-ÉLYSÉES, TÉL. : ÉLY 59-46

*Toujours fidèle
A SA RENOMMÉE*

*Hauts
Parleur*

MUSICALPHA

51, RUE DES NOUETTES - PARIS XV - TEL: LEC 97-55 VAU 01-21

121

**POSTE
DE BORD**
Type 214LC
10 fréquences
pilotées par
—quartz—

LES LABORATOIRES RADIOÉLECTRIQUES S.A.

Siège 14^A Trudaine Paris 9^e
Téléph. Trudaine 17-64 et 65
Adresse téléph. LESLABOR

Usine et Laboratoires
6 à 12 R. Grousselle Paris 15^e
Téléphone Suffren 58-70 à 75

- POSTES FIXES
ET MOBILES
GRANDE ET MOYENNE
PUISSANCE
-
- RADIODIFFUSION
-
- POSTES DE BORD
-
- RADIONAVIGATION
-
- TÉLÉVISION RADAR
-
- FRÉQUENCEMÈTRE
DERIVOMÈTRE
A LECTURE DIRECTE
-
- HAUTE FRÉQUENCE
INDUSTRIELLE
-
- TUBES VALVES
MAGNÉTRON
-
- RELAIS DE
TÉLÉCOMMANDE
ET APPAREILLAGE
DE MESURE

PIONNIER DE LA TÉLÉVISION

depuis 1929

LA RADIO INDUSTRIE

est toujours au premier plan

de la

Technique internationale

grâce à son

ÉQUIPEMENT MOBILE

REPORTAGE

A HAUTE DÉFINITION

(819 à 1029 lignes)

• 1947-48 •

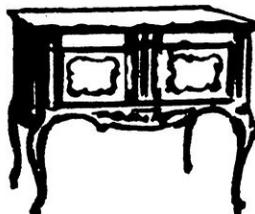
25, rue du Dr Finlay (XV^e)

55, rue des Orteaux (XX^e) — PARIS

PUBL. RAPHY

De la Radio DANS de vrais meubles

★ en harmonie
avec votre inté-
rieur, telle est
notre spécialité
appréciée
de tous
les gens
de goût.



MARTIAL

LE FRANC

R A D I O

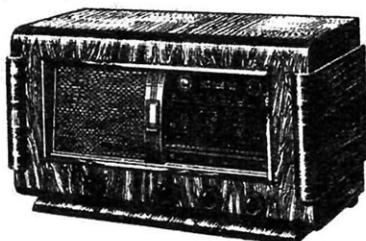
R.L.D.

Av. de Fontvieille-MONACO



5 MÉDAILLES AUX
EXPOSITIONS INTERNATIONALES
DE T. S. F.

La marque de qualité



ENSEMBLES PRÊTS A CABLER
POSTES RÉCEPTEURS
APPAREILS DE MESURE
PIÈCES DÉTACHÉES RADIO
APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE
MOTEURS

et tout ce qui concerne
L'ÉLECTRICITÉ et la RADIO

Catalogue Général S. V. contre 20 francs en timbres.

OMNIUM COMMERCIAL D'ÉLECTRICITÉ et de RADIO

11, RUE MILTON - PARIS-9^e

(Métro : Le Peletier ou N.-D. de Lorette)

présente

MINI VOX 48
POSTE MINIATURE DE
TRÈS GRANDE CLASSE
SUPER 3 LAMPES. TOUTS
COURANTS. TOUTES
ONDES.

SUPER VOX 548 A
RÉCEPTEUR DE HAUTE QUALITÉ
SUPER 4 LAMPES ALTERNATIF
TOUTES ONDES.

**SYNCHRO VOX 647 A
et 648 A LUXE**
RÉCEPTEURS DE GRANDE CLASSE
SUPER 4 LAMPES 16 - 3.000 AL.
647 - 3 gammes
648 - 4 gammes dont 3 D.C. Hertz

PUBL. RAPHY

RADIO-L.L.

INVENTEUR DU SUPERHÉTÉRODYNE

Distribution générale et Réparations : 11, RUE MILTON - 9^e PARIS (812) 1430x3

OCCUPEZ VOS LOISIRS AGRÉABLEMENT EN CONSTRUISANT VOUS-MÊME UN POSTE RADIO

Les Etablissements " RADIO-PAPYRUS ", mettent à votre disposition 3 ensembles comprenant tout le matériel nécessaire à leur construction, depuis le rouleau de soudure, jusqu'à l'ébénisterie.

1° **Le R. P. 805.** — Modèle luxe. Ébénisterie vernie au tampon. Encombrement 56 X 30 X 26. Superhétérodyne d'une conception nouvelle, comportant les derniers perfectionnements techniques, 6 lampes, alternatif, 3 gammes, grand cadran luxe, H. P. 24 cm., aiguille baladeuse.

2° **Le R. P. 804.** — Modèle Junior. Ébénisterie laquée crème. Encombrement 42 X 25 X 22. Superhétérodyne économique, 3 gammes, 5 lampes série américaine standard, H. P. 17 cm.

3° **Le R. P. 803.** — Modèle miniature. Ébénisterie vernie au tampon. Encombrement 27X19X18. Belle présentation. Superhétérodyne 5 lampes, 3 gammes. Tous courants. Haut-parleur à aimant permanent 12 cm.

EXPÉDITION RAPIDE EN PROVINCE, FRANCE ET COLONIES CONTRE MANDAT A LA COMMANDE

Demandez-nous d'urgence les devis ainsi que les notices détaillées permettant l'utilisation de notre matériel et le câblage rapide sans risques d'erreurs, contre 15 frs en timbres. (Spécifier le numéro de l'ensemble que vous désirez)

ÉTABLISSEMENTS " RADIO-PAPYRUS "

25, Boulevard Voltaire, PARIS XI^e — C.C.P. 281274 — Tél. : ROQ. 53-31

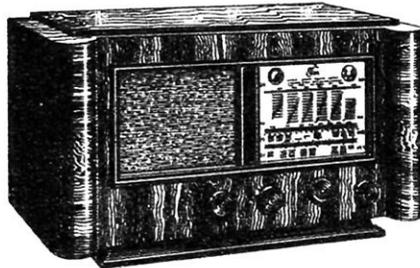
dépannages. Spécialisés depuis 20 ans dans la fourniture de pièces détachées pour constructions et

en timbres. Demandez notre catalogue général S. V. de pièces détachées, saison 48, contre 20 frs

Écrivez lisiblement vos noms et adresses ainsi que la gare desservant votre localité.

PUBL. RAFY

LE PLUS GRAND CHOIX DE TOUTE LA FRANCE



APPAREILS DE MESURE POSTES RÉCEPTEURS PIÈCES DÉTACHÉES

ET TOUT CE QUI CONCERNE LA RADIO



Construisez vous-même le poste ELAN J. L. 47 représenté ci-dessus ainsi que le J. L. MINIATURE. Plans de câblage, tous renseignements et devis contre 20 fr. en timbres.



Demandez la liste générale de notre matériel disponible (Envoi franco contre 20 francs en timbres.)

COMPTOIR MB RADIOPHONIQUE

160, R. MONTMARTRE
— PARIS 2^e —



LA PRÉCISION
dans la grande série

CONDENSATEURS

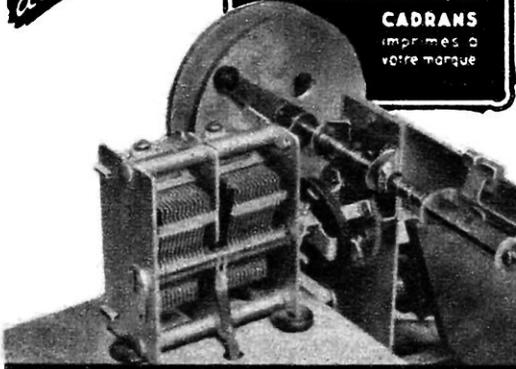
VARIABLES

DÉMULTIPLICATEURS

IMPRESSIONS SUR GLACE ET
TOUTES MATIÈRES PLASTIQUES

CADRANS

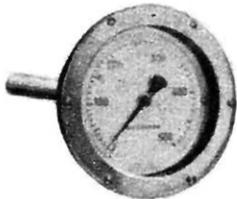
imprimés à
votre marque



S.T.A.R.E.

110, BOULEVARD SAINT-DENIS
COURBEVOIE (Seine)
Té. : DEF 22-00 11 lignes

Thermomètre industriel



Appareil robuste,
insensible aux chocs
et aux vibrations.

Étanche aux gaz et
aux liquides.

Thermostat

Muni de contacts
électriques réglables
sur toute l'échelle
de graduation.

Fonctionne sous tous
courants.

RÉGULATEUR - INDICATEUR

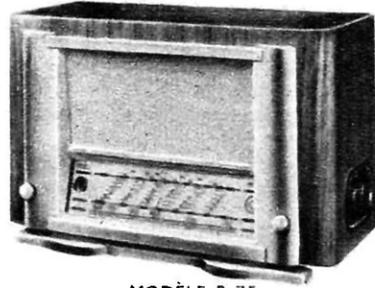


GALTIER et C^{ie}

20, Rue de La Condamine - PARIS-17^e Tél.: MAR. 55-47

TELECO

RÉCEPTEURS,
ÉLECTROPHONES,
ÉMETTEURS-RÉCEPTEURS



MODÈLE R-75

TELECO-RADIO

175, Rue de Flandre — Paris-19^e

Tél. : NORD 27-02 et 03

PUBL. ROPY

Océanic
vous présente..

SA GAMME DE
RÉCEPTEURS
DE GRANDE
CLASSE

4, 5 et 6 lampes

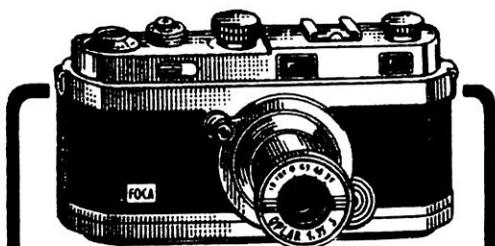


Carbone
sur
demande

PUBL. ROPY

CONSTRUCTIONS RADIO-ÉLECTRIQUES

Océanic • 6, RUE GIT-LE-CŒUR
PARIS 6^e Tél. : ODE. 02-88



LE FOCA



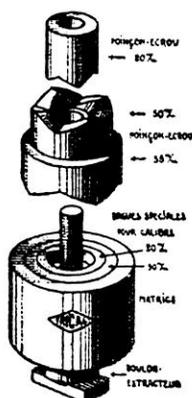
**L'APPAREIL PETIT FORMAT
FRANÇAIS - HAUTE PRÉCISION
EN VENTE AU**

PHOTO-HALL

5, RUE SCRIBE - PARIS-9^e

**NOTICE SPÉCIALE GRATUITE
CATALOGUE GÉNÉRAL 15 frs**

Pour faciliter le travail des amateurs-constructeurs et dépanneurs de radio
CET OUTIL EST INDISPENSABLE



TRICAL
A VIS

TRICAL
A CHOC

pour trous de
20 à 38 $\frac{m}{m}$

CARVIS
pour trous
carrés de 32 $\frac{m}{m}$

C'est un des milliers d'articles référencés sur notre formidable catalogue de 92 pages - 540 figures

AU PIGEON VOYAGEUR

252 bis, boul. Saint-Germain - Paris (VII^e)

Catalogue contre 100 fr.

PUBL. RAPHY

AVIS AUTORISÉ

de Géo MOUSSERON,
Professeur à l'école de technique d'Enseignement
Radio Professionnelle Supérieure.

sur

" LE POSTE DES 5 CONTINENTS "

Création RADIO-SÉBASTOPOL

« C'est le récepteur de haute classe dans toute l'acceptation du mot, capable non seulement de rivaliser avec les plus belles créations de l'année, mais encore de les surpasser grandement.

En dehors des perfectionnements fouillés dans leurs moindres détails, il convient de s'appesantir quelque peu sur l'âme de ce récepteur : le Bloc Blindé B.C.9. que l'on peut qualifier de Cerveau Electronique inégalable. C'est le fruit de plusieurs années d'études qui, pour la première fois, offre neuf gammes d'ondes, dont une gamme O.C. générale et 6 gammes O.C. étalées.

L'étalement des Ondes Courtes sur 6 Gammes permet d'obtenir un réglage sûr et précis de l'émetteur cherché, lequel se trouve ainsi reçu avec la même facilité et la même stabilité qu'en P. O. ou G. O.

L'emploi d'un étage H-F en circuit sur toutes les gammes donne à l'ensemble une sensibilité que ne peut atteindre aucun autre modèle de récepteur.

Relief musical et fidélité parfaite de reproduction par diffuseur spécial de haute qualité et étage B-F Push-Pull équilibré commandé par un Potentiomètre spécial.

Conclusion technique de M. Mousseron :

On signale très souvent qu'un changeur de fréquence est caractérisé par un certain nombre de circuits accordés, ce qui en souligne la valeur et la précision. Une demi-douzaine de tels circuits est un nombre déjà fort honorable. Or, le Trait d'Union à neuf lampes en comporte très exactement Dix-Neuf. Si l'on sait que ce genre d'opération apporte, en même temps qu'une amélioration certaine, pas mal de difficultés à la mise au point, n'est-ce pas là la confirmation de notre supériorité technique ? »



Dim. 62 x 38 x 33 cm

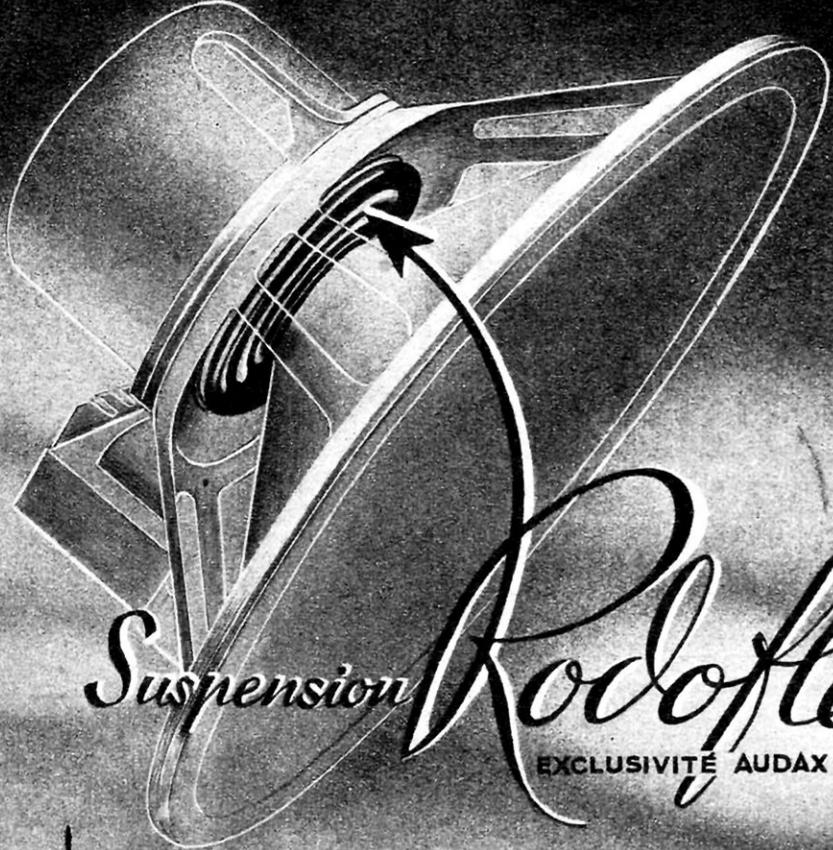
6 BANDES ONDES COURTES ÉTALÉES

19 circuits accordés - Cerveau électronique
HAUTE FIDÉLITÉ et RELIEF MUSICAL
PLUS DE 200 STATIONS REÇUES
avec la précision du Radar

DOCUMENTATION ILLUSTRÉE 16 PAGES. — Réf. 222
avec schémas détaillés et réalisation descriptive
par Géo MOUSSERON. Jolindre 15 fr. en timbres.
Env. documentation Colon. par avion. Jolindre 375 fr.

RADIO - SÉBASTOPOL
100, Boulevard SÉBASTOPOL, PARIS

Fournisseur des P.T.T., Préfectures, S.N.C.F., grandes Administrations
VENTE À CRÉDIT - EXPÉDITIONS FRANCE ET COLONIES



Suspension Rodoflex
EXCLUSIVITÉ AUDAX

AUDAX

45, AV. PASTEUR-MONTREUIL (SEINE)
TÉL. AVRON 20-13 & 20-14

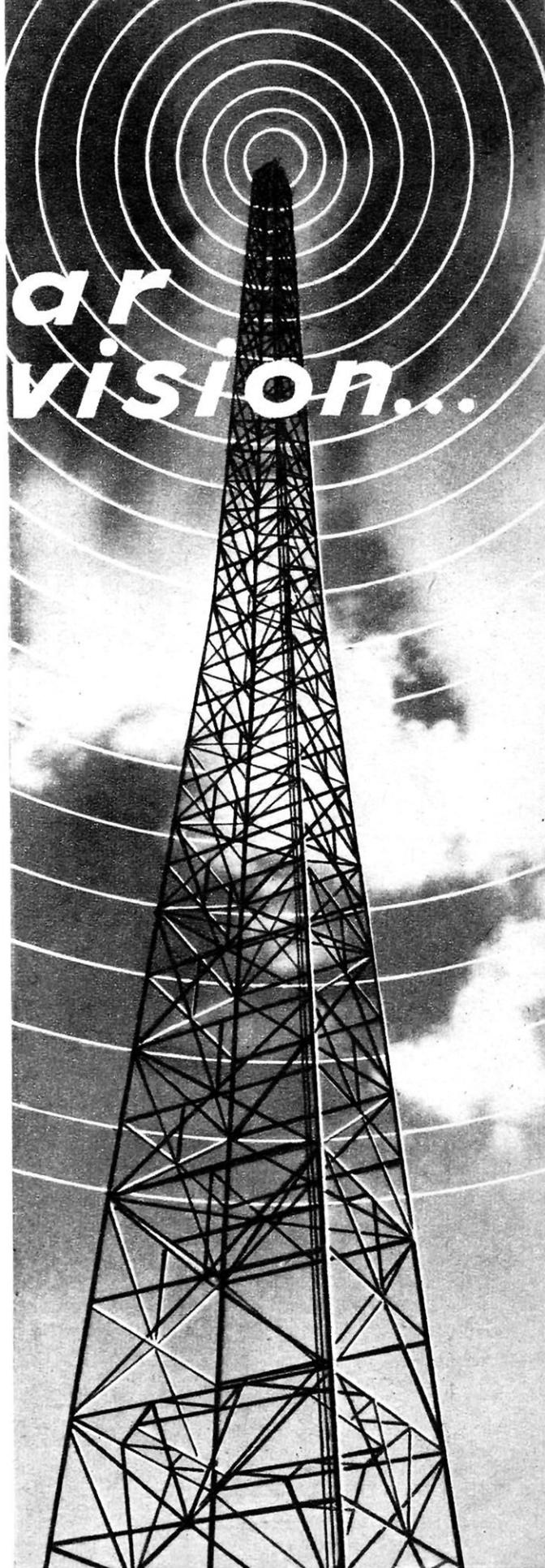
Radio Radar Télévision...

SOMMAIRE

- ★ DE MAXWELL AU RADAR 3
- ★ PROPAGATION DES ONDES, IONOSPHERE .. 8
- ★ LES RADIOTUBES 18
- ★ TÉLÉCOMMUNICATIONS RADIOÉLECTRIQUES .. 40
- ★ LA RADIO A BORD DE L'AVION, DU NAVIRE ET DES VÉHICULES TERRESTRES 52
- ★ LA RADIODIFFUSION .. . 75
- ★ RADIORÉCEPTEURS 81
- ★ LA TÉLÉVISION 94
- ★ LE RADAR 130
- ★ CHAUFFAGE ÉLECTRONIQUE 158
- ★ LES ONDES COURTES EN MÉDECINE 168

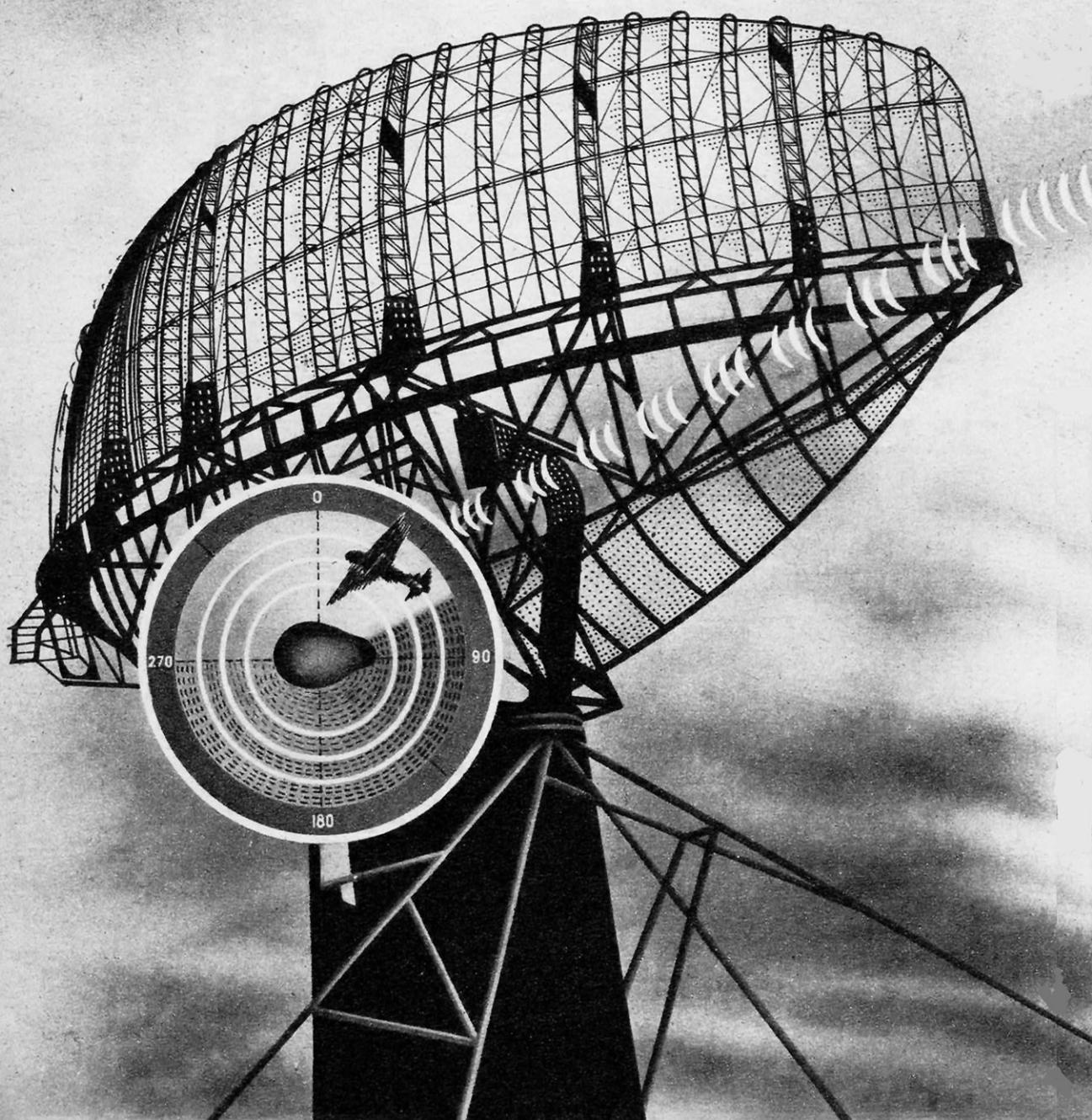
SCIENCE ET VIE

5, Rue de La Baume — PARIS-8^e

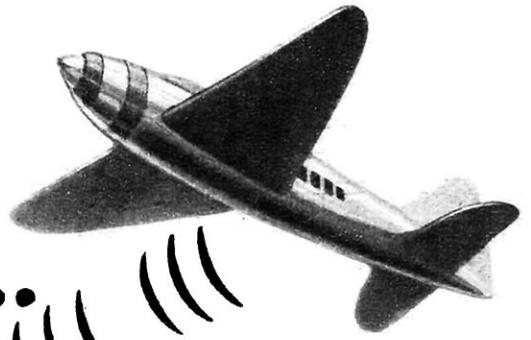


Les travaux théoriques de Maxwell, les recherches expérimentales de Hertz ont ouvert à la science et à la technique un domaine immense. La radio est aujourd'hui à l'avant-garde du progrès technique, et elle a pris une importance économique inestimable : liaisons instantanées s'étendant aux antipodes, conversations téléphoniques entre les continents, diffusion des sons et des images, aujourd'hui en noir et blanc, demain en couleurs, télécommande, chauffage électronique industriel, enfin technique spectaculaire du

radar qui, après avoir bouleversé les méthodes de conduite des opérations de guerre, joue un rôle capital dans l'organisation de la sécurité maritime et aérienne. Que serait notre monde moderne sans la radio, et que sera-t-il demain avec les découvertes que nous préparent les centaines de savants et les dizaines de milliers de techniciens qui, dans les laboratoires du monde entier, perfectionnent constamment leurs méthodes et ouvrent de nouveaux domaines aux multiples applications pratiques de la radioélectricité ?



de Maxwell...



...au radar

par Pierre GRIVET

Docteur ès Sciences

A la fin du XIX^e siècle la naissance de la Radio vint couronner les efforts des savants qui, depuis une centaine d'années, s'acharnaient à percer les mystères de l'Electricité, et des techniciens qui s'ingéniaient à la mettre au service de l'humanité.

Deux physiciens conquirent dans cette lutte une gloire sans égale : J.-C. Maxwell et H. Hertz.

C'est en 1867 que Maxwell publia son « Traité » où il fondait en une synthèse harmonieuse l'œuvre de ses illustres devanciers, J.-M. Ampère et M. Faraday, avec ses vues originales sur les « courants de déplacement » qui, disait-il, ferment dans le vide les lignes du courant ordinaire dans le cuivre, lorsque celles-ci semblent s'arrêter, coupées sur les plaques d'un condensateur. Sa théorie lui permettait de jeter un pont entre l'Electricité et l'Optique qu'il annexait ainsi aux phénomènes électromagnétiques.

Ses travaux réussirent à forcer l'admiration des contemporains, mais non à entrainer leur adhésion à la nouvelle théorie : ils respectaient le magicien sans reconnaître le prophète.

La foi ne vint que lorsque Hertz eût illustré la leçon du maître dans les expériences fameuses où il produisit les premières ondes qui portent son nom.

Expérimentateur aussi adroit et ingénieux que grand théoricien, il put répéter sur les ondes nouvelles toutes les expériences que l'on faisait avec la lumière pour établir ses propriétés : réflexion, réfraction, interférences, polarisation. L'identité de nature prévue par Maxwell devenait une vérité expérimentale éclatante, reconnue de tous.

Hertz ayant découvert ses ondes, consacra le reste de sa courte vie à élucider la nature profonde de l'électricité, ouvrant la voie à la fois à la doctrine de la relativité par sa théorie de l'Electrodynamique des corps en mouvement, et à celle des quanta par sa découverte de l'effet photoélectrique.

LES PREMIÈRES TRANSMISSIONS

Une légion de physiciens et d'inventeurs allaient bientôt s'employer à appliquer ces découvertes. Ce fut d'abord E. Branly, en France, qui sut remplacer le « résonateur » de Hertz par son détecteur à limaille, beaucoup plus sensible. En Russie, Popoff imagina la première antenne pour capter à quelques dizaines de kilomètres ces émissions hertziennes naturelles que nous appellerions aujourd'hui les « parasites », et qui ont leur source dans toutes les décharges orageuses.

Mais nul autre que Marconi n'eut une prescience plus claire de l'original et unique avantage que présentent les ondes hertziennes pour effacer la distance : les forces qui se manifestent à leur passage ne décroissent en grandeur que lentement avec la distance : elles diminuent proportionnellement à l'inverse de la distance, alors que les forces statiques, électriques ou magnétiques tombent rapidement comme l'inverse du cube de la distance, car, sur notre globe, on ne peut mettre en jeu que des doublets et non des charges ou masses isolées. Ainsi, si nous voulons retrouver dans une expérience faite sur le terrain à 10 kilomètres, le même résultat que nous avons observé au laboratoire à 10 mètres de distance, nous devons multiplier la tension appliquée à l'éclateur d'émission par 1000 ; si nous observons l'effet d'une charge statique ou, en magnétisme, l'effet d'un courant dans une bobine, il faudrait multiplier la tension appliquée ou le courant utilisé par 1000³, soit 1 milliard, pour vaincre la même distance.

C'est ce qui apparut bien vite au cours d'une série de réalisations audacieuses de G. Marconi ; en 1894, il étudia les ondes nouvelles au laboratoire de Righi, à Bologne ; dès 1896, il a su combiner si efficacement l'emploi de l'antenne et du cohéreur qu'il peut effectuer une transmission sur une distance de 10 km en

actionnant un récepteur Morse à l'arrivée, devant les autorités anglaises des Postes et Télégraphes ; la même année, il prend son premier brevet (2 juin 1896) ; en 1899, il franchit la Manche de Calais à Douvres et en profite pour envoyer à Branly un témoignage de remerciement désormais historique. Enfin, en 1900, il unit Terre-Neuve à l'Angleterre.

Cette victoire termine l'ère des précurseurs et marque la première étape du développement industriel de la T. S. F., étape que l'on peut terminer un peu arbitrairement en 1914.

Pendant cette période, T. S. F. signifie seulement Télégraphie Sans Fil, et les ondes concurrencent les lignes terrestres et les câbles sous-marins. On utilise toujours les trains d'ondes amorties dans des émetteurs à étincelles de plus en plus puissants, jusqu'à une centaine de kilowatts ; les ondes entretenues font leur apparition sans les supplanter, avec les différents alternateurs haute fréquence, tels ceux de Latour et Béthenod en France, et l'arc de Poulsen, version à grande échelle de l'« arc chantant » de Duddel. Les ondes sont longues, plusieurs kilomètres pour les portées lointaines, les antennes très étendues (celle de Sainte-Assise, quoique de construction plus récente, en est un exemple) car, à la réception, on détecte sans savoir amplifier ; détecteurs électrolytiques et galènes ont remplacé le cohéreur, mais c'est là un perfectionnement pratique qui n'apporte pas de progrès de principe.

NAISSANCE DE LA TRIODE : LA PREMIÈRE GUERRE MONDIALE

L'état de guerre stimula énergiquement le développement de la radio dont le rôle apparut rapidement comme important sur le front comme à l'arrière. Ainsi l'on cite comme exemple spectaculaire de son importance stratégique le bénéfice que les Allemands tirèrent de son usage à la bataille de Tannenberg où les messages russes qu'ils purent capter et déchiffrer leur apportèrent des renseignements d'une importance décisive. L'originalité du moyen de guerre que représentent les ondes apparaît bien dans l'avènement de la première « guerre des ondes » que les stations anglaises et françaises livrèrent aux stations allemandes pour renseigner l'opinion américaine sur la conception alliée des événements, mieux et plus vite que ne pouvaient le faire sur la thèse ennemie les stations allemandes. Il est donc bien naturel qu'on ait alors consacré des efforts colossaux au développement d'une arme si précieuse et qu'on ait vu éclore et mûrir des inventions, dont la plus fondamentale est celle de la lampe électronique à trois électrodes et des amplificateurs à lampes. Cette invention, comme beaucoup d'autres, avait germé pendant la période précédente. En 1884, Edison, cherchant à perfectionner sa lampe électrique à filament incandescent eut l'idée de protéger son filament incandescent en l'enfermant dans une ampoule de verre vidée d'air et, au cours de ces expériences, découvrit ce mode particulier de passage du courant à travers le vide, dans le sens plaque-filament, qui est dû à l'émission d'électrons par le filament.

C'est en cherchant à perfectionner ce détecteur que Lee de Forest, en 1907, imagina d'interposer une grille entre le filament et la plaque ; cette électrode mérite bien son nom de grille de commande, car la valeur de la tension qui lui est imposée détermine l'intensité du courant d'électrons qui parvient à la



L'Anglais **MAXWELL** (1831-1879) imagina la théorie des ondes électromagnétiques et prévit que les ondes lumineuses étaient de même nature.

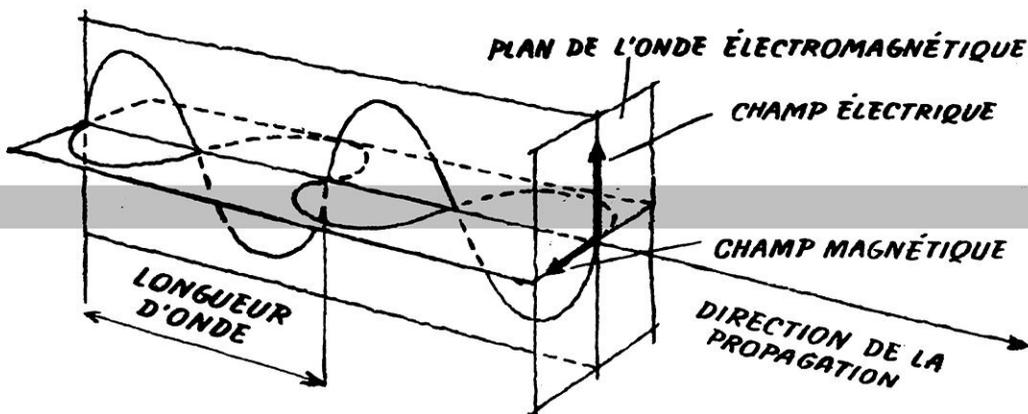
plaque, et l'on peut retrouver dans le circuit plaque un courant ou une tension dont les variations au cours du temps sont l'image fidèle de celle de la tension grille ; mais la puissance qu'on recueille dans le circuit plaque peut être dix ou cent fois plus grande que celle qui est nécessaire pour agir sur la grille : il y a amplification et, qui plus est, amplification fidèle et sans inertie. La première limitation à la docilité des électrons n'apparut en pratique que bien après la guerre, lorsqu'on voulut utiliser des ondes de moins de 300 mètres. Enfin, employée dans un montage convenable avec forte réaction du circuit plaque sur le circuit grille, la triode constitue un auto-oscillateur, source très commode et efficace d'ondes, dont la longueur peut être choisie dans des limites très étendues.

La lampe dénommée « audion » par de Forest fut développée sous sa forme la plus parfaite par les services de la télégraphie militaire, en France. Groupés sous la direction du général Ferrié, ils mirent au point la lampe bien connue, dite T. M., qui fut adoptée par les armées alliées. Sa fabrication mettait en œuvre les résultats les plus modernes obtenus dans la physique pendant la décade précédente.

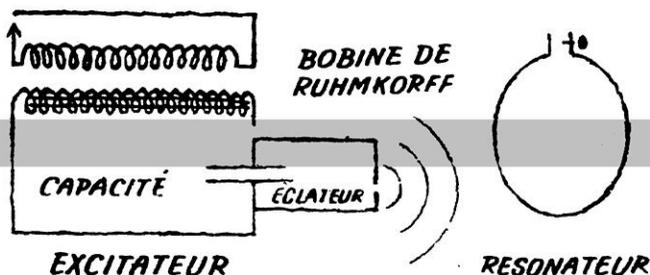
Grâce aux lampes T. M., on put augmenter beaucoup la portée des stations fixes en améliorant la sensibilité des récepteurs ; on put construire des émetteurs à lampes, peu encombrants, mobiles ; mais surtout on créa véritablement la téléphonie sans fil, car la commodité des émetteurs par lampes donna la suprématie aux ondes entretenues et permit de les « moduler », c'est-à-dire d'en modeler l'intensité au rythme des vibrations d'un son : c'était la naissance de la Radiotéléphonie, bientôt de la Radio-diffusion.

LE PREMIER APRÈS-GUERRE

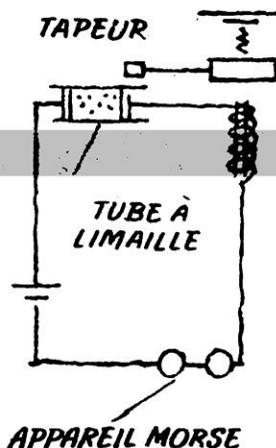
Ces conquêtes furent assurées dans le puissant développement social de l'après-guerre. C'est en 1920 qu'apparaissent les premières radiodiffusions régulières de nouvelles et de concerts ; en France, en particulier, en 1921, est installé le premier émetteur



L'Allemand **HERTZ** (1857-1894) Prouva que les ondes électromagnétiques existent bien avec les propriétés que leur avait attribuées Maxwell.



Le Français **BRANLY** (1844-1940) Inventa en 1890 le premier détecteur radioélectrique pratiquement utilisable : son cohéreur à limaille.



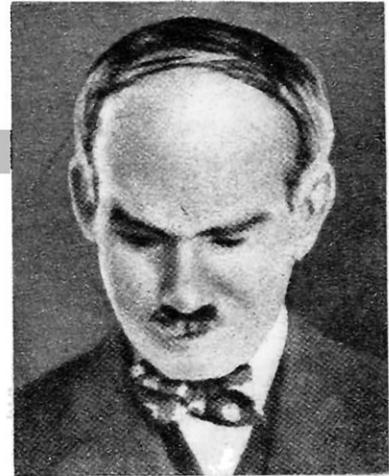
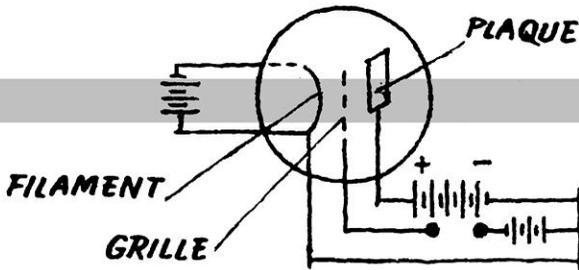
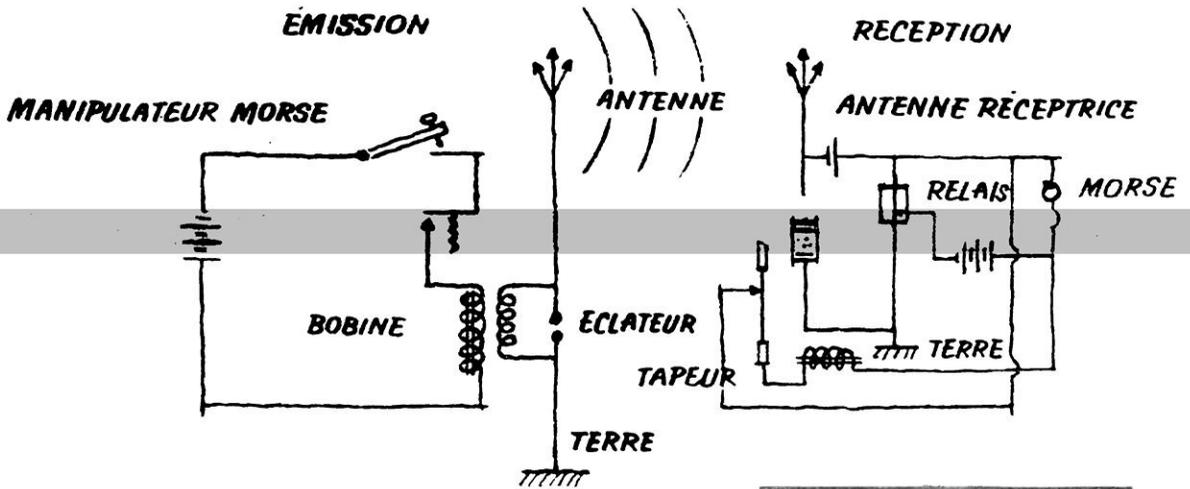
officiel de « La Tour Eiffel » et le premier émetteur privé, le poste « Radiola », tandis qu'en Amérique commencent les émissions politiques au cours de la campagne du président Harding, et les reportages sportifs à l'occasion du match de boxe Dempsey-Carpentier. Cette révolution s'appuyait sur de nouveaux progrès techniques.

Le perfectionnement du vide permet, peu après 1918, la réalisation de lampes de types nouveaux : les unes, en verre, possédaient un filament travaillant à basse température (800° C, filament à oxydes, d'un usage général aujourd'hui).

La température de fonctionnement de ce filament était si basse qu'on put ensuite séparer la couche d'oxyde, portée par un tube de nickel (cathode), du

filament chauffant lui-même : c'étaient les lampes à « chauffage indirect » dont on pouvait impunément alimenter le filament en alternatif, sans introduire de « ronflement » dans la réception. Cette création, bientôt complétée par celle des « alimentations plaque » branchées sur le secteur, amenait la disparition des batteries de piles et des accumulateurs, encombrants, malpropres et coûteux, et le radiorécepteur pouvait devenir populaire.

Nous trouvons la même rapidité dans le progrès de l'émission : en 1922, Housekeeper trouve le moyen de souder le cuivre au verre ; on peut alors munir les lampes d'une énorme « plaque » en cuivre qui, faisant partie intégrante de l'enceinte à vide, peut être refroidie de l'extérieur ; ce cuivre, véritable éponge à gaz



L'Américain **LEE DE FOREST** (1873-) Renouela la technique de la radio avec la triode détectrice, amplificatrice et oscillatrice.



L'Anglais **APPLETON** (1892-) Démontra expérimentalement que les ondes courtes se réfléchissent sur certaines couches de l'ionosphère.

résiduel, peut cependant être « dégazé » au cours d'une cuisson à quelques 300° C pendant laquelle la lampe est continuellement « pompée » par une rapide pompe à diffusion. Cette technique révolutionnaire donne le secret de la puissance. Les émetteurs passent des dizaines de watts de la T. M. aux dizaines de kilowatts, et les émissions de radiodiffusion couvrent non plus des villes, mais des pays entiers. La radio triomphe dans la paix comme dans la guerre.

LES ONDES COURTES

Le règne des inventeurs semblait révolu, tout semblait affaire de développement industriel et de recherche scientifique; cependant une belle décou-

verte, celle des ondes courtes, échappe aux savants et aux ingénieurs pour récompenser la fantaisie de ces explorateurs modernes qu'étaient les « amateurs ».

Après la guerre, de nombreux « opérateurs » de guerre avaient conservé un goût si vif pour leurs anciennes occupations, que les Pouvoirs publics les avaient autorisés à émettre et à recevoir, à condition d'utiliser les ondes de moins de 200 mètres de longueur que la doctrine officielle affirmait être impropres à toute communication à plus de 100 km. Les amateurs tentèrent cependant de multiples liaisons lointaines et il s'avéra, dans le grand pays d'Amérique, que les ondes courtes franchissaient contre toute attente des centaines et des milliers de kilomètres. Le coup de grâce fut porté à l'erreur



L'italien **MARCONI** (1874-1937)
Utilisa le premier (en 1895) les
ondes hertziennes pour des trans-
missions radio à grande distance.

lorsqu'en novembre 1923, après bien des efforts, l'amateur français, Léon Deloy (F8AB) put communiquer bilatéralement avec ses correspondants américains Reinartz et Schnell, avec un poste de 250 watts seulement sur la longueur d'onde de 110 mètres. On était loin des 1000 kilowatts des ondes myriamétriques de Sainte-Assise !

Ce miracle fut bientôt expliqué à la lumière des expériences de Appleton qui, en 1922, avait prouvé expérimentalement l'existence d'une couche ionisée, c'est-à-dire conductrice, qui réfléchissait les ondes dans la haute atmosphère (entre 100 et 500 km en gros), un peu à la manière d'un miroir métallique. Mais cette couche de Kennelly-Heaviside, du nom des physiciens qui vingt ans plus tôt en avaient les premiers imaginé l'existence en expliquant sa formation par l'action sur les molécules gazeuses des radiations solaires de l'ultraviolet, n'est pas un miroir simple, ni stable ; elle change d'altitude et de structure suivant les heures de la journée et les saisons de l'année, et aussi elle absorbe plus ou moins les ondes ; cet affaiblissement diminue, en gros, comme l'inverse du carré de la longueur d'onde, ce qui avantage beaucoup les ondes courtes pour les propagations lointaines ; elles peuvent suivre un long trajet en zig zag entre ciel et terre, sur lesquels elles se réfléchissent également bien, sans trop d'affaiblissement. Les ingénieurs adoptèrent immédiatement les ondes courtes si économiques, et les appliquèrent immédiatement aux communications lointaines, transocéaniques, transcontinentales, de métropole à colonies. Leur contribution ne fut pas légère puisqu'ils développèrent à cette occasion l'art de diriger les ondes, suivant des faisceaux de rayons étroits, qui économisent encore une puissance si précieuse sous la forme « haute-fréquence » : ces antennes dirigées sont les ancêtres déjà efficaces (angle d'une trentaine de degrés), des modernes projecteurs de radar, dont les pinceaux déliés (moins d'un demi-degré dans certains cas) peuvent lutter de finesse avec les pinceaux des phares.

MATURITÉ DE LA RADIO

C'est vers 1930 que ces innovations passèrent vraiment dans la pratique courante. La grande difficulté avait été de créer des lampes-nouvelles à la hauteur de leurs nouvelles tâches. La présence d'électrodes supplémentaires permit simultanément d'améliorer le rendement et d'élever la valeur de l'amplification d'un facteur 10. La lampe atteignait son état adulte, et plus de 15 ans sont passés sans plus amener que de nombreux et ingénieux perfectionnements de détail pour cet organe. C'est d'ailleurs dès 1928 qu'on a touché pour la première fois à la limite que la nature impose aux amplificateurs par la manifestation du bruit de fond de la résistance d'entrée (Johnson, 1928) ; il ne sert à rien d'amplifier davantage lorsqu'on perçoit ce bruissement : la thermodynamique montre qu'il est impossible de s'en débarrasser pour découvrir un signal utile plus faible qu'y serait caché.

Entre 1930 et la deuxième guerre mondiale, d'innombrables perfectionnements dus aux efforts conjugués de la science et de l'industrie sont venus étendre les possibilités de la radio. Un outil magique, l'oscillographe à rayons cathodiques, vint mettre à la portée d'une multitude d'ingénieurs le secret des circuits les plus compliqués que l'on ne pouvait saisir auparavant qu'à travers les symboles de mathématiques abstraites, obscures pour les expérimentateurs.

Les postes se multiplièrent ainsi que la variété des émissions, et le souci d'assurer l'ordre et l'harmonie de ce concert devint primordial : on stabilisa la fréquence des émissions en la liant à la fréquence des vibrations mécaniques d'un petit bloc de quartz que la piézoélectricité (découverte par les frères Curie) permet de traduire en vibrations électriques et d'entretenir commodément.

La qualité de transmission des sons devint scientifiquement parfaite, la « modulation de fréquence » venant au secours de la modulation « d'amplitude » pour assurer plus efficacement quelques auditeurs fortunés contre le dernier et le plus irréductible de leurs ennemis : les « parasites ».

On transmit l'écriture, les dessins, même le journal quotidien qui pouvait être distribué à domicile par les ondes.

Cette science porta ses derniers fruits pacifiques lorsqu'en 1939 on vit le problème le plus difficile résolu de manière satisfaisante pour le public : la transmission du mouvement dans son rythme naturel était un fait accompli, et la télévision commençait à distribuer au public des images animées dont la qualité pouvait supporter la comparaison avec celles du cinéma d'amateur.

Mais la deuxième guerre mondiale vint bientôt rompre en France comme en Amérique le développement de ce sixième art et détourner ses techniques vers des buts nouveaux ; les circuits, lampes et oscillographes, tout fut employé à construire une arme nouvelle, le radar, dont le poids contribua lourdement à faire pencher la balance de la guerre.

Aujourd'hui, la télévision est revenue, en couleurs cette fois, et le radar, démobilisé, a trouvé d'innombrables applications pacifiques. Les pages qui suivent essayeront de fixer l'image actuelle de ces merveilleuses réalisations, aboutissement des efforts conjugués d'une industrie et d'une science en plein essor.

PROPAGATION DES ONDES IONOSPHERE

par Yves ROCARD

Docteur ès sciences

L'atmosphère terrestre joue un rôle capital dans la propagation des ondes radioélectriques. Son enveloppe extérieure, à cinquante kilomètres d'altitude et plus, est à une pression assez basse pour que des phénomènes intenses d'ionisation y prennent naissance, en particulier sous l'action des rayonnements ultraviolets et corpusculaires du soleil. C'est à l'existence de ces couches électrisées qu'il faut rapporter les grandes portées atteintes par les ondes courtes, les zones de silence autour des émetteurs, les évanouissements (fading), etc. Elles éprouvent des variations périodiques complexes suivant l'heure du jour, la saison, et suivant un cycle de onze années directement lié à celui de l'activité solaire. L'étude de l'ionosphère, considérée jusqu'à ces dernières années comme d'intérêt exclusivement scientifique, est aujourd'hui à la base de toute exploitation rationnelle des radiocommunications, car elle seule autorise la prévision à longue échéance des longueurs d'ondes qui seront les plus favorables à une liaison déterminée d'intérêt commercial ou militaire.

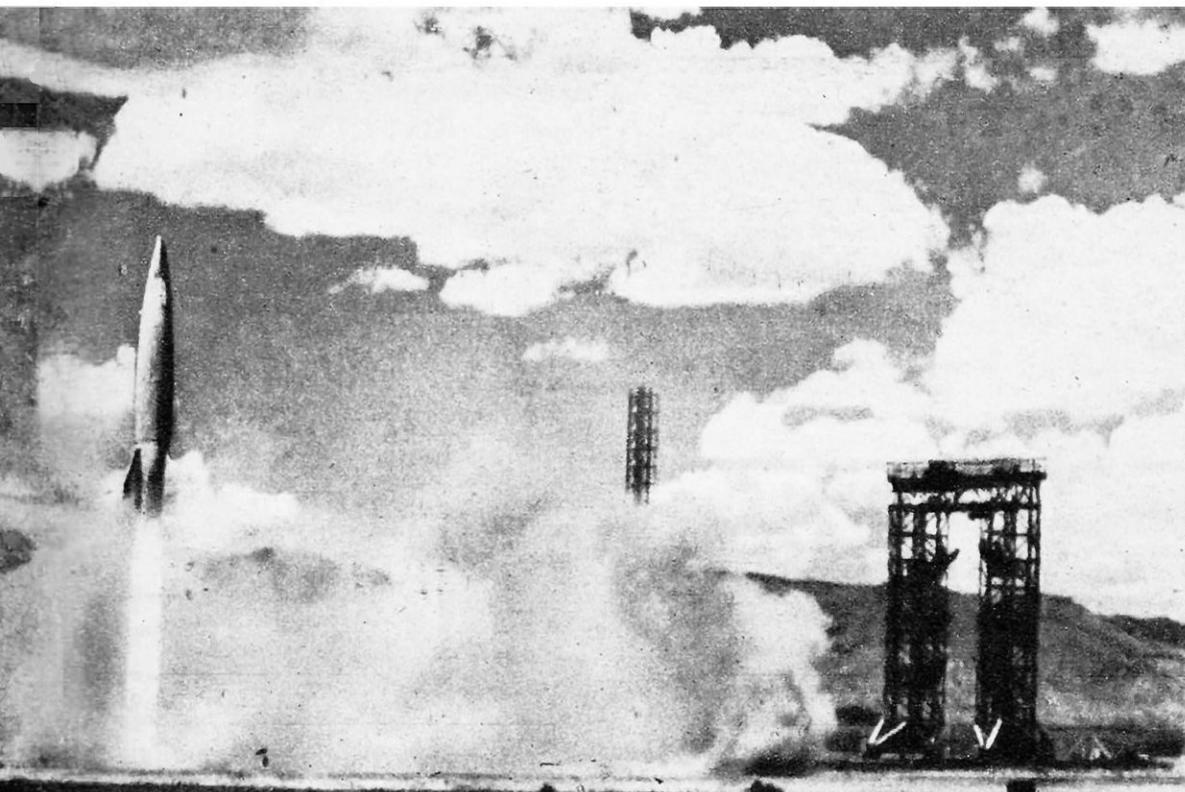
LES ondes radioélectriques se propagent comme l'on sait à la vitesse de la lumière (300 000 km à la seconde). Elles sortent d'une source, qui est l'émetteur, l'antenne ; dans l'espace libre, leur énergie traverse au cours du temps des sphères de plus en plus grandes ; et cependant elle se conserve, donc la densité d'énergie, que peut constater un récepteur, diminue quand on s'éloigne ; le champ électrique décroît comme l'inverse de la distance à l'émetteur. C'est à ce champ électrique qu'est sensible le récepteur, et, après amplification, le signal utilisé par ce récepteur est proportionnel à ce champ électrique, au moins en général.



Ces remarques étaient déjà présentes à l'esprit des savants à l'époque où Marconi, vers 1897, venait de réussir la première liaison par télégraphie sans fil à travers la Manche (50 km). Marconi entreprit immédiatement de traverser l'Atlantique Nord, entre l'Irlande et une station au Nord des Etats-Unis, Rocky Point, en faisant construire les appareils les plus puissants et en montant les antennes les plus hautes qu'il était possible de concevoir à l'époque.

Un calcul élémentaire montra aussitôt à tous les « officiels » que pour passer de 50 à 5 000 km, il fallait une puissance 10 000 fois plus grande à l'émission, ce qui était loin d'être le cas du nouveau matériel prévu. Marconi, cependant, ne se découragea pas et tenta son expérience : elle réussit pour ainsi dire du premier coup, en employant une puissance ridiculement plus faible que toutes les estimations.

Que s'était-il passé ? La loi de décroissance du champ en raison inverse de la distance n'était pas valable, les ondes émises dans l'air (isolant) étaient canalisées entre deux milieux conducteurs, la terre d'une part, d'autre part une couche hypothétique ionisée, donc conductrice, à 100 km d'altitude peut-être, entourant la terre, et capable de réfléchir les ondes. Dans un tel cas, l'énergie canalisée entre deux surfaces paral-



Aux États-Unis, lancement d'une V-2 emportant des instruments enregistreurs pour l'étude de l'atmosphère à très haute altitude.

lèles voit le champ se réduire comme l'inverse de la racine carrée de la distance seulement. C'est le mérite de deux grands savants, l'un, *Kennelly*, américain, l'autre, *Heaviside*, anglais, d'avoir imaginé au préalable l'existence de cette couche ionisée pour expliquer le magnétisme terrestre par une certaine circulation de courants, et d'avoir, au vu des résultats de Marconi, pensé au rôle important joué dans la propagation radioélectrique par cette couche, nommée à juste titre couche de Kennelly-Heaviside.

Depuis, la question s'est compliquée : Marconi employait des ondes amorties longues (20 000 m de longueur d'onde) ; on a employé de plus en plus des ondes courtes. Les propriétés de la couche de Kennelly-Heaviside se sont révélées alors différentes suivant les gammes de fréquences et la structure de la couche, elle-même compliquée et, surtout, changeante : changeante avec l'heure du jour, avec la saison, et même avec un cycle de onze ans dont le soleil est responsable. On est cependant arrivé à un tableau d'ensemble très satisfaisant de ce qui se passe, et, de plus, l'étude des changements s'est révélée très intéressante pour prévoir les meilleures fréquences à employer pour assurer une liaison radio donnée à un moment donné. C'est pourquoi

on voit naître maintenant dans tous les pays des *Services de prévisions ionosphériques* qui ont pour but d'assurer le meilleur rendement aux transmissions.

L'IONOSPHERE

Voici l'état des connaissances acquises sur la structure de l'ionosphère, très brièvement résumées, bien entendu (voir la fig. page 11). Tout d'abord, elle est complexe, et se divise en plusieurs couches. A haute altitude, vers 250-300 kilomètres, on trouve, *la nuit*, la couche F qui le jour se dédouble en deux couches F1 et F2. Plus bas, vers 120 kilomètres, se trouve la couche E, qui n'existe guère que de jour. Enfin, une couche D, à 70 kilomètres, n'a été découverte qu'assez récemment et est en général responsable de l'absorption des ondes.

En quoi consiste l'ionisation de ces couches, et d'où vient-elle ? Evidemment, on y trouve des électrons. Ceux-ci peuvent sortir du soleil, et alors ils viennent, de préférence lors de violentes perturbations solaires, en longs jets qui s'enroulent autour des lignes de force du champ magnétique terrestre. Ils arrivent par conséquent aux alentours des pôles magnétiques, et sont d'ailleurs révélés par le phénomène des *aurores boréales*, étudié notamment par Carl Stormer.

Mais on trouve aussi d'autres électrons nés de l'ionisation des molécules de l'air qui restent encore à de telles hauteurs et principalement, mais non uniquement, des molécules d'azote. Cette ionisation peut être produite, mais rarement, par le choc de certaines particules plus ou moins cosmiques, beaucoup plus abondamment par le rayonnement ultraviolet du soleil, qui ne nous est pas perceptible sur la terre, précisément parce qu'il est absorbé par ce mécanisme.

Les V-2 lancées verticalement par les Américains, dépassent déjà la plupart des couches ionisées terrestres ; elles ont permis la prise de spectres du soleil qui ont confirmé l'existence de la plupart des radiations que l'on était réduit jusqu'ici à y supposer.

Ces électrons ainsi produits laissent derrière eux des ions positifs, porteurs d'une charge électrique égale, mais beaucoup plus lourds, qui resteront donc presque immobiles sous l'influence des champs électriques envoyés par les émetteurs terrestres, et par suite ne prendront pas de part appréciable à la propagation. Leur rôle cependant est loin d'être négligeable, car ces ions se recombinaient aux électrons qu'ils rencontrent, pour redonner des molécules neutres, et tendent par conséquent à détruire l'ionisation. Celle que l'on constate est donc une ionisation d'équilibre, le rayonnement solaire dissociant les molécules et les chocs moléculaires les recombinaient. Ceci est valable de jour ; si maintenant la nuit tombe, la recombinaison fait disparaître les couches ionisées d'autant plus vite que l'on est dans une couche plus basse, où l'air est plus dense, avec des chocs moléculaires plus fréquents.

Les éclipses de soleil fournissent un moyen élégant d'étudier ces effets, et lors de la récente éclipse du 20 mai 1947, visible au Brésil, le Service de Préviation Ionosphérique de la Marine Française, qui y avait envoyé une mission, a pu entre autres obtenir des renseignements importants. C'est ainsi que le rayonnement ultraviolet solaire étant masqué pour quelques minutes par la lune, le nombre d'électrons peut tomber de 35 % à 75 % suivant les couches ; les couches D et E disparaissent en deux ou trois minutes, les couches F ou F₁, F₂ ont une « constante de temps » plus grande et mettent environ deux heures à prendre un certain état d'équilibre, qu'elles peuvent ensuite conserver toute la nuit.

Disons encore que cette ionisation est accompagnée d'effets accessoires : émissions diverses de raies spectrales, expliquant en partie la lumière du ciel nocturne, et que de nombreux physiciens étudient dans le monde entier ; dans les basses couches (D, peut-être E) production d'ozone qui, absorbant fortement l'ultraviolet solaire, préserve la vie à la surface de la terre de l'effet destructeur de ce rayonnement.

RÉFLEXION DES ONDES A HAUTE ALTITUDE

Il nous faut maintenant voir comment un ensemble d'électrons mélangés aux molécules préexistantes peut influencer la propagation d'une onde radioélectrique. Chacun sait ce qu'est l'indice de réfraction d'un milieu transparent : pour un corps défini, l'indice de réfraction diffère d'un produit, selon les cas, la réflexion ou la réfraction de la lumière ; pour un milieu dont l'indice varie lentement de place en place, il produit une courbure des rayons lumineux se traduisant par des effets de mirage. C'est le cas de l'air resté relativement froid dans un désert dont le sol est violemment chauffé par le soleil : l'air près du sol s'échauffe par conduction thermique, il en résulte que son indice de réfraction varie selon la hauteur, d'où les aspects classiques du mirage.

Or, la théorie de Maxwell rapproche la propagation radioélectrique de la propagation optique, qu'elle voit identiques. Il existe donc un indice de réfraction aussi pour les ondes radioélectriques, et un pas de plus dans la théorie montre que cet indice dépend du nombre d'électrons libres par centimètre cube, et de la fréquence de l'onde considérée (1).

Aux fréquences basses, celles des ondes longues de Marconi, avec les densités d'électrons que l'on trouve dans les couches ionisées, on peut notamment fort bien avoir un indice de réfraction négatif. Or c'est le cas qu'on prévoit aussi pour les métaux, qui comportent, eux aussi, un grand nombre d'électrons libres par centimètre cube.

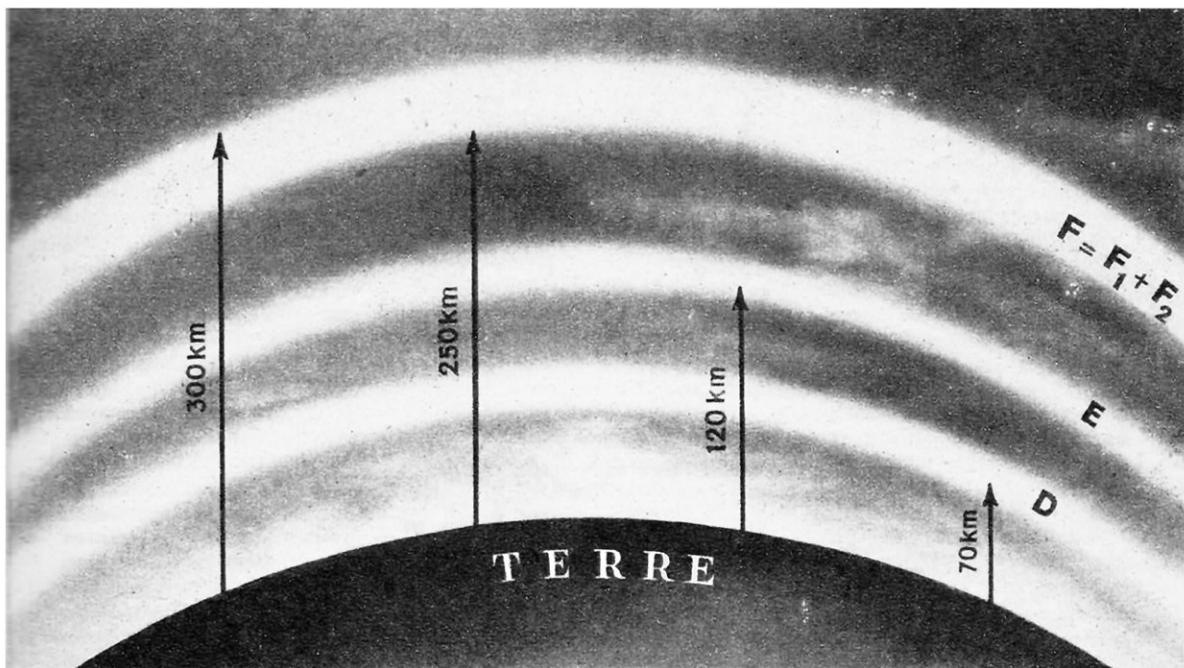
On doit donc prévoir que les ondes longues subissent une véritable réflexion métallique sur la première couche ionisée qu'elles rencontrent.

Mais si la fréquence augmente, le phénomène de réflexion métallique sur une couche ionisée disparaît.

Or, ceci a été très bien vérifié expérimentalement par les procédés du radar, employés à cet usage dès 1928, et c'est Sir Edward Appleton, récemment honoré du Prix Nobel de Physique, qui est l'auteur du procédé, et des découvertes qu'il a permises.

D'un point de la terre, envoyons vers le haut un signal bref (voir page 12), un « top » radioélectrique, sur une certaine fréquence porteuse ; au bout d'un temps de l'ordre du millième de seconde, le signal réfléchi sur la couche ionisée reviendra et sera perceptible sur un récepteur. Celui-ci débite normalement sur un oscillographe cathodique, à balayage proportionnel au temps, et on verra autant d'échos qu'il y a de couches disposées à fonctionner comme un miroir, E, F₁, F₂, etc.

(1) Cet indice est de la forme $n = 1 - \frac{AN}{f^2}$, A étant une constante, N le nombre d'électrons libres par cm³ et f la fréquence de l'onde.



REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DE LA HAUTE ATMOSPHÈRE MONTRANT LES DIFFÉRENTES COUCHES IONISÉES.

On peut répéter l'opération en augmentant la fréquence : on trouve qu'au delà d'une certaine fréquence, la réflexion sur une certaine couche disparaît. On dit que cette fréquence est la *fréquence critique* de la couche, et la méthode que nous venons de décrire, qui constitue le *sondage ionosphérique*, permet de connaître ces fréquences.

Ainsi, la couche D, basse, a une fréquence critique de 400 kilocycles, la couche E, à 120 kilomètres, a une fréquence critique de l'ordre de 2 000 kilocycles. Quant aux couches F1, F2 leur fréquence critique varie beaucoup selon les *latitudes*, les heures du jour, etc. Disons qu'à cette époque du cycle solaire de onze ans, en été, à midi, sous nos latitudes, la fréquence critique de la couche F2, la plus importante pour les transmissions, peut être de l'ordre de 5 000 à 8 000 kilocycles.

Pour tenir compte de larges variations possibles, on voit qu'il est intéressant de sonder de 1,5 à 15 ou 20 mégacycles (millions de cycles).

On peut encore, sur l'oscillographe d'un sondeur, présenter les résultats en faisant un balayage vertical au cours du temps, et en déplaçant latéralement le film d'enregistrement en fonction de la fréquence. Le « spot » n'est illuminé qu'au sommet de l'écho, de sorte que sur le film on voit se peindre une image très suggestive de la hauteur de la couche ionisée en fonction de la fréquence.

La figure (p. 13) montre que jusqu'à f_cE , fréquence critique de la couche E (ici

3,7 Mc), les ondes des « tops » subissent la réflexion métallique sur cette couche. Cependant, on voit la hauteur apparente de la couche monter sensiblement ; ceci n'est qu'une apparence, due au fait que la « vitesse de groupe », ou vitesse de signal de l'onde qui commence à bien pénétrer dans la couche, diminue beaucoup, et que la réflexion se fait avec un retard correspondant ; de ce retard, le balayage uniformément rapide de l'oscillographe ne tient pas compte, et les hauteurs réelles sont donc toujours plus faibles que les hauteurs virtuelles ainsi mesurées : cette variation de hauteur constitue en elle-même un renseignement d'où l'on peut déduire l'état d'ionisation de la couche et sa répartition.

Pour les fréquences inférieures à f_cE , les ondes ignorent les couches F1, F2, qu'elles ne peuvent atteindre ; pour les fréquences supérieures, la couche E est relativement transparente, et les mêmes phénomènes se produisent sur les couches F1, F2, qui ont aussi leurs fréquences critiques, plus élevées.

LA PRÉVISION DANS L'ESPACE

Passons maintenant à la *prévision* des fréquences à employer pour les transmissions. Pour aller d'un émetteur E à un récepteur R (voir page 14), une onde radio se réfléchit sous un certain angle, facile à déterminer géométriquement, la hauteur de la couche étant connue. On montre qu'il existe alors pour cette transmission une fréquence critique égale au quotient

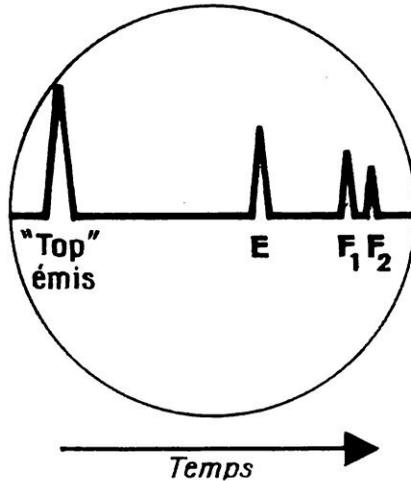
de la fréquence critique verticale f_c révélée par le sondeur ionosphérique par le cosinus de l'angle de réflexion. La prévision consiste donc à calculer l'angle de réflexion par la géographie du cas traité, à connaître ou à mesurer f_c , et à utiliser des règles pour savoir comment les meilleures fréquences à employer se déduisent de f_c .

Si l'on peut disposer d'une énorme puissance et si l'on peut employer des ondes très longues, on en trouve toujours qui donnent une solution. Ainsi, une onde de 50 kilocycles se réfléchira sur la couche D, si elle existe, sur la couche E à défaut, et la nuit elle ira chercher la couche F, 200 kilomètres plus haut, mais elle se réfléchira toujours et ira partout où on voudra sur la terre.

Cependant, l'emploi des ondes longues n'est pas toujours possible : leur réception est accompagnée d'« atmosphériques » violents, et le nombre des communications possibles sur les fréquences basses est limité. Enfin on recherche souvent le rendement, en diminuant la puissance à l'émission, la hauteur des antennes, etc.

Les ondes courtes offrent alors des possibilités toutes nouvelles. Soit un émetteur à ondes courtes E (voir page 15) arrosant la couche F_2 , par exemple, à une fréquence de l'ordre de 15 mégacycles (20 m de longueur d'onde). Seuls les rayons *suffisamment obliques* sur la couche F subissent la réflexion véritable (parce que la fréquence critique sous cette incidence devient alors plus grande que 15 mégacycles), tandis que les rayons moins obliques subissent seulement un certain mirage qui les dévie *mais ne les ramène pas sur la terre*. Il en résulte le phénomène de la *zone de silence* : de E à R_1 on ne reçoit rien (sauf une onde directe dans le voisinage immédiat de E) ; au delà de R_1 , on peut recevoir. Mais il y a mieux, les rayons réfléchis ont, géométriquement, une enveloppe, qui est une « caustique » comme en optique, et ils sont tous du même côté de l'enveloppe, c'est-à-dire que cette caustique vient couper la terre en R_1 pour la couche F. Il en résulte que le champ est exceptionnellement fort au voisinage même de R_1 .

La zone de silence existe et son rayon croît pour des longueurs d'onde allant de 80 mètres environ à 10 mètres ou même 8 mètres actuellement. Pour les ondes plus courtes, dites d'ailleurs « ultracourtes », la réflexion n'intervient jamais et aucun rayon ne revient sur terre.



Echos radars mettant en évidence les couches ionisées de l'atmosphère.

Donc, pour faire aux moindres frais une transmission radio de E à R_1 (mettons à 3 000 km...), prenons soin de choisir une fréquence à peine inférieure à la fréquence critique qui correspond à cette distance. Comme la couche de Kennelly-Heaviside varie sans cesse, par suite des vents, de violents brassages, etc., une marge de sécurité de l'ordre de 15 % au-dessous de ladite fréquence critique est recommandée. Mais cette fréquence critique varie au cours des heures de la journée : nous n'aurons qu'à choisir nos heures en fonction des fréquences dont nous

disposons pour émettre, ou nos fréquences selon les heures (mais on ne peut choisir les deux à la fois, ce que beaucoup d'administrations n'ont pas encore bien compris).

C'est en exploitant plus ou moins consciemment cette situation qu'on a réussi des portées record, traversant l'Atlantique avec moins d'un watt, parlant à l'Australie avec 5 watts, mais évidemment toujours dans des conditions acrobatiques et non reproductibles.

La Résistance Française s'est trouvée devant des problèmes de ce genre pendant la guerre ; il fallait, avec des émetteurs portatifs très peu puissants, causer avec Londres ou Alger. User des zones de silence était indiqué, ainsi la Gestapo n'aurait pas entendu... Bref, il fallait parler le plus souvent sur l'onde de 40 mètres, mais l'ennemi l'avait vite appris, aussi surveillait-il spécialement cette onde. Il fallait aussi avoir du matériel, faire accepter les meilleures conditions par les Alliés qui, eux, étaient à l'abri. Bref, on voit les difficultés.

LA PRÉVISION DANS LE TEMPS

Mais ce n'est là qu'une partie du problème, les conditions de transmission variant au cours du temps. Projétons, par exemple, le voyage d'un croiseur à Tahiti ; sur quelles ondes devra-t-il émettre *dans six mois* pour se faire entendre de Paris. Reconstruisons une aviation : sur quelles ondes établir ses transmissions pour les rendre efficaces dans trois ans, dans cinq ans ?

On a heureusement remarqué que l'intensité totale de l'ionisation dans chacune des couches de Kennelly-Heaviside évoluait assez régulièrement avec certains phénomènes solaires observables, tels que le nombre et la grandeur des taches solaires, et l'on sait depuis fort longtemps que ces taches solaires se reproduisent d'une manière à

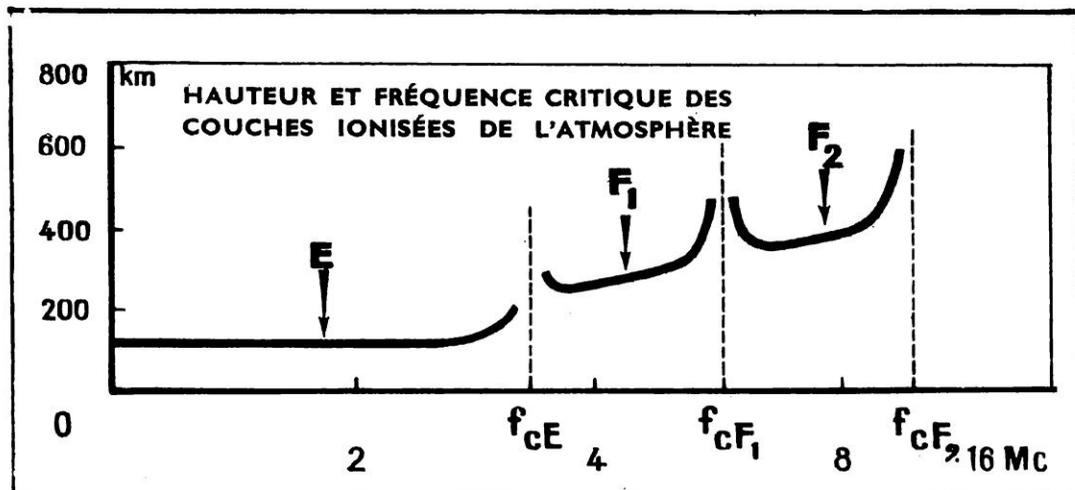
peu près cyclique tous les onze ans, non dans leur détail sans doute, mais dans leur importance d'ensemble.

La radioélectricité, heureusement, commençant à être vieille de plusieurs fois onze ans, on a pu, depuis les découvertes d'Appleton, en déduire les valeurs correspondantes pour les fréquences critiques : c'est ainsi qu'en 1947, on sait que toutes les fréquences critiques de toutes les couches sont environ 1,6 fois plus grandes que les fréquences critiques correspondantes de 1943 (mois, jours, heures semblables). Il en résulte qu'une aviation, une marine qui auraient été correctement équipées de matériel en 1943 devraient consentir à de profonds changements en 1947, ou bien encore, qu'on ne peut faire la guerre avec le même matériel radio que tous les onze ans, tous renseignements qui seraient évidemment d'un puissant intérêt si on était sûr que les équipements de 1943 étaient eux-mêmes corrects !

Bref, les mesures actuelles de fréquences critiques, et l'évolution des données solaires sur les taches permettent d'extrapoler les fréquences critiques futures ; c'est là l'essentiel du travail de prévision ionosphérique. Un sondeur, de bonnes relations avec un observatoire solaire, et l'on peut calculer toutes les transmissions. On calcule d'abord la géométrie du problème, c'est-à-dire qu'on

quence critique trouvée. On ne peut prendre cette fréquence trop inférieure à cause de l'absorption. Supposons en effet que la fréquence critique verticale de F_2 soit de 8 mégacycles, et celle de F_1 de 5, si nous choisissons une fréquence de 5,5 Mc, elle subira un long mirage dans la couche F_1 , qui la rendra longtemps (c'est-à-dire pendant une fraction importante de sa durée de propagation) victime de l'absorption : nous n'avons pas encore dit, en effet, que les électrons de la couche ionisée, mis en mouvement par le champ des ondes incidentes, voyaient tout de même leur mouvement entravé par les chocs avec les molécules, ce qui se traduit évidemment par une perte d'énergie. Comme cette énergie est empruntée à l'onde incidente, ceci ne peut se traduire que par une absorption : on peut la calculer grossièrement. Une autre absorption se produit à chaque réflexion sur la terre ; il en résulte que des trajets avec un très grand nombre de réflexions entre E et R donnent peu de champ en R et ne sont pas à considérer.

Cependant, l'absorption ne fait que diminuer le champ sans le faire disparaître ; si l'on augmente la puissance, on finit par la surmonter. Il en résulte que la limite des fréquences inférieures à employer pour une transmission dépend de la puissance con-



regarde quelles sont les trajectoires possibles des rayons de l'émetteur au récepteur, en tenant compte s'il le faut de plusieurs réflexions sur le sol et sur la couche. Il vaut mieux évidemment qu'une réflexion intermédiaire se produise sur une plaine ou sur la mer, plutôt que sur l'Himalaya, dont les hauts sommets doivent provoquer une diffraction appréciable.

On calcule alors les fréquences critiques pour la période voulue en tenant compte de leur valeur actuelle et de leur évolution probable. Reste à conseiller pour la transmission une fréquence inférieure à la fré-

sentie, du rendement des antennes, du niveau des parasites admis, etc.

Compte tenu de tout ce qui précède, on peut alors obtenir des documents qui sont des cartes des meilleures fréquences à employer (en ordonnées) selon les heures du jour (en abscisses).

Ainsi, la figure de gauche de la page 16 se rapporte aux fréquences à choisir pour une transmission à effectuer avec 10 watts à 2 500 kilomètres en août 1947 : la courbe (1) donne les fréquences critiques ; la courbe (2) donne une limite inférieure due à l'absorption (cette courbe (2) est la seule qui se

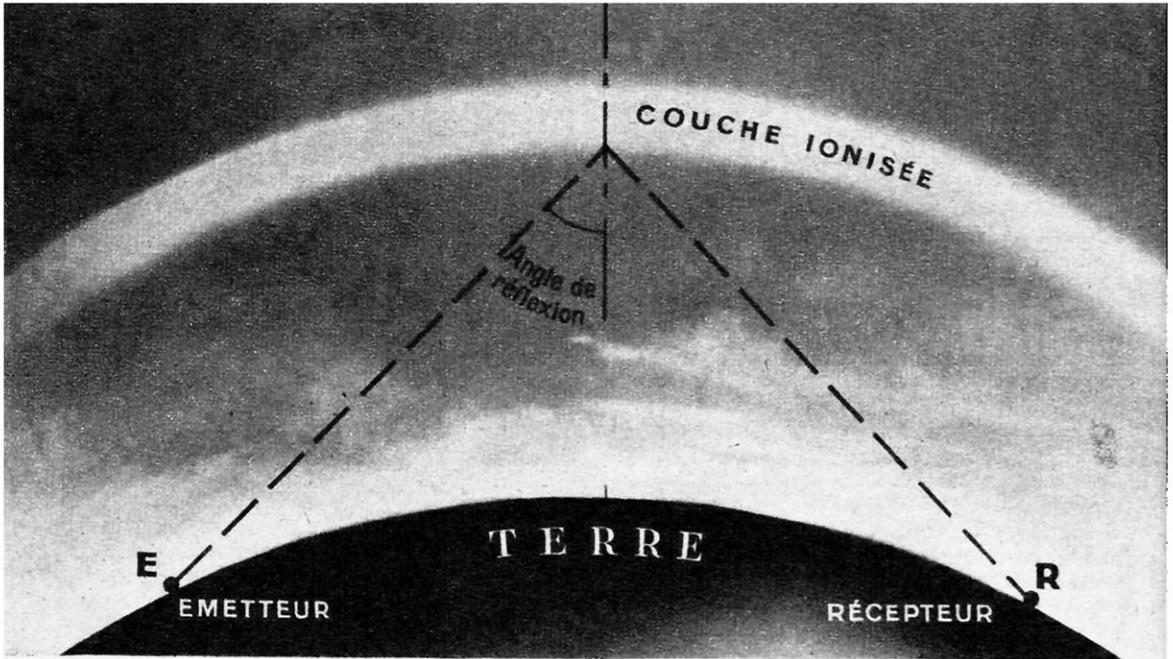


SCHÉMA DU PARCOURS D'UNE ONDE RADIOÉLECTRIQUE SE RÉFLÉCHISSANT SUR UNE COUCHE IONISÉE.

déplacerait notablement si la puissance changeait ; les courbes (3) et (4) limitent une région de sécurité, définie en tenant compte des fluctuations rapides plus ou moins bien connues des couches.

Pour des transmissions lointaines, englobant des conditions de jour et de nuit sur le parcours, on a parfois la surprise désagréable de trouver des conditions incompatibles : la zone des fréquences sûres disparaît pour certains intervalles d'heures. La figure de droite de la page 16 donne une idée de ce qui peut se passer pour 18 000 kilomètres à atteindre en août 1947 avec 1 000 watts.

LES CONDITIONS ANORMALES

Voici donc le travail de prévision ionosphérique complètement élucidé.

Il nous reste à parler maintenant des conditions *irrégulières* de la propagation.

Tout le monde a remarqué le *fading* des récepteurs de radiodiffusion, variations lentes ou rapides de l'intensité reçue. On l'explique par des modifications de la couche ionisée, mais il n'est pas nécessaire que ces modifications soient très importantes pour produire de très gros effets :

Soit un récepteur placé près de R₁, limite de la zone de silence : une très petite modification du nombre d'électrons dans la couche ionisée E fait passer et repasser la fréquence qui l'atteint par les conditions « critiques », d'où un fading intense : ceci peut se produire au lever ou au coucher du soleil.

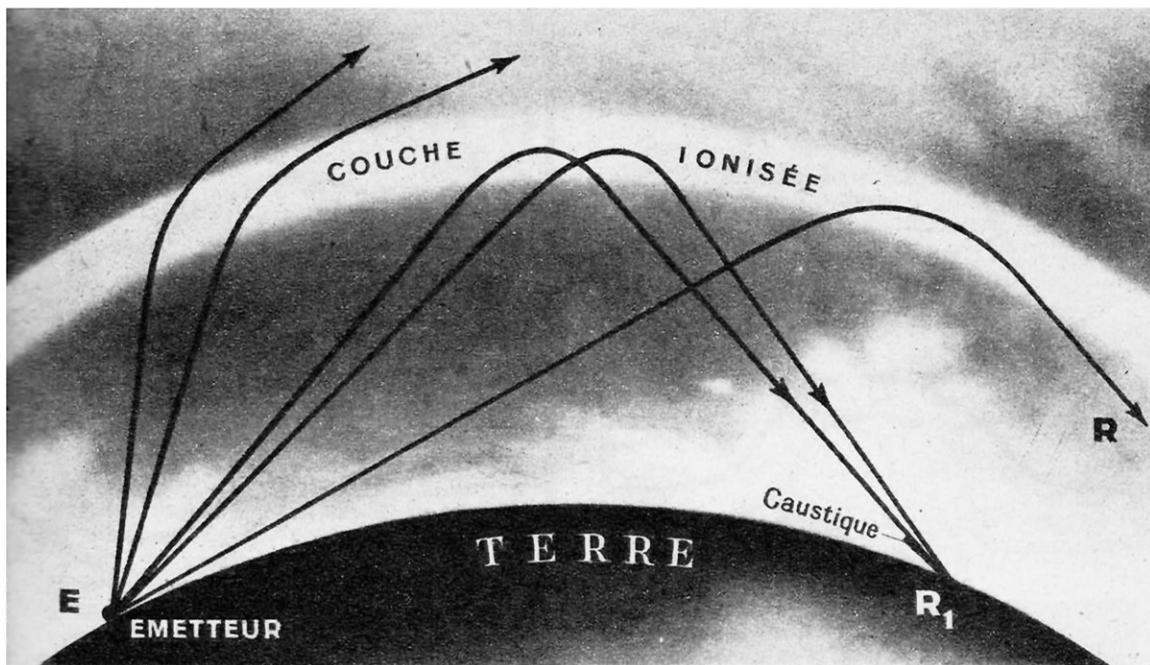
Même sans cela, supposons que la couche monte lentement, sans autre modification,

et que le champ au récepteur soit dû à l'arrivée simultanée d'une onde réfléchie une fois et d'une onde réfléchie deux fois. Ces deux ondes donnent des interférences qui renforcent ou affaiblissent le champ tour à tour selon la position du miroir ionosphérique.

Ce mécanisme est si bien vérifié qu'on a pu en déduire une méthode d'atténuation du fading, en faisant une réception simultanée sur plusieurs antennes arrangées de telle sorte que si l'une est à un maximum de champ l'autre est à un minimum et vice-versa (il suffit de les écarter de quelques dizaines ou quelques centaines de mètres correspondant à la dimension des franges pour la fréquence envisagée). C'est la réception *diversity* (voir p. 50).

LES ORAGES MAGNÉTIQUES ET LEUR PRÉVISION

L'effet Møgel-Dellinger est un fading total, dit « fade-out », disons une disparition totale de la réception sur ondes courtes ; on trouve qu'il accompagne les violents orages magnétiques (on appelle ainsi de très petites variations du champ terrestre, atteignant à peine le milligauss, mais impressionnantes si l'on songe aux catastrophes solaires nécessaires pour leur donner naissance). M. Bureau, en France, étudiait depuis longtemps la réception des parasites atmosphériques, provenant en gros d'orages authentiques (et non plus magnétiques) et conventionnels : ces parasites



LA PROPAGATION DES ONDES COURTES ET L'APPARITION DE LA ZONE DE SILENCE AUTOUR DE L'ÉMETTEUR.

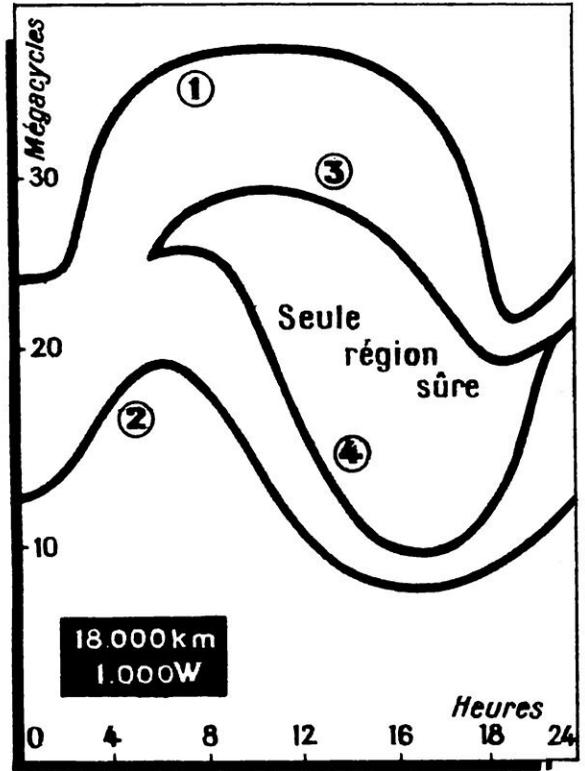
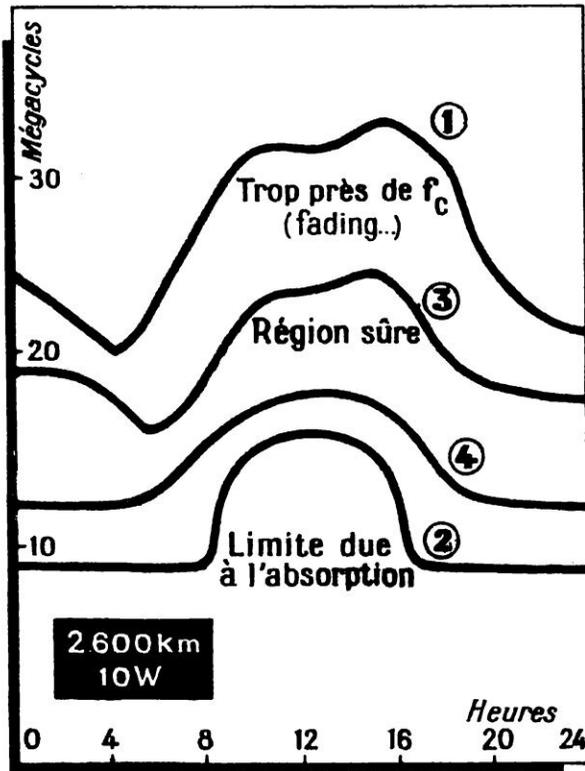
encombrent surtout les ondes longues. Il a eu l'occasion ainsi de mettre en évidence le fait que les fadings à début brusque sur ondes courtes étaient accompagnés d'un renforcement caractérisé de la réception des ondes longues. L'explication doit être recherchée du côté de violentes et brutales éruptions solaires qui produisent une ionisation supplémentaire marquée des basses couches ionisées de l'atmosphère : alors les fréquences critiques des couches D, E augmentent beaucoup, les ondes courtes ne peuvent plus passer pour atteindre la couche F, qui accepterait de les propager au loin, pendant que les miroirs D, E enrichis en électrons, s'améliorent pour les ondes longues.

Les mesures du champ magnétique terrestre, quand elles révèlent un orage magnétique, permettent de prévoir le « fade-out » deux ou trois heures *avant* qu'il n'apparaisse : c'est peu pour les besoins de la pratique, mais l'examen direct du soleil permet *parfois* de faire mieux. Le soleil fait un tour sur lui-même en vingt-sept jours. Si l'on aperçoit une violente éruption sur le bord Est du soleil, on sait qu'elle sera en face de la terre environ sept jours après : il y a donc quelque chance que les émissions de particules ou de rayonnement qui vont atteindre l'ionosphère soient spécialement actives à ce moment-là. On a trouvé en effet (Dr Kiepenheuer, astronome allemand qui est à l'origine de cette idée, et qui travaille actuellement avec le Service de Prédiction Ionosphérique de la Marine Française), que non seulement les éruptions chromosphériques, mais même et surtout les variations

importantes d'éclat de la *couronne solaire* pouvaient permettre une bonne prévision, mais pas absolument sûre parce que naturellement certains accidents nés sur le soleil après le passage sur le bord Est échappent à l'observation.

Dans tout ce qui précède, nous n'avons mentionné que l'essentiel. Beaucoup de savants dans le monde entier sont maintenant penchés sur ces problèmes. La contribution anglaise, grâce à Sir Edward Appleton, est de premier ordre ; les travaux des Allemands, surtout dans le sens de l'utilisation pratique, ont été remarquables. Les pays tels que l'Amérique, la Russie, l'Australie, avec d'énormes problèmes de communications, ont en conséquence beaucoup développé leurs sondages, et le Dr Dellinger, au National Bureau of Standards en Amérique, fait un gros effort pour diffuser les renseignements dans le monde entier. La France, outre les travaux de M. Bureau, directeur du Laboratoire national de Radio-Électricité, a apporté la très remarquable contribution de l'astronome Lyot, qui le premier a réussi l'observation de la couronne solaire ; le Service de Prédiction Ionosphérique de la Marine, rapidement monté à la fin de la guerre, a une station de sondage qui compte parmi les meilleures stations du réseau international.

Tout récemment, l'école de Sir Edward Appleton a découvert une émission parfois intense du soleil sur des ondes radioélectriques de 2 à 7 mètres de longueurs d'onde, dont les variations sont évidemment en rapport avec l'activité solaire.



EXEMPLES DE CARTES DES MEILLEURS FRÉQUENCES A EMPLOYER SELON L'HEURE DU JOUR (EN AOUT 1947)

TABLEAU GÉNÉRAL DE LA PROPAGATION

Nous nous sommes longuement étendus sur les ondes courtes, en gros de 80 à 9 mètres de longueur d'onde. Les ondes indiscutablement longues vont de 20 000 à 800 mètres peut-être. En fait, les ondes très longues n'ont plus qu'une application, la communication avec les sous-marins en plongée; en effet, l'*effet de peau*, connu des électriciens, limite leur pénétration dans la mer à 12 ou 15 mètres pour une longueur d'onde de 20 kilomètres, et cette pénétration diminue comme la racine carrée de l'inverse de la fréquence. On garde donc ces ondes très longues pour cette seule application. De 600 à 200 mètres, on a les ondes moyennes bien connues de la radiodiffusion. Leur comportement est simple : le jour, réflexion sur la couche E (basse altitude), donc faible portée, et ennuis d'absorption dans la couche D. La nuit, situation améliorée, plus de couche E, bonne réflexion sur la couche F, avec propagation au loin plutôt stable, à part des fadings dans les changements qui surviennent au coucher du soleil. Au-dessous, les ondes de 120 mètres sont dans les plus mauvaises conditions, c'est-à-dire très absorbées, même dans la couche E.

Ce sont ces ondes que l'on choisit pour les communications à courte distance, mais hors de visibilité et demandant cependant

de la discrétion à grande distance, que l'absorption assure.

Ces ondes de 120 mètres ont quelque rapport avec la grandeur du champ magnétique terrestre, 0,5 gauss, qui, on le sait, fait tourner les électrons libres sur des cercles de rayon variable selon leur vitesse, mais parcourus en un temps constant; la fréquence est donc déterminée, justement de l'ordre de celle de ces ondes, qui vont alors faire entrer en résonance tous ces électrons libres et leur transmettre beaucoup d'énergie, d'où cette absorption spéciale.

Au-dessous, on trouve les ondes courtes dont nous avons parlé. Mais quand on arrive aux ondes ultracourtes (longueur d'onde inférieure à 10 mètres), il ne suffit pas de dire qu'elles se propagent comme la lumière, car on assiste toujours en R à l'interférence d'une onde *directe* et d'une onde qui a été *réfléchie* sur le sol, en changeant d'ailleurs sa phase de π au moment de la réflexion, phénomène qui tend à annuler le champ en R si E ou R se rapprochent du sol.

Cette remarque explique que les communications en ondes ultracourtes d'avion à avion aient un bien meilleur rendement que les communications au sol.

Si on prend des ondes vraiment courtes (10 cm, 3 cm de longueur d'onde, 3 000, 10 000 mégacycles de fréquence) ce phénomène ne joue même plus, et on peut vraiment compter dans la plupart des cas sur la véritable propagation optique.

LES ÉCHOS SUR LA LUNE ET LES FUTURES COMMUNICATIONS INTERPLANÉTAIRES.

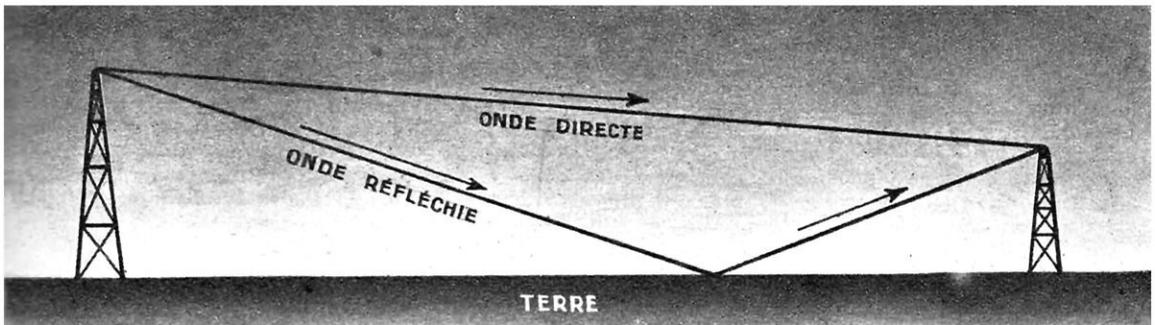
La couche ionisée, qui réfléchit vers la terre des ondes venues de la terre, travaille évidemment dans les deux sens, c'est-à-dire qu'elle nous empêche de recevoir des signaux issus de l'Univers extérieur et qui viendraient à atteindre la terre. Cependant, l'ionosphère, nous l'avons vu, est transparente aux ondes ultracourtes, qu'elle dévie en les absorbant très peu. Nous avons déjà dit, d'ailleurs, que le soleil nous envoyait son « bruit électromagnétique » sur ondes de 2 à 7 mètres. Or, on écoute le soleil de « jour », par définition pour ainsi dire.

Qu'entend-on la nuit? Un bruit très semblable, originaire de la voie lactée, et qui s'étend même sur des ondes plus longues, jusque vers 15 mètres. Il paraît certain que le bruit solaire et le bruit intersidéral ont la même origine et probablement la même distribution selon la fréquence, à peu de choses près. Le fait qu'on entend la nuit en ondes plus longues serait simplement dû à ce que la couche ionisée, moins riche en électrons, est plus transparente à des ondes de cet ordre.

de la longueur d'onde) ne cadre pas avec le rayonnement des électrons entraînés sur les cercles de la théorie gyromagnétique. L'effet doit donc réellement exister, mais être très faible.

Une autre théorie, plus vraisemblable, suppose quelques noyaux d'hydrogène, calcule les transitions d'une orbite électronique libre (une hyperbole) à une autre libre ou liée (une ellipse) et trouve un rayonnement plus correctement distribué. En termes plus classiques, disons : un électron qui s'approche d'un noyau d'hydrogène est attiré et dévié, il subit alors une accélération et délivre un rayonnement proportionnel. Cette théorie, jusqu'ici, n'a rien contre elle dans les faits. Elle est intéressante parce qu'elle envisage des bruits électromagnétiques qui pourraient naître *ailleurs que dans les étoiles*, l'espace interplanétaire pouvant après tout voir de temps en temps un noyau d'hydrogène, quelques électrons, et les mettre au travail.

Le fait que nous recevons de tels rayonnements venus de l'extérieur donne à penser que nous pouvons aussi en envoyer : c'est uniquement une question de puissance à mettre à l'émission.



INTERFÉRENCE DE L'ONDE DIRECTE ET DE L'ONDE RÉFLÉCHIE DANS LE CAS DES ONDES ULTRACOURTES

Une étude soignée de ce rayonnement a montré qu'il présentait un certain maximum dans la direction du Cygne, pas très accusé, mais bien fixe.

Quant à l'origine de cet effet, plusieurs théories sont en concurrence :

On peut tout d'abord calculer les fréquences gyromagnétiques des électrons dans le champ magnétique solaire. On sait, par des mesures spectroscopiques, que celui-ci a une valeur *moyenne* de 50 gauss, mais qu'il est beaucoup plus intense (jusqu'à 5 000 gauss) dans les taches solaires, qu'il faut considérer comme d'énormes pôles d'aimants. Au champ de 50 gauss correspond une onde gyromagnétique de 2 mètres de longueur d'onde, et naturellement de 2 centimètres pour 5 000 gauss. Mais la distribution d'énergie constatée (le rayonnement semble augmenter comme le cube

Tout le monde sait qu'il y a un an environ l'Armée américaine (plus exactement le Signal Corps) a publié des photographies d'échos radars obtenus sur la Lune (voir page 133). Ceci donne l'ordre de grandeur de ce qui est possible. Il a fallu, pour y parvenir, des « tops » d'environ 5 millions de watts de puissance de crête, et des aériens convenablement dimensionnés pour que la puissance veuille bien rester dans un faisceau assez dirigé. Si l'on reçoit encore quelque chose par la simple diffraction sur la lune d'un signal émis de la terre, il est clair qu'il sera possible d'actionner un récepteur à des distances énormément plus grandes. Si dans le futur les distances interplanétaires sont explorées par des fusées ayant des équipages humains, on a dès maintenant la certitude que la liaison avec elles pourra s'effectuer par radio.

LES RADIOTUBES

par Robert WARNECKE
Docteur de l'Université de Paris

Les radiotubes, ou comme on les appelle souvent dans le langage courant, les lampes de T. S. F., sont intimement liés à la vie moderne. A la veille de la première guerre mondiale, c'étaient seulement des appareils de laboratoire construits un par un avec beaucoup de difficultés sous le contrôle de physiciens isolés; à l'heure actuelle, on les fabrique annuellement par centaines de millions, suivant une technique précise, des plus scientifiques. Les radiocommunications qui permettent d'échanger d'une manière quasi instantanée des informations entre les points les plus éloignés de notre planète, la télévision qui nous fait assister à des événements qui se déroulent loin de nos yeux, le radar qui détecte les obstacles, les véhicules ou les projectiles que la brume, la nuit ou même l'insuffisance des instruments d'optique nous empêcheraient de percevoir directement, reposent essentiellement sur l'emploi des radiotubes. Sortant de ce cadre ils pénètrent chaque jour plus avant dans des domaines très divers ou ils apportent des possibilités nouvelles : appareils médicaux, équipements industriels, appareillage de la physique moderne et même installations pour la cuisson des aliments par haute fréquence. Ce sont les étapes marquantes, les bases essentielles et les résultats principaux du développement des radiotubes, qui a porté aussi bien sur leur conception que sur leur construction, que nous résumons ici.

LA NAISSANCE DE L'ÉLECTRONIQUE

DEPUIS quelques années on désigne par « électronique » la branche, de plus en plus importante, de la physique qui, à des titres divers, s'occupe des phénomènes accompagnant le passage des charges électriques à travers les gaz ou le vide poussé. Toutes les « lampes », tous les « tubes », quelles que soient leurs particularités, *entre les électrodes desquels passe une décharge électrique*, sont ainsi des « tubes électroniques ». Certains produisent en eux-mêmes des effets utiles : c'est le cas, par exemple, du tube à rayons X ou du tube fluorescent, dans lesquels la décharge électrique fait naître des radiations; d'autres interviennent par le contrôle du courant électrique dans les circuits qui leurs sont associés : les redresseurs à vide ou à gaz, comme les radiotubes, appartiennent à cette catégorie.

Le développement de l'électronique s'est appuyé sur l'étude des « phénomènes thermioniques ». Un filament métallique, par exemple, porté à haute température par le passage d'un courant électrique, libère un véritable nuage d'électrons (1). Si, dans l'enceinte qui entoure ce filament et que, pour simplifier, nous supposons vide de tout gaz, on fait agir un champ électrique, par exemple en y introduisant une électrode portée par rapport au filament à un potentiel positif, ces élec-

trons se déplaceront vers l'électrode qui les recueillera, et comme les électrons sont sans cesse renouvelés par l'émission du filament, on observera le passage d'un courant dans le circuit extérieur reliant le filament à l'électrode.

Ce phénomène n'est autre que l'« effet Edison » découvert en 1883.

Le courant ne passe dans le circuit que lorsque la tension entre l'électrode supplémentaire (la plaque) et le filament a une valeur positive, et ce dispositif peut donc jouer le rôle de détecteur. Il semble que ce soit Fleming qui, le premier, l'ait systématiquement employé pour détecter les ondes électromagnétiques sous la forme de la « valve » qu'il breveta en 1904.

Le perfectionnement fondamental fut

(1) En 1891, C. J. Stoney avait utilisé l'ancien mot grec « electron » qui, dans le monde antique, désignait l'ambre fossile (la plus ancienne source d'électricité connue), pour représenter la plus petite quantité d'électricité que fait apparaître la loi de l'électrolyse de Faraday, combinée avec l'hypothèse de l'existence des atomes. Stoney voyait ses électrons comme des parties intégrantes de la matière et comme physiquement non dissociables des atomes. Son erreur fut comprise quand J. J. Thompson et ses continuateurs eurent prouvé l'existence indépendante de la charge élémentaire d'électricité négative qu'est l'électron détaché de toute matière pondérable. Par ses travaux, Thompson, non seulement jeta les bases d'une théorie révolutionnaire de la constitution de la matière et changea par là la conception philosophique de la science, mais il fournit aussi le lien permettant de réunir beaucoup d'observations isolées faites antérieurement; en particulier, il fournit l'explication véritable de l'« effet Edison ».

Amplificateur expérimental à propagation d'ondes qui, sur 10 cm de longueur d'onde, possède une bande passante de 600 millions de cycles avec une puissance de sortie de quelques centaines de milliwatts. (Laboratoires C.S.F.)



apporté en 1907 par Lee de Forest, qui introduisit une troisième électrode en forme de grille entre filament et plaque, dans la position la plus favorable pour contrôler à volonté le flux des électrons allant du filament vers la plaque. De cette action de contrôle, mise en évidence par la figure page 20, dérivent toutes les propriétés fondamentales de la triode ainsi constituée.

L'intérêt essentiel de cette disposition est qu'avec des tensions continues convenables appliquées aux électrodes, une petite variation du potentiel de la grille par rapport au filament peut déterminer une variation importante dans le courant qui parvient à la plaque, et cela sans qu'un courant appréciable circule dans le circuit grille. Le système constitue donc un *relai* ou un *amplificateur*. Dès 1914, une liaison téléphonique directe par fil New York-San Francisco était effectuée avec des répéteurs (amplificateurs à lampes), échelonnés le long de la ligne. Des progrès analogues étaient d'ailleurs accomplis en France, en Angleterre, en Allemagne et en Italie.

Une triode amplificatrice commande donc plus de puissance alternative dans son circuit de plaque qu'elle n'en consomme dans son circuit de grille ; une petite quantité de l'énergie du circuit plaque peut être réinjectée dans le circuit de grille pour y accroître à nouveau la puissance de plaque. Cet effet, dit de « régénération », va en s'amplifiant et peut amener, dans le circuit de grille, une énergie alternative suffisante pour que le système constitué par le tube et les circuits résonnants associés entre en auto-oscillation (l'énergie transformée en haute fréquence est essentiellement empruntée à la source de tension continue). Le radiotube est alors un *générateur d'oscillations électromagnétiques* qui sont entretenues comme le sont les oscillations mécaniques d'une horloge. Dans une horloge, le pendule, mis en mouvement par un léger choc, conduit un échappement qui libère périodiquement le ressort moteur. Ce ressort restitue au pendule, à chaque oscillation, l'énergie qu'il a perdue pendant l'oscillation précédente. Dans la lampe à trois électrodes génératrice, la grille remplit le rôle de l'échappement, et la source de tension continue du circuit plaque est l'analogie du ressort moteur.

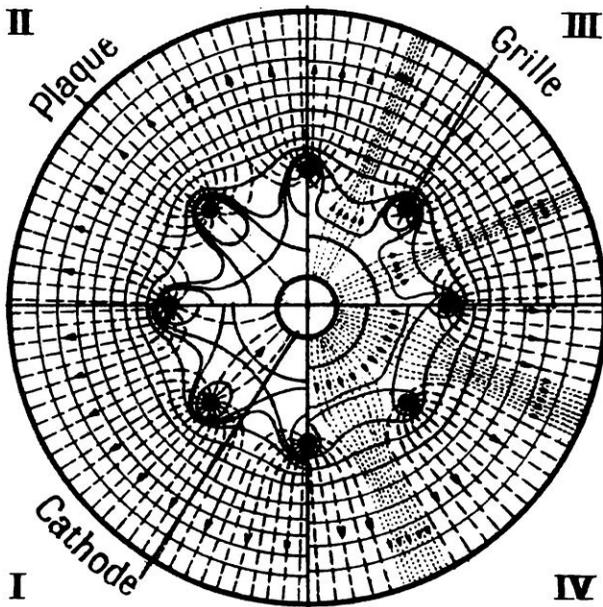
Les trois propriétés essentielles (détection, amplification, génération des oscillations

haute fréquence) de la lampe triode furent vérifiées, précisées, expliquées et appliquées très rapidement pendant la première guerre mondiale, grâce à l'intervention de nombreux savants des deux partis en présence, et notre pays peut s'enorgueillir à juste titre de la contribution qu'apportèrent dans ce domaine plusieurs de ses grands maîtres : Abraham C. Gutton, R. Jouaust, entre autres. A partir de 1918, dans les développements comme dans les applications, l'ingénieur a remplacé de plus en plus le physicien. Celui-ci n'a retrouvé un rôle primordial qu'au moment où le désir de produire des oscillations de fréquences de plus en plus élevées amena à constater que l'inertie électronique pouvait faire perdre à la triode une grande partie de ses propriétés fondamentales.

Du point de vue de l'ingénieur, deux groupes de faits doivent être considérés comme ayant fondamentalement influencé le développement des tubes électroniques et en particulier celui des radiotubes : le premier est relatif à la découverte des cathodes à grande émission, le second concerne les progrès de la technique du vide poussé.

LES CATHODES A GRANDE ÉMISSION

En 1903, A. Wehnelt avait découvert et étudié l'émission thermoionique de filaments métalliques recouverts de certains oxydes, notamment ceux des terres rares comme les oxydes de baryum, de strontium, etc. On attribue aujourd'hui leur haut pouvoir émissif pour des températures relativement basses aux particules de métaux actifs provenant de ces oxydes et pour lesquels le « travail de sortie » des électrons a une faible valeur ; c'est-à-dire que ceux-ci s'échappent très facilement du métal actif quand leur agitation thermique est augmentée par la température. Bien qu'il y ait encore quelques controverses en ce qui concerne le mécanisme de la réduction de l'oxyde, les cathodes de ce type sont les plus efficaces que l'on connaisse et parmi les plus utilisées actuellement. Constituées



ROLE DE LA GRILLE DANS UNE TRIODE CLASSIQUE

Les lignes de forces sont représentées en trait interrompu, les trajectoires électroniques en pointillé. En I, la tension grille est très négative; en II, elle est encore négative, mais moins que précédemment, le courant anodique étant juste nul; en III, elle est nulle, un courant anodique passe, assez faible; en IV, elle est positive: le courant électronique est intense (d'après Chaffee).

par des mélanges de carbonates de baryum et de strontium (lesquels sont transformés en oxydes pendant le « pompage » des tubes) déposés sur des fils ou des bandes de nickel, on les trouve en particulier dans la plupart des tubes de réception.

Lorsque Coolidge, en 1908, eut perfectionné la fabrication des fils de tungstène en les rendant ductiles, on reconnut rapidement l'intérêt des métaux réfractaires purs pour en former les cathodes. D'un emploi quasi-général dans les lampes d'éclairage dès 1910, le tungstène, en particulier, passa très rapidement dans les radiotubes.

En 1914, Langmuir constata que la thorie (oxyde de thorium), qui était utilisée dans la fabrication des filaments de tungstène pour réduire la recristallisation pouvait, dans des conditions appropriées, accroître énormément l'émission thermoélectronique d'une cathode de tungstène. Les investigations ultérieures montrèrent que cela était dû au fait que le thorium métallique, produit par la réduction de la thorie à haute température, diffuse de l'intérieur du filament vers la surface, en y créant une couche monomoléculaire émettant abondamment des électrons à température relativement basse. On utilise encore, surtout dans les lampes d'émission, des cathodes de ce genre qui fournissent une émission importante avec une faible dépense d'énergie pour leur chauffage. Tout

récemment même, on a réussi à les introduire dans les lampes fonctionnant à très haute tension, d'où les avait bannis jusqu'à maintenant une fragilité relative résultant de leur destruction facile par le bombardement des ions positifs formés dans les gaz résiduels.

LES TUBES A VIDE POUSSÉ

L'utilisation pratique des cathodes de ce genre, et par ailleurs l'emploi des voltages élevés requis pour de nombreux usages des tubes électroniques, ne devinrent possibles que grâce à la création de la technique du vide poussé.

Quand une décharge électrique est provoquée dans un tube contenant une quantité appréciable de gaz, un courant continu y passe par suite de l'« ionisation par chocs »: les molécules neutres de gaz sont divisées en ions chargés positivement et en électrons. Les premiers se dirigent vers l'électrode négative et les seconds vont vers l'électrode positive en rencontrant sur leur chemin d'autres molécules de gaz qu'ils brisent à leur tour s'ils ont pris entre temps une vitesse suffisante dans le champ électrique créé entre les électrodes du tube. Ainsi, quand une décharge électrique passe dans un gaz, le courant électrique (c'est-à-dire précisément le flux des électrons et des ions) se crée à lui-même sa propre conductibilité. Il en résulte une certaine instabilité et une certaine irrégularité du fonctionnement qui sont, à un degré plus ou moins élevé, communes à toutes les décharges dans les gaz. C'est seulement quand les électrons initiaux ne rencontrent sur leur chemin entre les électrodes aucune molécule de gaz (ou très peu) que l'on observe des phénomènes tout à fait constants dans le temps; les tubes correspondants sont alors appelés *tubes à vide*. Dans les tubes à gaz, contrairement à ce que l'on imagine parfois a priori, le passage du courant est, en général, dû essentiellement — comme pour les tubes à vide — au mouvement des électrons de la cathode vers l'anode. Les ions positifs y participent aussi, mais, comme leur masse est très grande par rapport à celle des électrons, leur vitesse est très faible: par suite, le courant qu'ils transportent est relativement petit. La différence essentielle entre tubes à gaz et tubes à vide vient de ce que, dans l'espace interélectrode de ces derniers, où il y a seulement des électrons, ceux-ci, bien qu'en mouvement vers l'anode, créent un champ électrique (opposé à celui que produit l'anode) comme s'ils étaient immobiles, parce que leur émission par la cathode est continue. En d'autres termes, la charge négative de la région voisine de la cathode limite, en fonction de la tension de l'anode, l'intensité du courant. Dans les tubes à gaz, où les ions positifs sont également présents, avec une concentration égale ou voisine de celle des électrons, la charge d'espace positive qu'ils créent compense ou

« neutralise » la charge d'espace négative des électrons ; de très grands courants, d'origine électronique, peuvent donc, si la source le permet, traverser l'espace interélectrode sous de faibles différences de potentiel, alors que, dans un tube à vide, il faut de très grandes différences de potentiel pour obtenir la même densité de courant.

L'ordre de grandeur de l'abaissement de pression nécessaire dans un tube pour que la décharge puisse y être considérée comme purement électronique peut être évalué simplement : considérons, par exemple, une enceinte remplie de vapeur de mercure à la température ambiante sous une pression correspondant à 10^{-4} mm de mercure et contenant deux électrodes distantes de 1 cm ; la théorie cinétique des gaz nous apprend qu'à la pression considérée le libre parcours moyen d'un électron, c'est-à-dire la valeur moyenne de la distance qu'il parcourt entre deux chocs successifs contre des molécules, y est d'environ 600 cm. En ordre de grandeur, il y aura donc 1/600 des électrons qui rencontreront des molécules de mercure en allant d'une électrode à l'autre. Si le champ électrique est suffisant, il y aura donc production d'ions positifs en nombre 600 fois plus faible que celui des électrons. En raison de leur masse plus grande, la mobilité des ions de mercure est environ 600 fois plus petite que celle des électrons ; le courant que ces ions transporteront ne sera donc que la 360000^{e} partie du courant électronique ; mais à côté de cela, la charge spatiale positive créée par ces ions 600 fois moins nombreux, mais aussi 600 fois plus lents que les électrons sera sensiblement égale à la charge d'espace négative des électrons. Pour que les effets de charge d'espace négative ne soient pratiquement pas altérés, il faudrait donc que le nombre des ions formés soit par exemple 100 fois plus petit, c'est-à-dire que le libre parcours des électrons soit environ 100 fois plus grand, et comme celui-ci est inversement proportionnel au nombre de molécules par cm^3 , c'est-à-dire à la pression, il est nécessaire que celle-ci équivalende à environ 10^{-6} mm de mercure (10^{-9} atm.).

Une telle pression est effectivement celle que l'on réalise, pour l'ensemble des gaz résiduels, dans les tubes « à vide poussé ». Pour bien comprendre ce que représente ce terme, il convient de noter que pour obtenir la pression de 10^{-9} atm., on doit enlever toutes les molécules de gaz sauf une sur chaque milliard de celles qui sont présentes dans l'enceinte à la pression atmosphérique, mais qu'après l'opération il en reste encore environ 27 milliards par cm^3 . Le vide poussé des tubes électroniques n'est donc pas le vide parfait dont on parle quelquefois (le meilleur vide que l'on ait obtenu au laboratoire correspond à une pression d'environ 10^{-9} mm de mercure, soit environ 10^{-12} atm.), mais un vide tel qu'étant données les faibles dimensions linéaires des molécules de gaz (environ

$2,7 \times 10^{-8}$ cm pour l'hydrogène) les distances entre elles sont assez grandes pour que des électrons (environ 100 000 fois plus petits encore que les molécules de gaz) puissent passer entre elles et parcourir un long chemin (100 m en moyenne), sans risquer d'en rencontrer une.

Dans ces conditions, la stabilité de la décharge dans le temps est très grande et le courant suit fidèlement les variations même très rapides des tensions ; c'est essentiellement pour cela que, pour la génération, l'amplification ou la détection des oscillations de fréquences élevées de la radioélectricité, on fait obligatoirement appel à des tubes dans lesquels règne un vide poussé. Celui-ci est d'ailleurs nécessaire en général pour d'autres raisons : l'émission de certaines cathodes à grande émission, comme les cathodes thoriées, peut être considérablement diminuée si la pression du gaz résiduel est relativement élevée. Cette diminution peut venir de la formation rapide de couches monoatomiques de gaz adsorbés, ou du bombardement de la surface émissive par les ions positifs et de la destruction (pulvérisation) de la matière active.

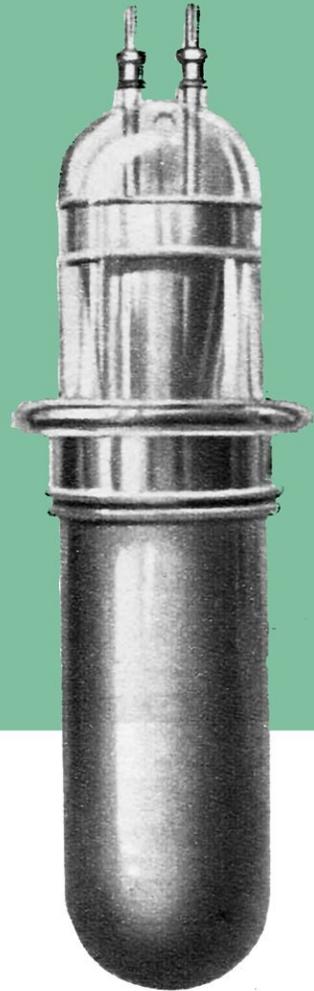
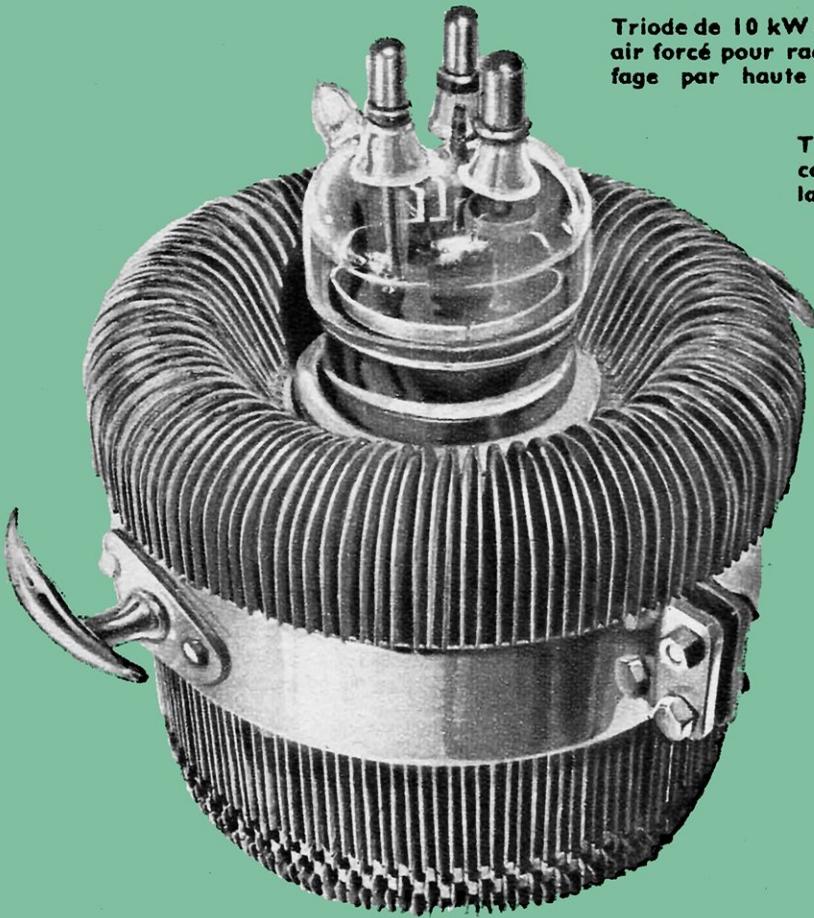
LA TECHNIQUE DES TUBES A VIDE POUSSÉ

Les pompes qui ont permis industriellement l'obtention de vides poussés ont été introduites par l'Allemand Gaede (1915) et par l'Américain Langmuir (1916). Elles sont toutes deux fondées sur le phénomène de diffusion et de condensation d'une vapeur. Jusqu'à ces dernières années, la seule vapeur utilisée était celle de mercure, mais comme la tension de celle-ci est élevée à la température ordinaire ($2,3 \times 10^{-3}$ mm de mercure à 25° C), on devait utiliser, après la pompe, un condenseur auxiliaire refroidi à basse température par de l'air liquide ou de la neige carbonique. Depuis quelques années, pour éliminer la nécessité de condensation auxiliaire, on a cherché à remplacer le mercure par un corps à très faible tension de vapeur à la température ambiante ; on emploie maintenant des huiles, des phtalates ou des silicones, grâce auxquels on obtient directement avec la pompe des pressions d'environ 10^{-6} mm de mercure. Les unes comme les autres de ces pompes doivent être précédées d'une pompe préparatoire, en général une pompe à palettes tournant dans l'huile.

Pour réaliser un tube dans lequel on puisse produire et maintenir pendant longtemps une décharge électronique pure, il ne suffit pas d'y abaisser momentanément la pression à une valeur suffisante : il faut que le degré de vide requis s'y conserve. Or, dans leur état ordinaire, les métaux des électrodes, le verre de l'ampoule et, d'une manière générale, tous les corps solides présents dans l'enceinte ou constituant celle-ci contiennent un nombre énorme de molécules de gaz qui

Triode de 10 kW à refroidissement par air forcé pour radiodiffusion et chauffage par haute fréquence (S. F. R.).

Triode de 250 kW pour ondes courtes à sortie de grille annulaire et ballon cylindrique (S.F.R.).



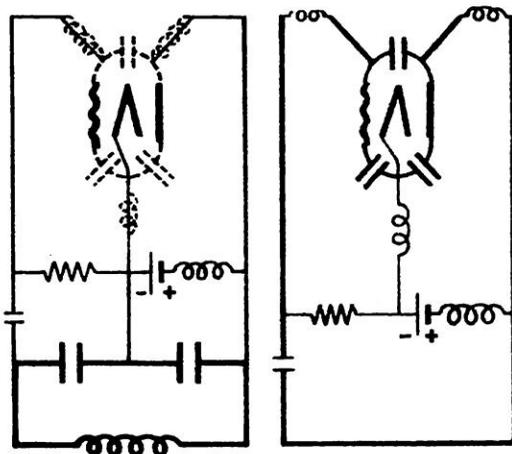
peuvent s'échapper, plus ou moins rapidement, au cours du temps, surtout quand ils sont portés à température élevée. Les gaz présents dans les métaux à l'état ordinaire (hydrogène, oxygène, oxyde de carbone, gaz carbonique, azote) proviennent en partie d'absorptions et d'occlusions pendant la fusion, à partir de l'atmosphère des fours de coulée ou des produits de décomposition des creusets. Pendant le refroidissement, les gaz ainsi fixés par le métal ne sont libérés que très partiellement et il s'y ajoute ensuite ceux que les métaux peuvent absorber à l'état solide. Etant donné que les gaz emprisonnés dans la structure d'un métal y diffusent rapidement aux températures élevées, ils peuvent en être chassés, au moins partiellement, par un chauffage dans le vide ou par « recuit » dans un gaz ne réagissant pas avec le métal. Pratiquement, c'est presque toujours l'hydrogène qui est utilisé dans la seconde méthode parce qu'il produit en même temps une réduction des oxydes présents et parce que, grâce à sa vitesse de diffusion très élevée, il peut être ensuite chassé lui-même facilement du métal pendant le pompage du tube. Pour obtenir des métaux particulièrement aptes à la construction des tubes à vide, il serait souhaitable de les fondre et de les

couler sous vide, mais de tels procédés sont trop coûteux pour être employés industriellement. D'autre part, leur emploi risquerait d'être illusoire, étant donné que pendant leur fabrication ou leur assemblage les électrodes peuvent être contaminées. Pour éliminer les gaz qui n'ont pu l'être auparavant (notamment ceux qui résultent des opérations de montage) et ceux qui ont été réabsorbés pendant le séjour à l'air des électrodes après les traitements préliminaires, on doit, dans le « dégazage » final d'un tube, porter toutes ses électrodes et toutes ses parties solides à des températures supérieures à celles qu'elles atteignent pendant le fonctionnement.

En général, les résultats sont d'autant meilleurs que la température est plus élevée. Celle-ci est surtout limitée par la déforma-

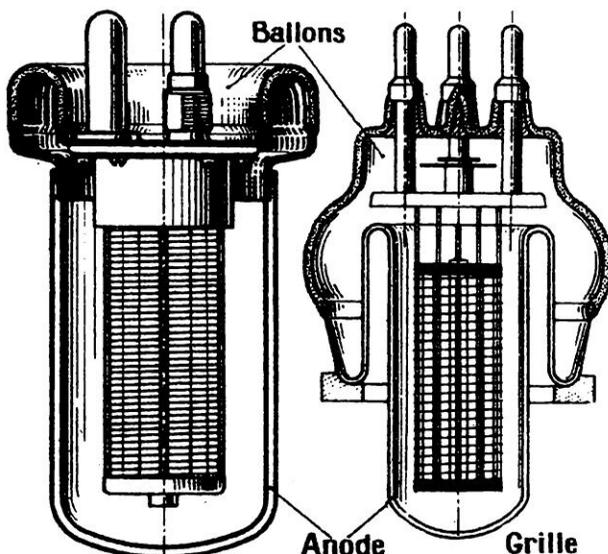
tion ou la fusion des électrodes et par la température qu'atteindraient, par conductibilité thermique ou par rayonnement, certaines parties fragiles comme l'ampoule et les scellements (on admet en général que ceux-ci ne doivent pas être portés à plus de 200° C). Les tensions de vapeur des constituants des tubes sont aussi un facteur limitatif, car elles croissent avec la température : dans certains cas, des métaux ou d'autres corps peuvent être vaporisés d'une manière appréciable et aller se condenser sur des éléments où ils amènent des troubles. En particulier, les dépôts métalliques sur les isolateurs ou sur le verre de l'ampoule sont gênants, soit qu'ils diminuent l'isolement, soit qu'ils empêchent le rayonnement vers l'extérieur. En général, l'opération de dégazage final d'un radiotube comporte, pendant que l'on pompe constamment, des chauffages de l'ensemble par étuvage, des surchauffages de cathode par passage du courant et des chauffages d'électrodes par bombardement électronique ou par induction haute fréquence. Pour les tubes d'émission, ces opérations sont répétées un certain nombre de fois et prolongées pendant de nombreuses heures (pour les tubes scellés les plus puissants, elles durent plusieurs dizaines d'heures).

Le maintien du vide poussé dans un radiotube est facilité par la propriété qu'ont certains corps à l'état solide de fixer les gaz, par dissolution dans la masse (absorption), par



CIRCUIT D'UN OSCILLATEUR A LAMPE EN ONDES LONGUES (A GAUCHE) ET ONDES COURTES (A DROITE)

En ondes longues, la fréquence est déterminée par l'inductance et la capacité localisées dans le circuit oscillant (en trait fort). Les inducteurs des conducteurs et la capacité entre les électrodes et les connexions (en trait ponctué) jouent un rôle négligeable. En ondes courtes, les éléments extérieurs sont abandonnés et la fréquence d'oscillation du circuit limite (en trait fort) est déterminée par la capacité entre électrodes et l'inductance totale des différents conducteurs intérieurs à la lampe et de la connexion extérieure.



Coupes de triodes à ballon retourné (à gauche) et à anode retournée (à droite) où la longueur des connexions des électrodes est réduite au minimum.

condensation superficielle (adsorption) ou par réaction chimique. C'est le cas de certains métaux réfractaires quand ils ont été énergiquement dégazés au préalable ; ils sont par suite particulièrement aptes à constituer les électrodes des tubes à vide ou leurs supports. Le tantale, par exemple, peut fixer au rouge l'oxygène, l'azote et surtout l'hydrogène (une feuille de tantale bien dégazée peut absorber aux environs de 750° C jusqu'à 800 fois son volume d'hydrogène). Le zirconium agit d'une manière analogue : il est utilisé sous forme de feuilles et surtout de dépôts pulvérulents.

Le tungstène et le molybdène sont également capables de fixer de grandes quantités de gaz après avoir été traités à haute température dans le vide.

Dans les lampes de réception, l'emploi des métaux très réfractaires comme le molybdène ou le tantale est prohibé par leur prix et le coût de leur traitement de dégazage ; on y utilise par suite des métaux moins réfractaires, comme le nickel ou le fer pur, et l'on y maintient le vide au moyen de « getters ». Ceux-ci sont des mixtures ou des alliages de métaux comme le magnésium, le baryum, le calcium, le cérium, qui fixent fortement les gaz, surtout quand ils sont à l'état de vapeur et au moment où ils se condensent sur des parois froides. On les introduit dans les tubes sous forme de rubans ou de petites pastilles (quelques mg), et on les y vaporise par passage d'un courant ou par induction haute fréquence. C'est leur dépôt que l'on voit sous l'aspect d'un miroir brillant interne dans la plupart des lampes de réception. On aura une idée de leur capacité d'absorption en notant que quelques dizaines de milligrammes de calcium, vaporisés dans une ampoule d'une contenance de 500 cm³ contenant de l'hydrogène, suffit



pour y abaisser en quelques dizaines de minutes, la pression de ce gaz (qui pourtant est l'un des plus malaisés à éliminer) d'environ 10^{-4} à environ 10^{-6} mm de mercure.

La production des radiotubes en grande série serait impossible sans l'usage des getters ; non seulement ils permettent de réduire considérablement les durées de « dégazage », mais ils rendent possible l'obtention d'une qualité de vidage qu'il serait difficile d'atteindre sans eux. Par exemple, l'émission du tungstène thorié est extrêmement sensible aux traces d'oxygène, et pourtant le calcul montre qu'il ne faut guère qu'une seconde, sous une pression aussi faible que 2×10^{-6} pour qu'un film de thorium se recouvre entièrement d'une couche de molécules

à la corrosion qui sont primordiales. Dans la technique des tubes électroniques, ce sont le « dégazage » facile, la faible tension de vapeur, la rigidité à des températures élevées, des coefficients de dilatation déterminés, de bonnes ou mauvaises conductibilités thermiques ou électriques et d'autres propriétés de ce genre qui sont les facteurs essentiels. Par ailleurs, la pureté des matériaux utilisés joue un rôle décisif étant donné que l'évaporation et la sublimation d'impuretés qui apparaîtraient pour d'autres usages comme négligeables, sont susceptibles de compromettre la qualité ou la durée de fonctionnement dans des proportions considérables. De toutes ces conditions, la possibilité d'un dégazage facile est certainement la plus impor-

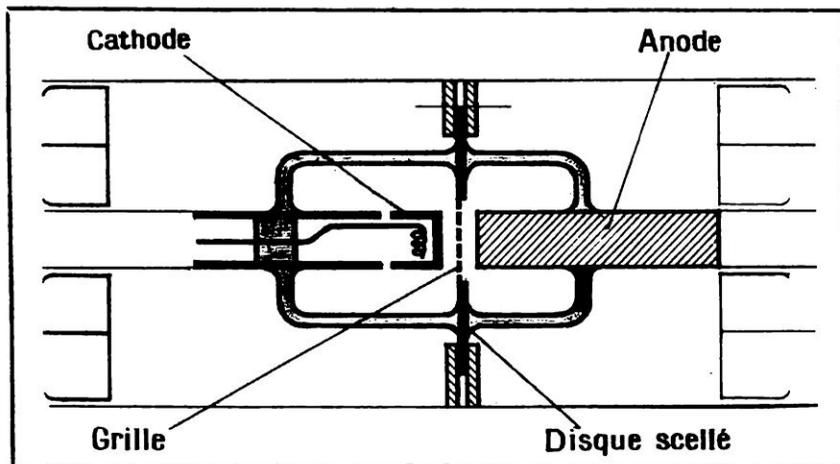


Schéma d'une triode à disque scellé et (en traits fins) de ses connexions aux conducteurs intérieurs et extérieurs des lignes coaxiales de transmission qu'elle alimente.

d'oxygène ; des durées de vie de plusieurs milliers d'heures, pratiquement obtenues, résultent du fait que les getters permettent d'abaisser la pression de l'oxygène résiduel à des valeurs de l'ordre de 10^{-12} mm, soit environ 10^{-15} atm.

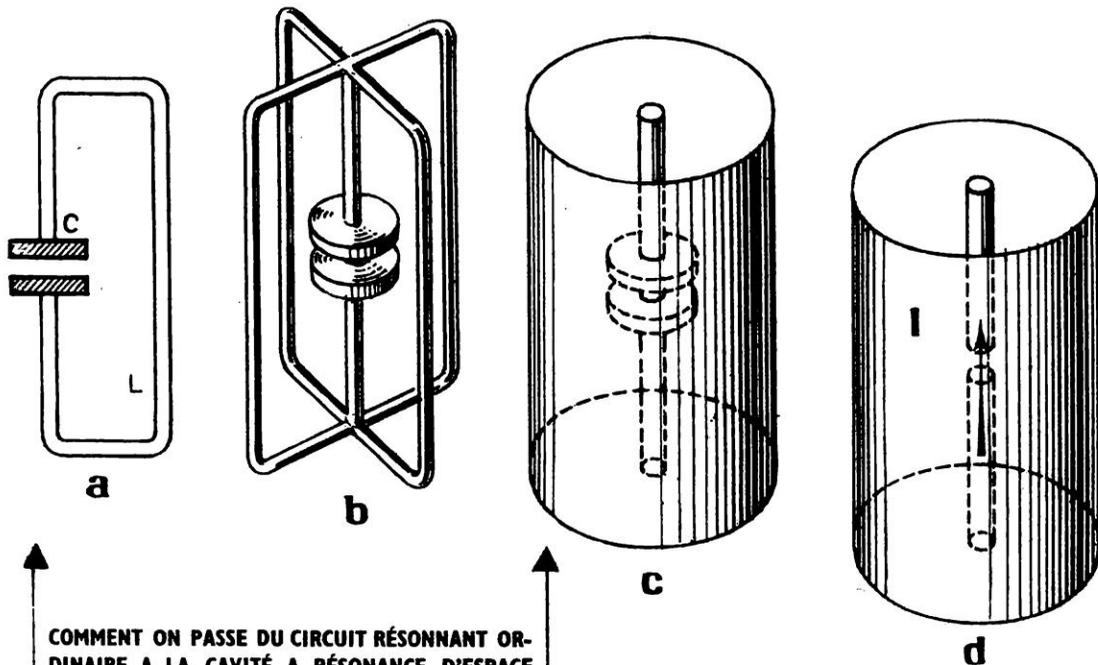
On voit par ce qui précède que le choix et le traitement des matériaux utilisés dans la technique des tubes électroniques est gouverné par des considérations notablement différentes de celles qui prévalent dans d'autres domaines : dans les constructions électromécaniques, par exemple, ce sont les propriétés mécaniques et électriques, l'usage commode, la résistance

tante, et, pour la favoriser, on s'astreint dans toute la mesure du possible à employer les matériaux sous forme de feuilles minces ou de fils fins qui sont plus faciles à dégazer que des pièces massives.

LES LAMPES A VIDE ENTRETENU

Depuis l'époque où l'on a envisagé de construire des lampes d'émission de grande puissance, on a cherché à en réaliser des modèles fonctionnant avec un système de pompes y faisant le vide en permanence. Les premiers tubes de ce genre, créés par Holweck

Tétrode à circulation d'eau délivrant 25 kW à 4 m de longueur d'onde (C. S. F.)



COMMENT ON PASSE DU CIRCUIT RÉSONNANT ORDINAIRE A LA CAVITÉ A RÉSONANCE D'ESPACE

Dans le circuit oscillant classique (a), la self induction L est essentiellement celle du conducteur réunissant les armatures du condensateur C. En (b), quatre boucles ou fils sont en parallèle. Quand on multiplie leur nombre, on tend vers les circuits fermés (c) : du fait de la grande périphérie des conducteurs extérieurs, les pertes par effet Joule sont réduites; le champ oscillant étant enfermé, les pertes par rayonnement sont nulles. En (d) on a fait disparaître les armatures du condensateur. Pour un mode de vibration tel que celui qui est excité par des électrons traversant axialement le conducteur I, la longueur d'onde fondamentale de résonance est de l'ordre de grandeur des dimensions linéaires du système; celui-ci est devenu une « cavité à résonance d'espace » dont les particularités sont de très faibles pertes et une très grande impédance de résonance.

Néanmoins, la complication d'exploitation entraînée par le système de pompage réserve cette conception à des types très spéciaux de radiotubes (comme le *resnatron* dont il sera question plus loin) ou aux très grosses unités des types habituels.

L'ÉVOLUTION DE LA CONCEPTION DES RADIOTUBES

Au moment où furent développés industriellement les radiotubes, c'est-à-dire il y a une vingtaine d'années, les longueurs d'onde de travail les plus fréquemment employées étaient de l'ordre d'une centaine ou d'un millier de mètres. Depuis cette époque, on a étendu sans cesse vers les faibles longueurs d'onde le domaine des oscillations électromagnétiques utilisables au point de vue radio-électrique et on en est arrivé à utiliser des longueurs d'onde de l'ordre du centimètre. C'est cet accroissement continu de la fréquence qui a été de beaucoup le facteur déterminant principal de l'évolution de la conception des radiotubes : les perfectionnements apportés pour d'autres raisons sont moins marquants et, d'autre part, diffèrent notablement suivant que l'on considère les tubes d'émission ou les tubes de réception.

L'AUGMENTATION DE PUISSANCE DES LAMPES D'ÉMISSION

Du côté des tubes d'émission, tant que le fonctionnement en ondes courtes n'a pas imposé de modification de leur construction, les principaux perfectionnements ont tendu à en accroître la puissance utile. Pour qu'une triode d'émission, par exemple, puisse fournir une puissance haute fréquence élevée, il faut

en 1921, furent conçus pour surmonter les difficultés résultant d'un mauvais dégazage des électrodes et de la faible durée consécutive des cathodes. Le but principal était d'obtenir un dispositif démontable dans lequel on puisse changer les électrodes détériorées.

A l'heure actuelle, et après les progrès effectués dans le domaine des tubes scellés, le principal avantage que l'on attache aux lampes à vide entretenu est de pouvoir être réalisée sous des formes très difficiles à admettre pour les lampes scellées. Par exemple, du fait qu'un dégazage poussé des électrodes n'est pas nécessaire comme dans un tube scellé, on peut donner aux supports d'électrodes de très petites dimensions, et ainsi la partie active du tube est très voisine des connexions, ce qui est d'un intérêt évident pour le fonctionnement en ondes courtes, comme il sera vu plus loin.

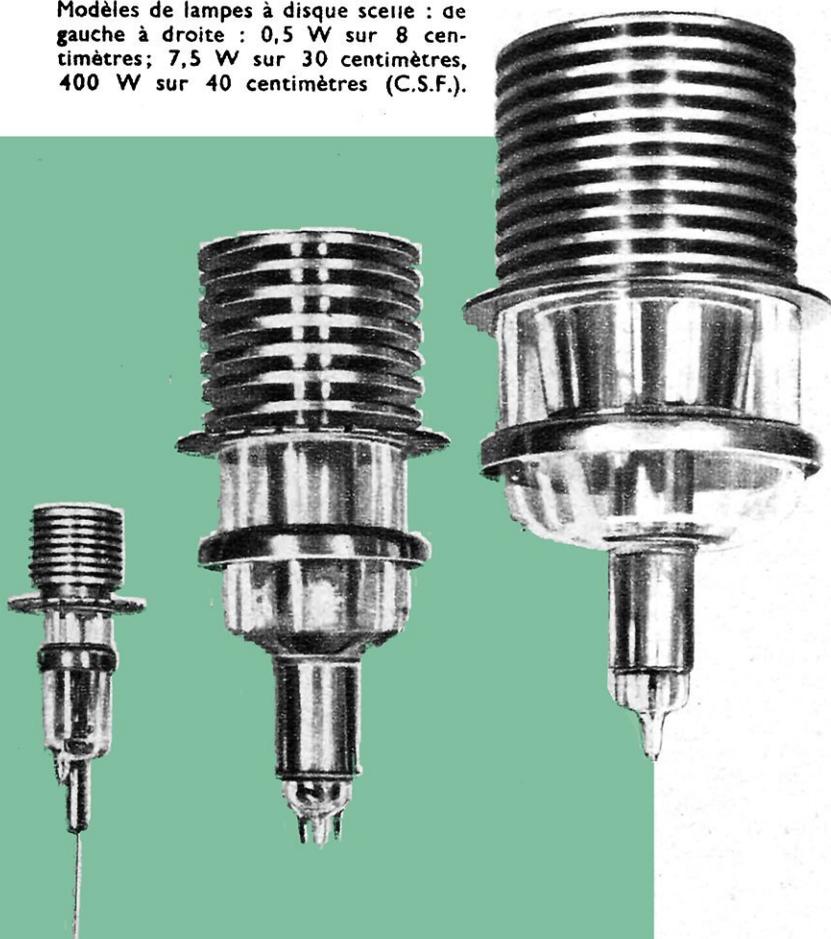
qu'elle soit traversée par un courant électronique de grande intensité et qu'entre ses électrodes puissent apparaître des tensions haute fréquence de grande amplitude. Pour que, conjointement, son rendement soit important, il faut que le passage du courant de grande intensité ne soit accompagné que d'une chute de tension faible devant la tension haute fréquence. Dans les meilleures conditions, ce rendement reste pourtant toujours notablement inférieur à l'unité, si bien qu'une certaine quantité d'énergie, d'autant plus grande que la puissance est elle-même plus importante, réapparaît comme pertes sur les électrodes. Cette énergie correspond, sur la grille comme sur l'anode, à la dégradation de l'énergie cinétique des électrons qui frappent ces électrodes. Par ailleurs, celles-ci sont chauffées par le rayonnement de leurs voisines, et notamment par celui de la cathode qui, naturellement, doit être portée à haute température pour donner l'émission requise. Accroître la puissance utile d'une triode revient donc fatalement à augmenter la quantité de chaleur perdue à la surface de ses électrodes.

Pour que la dissipation de cette énergie se fasse dans les meilleures conditions, le moyen

le plus direct est d'augmenter les dimensions des électrodes ; mais on est vite limité dans ce sens par les difficultés de réalisation d'édifices (cathode, grille, anode) qui ne se déforment pas à haute température (ce qui peut conduire à une destruction par contact ou à une altération inadmissible des caractéristiques) et qui puissent supporter sans rupture le transport ou l'emploi sur des véhicules.

Pour augmenter la dissipation des électrodes sans que leurs dimensions atteignent des valeurs prohibitives, et d'autre part sans que leurs températures dépassent celles qui sont permises, on a été amené d'abord à accroître leur pouvoir de rayonnement, ensuite à les refroidir par conductibilité vers l'extérieur. Pour les lampes à refroidissement par rayonnement, on est arrivé à réaliser des anodes recouvertes de produits ayant des propriétés se rapprochant de celles des « corps noirs » ; le nickel carburé est utilisé à cet effet et, avec de meilleurs résultats encore, le molybdène recouvert de zirconium pulvérisé. A l'heure actuelle, compte tenu des différents troubles qui peuvent résulter d'un dépassement, on admet que les températures des électrodes refroidies par rayonnement doivent être comprises entre 400 et 1 000° C

Modèles de lampes à disque scelle : de gauche à droite : 0,5 W sur 8 centimètres; 7,5 W sur 30 centimètres, 400 W sur 40 centimètres (C.S.F.).

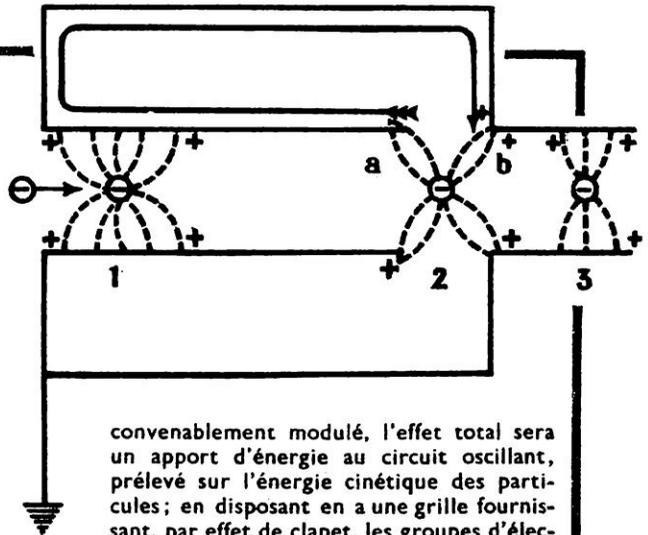


suivant la matière dont elles sont constituées, ce qui correspond aux dissipations de 4 à 10 W/cm². En général, quand une anode doit dissiper plus d'un kilowatt, on la refroidit par conductibilité (voir figure page 22). A ce point de vue, un progrès considérable a été fait grâce à la mise au point par Housekeeper, en 1923, du scellement verre-métal de grandes dimensions. On a pu ainsi réaliser des tubes dont l'anode constitue partiellement l'enceinte à vide elle-même et est donc facilement refroidissable par contact direct avec un fluide extérieur en mouvement : eau, huile ou air. En faisant circuler de l'eau au contact d'une anode extérieure, on peut atteindre des dissipations de 30 à 100 W/cm² (ce qui nécessite en général un débit d'eau de refroidissement de 1,25 à 2,5 litres par minute et par kilowatt).

Le refroidissement par circulation d'eau est efficace, mais malcommode : il nécessite en effet des réservoirs, des tuyauteries et des échangeurs de température qui peuvent être gênants pour certaines applications. On a donc développé des modèles

EXCITATION D'UNE CAVITÉ RÉSONNANTE PAR UN FAISCEAU MODULÉ EN DENSITÉ

Une charge négative traverse le tube creux de gauche à droite (position 1) en induisant sur la surface intérieure du cylindre une charge positive égale qui se déplace avec elle. Au niveau de la fente a b (position 2) la charge-image est présente à la fois en a et en b. Au delà (position 3), la charge-image est présente à l'intérieur du tube prolongeant le cylindre. La charge induite en a doit donc revenir en arrière, provoquant le passage d'un courant dans le sens de la flèche. Quand la cavité est le siège d'oscillations électromagnétiques, le champ électrique oscillant qui déborde la fente avec une composante parallèle à l'axe pourra, soit accélérer la charge négative en lui fournissant de l'énergie, soit la freiner en lui empruntant de l'énergie. S: le nombre des particules négatives est



convenablement modulé, l'effet total sera un apport d'énergie au circuit oscillant, prélevé sur l'énergie cinétique des particules; en disposant en a une grille fournissant, par effet de clapet, les groupes d'électrons nécessaires, et en b une anode, on retrouve le circuit oscillant de sortie de la triode à disque scellé, représentée page 24.

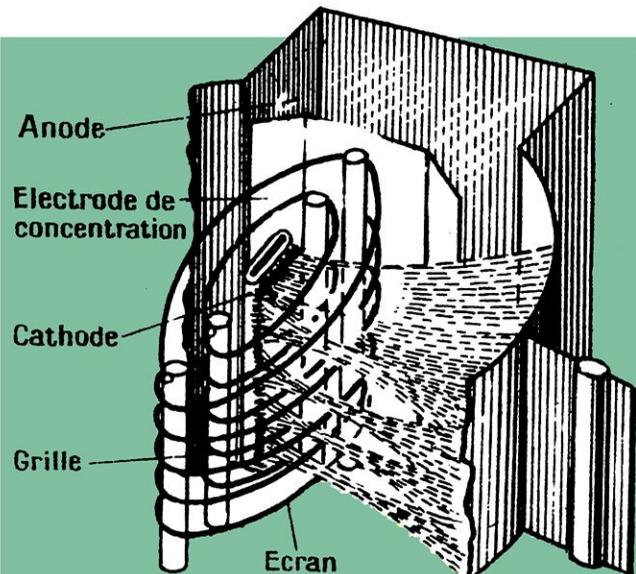
de tubes dont l'anode extérieure, munie de radiateurs à ailettes ressemblant à ceux des moteurs de motocyclette, est refroidie par soufflage d'air à grande vitesse. De telles lampes ont des dissipations anodiques nettement plus faibles (la moitié, par exemple) que celles qui ont leur anode refroidie par eau, mais elles sont d'un emploi beaucoup plus facile (voir figure page 22).

Une température de grille trop élevée peut d'autre part amener d'autres troubles que le dégagement gazeux, la déformation mécanique ou la fusion : elle peut faire que la grille se conduise comme une cathode en donnant une émission électronique parasite qui perturbe le fonctionnement normal. Cette émission thermique de grille trouve en général son origine, non dans le métal de l'électrode lui-même, mais dans des dépôts de matières actives qui proviennent en particulier de l'évaporation de la cathode ; comme elle est particulièrement grande quand des impuretés se déposent sur une grille faiblement oxydée, on l'évite ou on la réduit en recouvrant les fils de grille de métaux inoxydables, tels que l'or ou le platine. Pour éviter que les fils de grille n'atteignent une température prohibitive, on constitue leurs supports avec des métaux dont la nature, la forme et les dimensions, évacuent le mieux possible la chaleur vers l'extérieur ; dans les lampes à disques scellés dont il sera question ci-dessous, cet effet de refroidissement par conductibilité est particulièrement utilisé.

LAMPES D'ÉMISSION POUR TRES HAUTES FRÉQUENCES

Aux fréquences relativement basses, une triode n'apporte, dans les circuits auxquels on la connecte pour produire ou amplifier des oscillations, qu'une faible contribution :

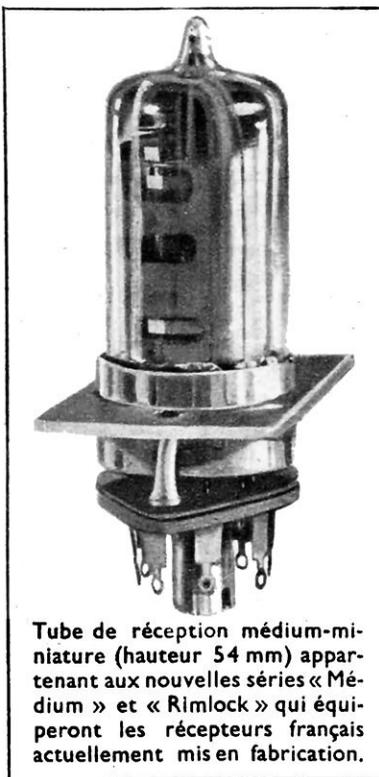
ses capacités et ses inductances propres sont négligeables devant celles des circuits oscillants. Quand on cherche à donner à ceux-ci une fréquence de résonance élevée, c'est-à-dire quand on cherche à diminuer la longueur d'onde de fonctionnement, l'ensemble du circuit tend, à la limite, à ne plus être constitué que par la capacité interne (capacité interélectrode) et par les inductances propres (celles des électrodes et celles de leurs supports) (voir figure page 23). Quand on en arrive là, il devient difficile de localiser, pour l'utiliser par couplage, l'énergie haute fréquence ; de plus, l'impédance de résonance



STRUCTURE D'UN TUBE A FAISCEAUX DIRIGÉS.

du circuit oscillant n'a plus qu'une valeur faible devant la résistance interne du tube : alors celui-ci, comme tout générateur mal chargé, ne délivre que peu d'énergie et n'a qu'un mauvais rendement.

Pour mettre en jeu des puissances haute fréquence élevées sur des ondes aussi courtes que possible, il faut donc réduire les capacités et les inductances du tube. Du côté de la réduction des inductances des électrodes elles-mêmes, on ne peut guère agir, car les inductances sont proportionnelles à la longueur des électrodes et donc à leur dissipation. Du côté des capacités, entre les parties actives des électrodes, la situation est à peu près analogue, car on ne peut accroître les distances entre le filament, la grille et l'anode sans augmenter les chutes de tensions internes et diminuer le rendement, lequel tend d'ailleurs à baisser pour d'autres raisons qui seront vues plus loin. On a donc dû se borner, d'une part, à réduire au strict minimum les supports des électrodes en ne laissant à ceux-ci que la longueur indispensable pour que le scellement verre-métal n'atteigne pas des températures trop élevées et, d'autre part,



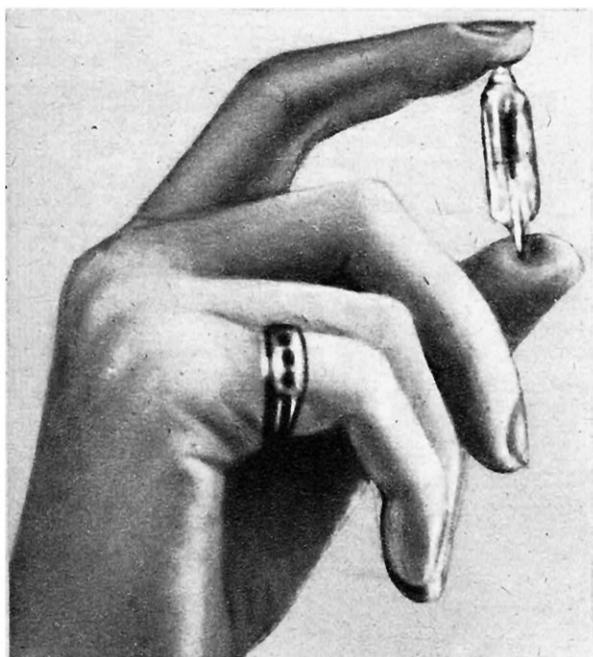
Tube de réception médium-miniature (hauteur 54 mm) appartenant aux nouvelles séries « Médium » et « Rimlock » qui équiperont les récepteurs français actuellement mis en fabrication.

à utiliser des sorties de courant composées de nombreux fils fins en parallèle, de bandes plates ou de cylindres de grand diamètre présentant une inductance faible. Cela a conduit à des structures de tubes ramassées, compactes, dans lesquelles les espaces morts sont très petits et où les parties actives des électrodes sont très voisines de l'ampoule.

En très haute fréquence, pour exciter les tronçons de lignes de transmission utilisées comme circuits oscillants, on a développé des tubes permettant de supprimer toutes connexions accessoires. Les électrodes et leurs sorties peuvent ainsi servir de prolongement géométrique aussi direct que possible aux éléments d'une ligne coaxiale. Comme, dans ce cas, le tube est traversé par la totalité du courant haute fréquence du circuit oscil-

lant et que ce courant est très grand, les sorties peuvent se présenter utilement sous la forme d'anneaux de grandes surfaces recouvertes d'argent, d'or ou de cuivre pour augmenter la conductibilité superficielle et éviter les pertes dues à la localisation superficielle des courants de fréquences très élevées (« effet de peau ») (voir page 24).

Pour faire fonctionner des triodes sur des longueurs d'onde aussi courtes que possible, c'est-à-dire autant que le permet le contrôle habituel du courant électronique par la tension de grille, on a été amené à donner à leurs éléments des formes particulières (page 24). Les supports de l'anode et de la cathode sont des cylindres que l'on utilise comme conducteurs intérieurs dans des lignes de transmission très courtes ; celui de la grille est un disque soudé dans la paroi de l'ampoule et auquel on connecte, de part et d'autre, les conducteurs extérieurs des lignes précitées, lesquelles jouent le rôle des circuits d'entrée et de sortie. Quand ces tronçons de ligne ont de très petites longueurs, ils deviennent ce que l'on appelle des *cavités électromagnétiques à résonance d'espace*. Dans celles-ci la configuration des champs électriques, haute fréquence est en fait assez différente de celles que l'on peut imaginer à partir de l'image des lignes, mais vues du tube elles se comportent également comme des circuits oscillants habituels ainsi que le suggèrent les représentations schématiques page 25. Du fait de leur forme on donne le nom de « tubes à disques scellés » à ceux qui sont systématiquement construits pour être uti-



Tube miniature pour fusée antiaérienne de proximité.

lisés de cette façon (page 26). Dans certains cas, les pertes diélectriques dans le verre des ampoules limitent le fonctionnement en ondes ultracourtes. Ceci arrive notamment dans le travail en « impulsions », où l'on applique des tensions relativement très élevées pendant des temps très courts, ce qui permet de reculer les limites de « temps de transit » dont nous parlerons par la suite : dans ces conditions, pour ne pas augmenter les dimensions des éléments déterminants du tube, on a recours soit à des formes d'ampoule allongeant les lignes de fuite, soit au remplacement du verre par des céramiques ayant des pertes relativement très faibles aux fréquences très élevées.

Un autre point de l'évolution des tubes d'émission a été l'introduction progressive dans la triode d'électrodes supplémentaires : les progrès qui ont été faits dans ce sens sont la transposition directe de ceux dont nous parlerons pour les tubes de réception : ils ont conduit surtout à une simplification des circuits et à une réduction du nombre d'étages d'amplificateurs ; ils sont ainsi très importants, mais le cadre de cet exposé nous empêche de les discuter.

LES PERFECTIONNEMENTS DES LAMPES DE RÉCEPTION

Les améliorations apportées aux lampes de réception depuis leur création sont nombreuses ; parmi les principales figurent : la réduction de la consommation des filaments, l'utilisation des cathodes à chauffage indirect (grâce auxquelles le ronflement existant avec l'alimentation en courant alter-

natif a été éliminé), l'accroissement de la solidité mécanique. Ces perfectionnements ont une répercussion très importante sur les applications des tubes et sur leur développement, mais leur étude sortirait du cadre de cet exposé et nous nous bornerons à examiner les plus marquantes améliorations qui sont sans doute celles qui résultent de l'introduction d'électrodes supplémentaires, l'accroissement de la durée de vie et la réduction des dimensions.

LES LAMPES DE RÉCEPTION A ÉLECTRODES MULTIPLES

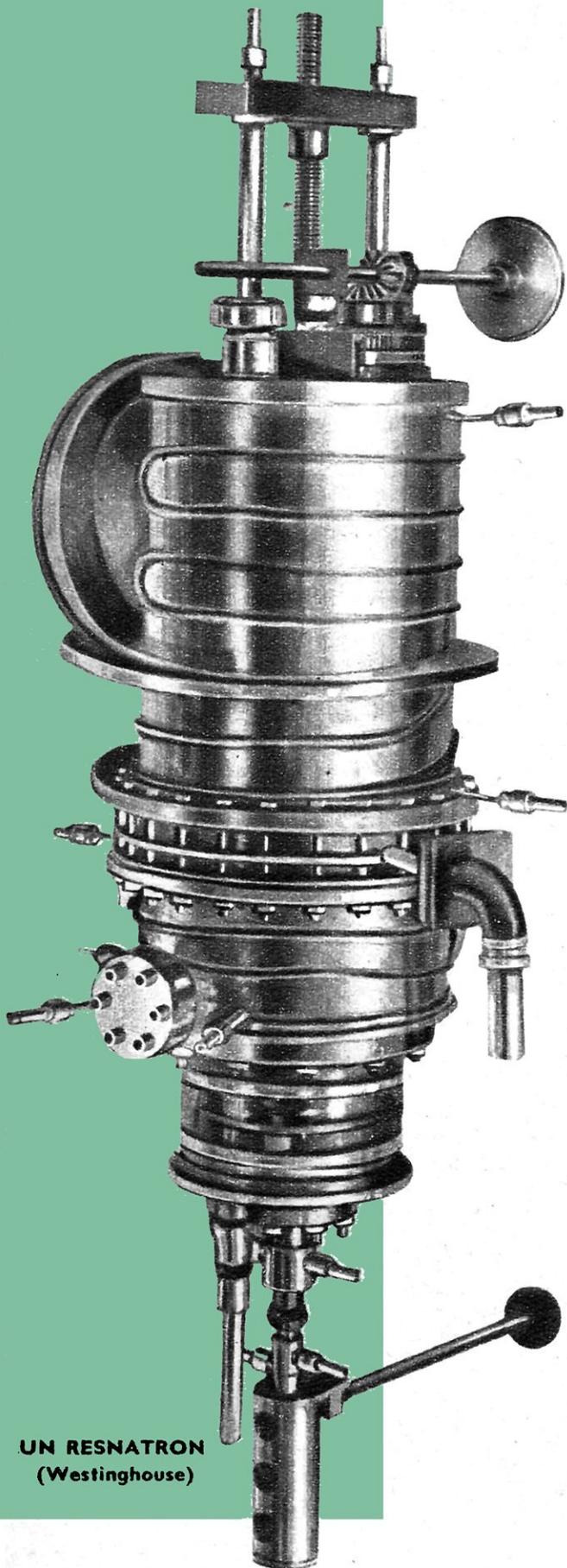
L'évolution des lampes de réception a été dominée depuis leur création par la recherche de l'amélioration de leurs caractéristiques en fonction des tâches qui leur sont dévolues.

Dans un récepteur, certaines lampes doivent détecter, c'est-à-dire transformer en courant continu ou ondulé les courants haute fréquence. En téléphonie, cette détection doit s'effectuer sans distorsion. D'autres lampes doivent amplifier les signaux, soit à haute fréquence, soit à basse fréquence, de manière à fournir finalement le niveau utilisable dans les reproducteurs (haut-parleur, téléphone, etc.). Cette opération doit se faire aussi sans distorsion. Enfin, certaines lampes doivent fournir une oscillation locale, d'une fréquence réglable, voisine de celle des oscillations à recevoir et que l'on superpose à celle-ci pour faire le « changement de fréquence ».

La triode est, en principe, capable de remplir toutes ces fonctions, et jusqu'en 1924 on s'en est contenté pratiquement : les tubes

LAMPES MINIATURES (Western)





UN RESNATRON
(Westinghouse)

étaient alors construits avec un coefficient d'amplification et une résistance interne plus ou moins grands suivant la place particulière qu'ils devaient occuper dans les récepteurs. Néanmoins, le développement de ceux-ci a montré que les triodes présentaient certains inconvénients inhérents à leur mécanisme de fonctionnement, et c'est pour y remédier que des électrodes de contrôle supplémentaires ont été introduites.

L'introduction d'une seconde grille dans la triode fut décrite pour la première fois par W. Schottky, en 1918. Un des premiers objectifs visés avec les lampes bigrilles fut d'y réduire, avec une première grille portée à un potentiel positif constant, les effets de la charge d'espace qui résultent de la présence du nuage d'électrons entourant la cathode. Cette grille, construite très lâche, était portée à un potentiel faible (5 à 15 V) et ne gênait pas l'action de contrôle de la seconde. Sur ce principe furent construites des lampes à tension anodique très faible (20 V par exemple) avantageuses pour certains emplois (alimentation sur des batteries d'automobile par exemple).

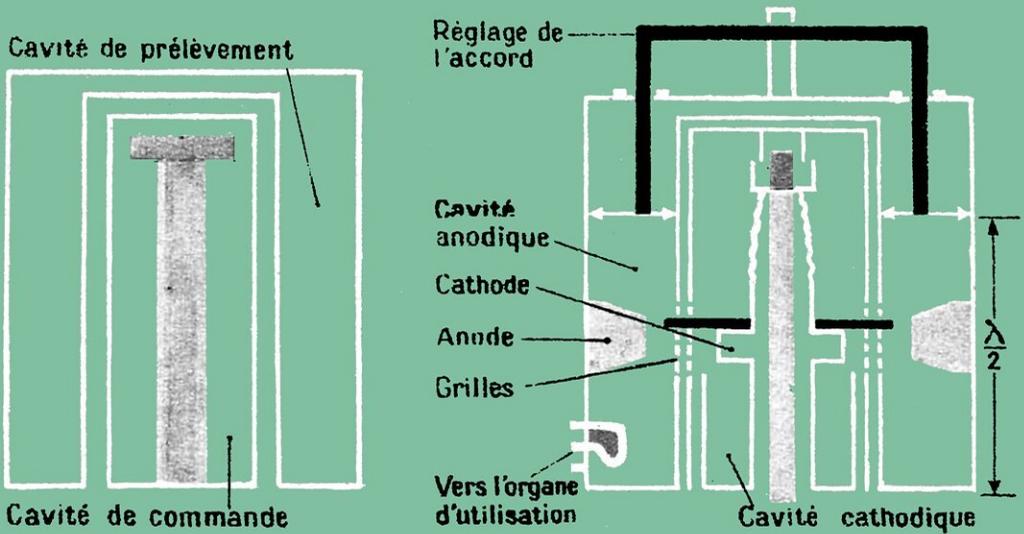
Dans certaines des premières « bigrilles », on utilisa à la fois l'une et l'autre des deux grilles pour commander le courant anodique et pour faire jouer au tube simultanément le rôle d'oscillateur et de mélangeur dans un système à changement de fréquence. De nombreux récepteurs, en France notamment, ont été longtemps équipés avec ce dispositif appelé « radiomodulateur ».

Mais l'emploi de la tétrode (lampe à quatre électrodes) qui a été de beaucoup le plus développé est celui où c'est la grille voisine de l'anode qui est portée à un potentiel fixe. Cette grille joue alors le rôle d'un écran séparant l'espace cathode de l'espace anode ; le courant cathodique est rendu ainsi à peu près indépendant de la tension anodique.

Il en est résulté, d'une part un accroissement de l'amplification effective et, d'autre part (du fait de l'augmentation des résistances internes et de la diminution d'amortissement qui en dérive pour les circuits) un accroissement de la sélectivité, c'est-à-dire séparation plus facile des stations.

Par ailleurs, l'écran placé entre anode et grille de commande a fourni un autre avantage : celui d'une séparation électrostatique des circuits d'entrée et de sortie d'un amplificateur, réduisant le couplage entre grille et anode qui peut amener, aux fréquences élevées, l'amorçage d'oscillations parasites.

La tétrode présente néanmoins un inconvénient important. Les électrons venant de la cathode et accélérés par le champ de la grille-écran, après avoir traversé les ouvertures de celle-ci atteignent l'anode avec une grande vitesse ; une partie de l'énergie d'impact provoque la libération d'électrons dits « secondaires », à partir des atomes de la surface. Si l'anode est à ce moment l'électrode au potentiel positif le plus élevé dans

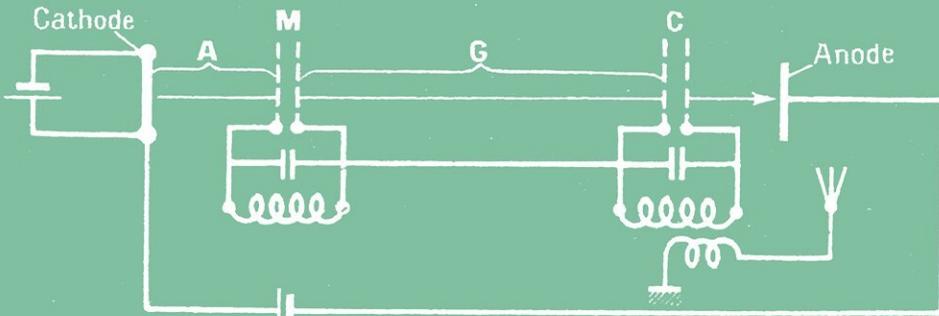


LE « RESNATRON ». Le schéma de gauche montre qu'il résulte de la combinaison de deux cavités, dont l'une sert de cavité de commande, l'autre de cavité de prélèvement d'énergie. Les électrodes, qui font partie des parois cylindriques, sont localisées là où apparaissent les ventres de tensions alternatives d'anode. Le temps de transit est tel que les électrons accélérés dans la cavité cathodique cèdent leur énergie au champ électromagnétique de la cavité anodique. Le faisceau possède un fort rassemblement d'électrons, comme il est nécessaire dans tout amplificateur ou oscillateur à grand rendement, mais ce groupement n'est pas un résultat de la modulation de la vitesse, comme c'est le cas dans le klystron examiné plus loin, mais de l'effet de clapet de la grille comme dans une anode ordinaire. La longueur des cavités, qui détermine la fréquence d'oscillation propre du système, est facilement et mécaniquement réglable.

le système, les électrons secondaires retournent immédiatement sur cette électrode et il n'y a pas d'effet nuisible, mais si l'anode est à un potentiel inférieur à l'écran, les électrons secondaires vont vers l'écran. Il en résulte un courant dans le circuit extérieur de l'anode qui va en sens inverse du courant normal et qui diminue le courant effectif d'anode correspondant. On doit alors toujours employer la tétrode dans la région

où la tension d'anode reste supérieure à la tension d'écran, ce qui conduit à une mauvaise utilisation du tube.

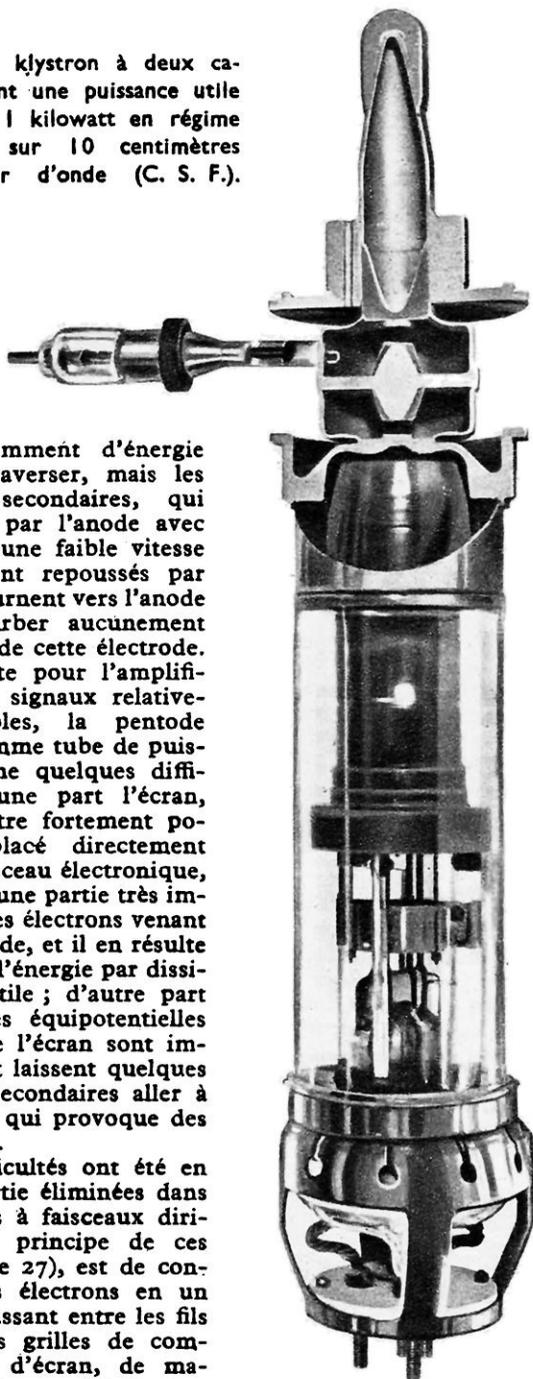
Pour éliminer les effets gênants de l'émission secondaire dans la tétrode plusieurs procédés ont été utilisés. En 1926, on a introduit dans la lampe une troisième grille (création de la *pentode*) placée entre l'écran et l'anode et connectée à la cathode ; les électrons venant de celle-ci, accélérés par la grille écran,



FONCTIONNEMENT DES TUBES A MODULATION DE VITESSE A DEUX CAVITÉS

Les électrons émis par la cathode sont accélérés dans la région A en un faisceau homogène, en densité et en vitesse. Le système d'électrodes M modifie périodiquement leur vitesse, de sorte que, dans l'espace G, les électrons les plus rapides rattrapent les plus lents, donnant des groupes denses qui excitent par induction l'organe oscillant C.

Coupe d'un klystron à deux cavités donnant une puissance utile de plus de 1 kilowatt en régime permanent sur 10 centimètres de longueur d'onde (C. S. F.).



ont suffisamment d'énergie pour la traverser, mais les électrons secondaires, qui sont émis par l'anode avec seulement une faible vitesse initiale, sont repoussés par elle et retournent vers l'anode sans perturber aucunement le courant de cette électrode.

Excellente pour l'amplification des signaux relativement faibles, la pentode utilisée comme tube de puissance donne quelques difficultés. D'une part l'écran, qui doit être fortement positif et placé directement dans le faisceau électronique, intercepte une partie très importante des électrons venant de la cathode, et il en résulte une perte d'énergie par dissipation inutile ; d'autre part les surfaces équipotentielles voisines de l'écran sont imparfaites et laissent quelques électrons secondaires aller à l'écran, ce qui provoque des distorsions.

Ces difficultés ont été en grande partie éliminées dans les « tubes à faisceaux dirigés ». Le principe de ces tubes (page 27), est de concentrer les électrons en un faisceau passant entre les fils alignés des grilles de commande et d'écran, de manière que la densité électronique atteigne dans la région écran-anode une valeur suffisante pour y produire une dépression du potentiel telle qu'aucun électron secondaire venant de l'anode ne puisse la surmonter. Ainsi, c'est la charge d'espace des électrons venant de la cathode qui joue le rôle de la grille suppressive de la pentode.

Le développement intensif des récepteurs superhétérodynes modernes a conduit à la création de nombreux autres types de tubes destinés spécialement au mélange de fréquences. Ces tubes, comme l'*hexode*, l'*heptode*,

l'*octode*, sont compliqués en eux-mêmes mais rendent les montages plus simples et plus efficaces et surtout les réglages plus commodes. Leur description sortirait du cadre de cet exposé, de même que celle des nombreux autres modèles modernes de lampes de réception : rappelons seulement que l'on a construit des tétrodes et des pentodes haute fréquence, à pente variable pour rendre possible le réglage de la sortie d'un récepteur à tout niveau désiré sans distorsion quand les signaux reçus sont forts ou faibles, que les diodes, autrefois utilisées seulement comme redresseurs pour les alimentations, ont été réintroduites comme détecteurs avec des circuits convenables pour contrôler la tension grille des lampes à pente variable de manière à maintenir le niveau des récepteurs constants, et que leurs applications ont été faites dans des tubes mixtes pouvant jouer simultanément plusieurs rôles : les *duodiodes*, *duodiodes-triodes*, *duodiodes-pentodes*, bien connues des amateurs, appartiennent à cette catégorie.

LA RÉDUCTION DES DIMENSIONS DES LAMPES

À côté de l'introduction des grilles multiples, un autre point important de l'évolution de la conception des tubes de réception est celui de la réduction des dimensions d'encombrement.

Les lampes de réception ont gardé longtemps des dimensions voisines de celles des lampes d'éclairage ordinaires dont elles sont,

somme toute, issues ; mais, depuis quinze ans environ, et au fur à mesure que les récepteurs se multipliaient sous les formes et dans les buts les plus divers, a commencé une course à la réduction de la grosseur des lampes (page 29).

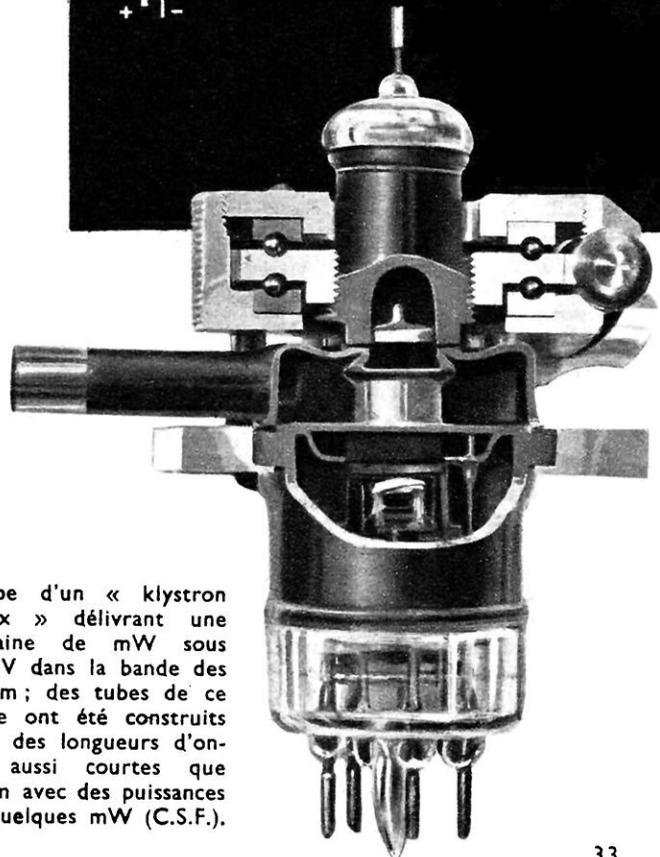
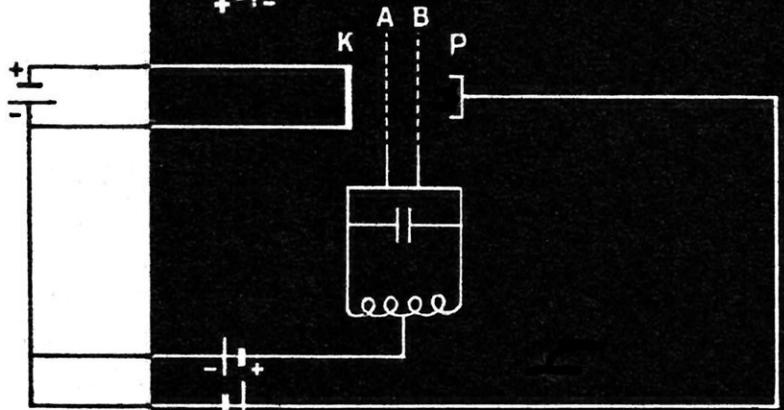
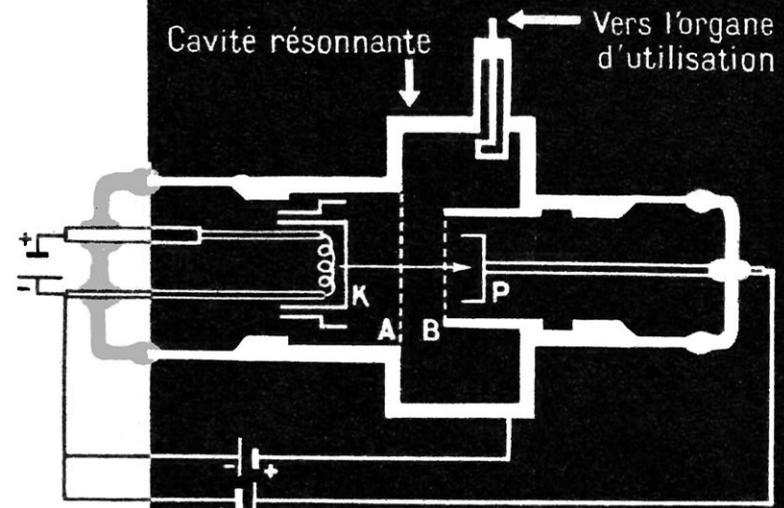
Dans une certaine mesure, le développement des ondes courtes a influencé aussi la réduction des dimensions auquel on est arrivé pour les lampes de réception. Alors que le désir de faire des postes de plus en plus petits a surtout influencé la réduction du

LE « KLYSTRON REFLEX » ET SON SCHÉMA ÉQUIVALENT.

Les électrons émis par la cathode traversent la grille à modulation de vitesse A B et sont projetés entre B et P dans un champ retardateur qui les renvoie à travers B. Le temps qu'ils mettent pour revenir sur B est proportionnel à leur vitesse de sortie de B, de sorte que, par un choix convenable des tensions et des dimensions certains électrons rapides reviennent en même temps que certains électrons lents, d'où un « rassemblement électronique » périodique lequel excite la cavité résonnante.

diamètre des tubes (pour réduire la surface des châssis), le fonctionnement aux fréquences élevées a contribué, comme pour les lampes d'émission, à faire réduire la longueur des passages et l'élimination des espaces inutiles. On en est arrivé ainsi à remplacer les pieds « à pincement » dérivés de ceux des lampes d'éclairage par des pastilles plates dans lesquelles sont soudées de courtes entrées de courant supportant directement d'un côté les électrodes, et servant de l'autre de broches de connection (rendant ainsi le culot inutile). L'un des modèles les plus utilisés à l'heure actuelle est le modèle dit « miniature » (page 28).

Les besoins de la dernière guerre ont fait accomplir de nouveaux progrès considérables du côté de la réduction des dimensions. Pour équiper les récepteurs aisément dissimulables des combattants clandestins, pour ceux qui étaient portés par des soldats durant le combat et qui devaient avoir un encombrement et un poids minimum, des tubes de dimensions très petites étaient désirables et furent réalisés, mais le plus réduit de ceux qui furent fabriqués en très grande série est sans doute le tube « subminiature » qui fut étudié pour équiper les fusées d'obus dont l'éclatement était réglé par sa proximité optimum avec le but. Les tubes de ce genre (page 28), dont



Coupe d'un « klystron reflex » délivrant une centaine de mW sous 300 V dans la bande des 10 cm ; des tubes de ce genre ont été construits pour des longueurs d'ondes aussi courtes que 5 mm avec des puissances de quelques mW (C.S.F.).

à elle seule une compagnie américaine fabriquait 40 000 exemplaires par jour en juin 1945, sont maintenant utilisés sous des variantes légèrement différentes pour la fabrication des postes de réception miniatures qui peuvent trouver leur place dans la poche d'un veston ou dans un sac de dame.

LA « VIE » DES RADIOTUBES

L'une des principales préoccupations de l'ingénieur depuis le début de la fabrication industrielle des radiotubes a été d'augmenter leur durée.

Les principales causes de la « mort » des tubes sont : le dégagement gazeux qui empêche le contrôle du flux électronique, la rupture de la cathode consécutive à son usure (filament de tungstène par exemple). La perte d'émission de celle-ci (filament thorié ou à oxydes), la déformation des électrodes (amenant des contacts entre elles ou une altération prohibitive des caractéristiques).

Pratiquement, les lampes d'émission à filament de tungstène pur, pas trop poussées (lampes de grande puissance des postes de radiodiffusion), ont maintenant des durées qui atteignent 10 000 et même 20 000 heures.

Les lampes à filament thorié à haute émission spécifique atteignent des durées de l'ordre de 3 000 heures et plus.

Quant aux tubes à oxydes, ils ont des durées très variables suivant les conditions de fonctionnement, notamment suivant le courant qu'elles délivrent et le bombardement ionique auquel elles sont soumises.

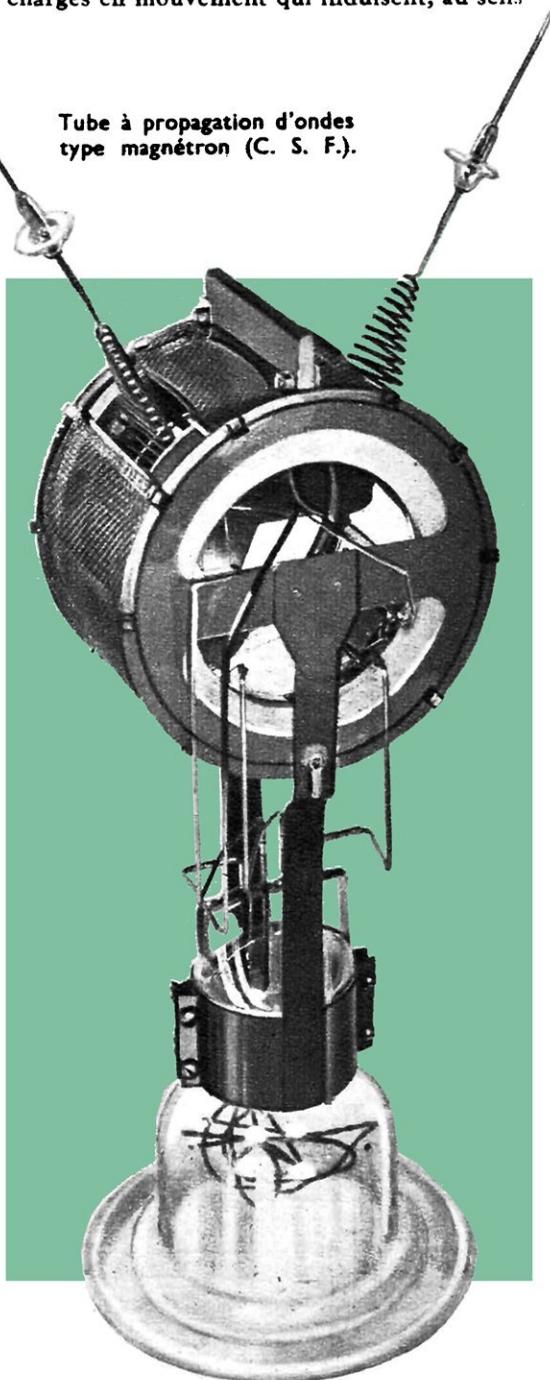
Grâce à de nombreuses études portant sur l'influence des impuretés et des additifs dans les métaux supports, sur la formation et sur les propriétés des matières actives, on a pu donner à certaines lampes à oxydes (lampes de répéteurs téléphoniques, par exemple) des durées relativement longues : 20 000 à 25 000 heures par exemple. Les lampes de réception ordinaires, dont le faible prix interdit un dégazage aussi complet, ont des durées moins régulières correspondant en moyenne à quelques milliers d'heures d'usage permanent.

LES LAMPES A GRILLE DE CONTROLE DE DENSITÉ POUR ONDES ULTRACOURTES

Dans une triode de réception, étant donnés les écartements interélectrodes et les voltages habituels, le temps de transit, c'est-à-dire le temps que mettent les électrons pour aller de la cathode à l'anode est de l'ordre de 10^{-9} sec. Cela correspond à 0,1 % de la période d'une oscillation sur 300 m de longueur d'onde, à 10 % de la période sur 3 m et c'est la totalité de la durée d'une oscillation dont la longueur d'onde est de 30 centimètres.

En ondes décimétriques, et encore plus en ondes centimétriques, il n'est donc plus possible de considérer, comme aux fréquences relativement basses, que les électrons vont instantanément d'une électrode à l'autre (en nombre déterminé par le champ de l'anode et de la grille) : pendant qu'ils traversent le tube, le potentiel des électrodes a le temps de changer d'une manière importante. Dans ces conditions, à un moment donné et en un point donné de l'espace interélectrode, il y a donc des électrons présents avec des vitesses très différentes. Ceux qui vont plus vite rattrapent ceux qui vont plus lentement, et il se forme ainsi des « rassemblements » de charges en mouvement qui induisent, au sens

Tube à propagation d'ondes type magnétron (C. S. F.).



classique du mot, des courants dans les différentes électrodes.

Le courant haute fréquence produit dans la grille de cette façon, croît avec la fréquence, tend à se mettre en phase avec la tension alternative de grille et à provoquer ainsi une perte d'énergie interne (réapparaissant sous forme de chaleur sur les électrodes du tube) qui diminue considérablement le rendement du tube. Cette énergie perdue à l'entrée du tube peut égaler celle qui est fournie dans son circuit de sortie : alors la fonction amplificatrice et la fonction génératrice qui en découle n'existent plus. Les seuls remèdes sont : ou d'utiliser des espacements inter-électrodes très petits, ou d'augmenter la tension, c'est-à-dire la vitesse des électrons. De ce côté on est, en général, très limité par les pertes des isolateurs (qui croissent avec la fréquence et avec le carré de la tension haute fréquence appliquée) et par le bombardement ionique des cathodes. C'est seulement dans quelques cas particuliers que l'on s'est appuyé essentiellement sur ce moyen pour obtenir des résultats remarquables. L'un de ces cas est celui du tube *resnatron* (né peu avant la guerre et utilisé pendant celle-ci par les Alliés pour brouiller certaines émissions allemandes). Ce tube, dont le fonctionnement repose essentiellement sur le principe de contrôle utilisé dans la triode, c'est-à-dire sur la commande de la densité (du nombre) des électrons au voisinage de la cathode, est une sorte de tétrode dont la principale particularité est d'avoir ses électrodes incorporées directement dans des cavités à résonance d'espace du type précédemment décrit (page 31). Avec des tubes de ce genre on a obtenu, entre 50 cm et 1 m de longueur d'onde et sous des tensions anodiques continues de 15 à 18 kV, des puissances de l'ordre de 60 kW en régime permanent, avec un rendement atteignant 70 %.

LES TUBES

A MODULATION DE VITESSE ET LES « KLYSTRONS »

Pour commander le courant électronique dans un tube radioélectrique sans qu'en ultra-haute fréquence apparaissent, au voisinage de l'électrode de commande, les variations locales de densité de charge d'espace dont nous venons de parler, on a proposé d'utiliser une modification périodiquement commandée de la vitesse des électrons ; cette variation est ensuite convertie, dans une partie séparée du tube et en vue de l'utilisation, en variation de densité du courant de conduction de l'électrode de sortie. Ces tubes sont dits à « modulation de vitesse » (page 31).

Leurs avantages vis-à-vis des lampes à grille de contrôle viennent de ce que simultanément :

a) pour créer une faible modulation de vitesse dans un faisceau d'électrons rapides, il faut peu d'énergie haute fréquence ;

b) une faible modulation de vitesse peut être transformée en modulation profonde de densité sans dépense d'énergie haute fréquence ;

c) une modulation de densité profonde dans un faisceau d'électrons rapides permet de mettre en jeu, dans un circuit à haute impédance, une énergie haute fréquence qui est grande devant celle qui est nécessaire pour assurer la modulation de vitesse ayant provoqué ladite modulation de densité.

Les tubes à modulation de vitesse les plus efficaces sont les *klystrons* à deux cavités. Leur principale particularité est que leurs organes oscillants (quelquefois appelés « rhumbatrons ») sont constitués par des cavités à résonance d'espace du genre de celles dont il a été question précédemment à propos des triodes pour ondes ultracourtes. Les *klystrons* à deux cavités peuvent être utilisés comme auto-oscillateurs ou comme amplificateurs suivant qu'une réaction existe ou non entre les organes oscillants. A l'heure actuelle et avec les réalisations que l'on en a faites en France (page 32), qui donnent une puissance utile de plus d'un kilowatt, ils sont sans doute les plus puissants tubes générateurs ou amplificateurs, de régime permanent, qui existent pour des longueurs d'onde voisines des 10 cm. Les laboratoires qui les ont construits en étudiant d'ailleurs des perfectionnements fondés sur l'emploi de cavités et de faisceaux multiples avec lesquels on espère atteindre des puissances bien plus considérables. Des tubes de ce genre pourront avoir des applications importantes dans le domaine du radioguidage, de la télévision et du chauffage par pertes diélectriques.

Un autre type de tube à modulation de vitesse est le *klystron reflex*. Ce tube (page 33) diffère du précédent par le fait que les électrons, après avoir subi la modulation de vitesse, sont envoyés dans un champ électrique retardateur constant qui les renvoie dans le champ haute fréquence d'où ils viennent, de la même manière que le champ de la pesanteur fait retomber sur le sol des projectiles lancés vers le ciel. Grâce à un choix convenable des paramètres réglant le mouvement des électrons, certains de ceux-ci reviennent en groupe dans la cavité qui produit la modulation de vitesse et y induisent des courants qui maintiennent les oscillations. L'intérêt particulier des « *klystrons reflex* » vient de ce qu'ils ne comportent qu'un organe oscillant et que, par suite, ils sont très faciles à régler : malgré leurs possibilités énergétiques beaucoup plus petites que celles des *klystrons* à deux cavités ils constituent des oscillateurs très importants dans le domaine des ondes décimétriques, centimétriques et même millimétriques (page 33). Pendant la guerre, on en a fait un usage intensif en les employant en particulier comme oscillateurs locaux dans les récepteurs superhétérodynes des radars.

LES TUBES A PROPAGATION D'ONDES

Pour être efficaces, les klystrons doivent obligatoirement comporter des organes oscillants d'une sélectivité très grande. De tels tubes sont par suite inaptes à transmettre des signaux à larges bandes de fréquences.

Durant la dernière guerre, Kompfner, à Oxford, a indiqué le principe d'un système amplificateur auquel on a donné le nom de « tube à propagation d'ondes » et dont les possibilités ne sont pas limitées de la même façon. Sur ce principe, les « Bell Telephone Laboratories » ont, les premiers, réalisé des systèmes ayant des bandes d'amplification considérablement plus larges que celles des autres systèmes (page 19).

Le long d'un tube de faible diamètre se trouve un fil en hélice. Les ondes à amplifier sont amenées à une extrémité par un guide d'ondes et sont recueillies à l'autre extrémité par un deuxième guide d'ondes. Elles suivent le fil avec la vitesse de la lumière, mais, ce fil étant enroulé, il constitue une sorte de système à retard dans lequel la vitesse de phase de la composante axiale du champ haute fréquence est réduite.

Un faisceau d'électrons est envoyé à travers l'hélice parallèlement à son axe et dans la direction de propagation de l'onde, à une vitesse moyenne légèrement supérieure à celle de l'onde libre précédente. Sous l'effet de la répartition du potentiel alternatif ainsi produit le long de l'hélice, ils se groupent en « paquets », un peu comme dans le tube à modulation de vitesse, et cèdent par effets cumulatifs une partie de leur énergie cinétique à l'onde incidente qui se trouve ainsi amplifiée : tout se passe comme si les électrons soufflaient sur l'onde en augmentant son amplitude.

La grande largeur de bande de l'amplificateur à ondes progressives s'explique assez facilement puisque aucune résonance de circuit à grande surtension n'intervient dans le fonctionnement.

A l'heure actuelle, on prévoit principalement l'emploi des tubes « à propagation d'ondes » comme amplificateurs à faible niveau, avantageux par leur grand gain et surtout par leur bande passante environ 40 fois plus large que celle des meilleurs tubes connus précédemment. Notons à ce sujet qu'une bande de 600 mégacycles de largeur rend possible, en principe, l'amplification simultanée des oscillations correspondant à plusieurs dizaines de programmes de télévision ou celles correspondant à des liaisons multiples de plus de 1000 canaux ou encore celles d'une télégraphie ayant une vitesse de transmission de plusieurs dizaines de millions de mots à la minute.

Ces tubes à propagation d'ondes à faisceau rectiligne ont nécessairement des puissances de sortie faibles par suite des difficultés de concentration (focalisation) du faisceau électronique qui, obligatoirement, n'utilise que

des courants électroniques de faible intensité ; leurs possibilités d'applications sont donc limitées, mais il est possible de remédier à cet inconvénient avec d'autres dispositions, par exemple celles qui utilisent un flux électronique tournant dans un champ magnétique (page 34). Même sans tabler sur les améliorations que l'on peut escompter avec ces nouvelles conceptions, les résultats acquis avec les systèmes à faisceaux rectilignes suffisent pour permettre d'affirmer que les tubes à propagation d'ondes ont beaucoup de chances de marquer une étape importante dans l'évolution de la technique des ondes ultracourtes, et d'abord pour les communications à lignes coaxiales ou câbles hertziens.

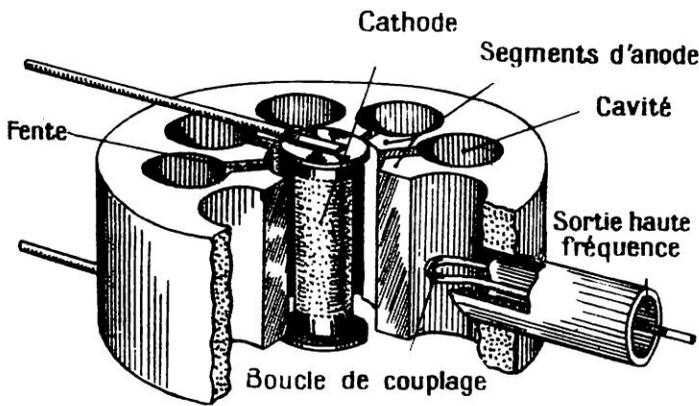
LES MAGNÉTRONS

On désigne par magnétron un radiotube dans lequel le courant électronique est contrôlé à la fois par un champ électrique et un champ magnétique. Il a été l'objet de très nombreux travaux auxquels la France a pris une part importante, notamment avec les études de M. Ponte et de H. Gutton ; durant la dernière guerre on a porté, en Angleterre et ensuite aux U.S.A., les possibilités des magnétrons à un niveau qui les place parmi les plus importants des tubes auto-générateurs d'ondes décimétriques, centimétriques et millimétriques.

Les magnétrons utilisés actuellement comme générateurs d'ondes ultra-courtes sont le plus souvent des magnétrons à cavités (page 37) dans lesquels les anodes sont constituées par les segments d'un cylindre creux de cuivre à section circulaire, qui est interrompu par un certain nombre, pair, de fentes. Ces fentes réunissent les anodes à des alvéoles également cylindriques formant cavités résonnantes. La cathode est coaxiale avec l'anode et parallèle aux lignes de force du champ magnétique (lequel est produit par un aimant extérieur). Le courant de chauffage est amené par deux conducteurs isolés du bloc par des tubulures de verre assez longues, ce qui permet d'appliquer la tension élevée nécessaire entre cathode et anode. Les cylindres formant cavités sont ouverts à leurs deux extrémités et débouchent dans les chambres creuses situées entre le bloc anodique et les flasques latérales : avec cette disposition les cavités sont couplées par les « effets de bout ». L'énergie haute fréquence est prélevée au moyen d'une boucle placée dans une seule cavité ; cette boucle est réunie à un tronçon de ligne concentrique, à l'extrémité de laquelle on peut placer l'organe d'utilisation.

Le mouvement des électrons dans l'espace entre cathode et anode est extrêmement complexe et n'est pas d'ailleurs entièrement élucidé. On peut cependant tenter une explication qualitative du fonctionnement du magnétron (page 37).

Quand il n'oscille pas, les électrons émis par la cathode sont, en négligeant la charge d'espace, soumis à deux forces, l'une radiale,

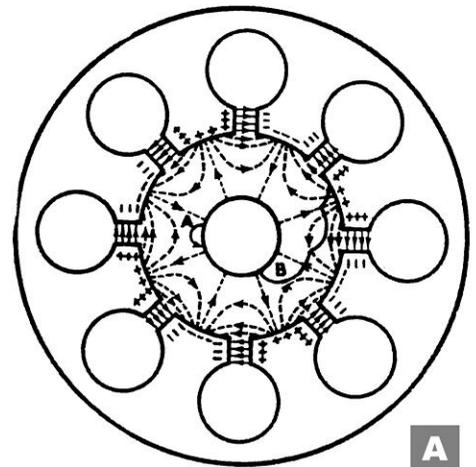


COUPE DU CORPS INTÉRIEUR D'UN MAGNÉTRON A CAVITÉS

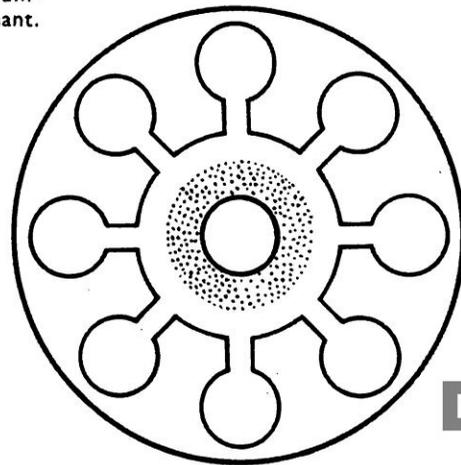
Ce corps est enfermé dans un boîtier cylindrique dont les fonds limitent, au-dessus et au-dessous des cavités, des chambres qui assurent le couplage de ces cavités entre elles. Le tout est placé dans un champ magnétique uniforme, parallèle à l'axe, fourni par un électroaimant.

due au champ électrique entre cathode et anode, l'autre normale à sa vitesse, due au champ magnétique. Ils décrivent donc des trajectoires situées dans le plan normal à l'axe et d'autant plus courbées que le champ magnétique est plus intense et que leur vitesse est plus grande. Au delà d'une certaine valeur du champ (champ critique ou de blocage) ils n'atteignent plus l'anode et reviennent sur la cathode. La charge d'espace a ainsi la forme d'un nuage cylindrique tournant autour de la cathode et s'étendant, par exemple, jusqu'à mi-chemin de l'anode (fig. B).

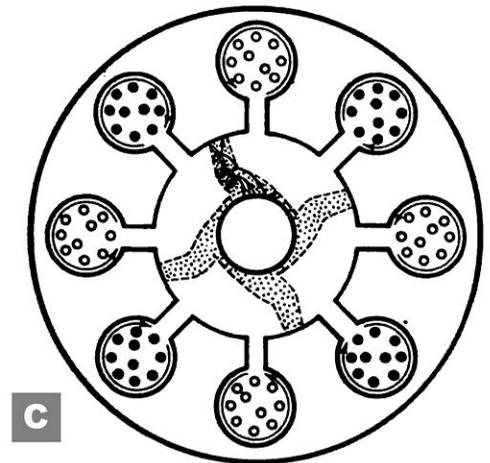
Quand le tube oscille, chaque cavité peut être assimilée très grossièrement à une inductance de circuit oscillant dont les parois des fentes, qui se font face, constitueraient les condensateurs. Un champ électrique variable haute fréquence apparaît donc dans les fentes, champ qui déborde à l'intérieur du bloc et qui va agir sur les électrons. La figure A, ci-contre, montre la disposition de ce champ à un moment donné. Un électron tel que A se trouve dans la partie de ce champ où il éprouve une accélération ; sa vitesse croît et, par suite, sous l'action du champ magnétique, sa trajectoire s'incurve encore plus qu'auparavant, ce qui le ramène sur la cathode avec une grande énergie cinétique, laquelle réapparaît sous forme de chaleur et d'énergie cinétique d'électrons secondaires, ce qui a l'heureuse conséquence d'augmenter le courant cathodique. Au contraire, un électron tel que B est ralenti par le champ électrique ; le rayon de courbure de sa trajectoire croît. Si la fréquence des accélérations est convenable, il sera repris, à son passage devant un autre segment de l'anode, par un champ électrique qui réduira encore sa vitesse, et, après plusieurs opérations semblables il arrivera sur l'anode avec une faible vitesse, ayant cédé une notable partie de son énergie au champ électrique oscillant. En fait, les



A



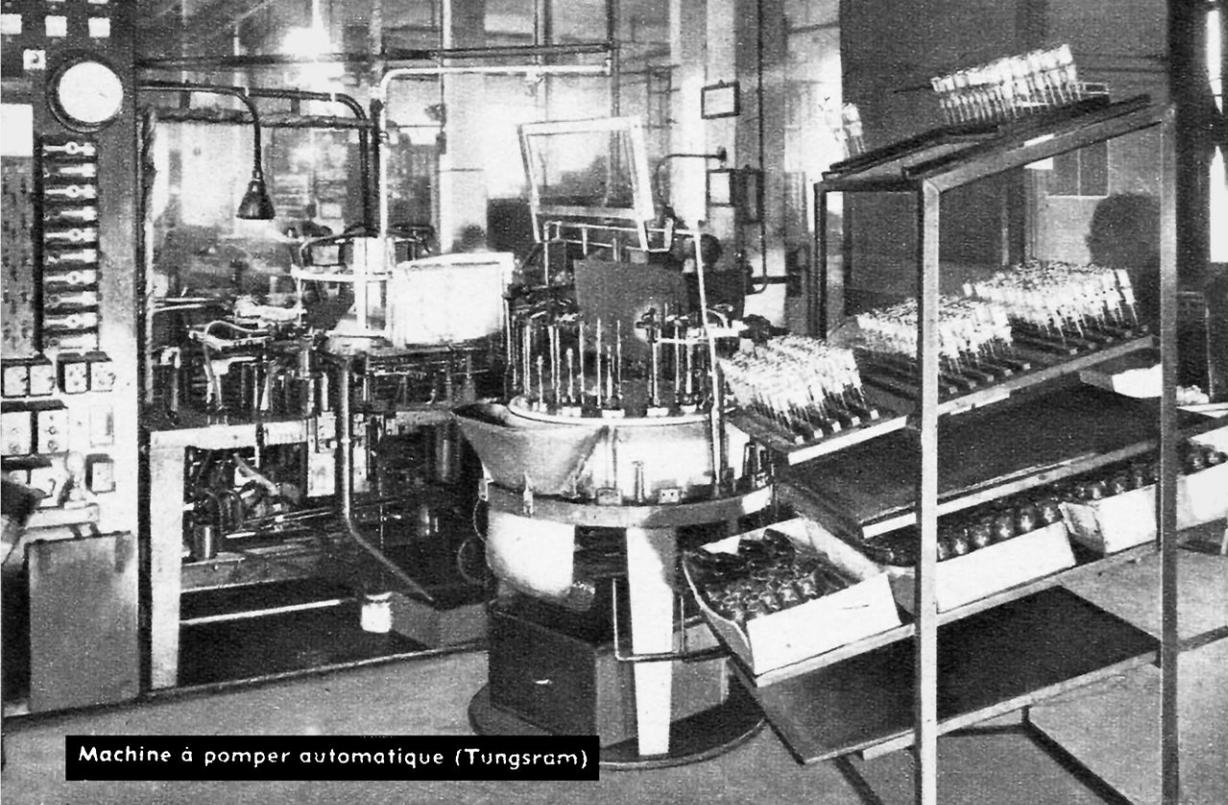
B



C

A. Trajectoires des électrons dans un magnétron. En pointillé, lignes de forces du champ électrique oscillant, à un instant déterminé; en trait plein, exemples de trajectoires de deux électrons.

B. et C. Répartition schématique de la charge électronique d'espace dans un magnétron non oscillant B et oscillant C (d'après Collins, Lebarcqz, White).



Machine à pomper automatique (Tungsram)

effets de répulsion interélectroniques dus à la charge d'espace font que les trajectoires sont très compliquées (fig. C, page 37).

La charge d'espace, lorsque le tube oscille, prend, du fait qu'une partie des électrons parvient à l'anode, une forme particulière, cylindre plus étroit que précédemment autour de la cathode, prolongé par un certain nombre de tentacules (4 pour un magnétron à 8 cavités) qui tournent en synchronisme avec la haute fréquence du champ électrique. La charge d'espace ainsi en rotation rappelle le « rotor » d'un alternateur dont les segments d'anode seraient le « stator ». Lorsqu'un de ses rayons chargés négativement passe devant un segment d'anode, il induit sur sa surface une charge négative ; une demi-période plus tard cette charge est passée sur les segments voisins en contournant les cavités qui sont ainsi le siège d'un champ électromagnétique à haute fréquence, dont l'énergie est recueillie par la boucle qui alimente l'organe d'utilisation. Le magnétron s'apparente ainsi à la fois à certains tubes à modulation de vitesse et surtout au tube à propagation d'ondes. En effet, le fonctionnement dépend d'une certaine relation entre la vitesse de translation moyenne des électrons et celle de la composante propagée du champ électromagnétique d'interaction.

Le magnétron permet d'obtenir de très grandes puissances haute fréquence avec un rendement très élevé. Le seul inconvénient est que le bombardement de la cathode par les électrons qui reviennent vers elle l'échauffe considérablement : c'est là le principal facteur qui empêche que les magnétrons puissent

être utilisés en régime permanent avec la puissance utile maximum qu'ils peuvent délivrer. Le plus souvent on les utilise pendant des temps très courts en régime d'impulsions ; celles-ci ne durent qu'une petite fraction du temps qui les sépare.

La figure, page 135 représente un magnétron, réalisé par les laboratoires C.S.F., qui est susceptible de délivrer sur 10 cm de longueur d'onde, avec un rendement d'environ 50 %, une puissance de crête de 500 kW, sous forme d'impulsions de 1/2 microseconde répétées 1000 fois par seconde. Ce tube fonctionne avec des pointes de tension de 30000 V et un champ constant d'environ 2400 gauss.

Des puissances utiles très élevées, ont été obtenues par ce procédé, près de 1000 kW de pointe pour des longueurs d'ondes voisines de 10 cm. Ce sont de tels résultats qui ont donné au radar les possibilités qu'on lui connaît maintenant, possibilités dont il n'est pas exagéré de dire qu'elles ont fortement contribué à donner la victoire aux Alliés.

LA MACHINE, CLÉ DE VOUTE DE LA FABRICATION MODERNE DES RADIOTUBES

La réalisation d'un radiotube, d'une triode de réception par exemple, nécessite un grand nombre d'opérations : fabrication des électrodes métalliques (cathode, grilles, anodes) et du pied (pièce de verre comportant les traversées de courant), nettoyage des élec-

trodes, assemblage de celles-ci sur le pied, fermeture (c'est-à-dire scellement du pied de l'ampoule), vidage, formation et essais de vérification.

Toutes ces opérations étaient faites autrefois avec des procédés d'artisan : actuellement presque toutes sont exécutées à la machine et il n'y a plus que l'assemblage des électrodes sur les pieds qui soit exécuté par des ouvrières ; pour les autres, l'intervention humaine se borne à un contrôle et à une surveillance.

L'introduction de la machine dans la fabrication des radiotubes a donné de multiples avantages : elle a d'abord permis une importante réduction des espacements inter-électrodes (plusieurs modèles industriels de radiotubes ont maintenant des écartements grille-cathode de l'ordre du dixième de millimètre).

La dispersion des caractéristiques a été réduite dans des proportions énormes grâce à l'utilisation de calibres et gabarits intervenant dans le contrôle de la fabrication comme le montage.

Jamais, sans l'intervention de machines automatiques fournissant des pièces détachées exactement identiques, il n'aurait été possible d'obtenir la régularité de caractéristiques atteinte aujourd'hui. Pour s'en rendre compte, il suffit de noter que dans une triode de réception, d'un modèle fabriqué couramment en 1936 et dont les exigences de fabrication sont bien dépassées maintenant, une erreur de 1 % sur le diamètre du filament, les pièces de grille, le diamètre du fil de grille et tous les autres paramètres déterminant les caractéristiques, suffisait à produire des variations de plus de 12 % sur les valeurs du courant d'anode, de la pente et la résistance interne.

Si l'on songe que ces différences de 1 % portent sur des dimensions géométriques très petites, de l'ordre du millimètre pour le rayon de la cathode par exemple, on conçoit que la machine a été indispensable pour obtenir des résultats donnant toute satisfaction.

La machine a conduit aussi, à qualité meilleure, à des temps de fabrication réduits. Telle machine permet la fabrication de plus de 1 000 pieds de lampes de réception, à l'heure.

La machine n'intervient pas seulement pour la fabrication des lampes de réception, et le rôle qu'elle joue dans le domaine des tubes d'émission, pour viser plus à une augmentation de qualité qu'à une diminution de prix, est essentiel. C'est grâce à la « mécanisation » du montage, à la fabrication par des machines automatiques et à un contrôle de la qualité des matériaux, que les lampes d'émission ont pu devenir les appareils « sûrs » et réguliers qu'ils sont maintenant. La partie de la fabrication des lampes d'émission qui a résisté le plus longtemps à la machine est celle du scellement verre-métal entre des pièces de grandes dimensions.

Pendant de nombreuses années l'intervention de spécialistes hautement qualifiés a été indispensable, par exemple pour la soudure des ampoules sur les anodes extérieures de tubes d'émission de grande puissance. Actuellement cette opération est faite dans bien des cas par induction haute fréquence. L'ouvrier n'intervient que pour mettre les éléments en place, et malgré cela des assemblages beaucoup plus précis sont réalisés.

CONCLUSION

Les types de radiotubes qui viennent d'être passés sommairement en revue et dont nous avons esquissé le développement et les bases essentielles sont les principaux de ceux qui sont employés en radioélectricité pour la production, l'amplification et la détection des oscillations entretenues de fréquences élevées. Par suite, les perfectionnements dont ils peuvent faire l'objet sont susceptibles d'influencer non seulement toutes les branches des radiocommunications : télégraphique et téléphonie sans fil, télévision, détection électromagnétique, radioguidage, altimétrie et télémétrie radioélectriques en particulier, mais aussi tous les autres domaines où l'on fait usage des propriétés des oscillations de haute fréquence autres que celle qu'elles ont de se propager à grande distance. Ainsi, les industries métallurgiques avec le chauffage par induction pour les traitements superficiels et la fusion, celles des plastiques, du bois, du papier, des textiles, du caoutchouc, avec le chauffage par pertes diélectriques, sont intéressées à l'amélioration des possibilités des radiotubes. Il en est de même pour l'industrie alimentaire avec la stérilisation par haute fréquence, pour la médecine et la biologie, avec les applications des ondes courtes et ultracourtes ainsi que pour la physique nucléaire où le radiotube est un outil précieux pour créer les impulsions haute fréquence qui, par effets cumulatifs, donnent les particules de vitesses élevées nécessaires.

En une trentaine d'années, un gros travail a été fait sur la physique, la technique et les applications des radiotubes ; en retour ceux-ci ont apporté beaucoup de possibilités : la traversée de l'Atlantique Nord, à la fin de décembre dernier, par un avion radioguidé depuis son départ jusqu'à son arrivée, en est un exemple récent. Les études et les recherches à propos des radiotubes continuent et de nouvelles perspectives sont déjà ouvertes ; les plus troublantes d'entre elles sont peut-être celles que l'on entrevoit de par leur introduction dans les machines à calculer. Le fait que l'on ait pu réaliser, en utilisant leurs propriétés, des machines électroniques douées de mémoire et dont le fonctionnement a certaines analogies avec celui du système nerveux humain, laisse croire que la réalisation d'un « cerveau électronique » ayant des possibilités frôlant le prodige est maintenant chose pratiquement réalisable.

TÉLÉCOMMUNICATIONS RADIOÉLECTRIQUES

par Henry PORRA

Ancien Élève de l'École Polytechnique

Il faut entendre par « télécommunications radioélectriques » l'échange, effectué par radio, de communications entre correspondants plus ou moins éloignés, que ce soit sous forme de messages (radiotélégrammes) ou sous forme de conversations (radiotéléphonie). Cet échange peut se faire soit uniquement par la voie radio, soit par un trajet mixte utilisant les câbles téléphoniques sur une partie du parcours et la voie radio sur une autre. Les solutions données à ce problème ne sont pas toutes nouvelles et il y a plus de vingt ans déjà que l'emploi de la radio a rendu possibles les conversations privées d'un continent à l'autre. Il ne saurait donc être question ici de décrire toutes les techniques adoptées ; on se contentera ci-dessous de préciser les plus récentes et les plus en faveur : transmissions « multiplex », permettant l'échange simultané d'un grand nombre de conversations ; câbles hertziens faisant appel aux ondes ultracourtes ; postes-conférence, autorisant l'échange de conversations simultanées entre plusieurs correspondants éloignés, comme s'ils étaient dans une même salle ; dispositifs de « secret » empêchant d'intercepter les radiocommunications ; réception « diversity », etc.

PARMI les techniques les plus récentes mises en œuvre dans les télécommunications par radio, certaines ne sont que l'application de principes déjà imaginés depuis de nombreuses années par d'éminents théoriciens, mais dont la mise en œuvre a été perfectionnée ou même n'a été rendue possible que grâce aux travaux ultérieurs et aux découvertes de nombreux spécialistes.

C'est en particulier la maîtrise que l'on a pu obtenir dans le domaine des ondes courtes et surtout des ondes ultracourtes (ondes métriques, décimétriques et centimétriques) qui a ouvert la voie à un développement nouveau des télécommunications.

On sait que la multiplication des émissions radioélectriques pose de graves problèmes d'encombrement. Pour que deux ondes ne se brouillent pas, il faut qu'elles aient des fréquences assez éloignées l'une de l'autre. Pour transmettre la parole, par exemple, on peut admettre qu'elles doivent être distantes de 10 000 périodes par seconde (cycles). Si on considère des ondes de l'ordre de 300 mètres, leur fréquence est de 1 000 000 cycles. L'écart relatif n'est donc que de 1/100. Si on considère des ondes centimétriques, de 30 centimètres par exemple, leur fréquence est de 1 000 000 000 cycles et l'écart de 10 000 périodes ne représente plus que 1/100 000. On voit donc que, dans l'échelle

des ondes ultracourtes, on peut placer un grand nombre d'émissions dans un court intervalle de fréquences sans qu'elles risquent de se gêner.

En outre, ces ondes sont faciles à diriger ; à ce point de vue, elles se rapprochent des ondes lumineuses. Ceci permet, en utilisant des émissions dirigées, non seulement de diminuer les risques d'interférence avec d'autres émetteurs, mais encore d'assurer aux liaisons sur ces fréquences une sécurité de fonctionnement considérablement accrue. C'est pourquoi les télécommunications radioélectriques ont pris une grande importance.

En effet, jusqu'ici, il n'était pas question de placer sur le même plan les liaisons par fil et les liaisons radio. Les premières étaient considérées comme plus sûres, d'un plus grand débit et plus économiques. Les secondes étaient principalement réservées aux liaisons mobiles (bateaux en mer, avions en vol, armées en campagne). La radio trouvait encore son emploi dans les liaisons intercontinentales, car les câbles sous-marins à longue distance, s'ils permettaient les communications télégraphiques, n'autorisaient pas les conversations téléphoniques.

Or, aujourd'hui, une technique nouvelle a fait son apparition, qui livre une concurrence sérieuse aux transmissions par fil sur leur propre terrain. Il s'agit de télécommuni-



Aériens directionnels expérimentaux pour liaisons par ondes ultracourtes installés au sommet d'un gratte-ciel de New-York (Bell Teleph. Labor.)

cations radioélectriques *multiplex* qui permettent à un seul émetteur de transmettre simultanément plusieurs communications susceptibles d'être reçues avec un seul récepteur. En outre, ces communications utilisant des ondes ultracourtes, les émissions se font suivant des faisceaux étroits strictement dirigés entre l'émetteur et le récepteur, et l'on obtient un fonctionnement d'une telle sécurité qu'on a pu baptiser ces installations du nom de *câbles hertziens*.

Dans bien des cas, le câble hertzien s'avèrera plus économique que le câble téléphonique, qu'il s'agisse d'établir une liaison nouvelle entre deux points fixes ou d'obtenir des voies supplémentaires si les câbles téléphoniques déjà existants sont saturés, et il faudra étudier chaque fois les données particulières du problème. Tout dépend du nombre de voies nécessaires et du relief de l'itinéraire entre les points à joindre. En particulier, si le parcours est accidenté, s'il y a un large fleuve à traverser en câble immergé, il est indéniable que le câble hertzien constituera une solution beaucoup plus avantageuse.

PRINCIPE DU MULTIPLEX

Une transmission radiotéléphonique usuelle peut se résumer schématiquement de la façon suivante :

A l'émission, on produit une oscillation électrique de fréquence fixe plus ou moins élevée, qu'on appelle la *haute fréquence*. D'autre part, les paroles prononcées devant un microphone engendrent un courant complexe constitué par un ensemble d'oscillations de fréquences diverses, mais peu élevées, qu'on appelle la *basse fréquence*. Cette basse fréquence, dont l'amplitude subit une amplification convenable, est combinée avec l'oscillation haute fréquence, au cours d'une opération appelée *modulation*, et l'on obtient ainsi une onde modulée qui est émise par l'antenne.

A la réception (page 43), on capte cette onde modulée, et après un certain nombre d'opérations d'amplification et de changement de fréquence, on procède à la détection qui a pour but d'extraire de l'onde modulée les courants basse fréquence de modulation. Ces courants de modulation sont envoyés dans une ligne téléphonique aboutissant à un écouteur ou à un haut-parleur qui les transforme en ondes sonores identiques à celles qui ont, à l'émission, agi sur le microphone.

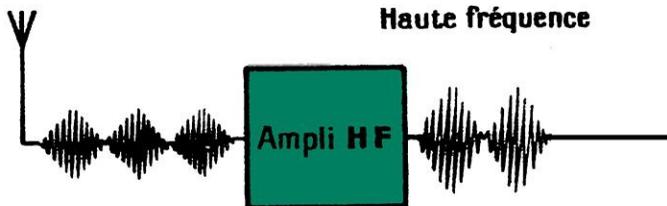
En somme, la haute fréquence a servi seulement de support pour les fréquences de modulation. C'est ce que traduit le langage des techniciens qui l'appellent couramment l'onde porteuse, ou plus brièvement la « porteuse ».

D'une façon plus imagée, on peut considérer une onde modulée comme un wagon de chemin de fer (haute fréquence) transportant un voyageur (basse fréquence) qu'on accueille à l'arrivée.

Cette image permet de comprendre le fonctionnement des systèmes radioélectriques multiplex. De même, en effet, qu'un wagon unique peut transporter plusieurs voyageurs différents qui, à la sortie de la gare, sont accueillis par des familles distinctes, de même les transmissions multiplex utilisent une seule onde porteuse servant de support à plusieurs ondes de modulation, qui, dans le récepteur, sont triées avant d'être envoyées chacune à un correspondant particulier.

On conçoit sans peine l'intérêt économique de cette solution qui permet, avec un seul émetteur et un seul récepteur à chaque extrémité, de transmettre simultanément un nombre élevé de conversations.

Le problème des transmissions multiplex est avant tout un problème de modulation. Il faut en effet que les courants de modulation produits par les paroles de divers



correspondants soient combinés avec l'onde porteuse de telle façon que leur triage demeure possible à l'arrivée. On peut faire appel pour cela à deux principes différents, en utilisant soit des systèmes de transposition, soit des systèmes à impulsions.

MULTIPLEX A TRANSPOSITION DE FRÉQUENCE

L'ensemble des fréquences acoustiques engendrées par la voix d'un correspondant constitue ce qu'on appelle le « spectre de fréquence de parole ». Les règlements édictés par le Comité des Communications Internationales par téléphone (C. C. I. F.) admettent que la partie utile du spectre à transmettre pour obtenir une bonne communication commerciale est comprise entre 300 et 3 400 périodes par seconde (ou cycles).

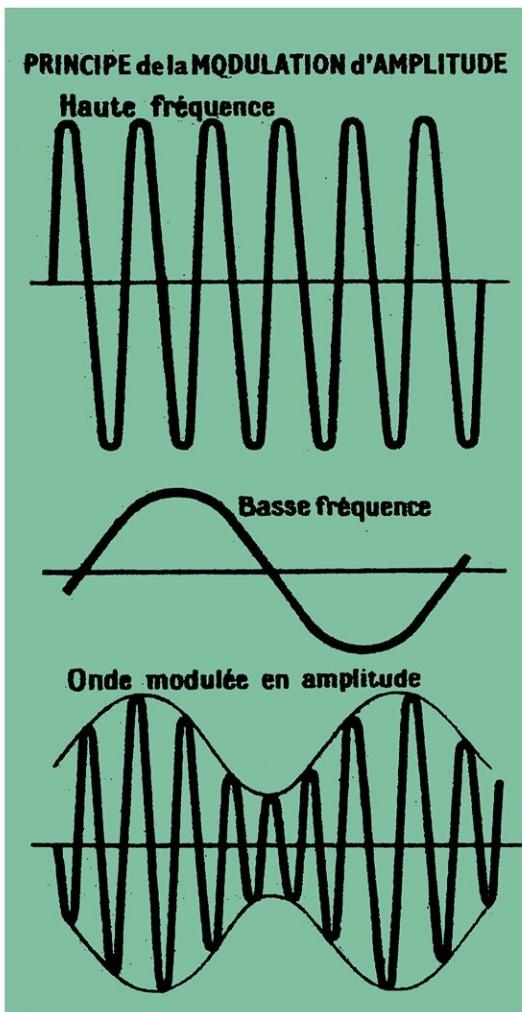
La « transposition » aura pour effet de déplacer ce spectre de façon à lui faire occuper une bande de fréquences nouvelle, par exemple la bande 12 300—15 400 cycles. En effectuant sur les divers spectres à transmettre des transpositions différentes, on pourra obtenir ainsi des spectres bien séparés, qui ne risqueront pas de se brouiller.

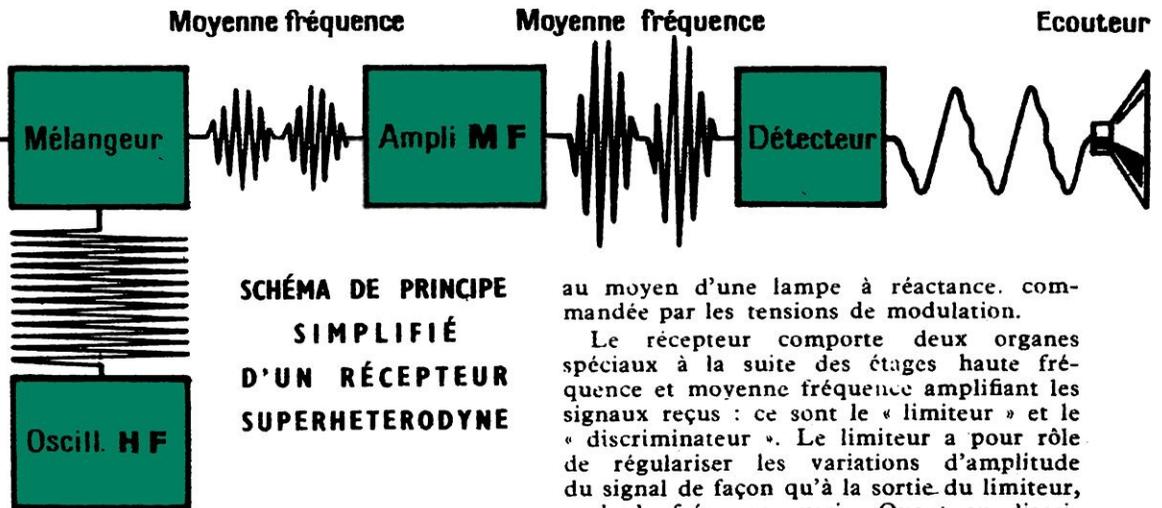
A partir de cet ensemble de fréquences, on va moduler l'émetteur de la même manière que s'il s'agissait du spectre relatif à une seule communication. A l'arrivée, dans le récepteur, on opère comme dans une transmission normale, et, après détection, on obtient une bande totale analogue à la bande d'émission. Il n'y a plus qu'à séparer les divers spectres partiels qui la constituent et à leur faire subir une transposition en sens inverse pour les ramener dans la gamme des fréquences acoustiques 300-3 400 cycles, avant d'envoyer chacun d'eux dans une ligne téléphonique distincte à destination du correspondant approprié.

MODULATION DE FRÉQUENCE

Il est nécessaire ici de dire quelques mots de la *modulation de fréquence* qui est la méthode généralement adoptée dans les transmissions multiplex fondées sur le principe de la transposition.

Jusqu'ici il n'était question que de modulation d'amplitude, c'est-à-dire de systèmes dans lesquels l'amplitude seule de l'onde porteuse varie en fonction de l'amplitude des ondes de basse fréquence.





**SCHEMA DE PRINCIPE
SIMPLIFIÉ
D'UN RÉCEPTEUR
SUPERHETERODYNE**

Dans ce cas de la modulation de fréquence, c'est la *fréquence* elle-même de l'onde porteuse qui varie en fonction de la basse fréquence (page 44).

Ce dernier procédé présente un avantage considérable qui est l'effet anti-parasites.

Dans une communication radioélectrique, ce qui compte, en effet, ce n'est pas le niveau absolu du signal reçu mais le niveau relatif de celui-ci par rapport aux parasites. Ces parasites sont dus à des causes diverses : parasites atmosphériques, souffle des résistances, des circuits, des lampes, de l'antenne, etc. Or, dans l'état, actuel de la technique, on sait amplifier des signaux faibles, mais on est gêné par les parasites qu'on amplifie en même temps que les signaux eux-mêmes. C'est donc en définitive le rapport entre le signal reçu et le bruit de fond qui limite la sensibilité des récepteurs.

La modulation de fréquence permet de réduire ce rapport et cela dans des proportions d'autant plus grandes que l'on fait subir à l'onde porteuse, lors de l'émission, une « déviation de fréquence » plus grande. On pourra donc construire des récepteurs plus sensibles, et, en conséquence, utiliser des émetteurs moins puissants sans que la liaison cesse d'être possible.

En revanche, les ondes modulées en fréquence occupent dans l'espace une largeur de bande d'autant plus grande que la déviation de fréquence est plus importante. On ne saurait donc les utiliser dans la région des ondes longues et moyennes. C'est seulement lorsque les techniciens ont abordé le domaine des ondes très courtes et ultracourtes que l'on a repris les recherches sur la modulation de fréquence, et c'est précisément parce que les transmissions multiplex se font sur ondes ultracourtes qu'elles utilisent la modulation de fréquence.

Pour obtenir à l'émission la modulation de fréquence, on fait varier la capacité de l'oscillateur donnant la fréquence porteuse

au moyen d'une lampe à réactance, commandée par les tensions de modulation.

Le récepteur comporte deux organes spéciaux à la suite des étages haute fréquence et moyenne fréquence amplifiant les signaux reçus : ce sont le « limiteur » et le « discriminateur ». Le limiteur a pour rôle de régulariser les variations d'amplitude du signal de façon qu'à la sortie du limiteur, seule la fréquence varie. Quant au discriminateur, il a essentiellement pour but de transformer les variations de fréquences du courant en variations d'amplitude et de redonner ainsi les courants de modulation.

MULTIPLEX A IMPULSIONS

Alors que, dans le multiplex à transposition de fréquence, on répartit dans l'échelle des fréquences les divers spectres de parole à transmettre, c'est un découpage dans le temps de ces divers spectres que l'on opère dans le multiplex à impulsions.

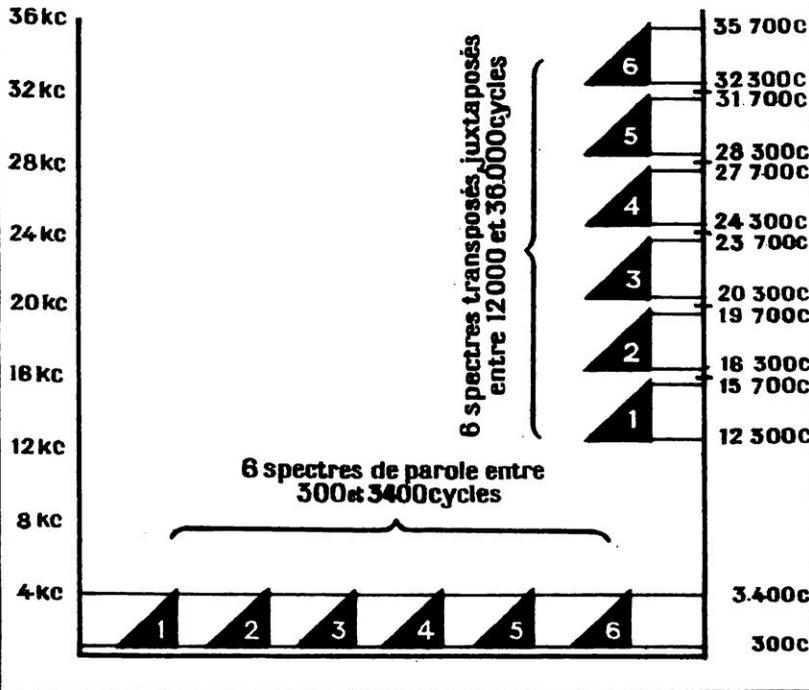
A cet effet, les différents canaux de communications sont branchés successivement avec leurs correspondants respectifs, chacun pendant un temps extrêmement bref par rapport à la période des oscillations du spectre de parole.

Si l'on suppose pour simplifier que ces oscillations se réduisent à une simple sinusoïde, on conçoit qu'au lieu de transmettre le courant pendant toute la durée d'une période, on puisse se borner à le transmettre pendant quelques fractions très brèves de cette période. A l'aide de ces fragments de sinusoïde, le récepteur pourra reconstituer la sinusoïde entière (page 45).

Pour fixer les idées, considérons un courant sinusoïdal de fréquence égale à 1 000 périodes par seconde. La durée d'une période est donc de 1 millième de seconde, ou en prenant comme unité le millionième de seconde, de 1 000 microsecondes. Si on ne transmet de cette sinusoïde que les fragments correspondant à 5 impulsions de 2 microsecondes, on voit qu'elle n'a été utilisée que pendant 10 microsecondes sur 1 000. Il reste donc 990 microsecondes qu'on peut employer pour découper de la même manière bien d'autres sinusoïdes prises dans les spectres relatifs à d'autres communications.

Ce que nous avons dit s'applique également si, au lieu de considérer une seule sinusoïde, nous avons pris pour chaque spectre l'en-

TRANSPOSITION DE SIX SPECTRES DE PAROLE



semble des sinusoïdes qui le constituent.

On conçoit donc comment on peut remplacer les divers spectres représentant les différentes communications par des enchevêtrements d'impulsions qui vont agir successivement sur l'onde porteuse pour la moduler.

A la réception, on recevra ces diverses impulsions et on procédera à leur triage pour séparer celles qui sont relatives à chacun des divers spectres d'origine. Pour cela, il suffira d'avoir à l'arrivée un système de commutation travaillant en synchronisme avec le système de commutation qui branche successivement les divers canaux de communication sur l'émetteur. Ce triage permet d'aiguiller sur un circuit approprié les impulsions provenant d'une même sinusoïde. On a donc autant de circuits de sortie que de communications à recevoir.

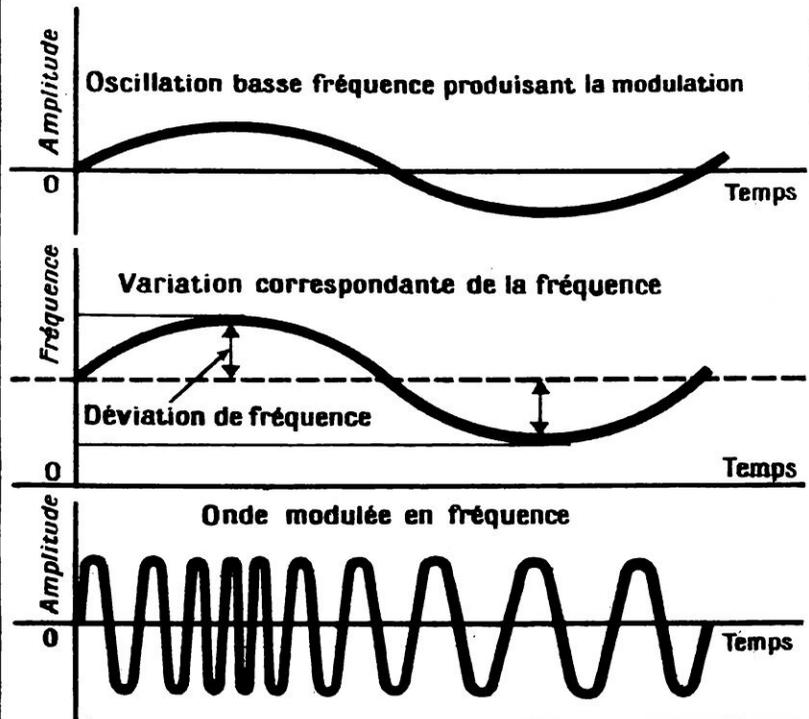
DIVERSES SORTES D'IMPULSIONS

Nous avons dit pour simplifier que nous transmettions des fragments de sinusoïde. En réalité, on les remplace par des impulsions dont on fait varier un paramètre en fonction de la valeur instantanée correspondante de la tension à transmettre. Les figures (page 47) en donnent quelques exemples.

On pourra ainsi utiliser des impulsions de durée fixe, et se reproduisant à des intervalles de temps constants, et faire varier leur amplitude en fonction linéaire de la tension. Les impulsions seront *modulées en amplitude*.

On pourra, au contraire, utiliser des impulsions d'amplitude et d'espace constants, mais faire varier la durée des impulsions en fonction linéaire de la valeur instantanée de la tension à transmettre. Ce seront des impulsions *modulées en durée*.

PRINCIPE DE LA MODULATION DE FRÉQUENCE



On peut les réaliser de diverses manières. Par exemple, on pourra augmenter ou diminuer la durée symétriquement par rapport au milieu de l'impulsion, en conservant un écart constant entre les milieux des impulsions successives. Ou bien, on pourra moduler ces impulsions en durée de façon dissymétrique. Le bord arrière ou avant de l'impulsion se reproduira à intervalles fixes, et c'est à partir de ce repère que la largeur de l'impulsion variera en fonction de la tension à transmettre.

Les impulsions pourront être enfin *modulées en position*. Au lieu de transmettre l'impulsion elle-même, on la remplacera par deux impulsions plus brèves encore, dont l'une caractérisera le début et l'autre la fin de l'impulsion primitive. Mais les impulsions correspondant au bord avant, par exemple, se reproduisent à intervalles réguliers. On peut donc, connaissant leur cadence, supprimer leur transmission et se borner à transmettre les impulsions correspondant au bord arrière. A la réception, en effet, on pourra sans peine produire des impulsions synchronisées à la même cadence que les premières impulsions non transmises pour reconstituer, avec les seules impulsions reçues, les deux bords de l'impulsion primitive, ce qui permettra de repasser aux impulsions modulées en durée.

CABLES HERTZIENS

Ainsi qu'il a été dit, c'est depuis un temps relativement court que l'on a pénétré profondément dans le domaine des ondes ultracourtes. Ceci explique l'introduction toute récente des liaisons radio multiplex dans la technique des télécommunications.

Du point de vue de la propagation et de la directivité, les ondes ultracourtes se rapprochent des ondes lumineuses.

En réalité, les ondes subissent une certaine réfraction qui leur fait épouser plus ou moins la courbure de la terre et l'on peut assurer encore la réception lorsque l'on a légèrement dépassé la distance de visibilité optique, tout au moins pour les ondes métriques qui sont plus favorisées à ce point de vue que les ondes décimétriques et centimétriques. Toutefois il serait imprudent de compter sur cette propriété pour établir des liaisons sûres. Pratiquement une installation se présente de la façon suivante : A une extrémité de la liaison se trouve une station terminale émettrice et réceptrice. Elle comporte l'arrivée des lignes téléphoniques par lesquelles parviennent à la station les communications à transmettre, puis le système multiplex (meubles de transposition, ou générateurs d'impulsions) et enfin, l'émetteur et le récepteur radioélectriques proprement dits.

L'émetteur envoie ces ondes modulées dans des aériens qui les rayonnent dans l'espace. Ces aériens sont placés au sommet d'un pylône d'une hauteur convenable. Utilisant les propriétés des ondes ultra-

courtes, ces aériens sont directifs et localisent le faisceau émis dans une direction bien déterminée. S'il s'agit d'ondes métriques, ils seront constitués par des doublets placés devant un réflecteur formé, par exemple, par un miroir parabolique ou plus simplement par un grillage métallique.

S'il s'agit d'ondes métriques ou centimétriques, les aériens sont constitués par des cornets. On appelle ainsi des pavillons métalliques qui émettent les ondes suivant leur axe et qui sont reliés à l'émetteur par des conduits tubulaires appelés « guides d'ondes ».

La station terminale située à l'autre extrémité de la liaison est identique à la précédente.

Si les deux stations sont en visibilité directe, les échanges de communications se feront sans difficulté. Il est clair que si elles sont toutes deux placées sur des sommets assez élevés, on pourra couvrir ainsi des trajets assez importants, allant jusqu'à 100 km en ondes décimétriques.

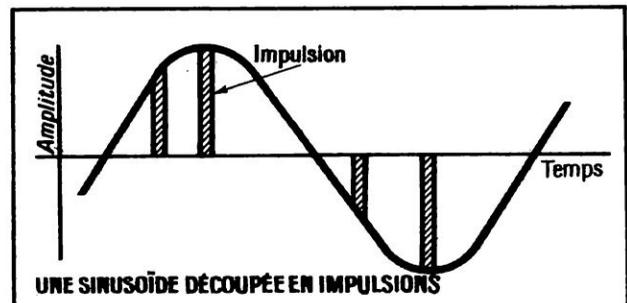
Si les deux stations ne sont pas en visibilité directe, soit par suite de leur trop grand éloignement en plaine, soit par suite de la présence de crêtes entre les stations terminales, on interpose entre elles des stations-relais en visibilité directe qui ont pour rôle de recevoir et retransmettre les émissions reçues de la station précédente.

Ces stations-relais ne comportent pas, comme les stations terminales, de système multiplex proprement dit (baies de transposition ou générateurs d'impulsions). Elles comprennent seulement les appareils émetteurs et récepteurs nécessaires avec leurs aériens. En outre, elles n'effectuent généralement qu'une démodulation et remodulation partielle des ondes qu'elles retransmettent.

LE MULTIPLEX FRANCE-CORSE

Pour illustrer les principes qui viennent d'être exposés, il ne sera pas inutile de décrire brièvement la liaison multiplex qui, depuis l'été dernier, assure la transmission des communications téléphoniques entre la Corse et le Continent.

Le problème posé était difficile à résoudre, et l'on peut affirmer sans abus de langage qu'il s'agit d'un véritable record. En effet, les deux stations sont situées respectivement aux environs de Grasse et à Calenzana, petit



village voisin de Calvi. La distance entre les deux stations est d'environ 210 km. Or l'altitude des deux stations est insuffisante pour qu'elles soient en visibilité directe. Il s'en faut même de beaucoup, car la ligne droite joignant les deux stations passe à environ 400 mètres sous le niveau de la mer ; on peut encore dire que la visibilité directe est dépassée d'environ 60 km, car, si l'on mène les tangentes à la surface de la mer depuis Grasse et depuis Calenzana, il existe une distance de 60 kilomètres entre les deux points de contact.

Bien qu'on ait adopté des ondes métriques qui permettent de dépasser légèrement la distance de visibilité directe, on était encore dans des conditions difficiles. On a mesuré, en effet, le champ produit par l'émetteur de Calenzana en 2 points du continent, l'un à la station de Grasse, l'autre au sommet du Mont Agel qui, grâce à ses 1 200 mètres, est pratiquement en visibilité directe avec Calenzana. On a constaté qu'à certaines heures de la journée le champ reçu au Mont Agel s'affaiblissait de moitié, alors qu'à Grasse il tombait parfois au centième de sa valeur normale. Néanmoins la liaison fonctionne correctement et les communications téléphoniques s'échangent normalement.

Le système adopté est le système de transposition de 12 communications dans la gamme de 12 à 60 kilocycles.

La fréquence porteuse d'admission est de 97 mégacycles (3,10 mètres) pour l'une des stations et de 106,6 mégacycles (2,80 mètres) pour l'autre station.

La puissance d'émission est de 100 watts et la puissance nécessaire pour le fonctionnement de la station est de 2,5 kilowatts environ.

Il est à noter que la puissance de cet émetteur a été choisie à un niveau relativement élevé pour essayer de compenser au moins partiellement le défaut de visibilité optique.

Pour fixer les idées à ce sujet, il faut savoir que dans des conditions normales, on envisage des puissances d'émission de l'ordre du watt pour les multiplex métriques, et des puissances d'émission inférieures au watt pour les multiplex décimétriques et centimétriques. On voit par là que les puissances nécessaires au fonctionnement d'un câble hertzien sont très faibles, ce qui non seulement représente une économie dans le cours de l'exploitation, mais encore offre les plus grandes facilités pour l'installation en un lieu quelconque, puisque la question de la puissance électrique nécessaire devient tout à fait négligeable. Ceci permet de comprendre l'intérêt économique des câbles hertziens dans le cas général. Mais dans le cas particulier de la liaison France-Corse, la supériorité de la solution radioélectrique sur celle du câble sous-marin est écrasante. En effet, ce dernier est d'un prix de revient extrêmement élevé. En outre, pour que l'utilisation du câble ne soit pas

limitée aux transmissions télégraphiques, il faut l'équiper de place en place de stations répétrices immergées qui sont nécessaires pour compenser l'affaiblissement que les courants téléphoniques subissent au cours de leur propagation dans les conducteurs ; ces stations répétrices viennent encore majorer considérablement les frais d'installation et d'exploitation de la liaison par câble.

C'est pourquoi les techniciens des P. T. T. n'ont pas hésité, malgré la distance exceptionnelle du parcours, à confier aux moyens radio le soin d'assurer les transmissions avec la Corse, dotant ainsi la France d'une des installations les plus audacieuses qui soient au monde dans le domaine des télécommunications.

POSTE CONFÉRENCE

La technique du multiplex à impulsions a permis de créer un matériel d'une grande « originalité qui a été baptisée du nom de Poste Conférence ». (S.F.R.)

En effet ce matériel permet à plusieurs correspondants éloignés d'échanger entre eux une conversation simultanée, exactement comme s'ils étaient en conférence dans la même salle.

Il faut bien voir la difficulté du problème. En particulier, il ne faut pas confondre ce système avec celui dont la Radiodiffusion Française nous donne des exemples lorsqu'elle nous fait entendre une conversation entre deux correspondants dont l'un est à Paris et l'autre à New-York. Le nombre de correspondants étant seulement de deux, il n'y a aucune difficulté de principe à résoudre et le schéma est facile à imaginer.

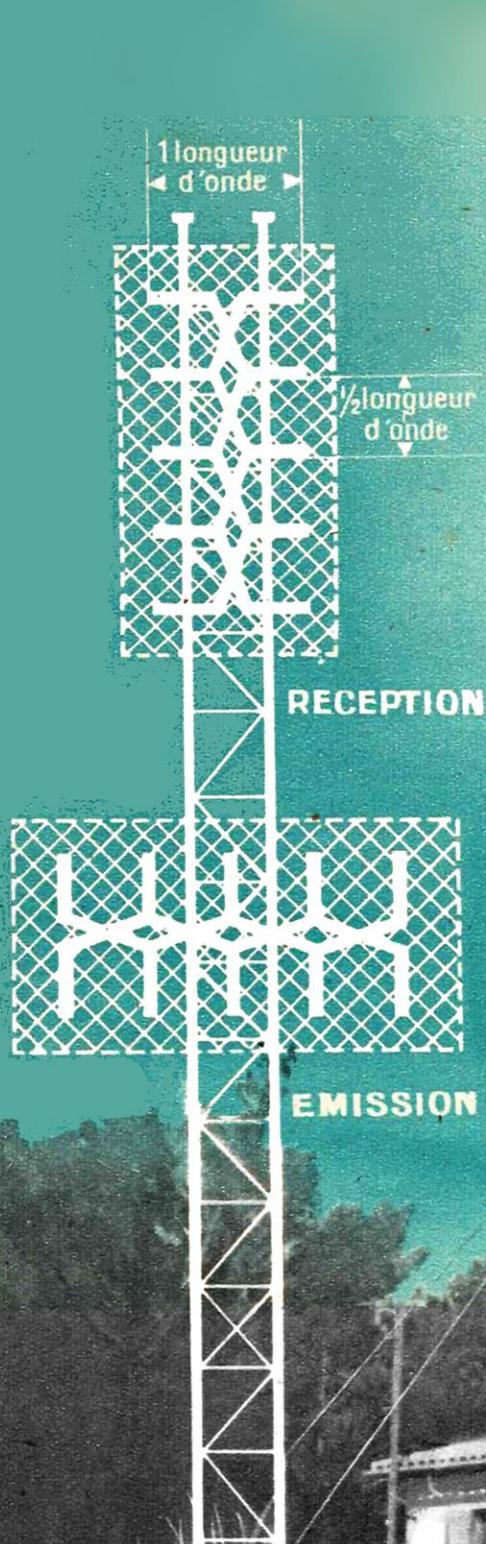
La parole du correspondant parisien est transmise à New-York, où elle est écoutée dans un studio par un correspondant qui répond aussitôt, et peut même prendre la parole en même temps que son interlocuteur.

La réponse est transmise par la radio de New-York sur une longueur d'onde différente propre à la Radiodiffusion américaine. Cette réponse est reçue à Paris dans le studio où se trouve le premier correspondant et elle est transmise aussitôt aux auditeurs français sur la longueur d'onde de la Radiodiffusion Française.

Mais si l'on voulait réaliser une conférence entre plus de deux correspondants, le problème serait beaucoup plus complexe. (page 51).

Pour rendre la conversation possible entre trois correspondants, il faudrait 3 longueurs d'onde, 3 émetteurs et 6 récepteurs. De même pour 4 correspondants il faudrait 4 longueurs d'onde, 4 émetteurs et 12 récepteurs. Pour 5 correspondants il faudrait 5 longueurs d'onde, 5 émetteurs et 20 récepteurs.

L'originalité du poste conférence réside dans le fait qu'il permet une conversation simultanée entre plusieurs correspondants évidemment moins éloignés que dans les exemples précédents, et ne nécessitant, par



AÉRIENS DE LA LIAISON MULTIPLEX FRANCE-CORSE (GRASSE).
On aperçoit, au-dessous, deux cornets qui servent actuellement pour une liaison expérimentale sur ondes centimétriques. (S. F. R.)

exemple, pour 5 interlocuteurs qu'une seule longueur d'onde, 5 émetteurs et 5 récepteurs.

Ce qui a déjà été dit des impulsions permet de concevoir le principe du poste conférence. Si on remplace en effet les 5 communications par des impulsions très brèves, on comprend qu'on puisse transmettre simultanément les diverses paroles prononcées.

L'émetteur fonctionne en impulsions. Il émet 12 000 impulsions par seconde, ces impulsions ont une durée de 3 microsecondes et découpent la parole. L'intervalle entre impulsions est de 80 microsecondes environ. Pendant les intervalles entre les impulsions, l'émetteur ne fonctionne pas et le récepteur est en mesure de recevoir ses correspondants. Pendant les impulsions de l'émetteur, au contraire, le récepteur est bloqué automatiquement pour le soustraire à l'action de l'émetteur local.

On voit ainsi que l'émetteur et le récepteur sont alternativement commutés, mais à des fréquences telles qu'on peut à tout instant soit écouter, soit parler.

TRANSMISSION A BANDE UNIQUE

Pour comprendre le système de transmission à bande unique, il est indispensable d'analyser au préalable le mécanisme de la modulation d'amplitude dont nous avons indiqué précédemment le principe.

Si l'on suppose que la basse fréquence se réduit à une onde sinusoïdale, un calcul élémentaire montre, et on constate expérimentalement, que l'onde modulée en amplitude qu'on obtient à partir d'une haute fréquence F et d'une basse fréquence f est équivalente à un ensemble de trois ondes (page 50):

- l'onde porteuse elle-même de fréquence F ;
- une onde de fréquence $F + f$;
- une onde de fréquence $F - f$.

Si on porte les fréquences de ces trois ondes sur une même échelle, on voit que les deux dernières sont disposées symétriquement de part et d'autre de la fréquence porteuse, d'où leur nom d'ondes latérales.

Si, au lieu de considérer une oscillation sinusoïdale unique de modulation, on considérerait la totalité du spectre de modulation compris entre les deux fréquences f_1 et f_2 , on arriverait à des résultats analogues et l'onde modulée se décomposerait en trois éléments :

- l'onde porteuse F ;
- un ensemble d'ondes dont les fréquences sont comprises entre $F + f_1$ et $F + f_2$;
- un ensemble d'ondes dont les fréquences sont comprises entre $F - f_1$ et $F - f_2$.

Ces deux dernières sont les deux bandes latérales.

La transmission à bande unique consiste à utiliser des filtres de fréquence pour éliminer,

après avoir opéré la modulation, l'une des bandes latérales et la porteuse elle-même de façon à n'envoyer dans l'antenne qu'une seule des deux bandes.

A la réception, on reçoit cette bande latérale. Pour en retirer la basse fréquence, qui permettra de reconstituer la communication désirée, on devra utiliser une oscillation haute fréquence produite par un oscillateur local ayant exactement la même fréquence F que l'oscillateur d'émission.

Or, il est extrêmement difficile d'obtenir une égalité aussi rigoureuse que celle qui est indispensable. C'est pourquoi, en réalité, on n'élimine pas complètement à l'émission la porteuse, et on émet, avec la bande latérale choisie, une porteuse à puissance réduite. A la réception, cette dernière permet d'accorder l'oscillateur local exactement sur la fréquence F , et l'on peut ainsi reconstituer la communication sans déformation.

Les avantages des transmissions à bande unique sur la transmission normale sont les suivants :

— Réduction de moitié de la bande de fréquences ;

— Multiplication par 4 du rendement de l'émetteur. On conçoit sans calcul qu'il y ait une augmentation de rendement puisque l'énergie transmise est tout entière concentrée sur une seule bande au lieu d'être répartie entre les deux bandes et la porteuse ;

— Multiplication par 2 du rendement du récepteur. Ceci tient à la réduction de moitié de la largeur de bande occupée par l'émission ; en effet, le bruit de fond, qui, dans tout récepteur, accompagne le signal reçu, est proportionnel à la largeur de bande passante ;

— Réduction considérable des effets du fading sélectif. Les diverses fréquences constituant une émission modulée subissent, en effet, au cours de leur trajet, des affaiblissements et des rotations de phase variables suivant la fréquence. Il en résulte des déformations de la communication reçue, surtout à cause des modifications différentes qui affectent la porteuse et les bandes latérales. Dans la transmission à bande unique, la suppression de la porteuse a pour conséquence de rendre ces déformations beaucoup moins importantes.

En résumé, non seulement le rendement total d'une transmission est multiplié par 8 lorsqu'on utilise la bande unique, mais encore la qualité de la réception est nettement améliorée.

En outre, on peut utiliser le principe de la séparation des deux bandes latérales pour effectuer avec un seul émetteur une communication multiplex à deux voies. On utilise par exemple la bande latérale inférieure pour une communication et la bande latérale supérieure pour une autre communication.

Ces divers avantages expliquent la place importante que les transmissions à bande

unique ont prise dans les télécommunications à ondes courtes.

DISPOSITIFS DE SECRET

Quand on transmet par radio une émission modulée en amplitude, elle peut être captée par n'importe quel auditeur possédant un récepteur ordinaire accordé sur la fréquence de l'émission. Ceci est évidemment gênant. C'est pourquoi on utilise des dispositifs de secret.

Le principe du « Secret International » est extrêmement simple. Il consiste à inverser le spectre de fréquence de parole compris entre 250 et 2750 cycles, les fréquences aiguës devenant graves, alors que les fréquences graves deviennent aiguës. On constate alors que la réception d'un tel spectre est absolument inintelligible. L'auditeur moyen ne peut donc capter la conversation. Pour reconstituer cette dernière, il faut inverser à nouveau le spectre reçu pour le rétablir tel qu'il était à l'origine.

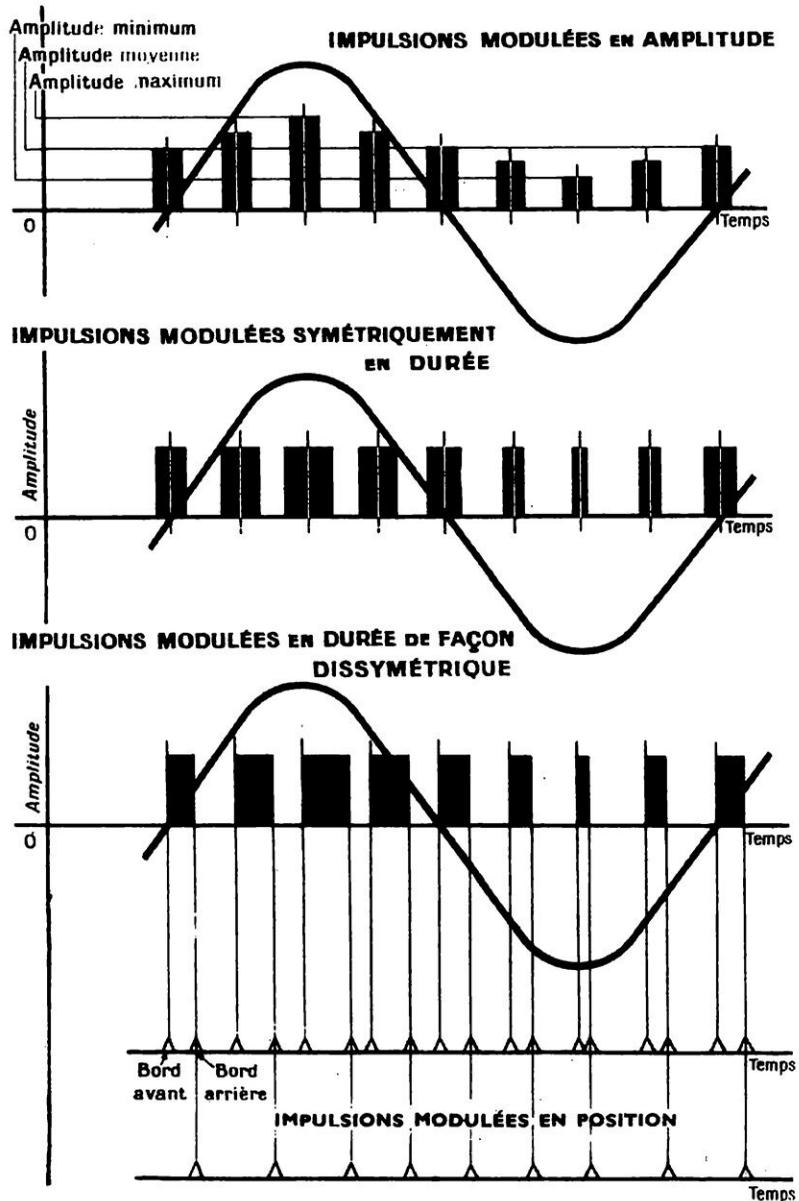
La figure (page 50), qui montre une inversion effectuée sur un texte écrit, donnera, par analogie, une idée grossière du procédé. Si l'on se reporte à ce que nous avons dit au paragraphe précédent, on voit que, dans la modulation en amplitude, la bande latérale inférieure n'est autre que la bande latérale supérieure inversée et décalée. Pour obtenir l'inversion de la bande 250-2750 cycles, il suffit de disposer d'un oscillateur à 3 000 périodes, de mélanger ces oscillations et d'éliminer par un filtre la bande supérieure. Il reste la bande inférieure qui est le spectre inversé 2 750 à 250 cycles.

A la réception, on opérera de même et on retrouvera le spectre initial.

Toutefois, ce procédé ne constitue pas un secret véritable. Si l'auditeur normal, non équipé spécialement, ne peut saisir la conversation, il est clair qu'il suffit de disposer d'un dispositif d'inversion du spectre pour pouvoir surprendre les communications échangées.

C'est pourquoi on a mis au point un nou-

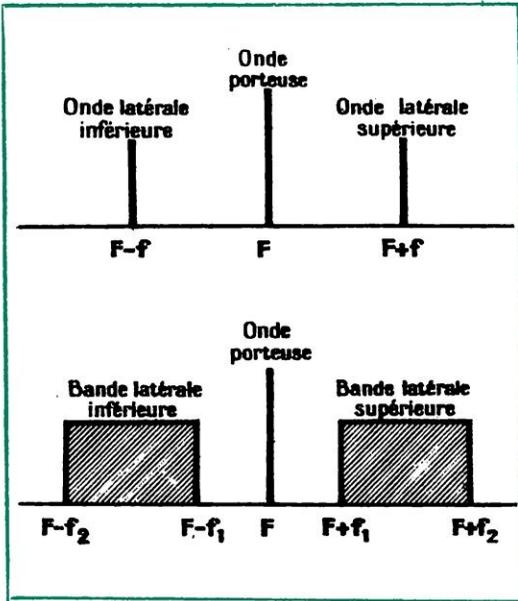
QUELQUES EXEMPLES DE TRANSMISSIONS PAR IMPULSIONS MODULÉES EN AMPLITUDE, EN DURÉE ET EN POSITION.



veau procédé dit « secret à cinq bandes » dont le principe est le suivant :

A l'aide de filtres de fréquences de précision on découpe le spectre de parole de 250 à 3 000 cycles par seconde en 5 bandes que l'on transpose ensuite de manière à échanger leur place dans le spectre initial, en leur faisant subir en outre parfois une inversion.

Parmi toutes les combinaisons possibles, on en choisit 6 qui s'obtiennent par un jeu de commutations entre les bandes initiales découpées et les fréquences de transposition. En outre, on n'utilise chacune des combinaisons que pendant 20 secondes au bout



Bandes latérales de part et d'autre de l'onde porteuse dans le cas de la modulation d'amplitude.

desquelles on utilise une autre des 6 combinaisons. L'alternance suivant laquelle on fait se succéder les 6 combinaisons donne un nouveau facteur de secret. La figure ci-dessous montre une analogie graphique du procédé.

A la réception, on dispose d'un appareil effectuant automatiquement les mêmes transpositions, mais en sens inverse, et on obtient ainsi le spectre de parole initial. Mais pour que la reconstitution se fasse correctement, il faut évidemment que le mécanisme de commutation qui branche les fréquences de transposition sur les bandes reçues soit synchronisé avec le mécanisme de commutation qui agit à l'émission. Pour cela l'émetteur envoie une impulsion toutes les vingt secondes ; cette impulsion, reçue à la station de réception, sert à synchroniser le moteur qui entraîne le mécanisme de commutation.

En résumé, on voit que ce procédé constitue un secret véritable. Il faut, en effet, pour surprendre une communication, non

seulement disposer d'un matériel spécial, mais encore connaître les combinaisons et les alternances, que l'on peut garder secrètes, comme un code de chiffrement.

RÉCEPTEUR MULTIPLE "DIVERSITY"

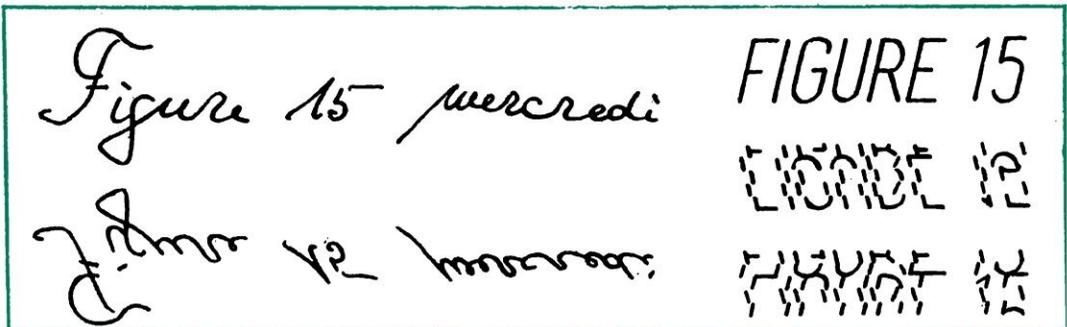
Si la propagation des ondes longues se fait dans des conditions relativement stables, il n'en est pas de même pour les ondes courtes. Si on considère un émetteur déterminé et qu'en un point donné on dispose d'un récepteur, on constate que les signaux reçus subissent des variations d'amplitude qui peuvent aller de 1 à 100 en quelques secondes.

Cet évanouissement ou « fading » est dû vraisemblablement à l'interférence de diverses ondes d'espace dont le trajet se modifie continuellement et qui parviennent de l'émetteur au récepteur après avoir subi un nombre variable de réflexions successives sur les couches ionosphériques de la haute atmosphère et sur la surface terrestre.

On a remarqué en outre que ce phénomène varie considérablement d'un point de l'espace à un autre. Ainsi, si on dispose deux récepteurs à proximité l'un de l'autre, on pourra noter au même instant un évanouissement presque total sur l'un alors que la réception s'effectue normalement sur l'autre et vice-versa.

La nature elle-même des aériens utilisés par le récepteur joue un rôle sur ce phénomène. De même, de très légères variations de fréquence de l'ordre du 1/10 000 suffisent pour modifier ces phénomènes d'évanouissement.

C'est sur ces observations que repose le système de réception multiple ou « diversity » qui permet de s'affranchir des funestes effets du fading. On peut dire d'une façon succincte qu'il consiste généralement dans l'installation à faible distance les uns des autres de plusieurs systèmes d'aériens, généralement deux ou trois, reliés chacun à un récepteur de la salle de réception, un dispositif de combinaison permettant d'utiliser à chaque instant le récepteur qui donne le meilleur signal (page 51). Ce système n'est pas nouveau,



Analogie graphique des systèmes de secret : secret international (à gauche) secret à cinq bandes (à droite)

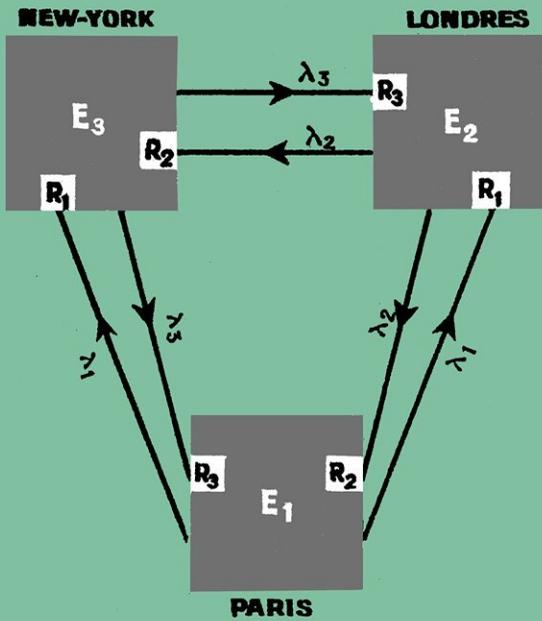
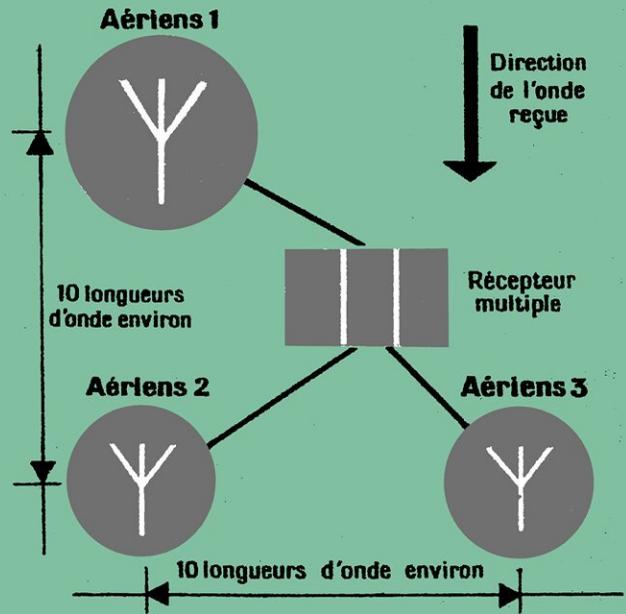


Schéma d'une liaison entre trois interlocuteurs : 3 longueurs d'ondes, 3 émetteurs, 3 récepteurs.



Exemple de disposition de trois aériens pour la réception "diversity" combattant l'effet du fading.

puisqu'il a été breveté par la société américaine RCA dès 1928. Mais le développement récent de l'emploi des ondes courtes dans les services de télécommunication lui a donné une importance accrue, et nombreux sont les centres de grand trafic qui utilisent ce procédé.

En pratique on agit sur les courants détectés par les trois récepteurs pour commander le débit général de l'ensemble ; le courant le plus intense provenant de l'antenne la plus favorisée sert de « seuil » pour empêcher le débit des autres récepteurs, et c'est lui qui est envoyé dans l'amplificateur final de sortie.

En somme, le dispositif de combinaison des courants détectés est analogue à une vanne à trois voies d'arrivée et une voie de départ, comportant un système de clapets tel que la voie d'arrivée dont la pression est la plus forte bloque les clapets des deux autres voies.

L'expérience a montré que l'utilisation de la réception multiple à deux récepteurs représentait une amélioration très considérable sur la réception normale à un récepteur. Lorsqu'on passe à la réception multiple à trois récepteurs, le fonctionnement est encore amélioré, mais le progrès est nettement moins marqué que lorsqu'on passe d'un récepteur à deux.

Lorsque les récepteurs d'un ensemble « diversity » sont bien réglés, chacun à tour de rôle doit devenir prédominant. Si l'on dispose sur chacun d'eux un milliampère-mètre mesurant le courant détecté, on verra les aiguilles de ces appareils retomber à zéro à tour de rôle.

Si l'un d'eux reste toujours à zéro, on

est averti par cela même que le récepteur correspondant est en panne ou que ses aériens sont défectueux, car il est impossible, si tout est normal, qu'il ne soit jamais appelé à devenir l'élément prépondérant au cours d'une période d'une certaine durée. On pourra d'ailleurs, en commutant les arrivées des aériens sur les divers récepteurs, vérifier si la panne provient des aériens ou du récepteur incriminé. Cette méthode simple de vérification est en service au centre de réception que l'Administration française des P.T.T. exploite à Noisieu.

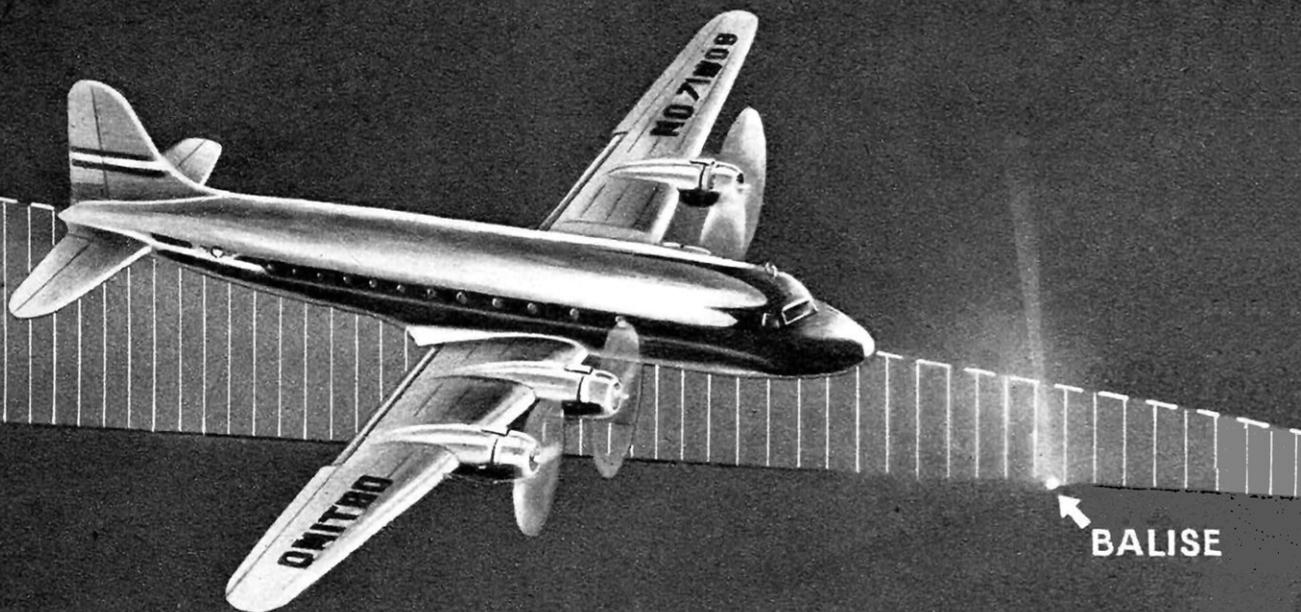
La régularité du trafic étant primordiale dans l'exploitation d'un service public, on conçoit tout l'intérêt que présente la réception multiple dans un centre de télécommunications.

* * *

Dans les pages précédentes, nous avons essayé de faire comprendre, aussi simplement que possible, les principes de certains dispositifs qui sont quotidiennement utilisés dans les centres modernes de télécommunications.

La description détaillée des matériels eux-mêmes aurait permis de voir la complexité réelle des problèmes pratiques et de mettre en lumière l'ingéniosité et l'imagination des chercheurs qui les ont résolus.

Nous espérons toutefois avoir pu montrer à travers ce trop bref exposé, toute la souplesse, la richesse et l'efficacité des moyens dont dispose le monde moderne pour satisfaire ce besoin naturel qu'a l'homme de transmettre au loin sa pensée par les voies les plus rapides.



LA RADIO

à bord de l'avion, du navire et des véhicules terrestres

par Raymond HERMANN

Ingénieur E.S.E.

Dès son apparition, la radioélectricité a été une auxiliaire inappréciable pour les engins mobiles ; son rôle n'a fait que grandir jusqu'à devenir essentiel. Du bateau de pêche au transatlantique, de l'avion de tourisme au gros multimoteur, du train à l'automobile de police ou à la voiture particulière, tous les engins mobiles demandent à la radio la sécurité, la régularité, l'efficacité, ou simplement la commodité. Mais leurs besoins ne sont pas aisés à satisfaire. Il faut réduire le poids, l'encombrement, la puissance consommée, n'utiliser que des antennes de dimensions compatibles avec les exigences du bord, résister à l'humidité, aux vibrations et aux chocs, fonctionner sans défaillance au voisinage immédiat de sources intenses de parasites. La sévérité de ces exigences fait du matériel radioélectrique mobile une classe d'équipements très caractéristique des possibilités de la technique la plus moderne.

LA RADIO ET L'AÉRONAUTIQUE

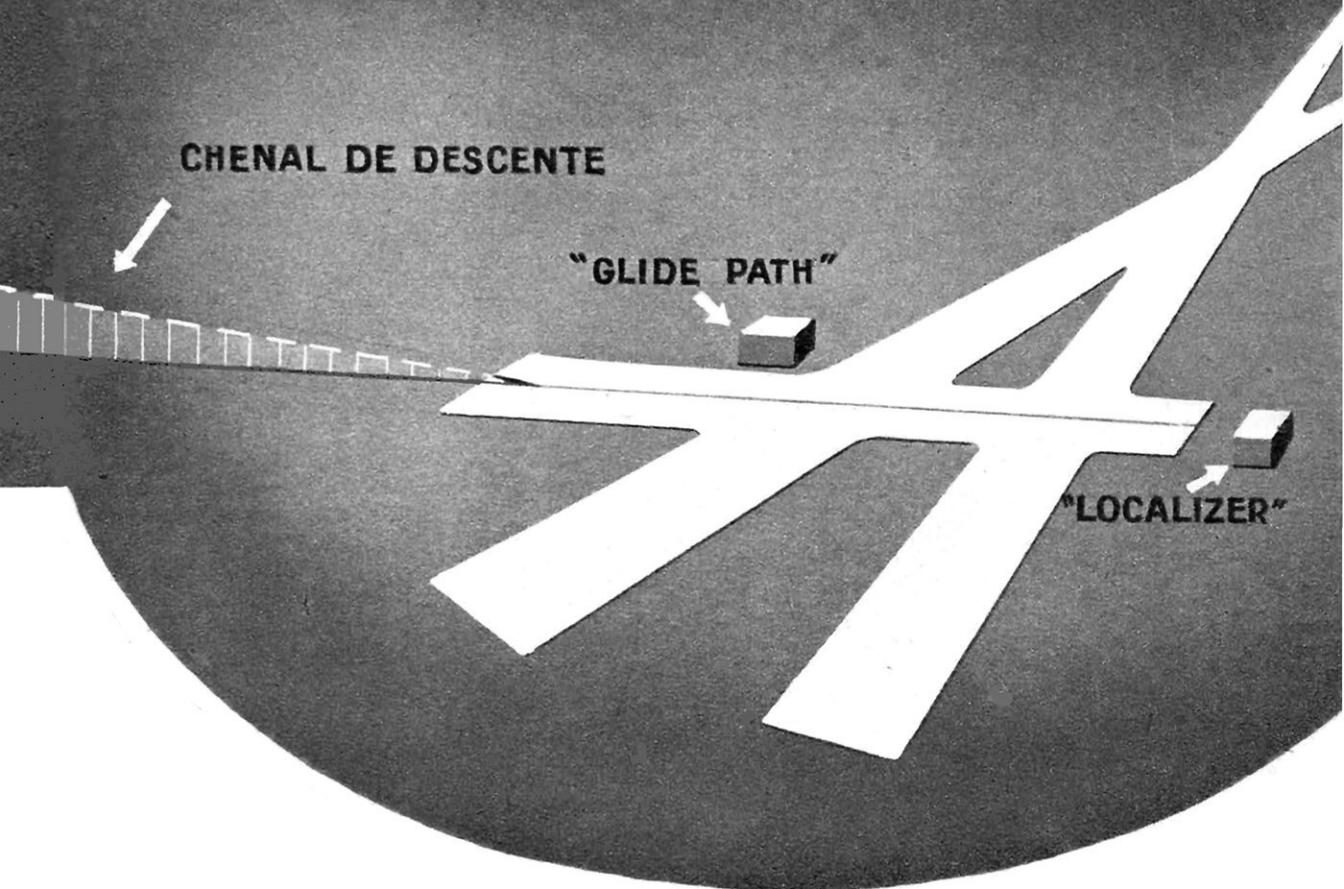
L'EQUIPEMENT radioélectrique des avions leur donne la possibilité :
— d'échanger des messages radiotélégraphiques ou radiotéléphoniques (signaux de détresse, renseignements météorologiques, avis divers concernant le trafic aérien, messages administratifs des avions commerciaux et liaisons tactiques des avions militaires) ;

- de résoudre sans visibilité les problèmes de la navigation : faire le point et tenir le cap ;
- de mesurer leur altitude ;
- d'atterrir sans visibilité (1).

Cet équipement est complémentaire de celui de l'infrastructure : plus on donne d'importance à l'équipement de l'infrastructure, plus la tâche de l'équipage se trouve facilitée ; la tendance actuelle consiste à mettre à la disposition immédiate du pilote,

(1) Les applications aéronautiques du radar sont exposées par ailleurs.

Disposition des émetteurs radioélectriques matérialisant la trajectoire correcte de descente, en direction (localizer) et en hauteur (glide path), pour l'atterrissage sans visibilité.



sous une forme très claire, auditive ou visuelle, le maximum des renseignements qui lui sont nécessaires : à la limite, l'automatisme que l'on cherche à atteindre aboutit à la télécommande, et au vol sans pilote.

Le matériel de bord doit satisfaire à des exigences très sévères.

Au point de vue mécanique, il faut résister à des vibrations intenses et à des accélérations qui peuvent être considérables. Dans un avion de chasse, ou au centre d'un bombardier multimoteur, les vibrations sont telles que le seuil douloureux de la sensibilité auditive peut être atteint. On combat les vibrations par des amortisseurs. Les accélérations auxquelles sont soumis les appareils varient très largement avec l'avion sur lequel on les installe : elles vont de 0,3 à 0,5 g au cours d'un décollage normal à des valeurs de 7 à 9 g sur les appareils de chasse, dépassant ainsi la limite de 6 g au delà de laquelle le pilote perd le plein usage de ses facultés. Elles peuvent se manifester dans toutes les directions et tendent à augmenter d'intensité avec l'accroissement des vitesses et l'adoption de la télécommande, car le robot résiste mieux que l'homme à leurs effets. Les équipements radioélectriques doivent avoir une résistance

largement calculée ; les fixations, qui s'opposent en toutes circonstances à la chute du matériel sur l'équipage, sont prévues pour des accélérations qui pourraient atteindre 25 g : la destruction interne précéderait l'arrachement.

Un avion à plafond élevé et à grand rayon d'action rencontre des conditions très variées de *température* et de *pression*. A une altitude de 15 km, la température est de -56°C et la pression de 1/9 d'atmosphère. Un avion qui doit subir ces conditions doit aussi pouvoir supporter une atmosphère tropicale saturée d'humidité, ou subir des tempêtes de sable. Pour résister à des épreuves aussi variées on enferme le matériel dans des boîtes étanches, mais son poids en est augmenté et les connexions électriques à travers des parois étanches sont difficiles à réaliser; on peut aussi chercher, et c'est la tendance actuelle, à imposer à chaque élément de fonctionner dans des conditions très sévères de température et de pression. Les pièces qui ne peuvent se plier à ces exigences doivent être éliminées.

Quand la pression atmosphérique diminue, la rigidité diélectrique de l'air baisse sensi-

INSTALLATION TYPE DES ANTENNES A BORD D'UN AVION DE TRANSPORT LÉGER

Antenne de réception du radiophare

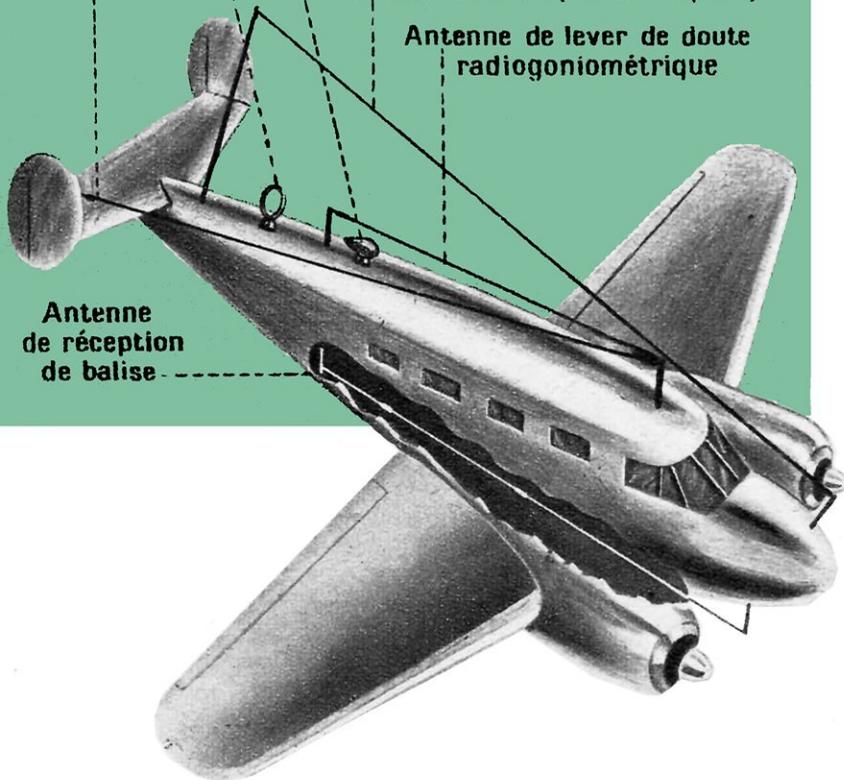
Cadre radiogoniométrique blindé

Cadre du radiocompas

Antenne de trafic (ém. et réception)

Antenne de lever de doute
radiogoniométrique

Antenne
de réception
de balise



blement ; une réduction de pression de 76 cm à 13 cm de mercure (du sol à une altitude de 12 800 m) fait tomber de 80 % le potentiel disruptif. Cet effet de la chute de pression n'est compensé que dans une faible mesure par l'effet inverse de la diminution de la température. L'altitude favorise donc l'apparition de décharges intempestives, et notamment d'effluves sur les aériens : pendant les émissions, la puissance des émetteurs de bord ne peut être poussée à des valeurs élevées.

Même en l'absence d'émission, des effluves peuvent se manifester sur l'avion par suite du frottement de l'air ou de l'entrée dans un nuage ionisé, qui peuvent le porter à un potentiel électrostatique très élevé. On cherche parfois à faciliter par des pointes l'écoulement progressif des charges. On relie avec soin, par des conducteurs courts et de forte section, la totalité des pièces métalliques pour éviter les étincelles : cette opération constitue la *métallisation*. Lorsque des pièces ne peuvent être reliées métalliquement, on les isole avec soin.

Le circuit d'allumage des moteurs à explosions et les équipements électriques de bord

sont une autre source de parasites. Ils fonctionnent comme de véritables émetteurs d'ondes amorties à front très raide et peuvent attaquer par induction les circuits voisins qui oscillent à leur tour sur leur fréquence propre. Ces phénomènes ont une grande ampleur : les tensions mises en jeu sont comprises entre 3 000 et 12 000 volts et l'intensité du courant de pointe dépasse aisément 100 A. La décharge est oscillante, sa durée est de l'ordre du millionième de seconde ; la fréquence propre est normalement comprise entre 30 et 50 Mc (longueur d'onde comprise entre 10 m et 6 m).

Pour éliminer les parasites produits par ces décharges, le plus simple est d'intercaler des résistances dans les circuits d'allumage ; les résultats, quoique irréguliers, sont généralement satisfaisants du point de vue radioélectrique. Mais il en résulte une réduction de puissance et une augmentation de consommation qui, quoique modérées, sont indésirables sur un avion. On doit donc blinder effi-

cacement l'ensemble des circuits susceptibles de rayonner.

L'obligation d'installer les antennes à l'extérieur pose des problèmes aérodynamiques difficiles. L'émission sur ondes moyennes exige, pour avoir un bon rendement, un aérien développé ; pour les avions à vitesse modérée, on utilise un câble d'une centaine de mètres, enroulable sur un rouet et lesté à sa partie inférieure par un poids dont la forme s'oppose au vrillage ; l'opérateur enroule ou déroule le câble selon les besoins. Pour des avions plus rapides, une telle antenne est inadmissible, et on emploie des antennes fixes attachées à des mâtereaux ou aux extrémités d'ailes (ci-dessus). Sur les avions de chasse, les communications radioélectriques s'exécutent uniquement sur les ondes très courtes, avec des antennes aérodynamiques en forme de sabre. Enfin, sur les avions les plus rapides, il sera nécessaire de rendre ces antennes escamotables ; on cherche aussi à faire rayonner directement les ailes, mais sans être encore parvenu à des résultats très satisfaisants.

Les appareils ne trouvent pas à l'intérieur une hospitalité beaucoup plus large. Le poids

et l'encombrement sont étroitement mesurés ; pour faciliter l'installation, le matériel est scindé en unités distinctes, reliées par des câblages ; l'opérateur ne peut conserver à porter de sa main tous les éléments qui doivent subir des manœuvres ; on fait un très large usage des commandes à distance. Certaines sont faciles à établir : l'ouverture ou la fermeture d'un circuit peuvent se contrôler par un relais, mais il est parfois nécessaire d'effectuer à distance un réglage précis, l'accord d'un récepteur par exemple. La commande doit alors pouvoir se faire de façon continue, à 1/4 de degré près. Les commandes mécaniques souples, genre bowden, ne sauraient convenir dès que la distance dépasse quelques mètres et qu'elles doivent subir des courbures importantes ; en outre, leur frottement devient excessif aux basses températures. On a donc étudié des commandes électriques ; la solution la plus répandue est l'emploi des « selsyns » qui permettent d'assujettir avec la précision nécessaire et de façon instantanée les déplacements d'un rotor à ceux d'un autre rotor.

ÉQUIPEMENT DE BORD POUR TÉLÉCOMMUNICATIONS

De façon générale les communications à grande distance s'établissent sur ondes courtes, les communications à distance modérée sur ondes moyennes, et les commu-

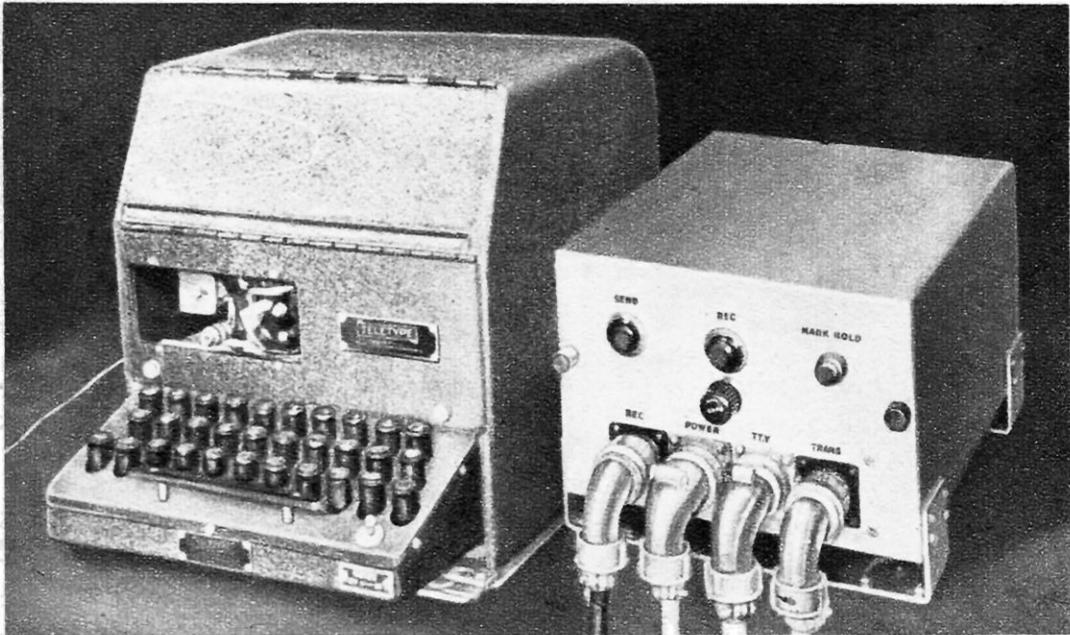
nications à faible distance sur ondes très courtes. Les trois classes correspondantes d'émetteurs et de récepteurs coexistent à bord des avions qui ont des besoins importants : les équipements à ondes courtes ou à ondes moyennes peuvent posséder des éléments communs, les techniques mises en jeu et les puissances d'émission étant comparables. En revanche les équipements à ondes très courtes forment une classe de matériel spécial.

On peut utiliser comme récepteur de trafic à ondes moyennes le radiogoniomètre que nous décrirons plus loin.

Les émetteurs usuels à ondes courtes et moyennes absorbent des puissances de 200 à 900 watts et fournissent à l'antenne une puissance comprise entre 20 et 100 watts. Le trafic exige des gammes de fréquence étendues : de 200 à 600 kc et au delà en ondes moyennes (longueur d'onde comprise entre 1 500 et 500 m) de 3 à 20 Mc et au delà en ondes courtes (longueur d'onde de 100 m à 15 m).

On voit que le rapport des fréquences extrêmes en ondes courtes est souvent supérieur à 6 ; le passage d'une onde de trafic à une onde très écartée nécessite pour chaque circuit des opérations complexes.

À bord des avions, comme d'ailleurs à bord des navires, on s'efforce de simplifier le maniement des appareils radio. Pour cela on repère à l'avance un certain nombre de réglages correspondant aux ondes de trafic



TÉLÉTYPE INSTALLÉ A BORD D'UN AVION POUR LA RÉCEPTION ET L'ÉMISSION DES MESSAGES EN VOL.

Les lettres du message sont converties à l'émission en signaux codés transmis par « glissement de fréquence ». Ces signaux sont convertis à la réception en impulsions qui actionnent le télétype imprimeur. La transmission de messages imprimés s'effectue dans les deux sens, du sol à l'avion et de l'avion au sol sans qu'aucune opération autre que la frappe des lettres soit nécessaire (Bell Telephone Laboratories).

usuelles, et on munit les boutons de manœuvre d'enclenchements, qui permettent de choisir instantanément un de ces réglages. La stabilité de chaque fréquence est assurée par un oscillateur piézo qui entretient les oscillations d'un quartz, mais les fréquences préparées dans ces conditions ne peuvent être très nombreuses, et comme il est impossible de multiplier indéfiniment les quartz du « pilote » et les enclenchements de réglage, des solutions nouvelles et d'un haut intérêt sont en cours de développement pour les besoins de plus en plus larges de l'aviation militaire. C'est ainsi qu'un appareil britannique moderne à ondes très courtes comporte 336 canaux stabilisés par référence aux harmoniques d'un quartz. La technique des ondes de plus en plus courtes offrira de nouvelles possibilités par le développement du trafic duplex sur une seule fréquence en modulation d'impulsions.

Les postes émetteurs d'ondes courtes et d'ondes moyennes peuvent fonctionner en télégraphie à ondes pures ou à ondes modulées, ou en téléphonie. La télégraphie peut être réalisée en vue de l'écoute entre chaque émission de signal Morse ; la manipulation se fait alors sur le « pilote ». Pour le trafic normal on manipule l'étage intermédiaire ou l'étage de sortie en laissant le « pilote » osciller en permanence. En téléphonie, la modulation est appliquée à l'étage de sortie. On peut employer des microphones électrodynamiques ou à quartz, isolés des bruits ambiants par des cornets de caoutchouc, ou des laryngophones qui s'appliquent à la gorge de l'opérateur en laissant ses lèvres libres.

Lorsque l'opérateur doit être muni d'un masque inhalateur, pour les vols à haute altitude, le microphone peut être placé au fond du masque.

Les récepteurs de bord, pour ondes courtes et ondes moyennes, en dehors des précautions qu'exige l'emploi aéronautique, sont comparables aux appareils terrestres. L'audition se fait au casque avec des écouteurs à monture de caoutchouc qui isolent l'opérateur des bruits extérieurs.

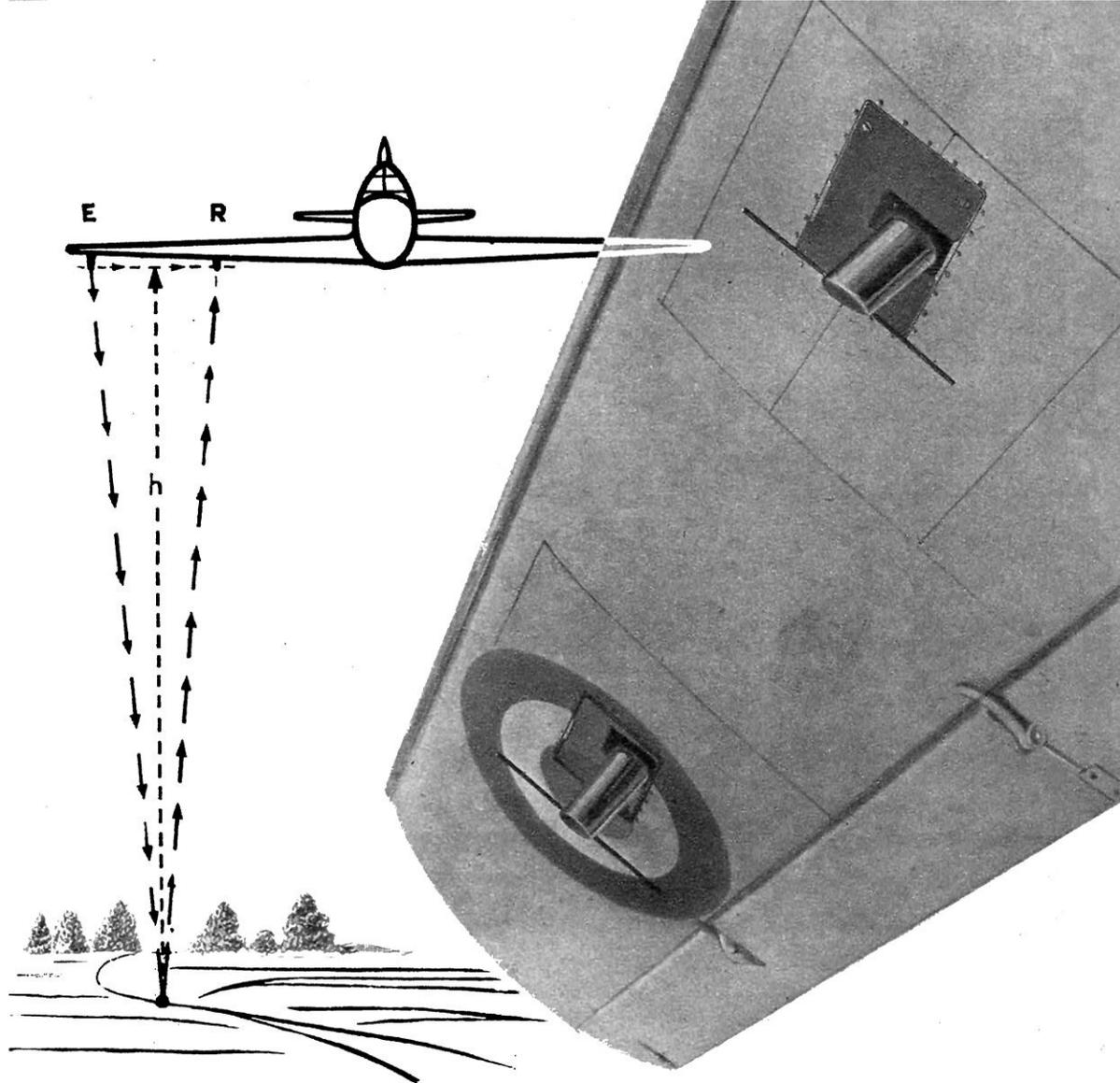
Les équipements à très haute fréquence (fonctionnant sur ondes métriques) sont utilisés exclusivement en radiotéléphonie, ou pour l'échange de signaux automatiques à la disposition immédiate du pilote. La liaison s'établit aisément à plus de 100 km, avec des puissances très faibles de l'ordre de 5 watts et une antenne de dimensions très réduites.

Les ondes très courtes adoptées par l'aviation de chasse dès que la technique a rendu leur emploi possible, voient leur emploi s'étendre sans cesse. Elles constituent la solution idéale pour les communications entre l'avion et les points fixes à proximité, et en particulier les tours de contrôle des aéroports, pour les communications des avions entre eux ou avec des navires ; elles répondent pleinement aux besoins de l'aviation d'observation ou de reconnaissance à faible distance.

Le pilote d'un avion civil doit, sur un parcours international, pouvoir communiquer avec les tours de contrôle de tous les aéroports de son itinéraire. Comme la diversité des langues fait obstacle à l'emploi de la téléphonie, on a prévu pour les appareils de proximité la possibilité de transmettre des



RADIOGONIOMÈTRE SANS « EFFET DE NUIT » FONCTIONNANT ENTRE 2 à 15 Mc.
Cet appareil « tropicalisé » fonctionne entre -20° et $+45^{\circ}$ par 90 % d'humidité (Sadir-Carpentier).



LA MESURE DE L'ALTITUDE D'UN AVION AU-DESSUS DU SOL PAR UN SONDEUR RADIOÉLECTRIQUE

Le récepteur reçoit à la fois l'émission directe et l'émission réfléchi sur le sol. Cette émission étant modulée linéairement en fréquence, en fonction du temps, on obtient par interférence des battements dont la fréquence mesure la durée du trajet de l'onde réfléchi et par suite l'altitude de l'avion. On voit ici, monté sur une aile d'avion, le sondeur radioélectrique « Aviasol » (S.F.R.) à modulation de fréquence : à gauche, vers l'extrémité de l'aile, l'antenne émettrice, à droite, vers la mi-aile, l'antenne réceptrice.

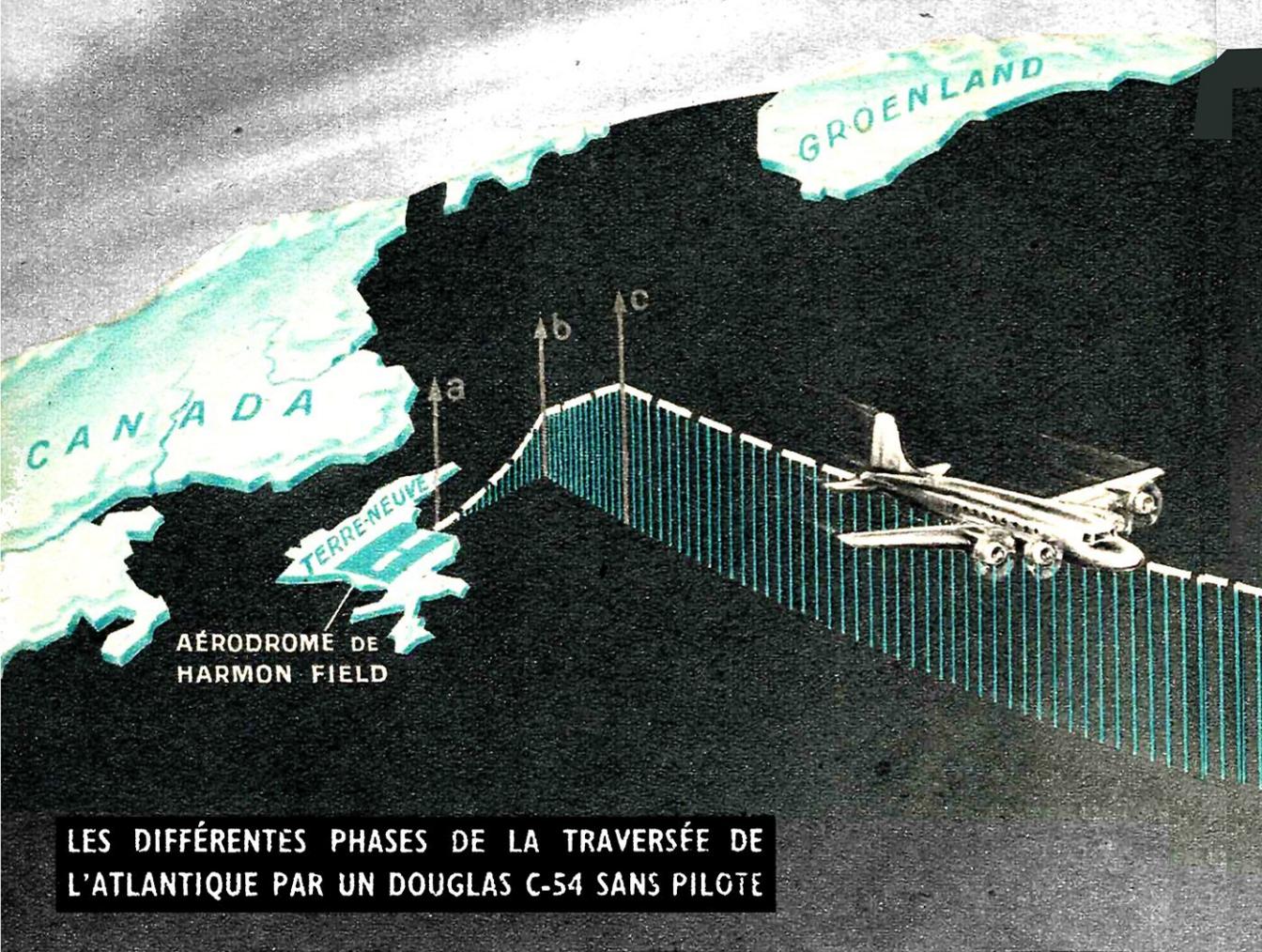
messages visuels conventionnels. Le circuit de sortie du récepteur de bord est relié à 6 tambours indépendants juxtaposés ; chacun porte des caractères sur une couronne, et des impulsions le mettent en rotation comme un sélecteur de téléphone automatique, en composant un idéogramme conventionnel. Ce n'est pas là le seul type de communication automatique qui puisse être mis à la disposition des avions : des téléimprimeurs, de poids et d'encombrement réduits, mais de clavier normal, ont été réalisés pour s'adapter au matériel radioélectrique de bord ; l'envoi et la réception en fac-similé d'un texte ou d'un croquis sont également possibles. Notons enfin que des équipements spéciaux de télévision ont été réalisés pour l'aviation ; ils

n'ont pas encore dépassé de beaucoup le stade expérimental, mais permettent à l'avion de reconnaissance et d'observation de jouer le rôle d'un transmetteur intégral et instantané.

LES ÉQUIPEMENTS DE BORD POUR LE RADIOGUIDAGE

Le radioguidage fait appel à des procédés variés : radiogoniométrie, détermination d'axes par radiophares, mesure de distances, mesure de différences de distances.

Les radiogoniomètres permettent de déterminer la direction d'un poste émetteur ; ils emploient un cadre orientable dont la récep-



LES DIFFÉRENTES PHASES DE LA TRAVERSÉE DE L'ATLANTIQUE PAR UN DOUGLAS C-54 SANS PILOTE

tion s'annule lorsque son plan est perpendiculaire à la direction de l'émetteur. On ignore alors si l'émetteur est en avant ou en arrière, mais la combinaison d'une antenne avec le cadre permet de lever cette indétermination.

La radiogoniométrie s'emploie sous plusieurs formes. Dans la première, les goniomètres sont installés au sol ; trois ou quatre d'entre eux relèvent une émission de l'avion ; une station directrice rassemble les résultats, en déduit le point de l'avion et le lui communique par radio. Aucun équipement spécial n'est nécessaire à bord : l'émetteur-récepteur de trafic sur ondes moyennes suffit aux opérations.

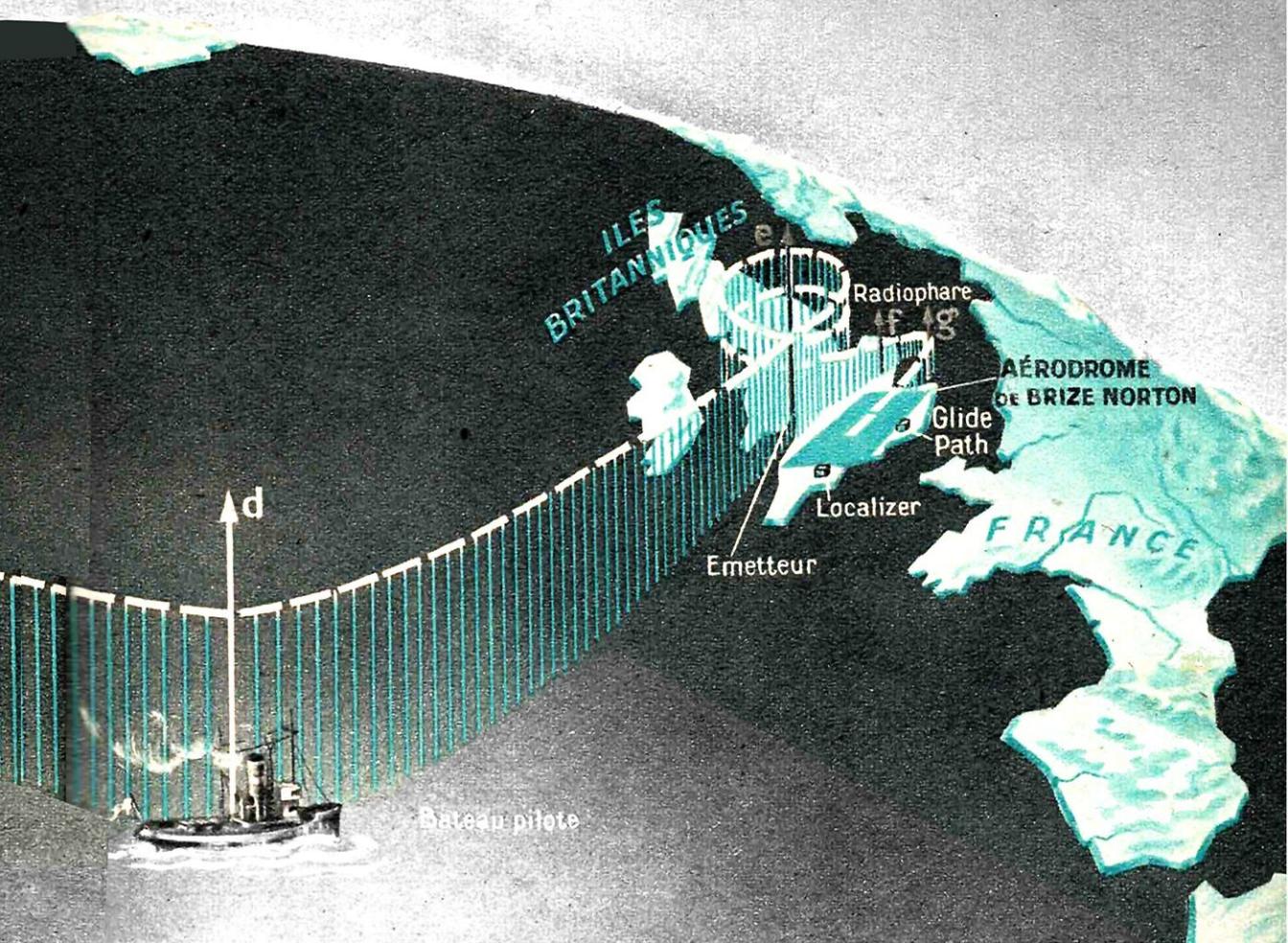
Dans une seconde version de la méthode, l'avion est lui-même pourvu d'un radiogoniomètre ; il peut déterminer la direction de plusieurs émetteurs terrestres et en déduire son point. Le radiogoniomètre de bord permet également de tenir le cap sur un émetteur : il suffit d'orienter le cadre en croix avec l'axe de l'avion, et de naviguer en maintenant l'écoute à l'extinction ; cette méthode de navigation s'appelle le *homing*.

On a créé, sous le nom de radiocompas, des radiogoniomètres automatiques, qui indiquent directement le gisement de l'émetteur écouté.

Dans le radio compas Radio L.L., ce

résultat est atteint en faisant tourner le cadre à 10 t/s au moyen d'un petit moteur électrique ; deux fois par tour, la réception passe successivement par un maximum et par un minimum ; le courant à la sortie est donc un courant périodique de fréquence 20. La phase de ce courant est liée à la direction de l'émetteur par rapport à l'axe de l'avion. Un petit alternateur diphasé, entraîné par le moteur de rotation du cadre, fournit un courant de fréquence 20 qui définit une origine des phases. Un phasemètre mesure le déphasage des deux courants et détermine ainsi les positions du cadre qui correspondent à l'extinction. Des dispositifs auxiliaires permettent la lecture directe du gisement de l'émetteur par rapport au nord ; des indicateurs lèvent l'indétermination de 180°.

Quels que soient les services que la radiogoniométrie a rendus et rend encore, ses possibilités sont limitées : avec les radiogoniomètres à cadre, seuls utilisables sur avion, toute mesure peut devenir impossible lorsqu'une onde réfléchie importante se manifeste. De bons résultats ne sont donc fournis à bord d'avion que par les ondes longues, ou par les ondes moyennes pendant le jour, à condition que les émetteurs écoutés soient puissants et qu'ils soient régulièrement répartis autour du point d'observation. Au



sol, on peut employer des radiogoniomètres à antennes verticales (système *adcock*) qui évitent les « effets de nuit » dus aux ondes réfléchies, mais il ne peut exister partout des réseaux de radiogoniomètres fixes. Dans tous les cas, le point n'est obtenu qu'après plusieurs opérations ; il n'y a ni automatisme ni instantanéité. Le radiocompas ne fournit d'indications entièrement automatiques que dans la navigation en « homing ».

Les radiophares offrent des possibilités de guidage automatique sur un axe ; ce sont des équipements fixes qui émettent sur les ondes de trafic ordinaire des signaux Morse complémentaires (par exemple A : — — et N : — —) dans les quadrants contigus ; sur l'axe qui sépare les quadrants, l'écouteur reçoit un son continu ; selon que l'écoute se fait à gauche ou à droite de l'axe, on perçoit l'un ou l'autre des signaux complémentaires. Mais le repérage d'une route aérienne rectiligne, s'il rend de précieux services, n'est qu'une solution très partielle du problème de la navigation.

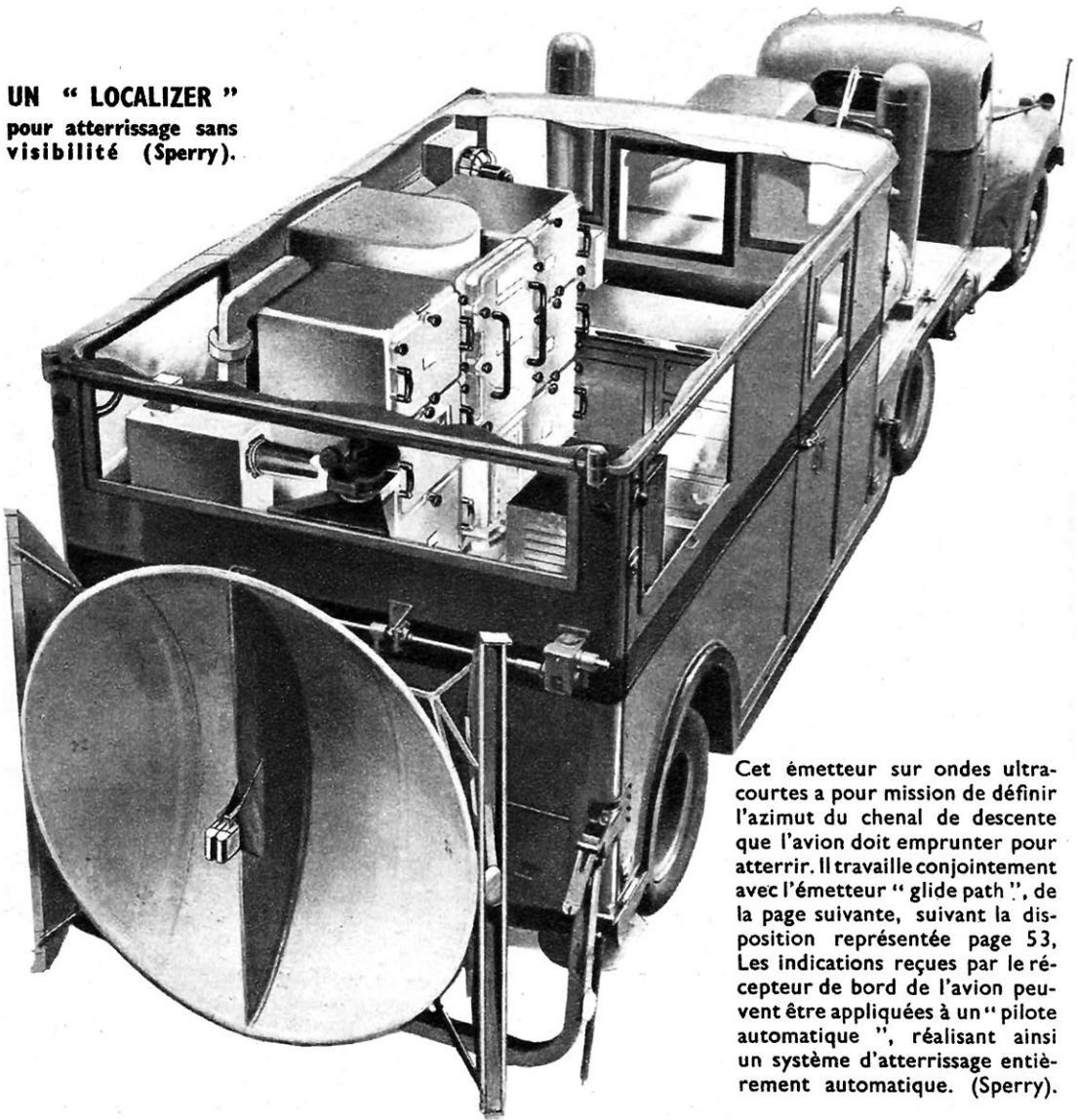
De nouvelles méthodes ont été élaborées au cours des dernières années, en grande partie sous l'influence des vols transocéaniques et des opérations aériennes sur territoire ennemi. Elles sont fondées sur la mesure de la différence des distances qui séparent

l'avion de deux postes émetteurs. Lorsque cette différence est connue, on sait que l'avion se trouve sur une hyperbole qui a les deux émetteurs pour foyer. Si la mesure est répétée sur un autre couple d'émetteurs, l'intersection de deux hyperboles sur des cartes spéciales donne le point de l'avion.

Dans les systèmes « Gee » et « Loran », les couples d'émetteurs envoient des impulsions synchronisées. L'avion muni d'un récepteur comportant un oscilloscope mesure l'écart des impulsions reçues, et par suite la différence des trajets. Le système Gee fonctionne sur ondes métriques et donne de bons résultats pour les avions qui sont dans la portée optique des émetteurs ; le système Loran fonctionne vers 1,7 Mc (170 m), et donne de grandes portées sur mer. La nuit, il faut se prémunir contre les observations d'impulsions provenant d'ondes réfléchies.

Un autre système hyperbolique, le système « Decca », apporte des améliorations substantielles : l'avion mesure le déphasage de deux ondes entretenues à émission continue. La fréquence est de l'ordre de 100 kc : elle assure une grande portée de jour et de nuit. La précision est considérable. Les installations au sol sont relativement simples, et le récepteur de bord entièrement pré-régulé et d'un encombrement modeste.

UN " LOCALIZER "
pour atterrissage sans
visibilité (Sperry).



Cet émetteur sur ondes ultra-courtes a pour mission de définir l'azimut du chenal de descente que l'avion doit emprunter pour atterrir. Il travaille conjointement avec l'émetteur " glide path ", de la page suivante, suivant la disposition représentée page 53. Les indications reçues par le récepteur de bord de l'avion peuvent être appliquées à un " pilote automatique ", réalisant ainsi un système d'atterrissage entièrement automatique. (Sperry).

Une infrastructure Decca comprend un émetteur central et trois émetteurs disposés en étoile à une centaine de kilomètres du poste central et dont chacun détermine avec l'émetteur un réseau d'hyperboles.

Les émetteurs synchronisés ne fonctionnent pas sur la même fréquence, ce qui rendrait leur réception simultanée et distincte impossible par le récepteur du bord. La synchronisation est réalisée sur un multiple commun des fréquences. Quand la différence de trajet est égale à une longueur d'onde, le déphasage est nul. Des compteurs d'hyperboles avancent d'une unité chaque fois que le phasemètre fait un tour complet, ce qui correspond à un déphasage de 360°.

Le calage initial est fait au départ, mais l'identification est possible en vol. L'équipement de bord comprend, outre le récepteur spécial à 4 entrées, 3 indicateurs (un pour chaque réseau d'hyperboles) comportant chacun un phasemètre et un compteur d'hyperboles, et en outre un identificateur d'hyperboles.

LES ALTIMÈTRES RADIOÉLECTRIQUES

La connaissance de l'altitude est indispensable par mauvaise visibilité, en cours de navigation et lors de l'atterrissage. L'altimètre anéroïde qui utilise la variation de la pression atmosphérique en fonction de l'altitude n'est utilisable avec sécurité que si l'on peut communiquer avec une station météorologique assez proche et si l'on connaît assez bien le point de survol, et par conséquent la dénivellation entre ce point et la station de réglage. Ces conditions ne peuvent être toujours remplies.

La radioélectricité permet la mesure directe de l'altitude au-dessus du sol par la détermination du temps nécessaire à une onde, émise par l'avion, pour revenir jusqu'à lui après s'être réfléchi sur le sol.

Dans le système « Aviasol », l'avion engendre des ondes modulées en fréquence ;

une fréquence émise de façon continue varie linéairement avec le temps grâce à la rotation d'un condensateur variable ; l'onde qui va se réfléchir sur le sol revient à l'avion avec la fréquence qu'elle possédait lorsqu'elle a été émise ; mais pendant son trajet la fréquence engendrée par l'appareil a varié, et la mesure de l'écart est proportionnelle au temps, donc à l'altitude ; le fréquencesmètre qui mesure l'écart entre les deux fréquences peut donc être gradué directement en mètres d'altitude vraie au-dessus du sol.

L'ATTERRISSAGE SANS VISIBILITÉ

Il est essentiel, aussi bien pour la régularité et la sécurité des avions commerciaux que pour les besoins militaires, que l'atterrissage puisse s'effectuer par temps de brume, ou lorsque le plafond est très bas. L'avion doit être guidé sur un axe d'atterrissage, et régler son altitude tout au long de l'axe de manière à prendre un contact normal avec la piste.

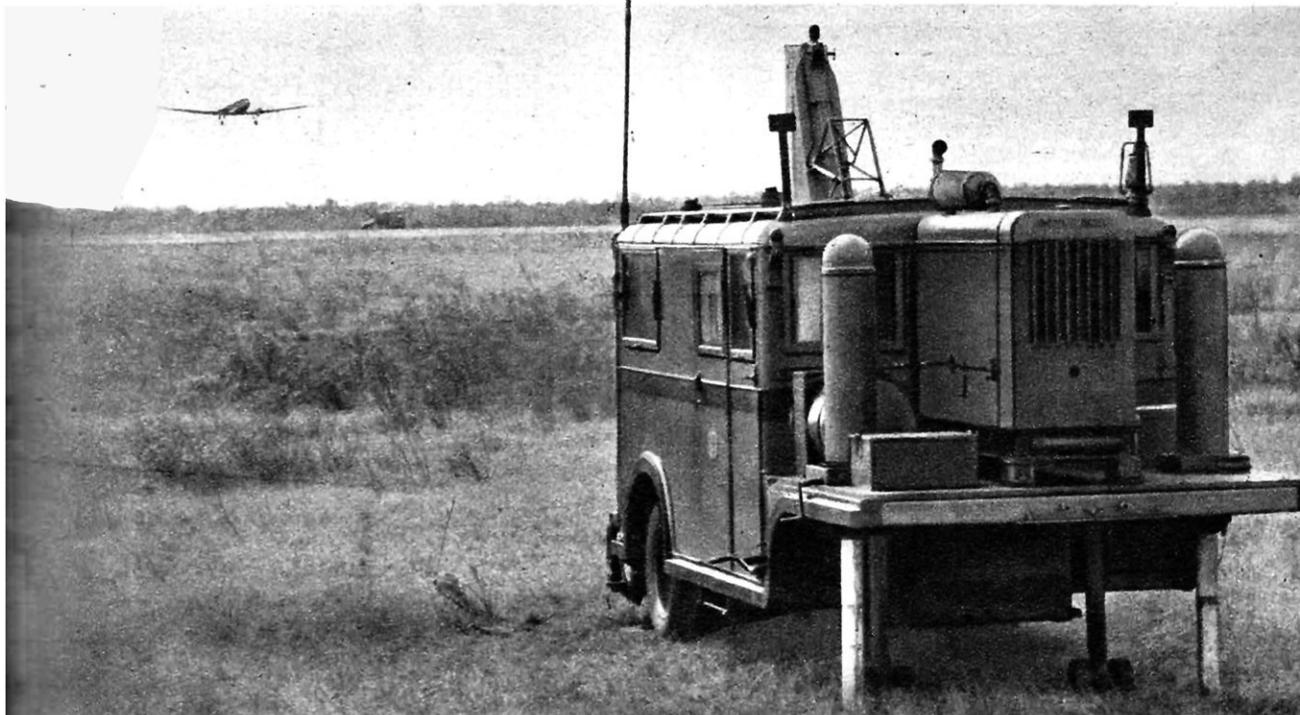
On a fait initialement appel à un radiogoniomètre, placé sur l'axe d'atterrissage, à 500 m environ de l'aérodrome. Dans le procédé « ZZ », le goniomètre dirige tout d'abord l'avion vers lui, puis lorsqu'il est directement survolé, il envoie l'avion vers l'extérieur de l'aérodrome et l'oriente vers l'axe d'atterrissage ; l'avion fait alors demi-tour en demeurant guidé le long de l'axe, descend progressivement, repère sa position exacte sur l'axe par l'indication qu'il survole

le goniomètre et, s'il en reçoit l'autorisation sous forme du signal « ZZ », se pose en cherchant à apercevoir les lampes jaunes qui balisent l'axe. Au cours de ces opérations, le radiogoniomètre indique toutes les 10 secondes environ le cap à tenir ; l'altitude est contrôlée par l'altimètre, réglé avant l'atterrissage d'après l'indication de la pression barométrique au sol.

Ce système, qui a rendu et rend encore de grands services, demande beaucoup aux qualités propres du pilote et de la station de radiogoniométrie ; la durée d'un atterrissage atteint aisément 15 minutes ; c'est beaucoup, surtout lorsque plusieurs avions désirent atterrir simultanément et que chacun doit attendre son tour pour regagner le sol.

Les systèmes modernes tendent vers un automatisme aussi poussé que possible. Dans le système américain, dit d'Indianapolis, qui a été employé largement pendant la guerre, l'axe d'atterrissage est indiqué de la manière suivante : un émetteur alimente un système d'aériens, qui provoque un double diagramme de rayonnement. A chaque diagramme correspond une fréquence de modulation, par exemple 90 et 150 cycles ; un indicateur visuel montre au pilote l'amplitude relative avec laquelle il reçoit les deux fréquences de modulation. S'il demeure sur l'axe, les deux fréquences sont reçues avec une égale amplitude. Les diagrammes de rayonnement ont une précision telle que le pilote détermine aisément un écart inférieur à 2°.

Les diagrammes de haute précision ne peuvent être obtenus, avec un encombrement



L'émetteur « glide path » sur ondes ultracourtes matérialisant en hauteur le chenal de descente dans l'atterrissage sans visibilité (Sperry). L'appareil visible à l'arrière plan est un Douglas DC-3

raisonnable des antennes, qu'avec les ondes très courtes.

L'altitude que l'avion doit conserver sur l'axe d'atterrissage lui est transmise de façon analogue par un second jeu d'aériens qui définissent une courbe correspondant à une trajectoire d'atterrissage idéale : c'est une portion d'hyperbole tangente au sol.

A bord de l'avion deux index indiquent le guidage, l'un dans le plan horizontal, le second dans le plan vertical ; ces index sont en général groupés sous forme d'un indicateur à repères croisés.

L'automatisme des indicateurs permet de les faire agir sur un système de pilotage automatique et l'on peut penser que, dans un avenir relativement proche, l'atterrissage automatique deviendra de pratique courante.

La sécurité de l'atterrissage est accrue par trois balises radioélectriques, échelonnées le long de l'axe de l'atterrissage et dont chacune rayonne vers le zénith avec une fréquence de modulation caractéristique ; le passage sur chacune d'elles se traduit par l'allumage d'une lampe de signalisation de couleur caractéristique.

LE VOL SANS PILOTE

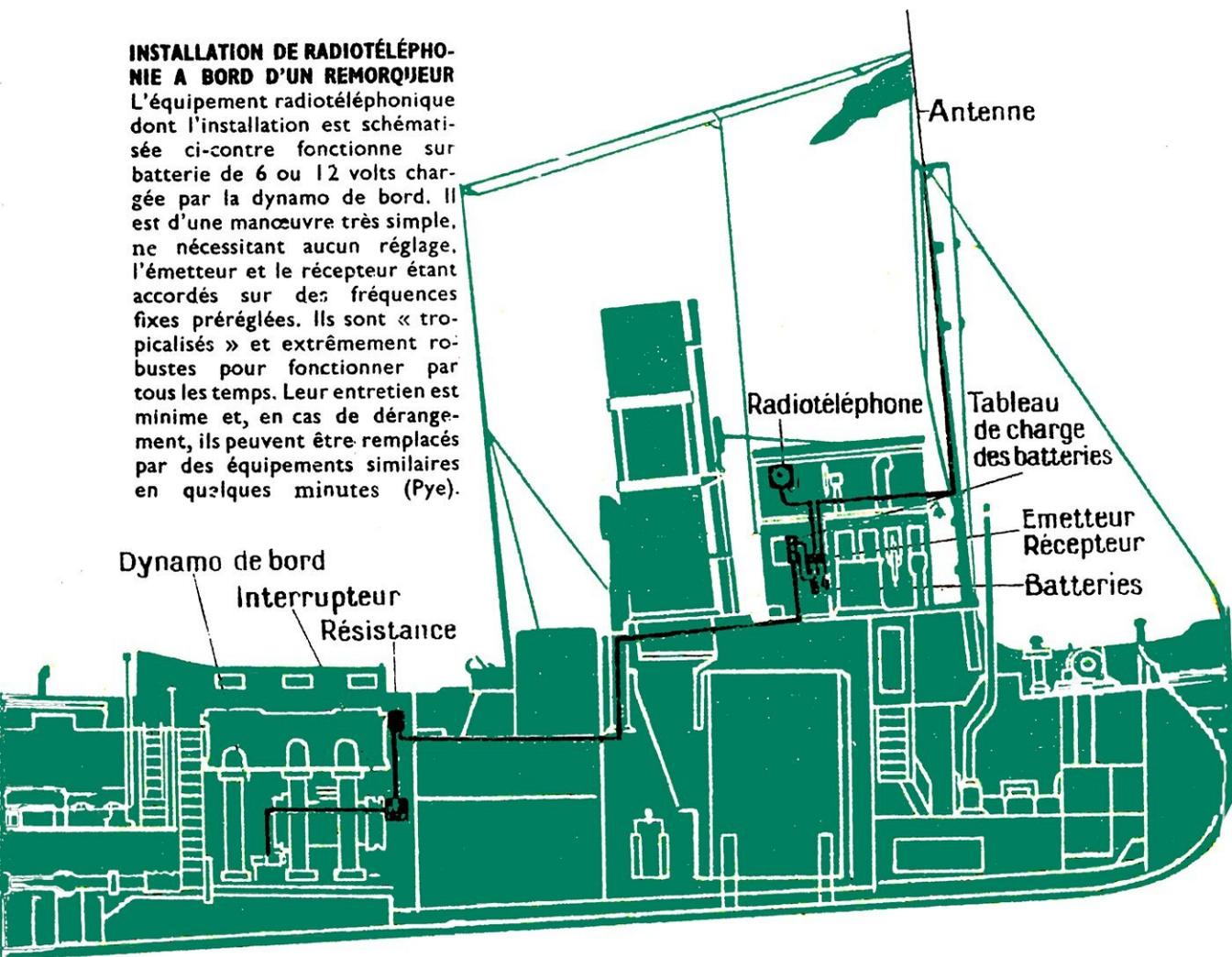
Le vol sans pilote constitue un développement nouveau et considérable du pilotage automatique, dans lequel un gyroscope maintient la ligne de vol fixée par le pilote, équippement qui ne fait qu'accessoirement appel à l'électronique. Il permet de faire effectuer un voyage complet à un avion de terrain à terrain, la seule intervention requise étant la manœuvre d'un bouton qui détermine l'envol, puis le déroulement automatique des opérations préparées. La fonction de la radioélectricité est prépondérante.

Des avions sans pilote ont été utilisés lors des expériences de Bikini ; plus récemment un quadrimoteur Douglas C-54 a traversé l'Atlantique sans intervention du pilote : l'équipage s'est borné à contrôler le fonctionnement des appareils.

La figure page 58 décrit les principales manœuvres automatiques qui ont permis ce vol transatlantique : envol de la piste d'Harmon Field à Terre-Neuve où le pilote appuie sur un bouton et cesse d'intervenir (a), montée jusqu'à 350 m et changement de cap (b) vers un navire garde-côte au milieu

INSTALLATION DE RADIOTÉLÉPHONIE A BORD D'UN REMORQUEUR

L'équipement radiotéléphonique dont l'installation est schématisée ci-contre fonctionne sur batterie de 6 ou 12 volts chargée par la dynamo de bord. Il est d'une manœuvre très simple, ne nécessitant aucun réglage, l'émetteur et le récepteur étant accordés sur des fréquences fixes pré réglées. Ils sont « tropicalisés » et extrêmement robustes pour fonctionner par tous les temps. Leur entretien est minime et, en cas de dérangement, ils peuvent être remplacés par des équipements similaires en quelques minutes (Pye).





INSTALLATION RADIOÉLECTRIQUE A BORD D'UN REMORQUEUR ANGLAIS (PYE TELECOMMUNICATIONS)

Elle permet au patron du remorqueur de se maintenir en liaison avec le bureau central de sa compagnie qui l'informe des mouvements des navires.

de l'Atlantique, montée jusqu'à 2 700 m (c) puis vol horizontal. Au-dessus du garde-côte (d) changement de cap vers un émetteur anglais (e). Le survol de cet émetteur amorce une descente en hélice jusqu'à 600 m et les manœuvres préliminaires à l'atterrissage. A 600 m d'altitude, l'avion se dirige vers l'aérodrome de Brize Norton (f) où il suit, toujours automatiquement, une trajectoire d'atterrissage indiquée suivant la méthode d'Indianapolis (g).

Les automates agissent essentiellement sur trois commandes principales : orientation à gauche ou à droite, montée ou descente, régime des moteurs.

Cette technique aura des applications nombreuses, à la fois dans les domaines militaire et civil.

LA RADIO ET LA MARINE DE COMMERCE

La marine, comme l'aviation, fait appel à de nombreux aspects de la radioélectricité pour résoudre ses problèmes de communications et de guidage. Les communications entre la terre et les navires de commerce sont assurées par des stations côtières, en télégraphie ou en téléphonie. La priorité est réservée au trafic de détresse. Les stations côtières assurent le trafic des télégrammes ou des communications téléphoniques ; elles diffusent des renseignements météorologiques

et des avis aux navigateurs. On emploie les ondes intermédiaires (100 à 200 m) pour les faibles distances, jusqu'à quelques centaines de kilomètres ; les ondes moyennes sont utilisées jusqu'à un millier de kilomètres ; les ondes courtes sont réservées aux communications lointaines.

Pour le guidage, les navires disposent de radiogoniomètres, et de son côté, l'organisation côtière comprend des stations radiogoniométriques et des radiophares. La marine peut utiliser comme l'aviation les nouveaux systèmes hyperboliques (Loran, Gee, Decca). Nous ne mentionnerons ici que pour mémoire les radars qui fournissent au guidage une importante contribution, et ces engins paradioélectriques que constituent les sondeurs à ultrasons, et qui, en déterminant les fonds, peuvent aider à faire le point. Les signaux horaires, émis par radio, permettent la détermination de la longitude, par comparaison avec le temps local au point de réception.

Le matériel radioélectrique maritime doit pouvoir supporter sans corrosion et sans moisissures une atmosphère chaude et saturée d'humidité, et les condensations que provoquent les écarts de température. Les matériaux sont donc choisis avec soin, et leur surface reçoit un traitement spécial.

Le matériel doit pouvoir fonctionner par grosse mer et supporter les chocs et les vibrations ; il doit donc être robuste, d'autant plus qu'en cas de panne, le matériel et le personnel qualifié peuvent faire défaut pour assurer une remise en état rapide. Comme le poids n'est pas limité impérativement, on en profite pour adopter de larges coefficients de sécurité.

Dans la marine marchande, les problèmes d'équipement sont très différents selon la classe des bâtiments. Les petits bâtiments (caboteurs, chalutiers, etc.) font un large emploi d'équipements radiotéléphoniques à ondes intermédiaires. Avec une puissance de 30 à 40 watts, on obtient des portées de plusieurs centaines de kilomètres : dix fois les portées qu'on atteindrait sur terre, car l'eau de mer, 500 ou 1 000 fois plus conductrice qu'une terre moyenne, favorise la propagation. La radiotéléphonie dispense d'un opérateur spécialisé, les réglages étant d'ailleurs rendus très simples. Trois ou quatre ondes sont préreperées et stabilisées, elles comprennent obligatoirement l'onde de 182 m réservée aux appels et aux signaux de détresse pour cette classe de navires.

Sur les bâtiments plus importants (longs courriers, bateaux de grande pêche, etc.) on fait appel aux ondes moyennes, entre 585 et 820 m (l'onde de 600 m est réservée aux appels et aux signaux de détresse). Lorsque des liaisons à grande distance sont nécessaires, on installe en outre un équipement à ondes courtes, fonctionnant sur les bandes réservées aux engins mobiles, au voisinage de 18 m, 24 m, 36 m, et 48 m. La puissance est com-

prise entre quelques centaines de watts et 1 kW en ondes moyennes ; elle peut être légèrement plus faible en ondes courtes.

Sur ces navires, le trafic se fait en télégraphie manuelle, en ondes entretenues pures ou modulées ; les ondes modulées sont employées de préférence pour l'émission des signaux de détresse ; de nombreux navires n'étant pas encore équipés de façon moderne ne pourraient capter les appels non modulés.

Les très grands navires de commerce, tels que les grands paquebots, sont pourvus d'équipements très importants, variables selon les besoins. On y trouve toujours plusieurs émetteurs-récepteurs à ondes moyennes et à ondes courtes, pour trafic télégraphique, en général manuel, mais parfois automatique ; de nombreux paquebots emploient des stations radiotéléphoniques qui permettent les communications avec les réseaux téléphoniques continentaux. Mais les liaisons radiotéléphoniques à caractère commercial, aussi bien d'ailleurs que la télégraphie automatique à grande vitesse, exigent une excellente propagation des ondes et une haute qualité de réception ; ces conditions sont souvent difficiles à remplir.

Les émetteurs-récepteurs des cargos et des paquebots ne sont pas fondamentalement différents des matériels terrestres ; ils s'en distinguent surtout par une plus grande robustesse et par une compacité plus poussée.

Parmi les matériels maritimes spéciaux, nous citerons les récepteurs d'auto-alarme. L'appel de détresse (S.O.S.), émis sur 600 m doit être toujours précédé d'un signal d'alarme comprenant 12 traits à émettre en 1 minute, à une cadence déterminée. Comme la veille n'est pas toujours assurée par un opérateur, on branche le circuit de sortie d'un récepteur sur un groupe de relais qui se ferment successivement à l'arrivée d'un signal d'alarme réglementaire. Une sonnerie retentit et le personnel alerté peut se porter à l'écoute de l'appel de détresse qui va suivre.

Pour le guidage, on fait un très large appel aux radiogoniomètres de bord, d'autant plus appréciés qu'ils permettent au navire de prendre ses propres responsabilités et de faire le point à sa guise : les réseaux radiométriques côtiers sont parfois indisponibles, notamment lorsque le brouillard multiplie les appels. Le radiogoniomètre permet la navigation en *homing* ; il détermine la direction des navires en détresse dont l'émetteur fonctionne encore, de même que, monté sur un navire en détresse, il peut amener à lui les bâtiments qui viennent à son aide. Le radiogoniomètre permet de faire le point sans révéler sa position à un ennemi éventuel, il peut aider à éviter les collisions d'après la direction et la variation de la force des signaux d'un autre navire. Il peut être utilisé comme récepteur de trafic, les propriétés directives de son aérien permettant l'élimination d'un brouilleur.

L'installation d'un radiogoniomètre à

bord d'un navire présente des difficultés importantes. La grande masse conductrice qu'offre la coque dévie les ondes de leur trajet normal, en les rapprochant de l'axe longitudinal du navire ; l'erreur parfois très importante qui en résulte est systématique, son relevé fournit la « courbe quadrantale d'erreurs ». Les lectures du radiogoniomètre sont corrigées d'après cette courbe. Parfois, pour simplifier l'exploitation, on introduit entre le cadre et le cadran un correcteur mécanique, sous forme d'une came taillée d'après la courbe d'erreurs, et on retrouve des lectures directes exactes. Parfois aussi on compense l'effet longitudinal du navire par un cadre fixe spécial qui provoque une erreur égale et de sens inverse.

Les superstructures métalliques (cheminées, drisses, etc.) rayonnent sous l'influence du champ électromagnétique ; leur rayonnement est déphasé de 90° sur le champ incident, et les extinctions n'ont plus la netteté nécessaire ; on compense cet effet à l'aide d'une antenne auxiliaire dont on oppose l'action à celle des rayonnements parasites ; on améliore ainsi le zéro. La même antenne auxiliaire sert également à lever le doute de 180°.

Les radiogoniomètres sont souvent installés sur la passerelle, et non au poste radio : ce sont en effet essentiellement des appareils de navigation, mais dont l'emploi exige la connaissance de l'alphabet Morse.

LA RADIO ET LA MARINE DE GUERRE

Il va de soi que les progrès techniques les plus importants, dans le domaine des transmissions maritimes, ont porté essentiellement, au cours des dernières années, sur les navires de guerre qui, de loin, posent les problèmes les plus ardu.

Il est essentiel que les émissions échappent autant que possible à l'ennemi, auquel elles livreraient des renseignements précieux : la radiogoniométrie adverse indiquerait la situation du navire, le texte du télégramme serait intercepté. L'importance militaire de ces renseignements est telle que des centres d'écoute, reliés à des radiogoniomètres, surveillent en permanence le trafic ; le contrôle est rendu très efficace par l'emploi des récepteurs panoramiques qui fournissent sur un oscilloscope l'indication visuelle de toutes les émissions réalisées dans une bande assez importante, large de 100 kc environ. Un opérateur exercé reconnaît rapidement une émission suspecte, se porte à son écoute, fait procéder au relèvement radiogoniométrique, enregistre le message. Si l'émission a été trop brève, la fréquence suspecte fait l'objet d'un contrôle ultérieur permanent. L'écran de l'oscilloscope peut être filmé, en vue d'une analyse approfondie.



LE POSTE ÉMETTEUR-RÉCEPTEUR DE 40 W S.A.R.A.M., 5-25 POUR NAVIRES DE FAIBLE TONNAGE
 Ce poste fonctionne en téléphonie comme émetteur-récepteur dans la gamme 100-200 m, et comme récepteur seulement dans la gamme 200-600 m. On aperçoit à gauche le bouton qui permet de choisir pour l'émission l'une des 6 fréquences préétablies, et sur le manche de l'écouteur la pédale qui commande le passage de la réception à l'émission et que l'opérateur presse pour parler ou pour écouter.

On recherche la discrétion dans le trafic à courte distance (par exemple, pour les communications entre navires en convoi) soit en réduisant le plus possible la puissance des émetteurs à ondes intermédiaires ou moyennes, soit de préférence en employant les ondes très courtes, qui ne dépassent guère l'horizon optique. Lorsque les antennes sont placées au sommet de mâts de 10 mètres, la portée est d'une vingtaine de kilomètres. Pour le trafic à grande distance sur ondes courtes, la discrétion est très difficile à obtenir.

La propagation est complexe ; il faut connaître la fréquence qui « passera » entre deux points quelconques du globe, à toute heure du jour, en toute saison, pour chaque année du cycle solaire, (voir page 12), sinon les appels risquent d'être infructueux, il faut les répéter sur diverses fréquences ; les contacts peuvent être difficiles et amener à des répétitions de messages qui attirent l'attention d'un adversaire aux aguets. Il est donc normal que l'étude de la propagation des ondes courtes, qui était relativement peu avancée avant la guerre, ait été extrêmement poussée par les belligérants. Il a été créé des

centres d'études ionosphériques, dont les travaux ont abouti à la prévision des fréquences les plus favorables à utiliser, pendant les semaines à venir, pour des liaisons quelconques. Le matériel doit se prêter à des changements nombreux, rapides et précis de fréquences dans des bandes très étendues, tout en conservant une haute stabilité : comme l'aviation, la marine a dû étudier des circuits pilotes plus souples que les maîtres-oscillateurs à stabilisation individuelle par quartz, et elle fait appel aux mêmes principes.

Les messages doivent être brefs. Lorsque la propagation est favorable, on tend à employer la télégraphie automatique (100 à 200 mots/minute) ; des dispositifs électroniques (système Romac) permettent l'émission de 3000 mots/minute.

La recherche de la discrétion oblige également à prendre des précautions spéciales pour les récepteurs, qui sont en veille permanente. Les superhétérodynes comportent des oscillateurs : un ou deux selon qu'il existe une ou deux fréquences intermédiaires nécessaires et un autre pour la réception des ondes

entretenu pures. Dans les appareils normaux, les oscillations parviennent à l'antenne ; les aériens de réception émettent des rayonnements parasites, notamment sur la fréquence de la première hétérodyne. Ces rayonnements peuvent être perçus par l'ennemi, et le navire peut être radiogoniométré. Les récepteurs font donc l'objet de précautions spéciales pour éviter ce défaut.

Pour les mêmes raisons de discrétion, le guidage par radiogoniométrie de bord prend une importance primordiale dans toutes les zones où il n'existe pas de faisceaux hyperboliques.

Les précautions à prendre vis-à-vis de l'ennemi imposent donc une première série de mesures générales. La recherche du rendement et de l'efficacité conduit d'autre part à une organisation d'ensemble des transmissions à bord des grands bâtiments.

Autrefois, le récepteur et l'émetteur assurant une liaison voisinaient étroitement et constituaient un ensemble autonome, depuis l'alimentation jusqu'à l'antenne. Des équipements multiples et souvent homogènes voisinaient et se perturbaient mutuellement : le trafic d'un émetteur pouvait paralyser la veille de nombreux récepteurs, et les conditions générales d'exploitation étaient peu satisfaisantes. Il a fallu organiser et normaliser.

Pour l'alimentation des équipements radio-électriques et les servitudes qui se rapportent à leur exploitation (éclairage, chauffage, ventilation, etc.), on tend à établir des sources spéciales. La puissance installée est parfois voisine de 200 kW.

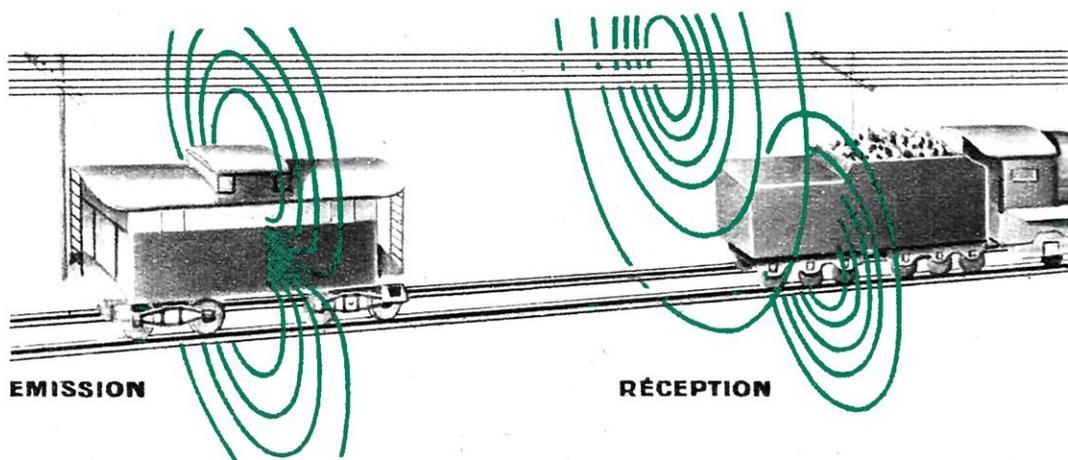
Actuellement, comme dans les stations radioélectriques terrestres de grand trafic, on sépare les émetteurs et les récepteurs. Dans un premier centre, chaque opérateur dispose

d'un ou deux récepteurs de trafic, de la commande à distance de ses émetteurs, d'un manipulateur, d'une machine à écrire pour dactylographier les messages à leur arrivée ; dans un second centre sont groupés les émetteurs. Autant que possible, chaque centre est placé au voisinage d'un mât : les aériens de réception sont ainsi groupés à distance des aériens d'émission, et les interférences sont réduites. Il va de soi que la commande à distance des émetteurs pouvant fonctionner sur de nombreux canaux ou sur des bandes continues pose des problèmes délicats, et que les « selsyns » que nous avons rencontrés dans le matériel aéronautique jouent également un large rôle à bord des navires.

Pour faciliter la mise en place et l'entretien, pour simplifier et assouplir l'exploitation, les matériels font l'objet de programmes homogènes.

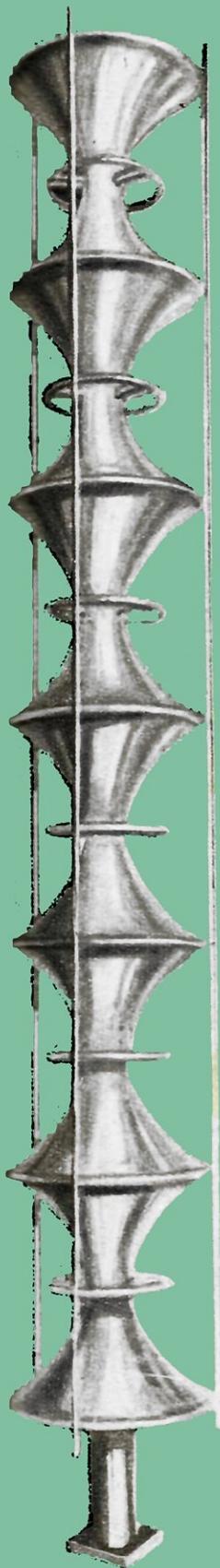
La question qui demeure la plus délicate à bord des grands bâtiments est celle des aériens. La nécessité de dégager le champ d'exploration des radars et le champ de tir de l'artillerie antiaérienne amène à les grouper au voisinage immédiat des mâts et à constituer des nappes aussi étroites que possible. Les isolateurs doivent être prévus pour supporter les fumées et les embruns. Les départs d'artillerie de gros calibre provoquent des coups de fouet dont on limite les effets en ménageant des « coupe-circuits mécaniques » shuntés par une boucle : en cas de surtension mécanique, le coupe-circuit qui représente un point faible saute, mais la boucle en se redressant maintient en place l'antenne détendue; il suffit de la retendre et de remettre en place un nouveau « coupe-circuit ».

L'efficacité des antennes, et notamment des antennes d'émission qui doivent être accordées, est très fortement réduite par leur voi-



SYSTÈME DE COMMUNICATIONS PAR INDUCTION APPLIQUÉ SUR LES CHEMINS DE FER DE PENNSYLVANIE

Le champ créé par l'émetteur porté par le fourgon développe par induction des courants sur les nappes de fils téléphoniques et télégraphiques en bordure de la voie, et, par conduction, des courants dans les deux rails qui se comportent comme des lignes en parallèle; les premiers servent aux liaisons avec les postes fixes installés le long de la voie, les seconds aux liaisons du fourgon de queue avec la locomotive.



**ANTENNE VERTICALE INSTAL-
LÉE SUR LE TOIT DE LA
CABINE DE CONDUITE D'UNE
LOCOMOTIVE DIESEL-ÉLEC-
TRIQUE MODERNE AMÉRICAINNE** →

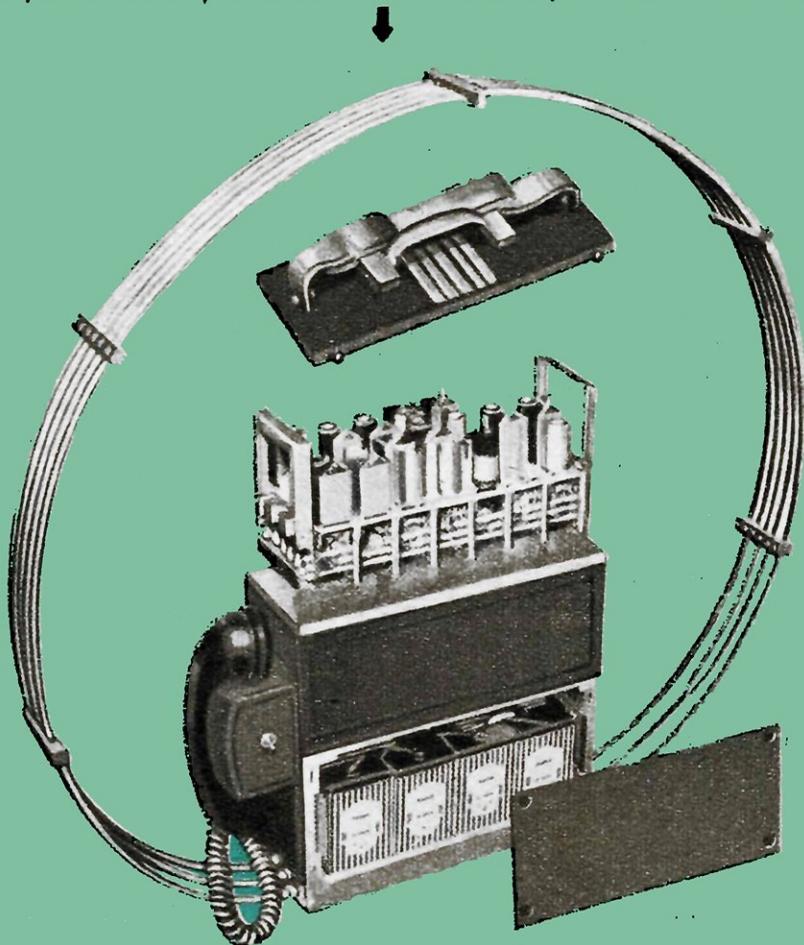
**TYPE D'AÉRIEN SPÉCIAL POUR
TRAFIC RADIO-TÉLÉPHONIQUE
SUR LES CHEMINS DE FER**

← L'aérien comprend six groupes superposés de 3 dipôles disposés circulairement au foyer des réflecteurs. La fréquence est de 2 600 Mc; la hauteur totale est de 70 cm seulement. L'aérien a un effet directif marqué dans le plan horizontal.



ÉMETTEUR-RÉCEPTEUR PORTATIF EN USAGE SUR LE « PENNSYLVANIA RAILROAD »

Cet appareil, d'un poids de 10 kg, se porte sous le bras, suspendu à l'épaule. Il est utilisé par les agents des trains de marchandises pour communiquer avec le mécanicien. L'aérien est un cadre de duralumin à cinq spires. La transmission s'effectue par induction avec les rails ou les fils télégraphiques qui bordent la voie. La portée est de l'ordre de 3 km dans les liaisons radiotéléphoniques avec les trains et 25 km avec les postes fixes. Sur la photographie ci-dessous, le châssis portant les lampes a été extrait de la boîte et placé sur son couvercle.



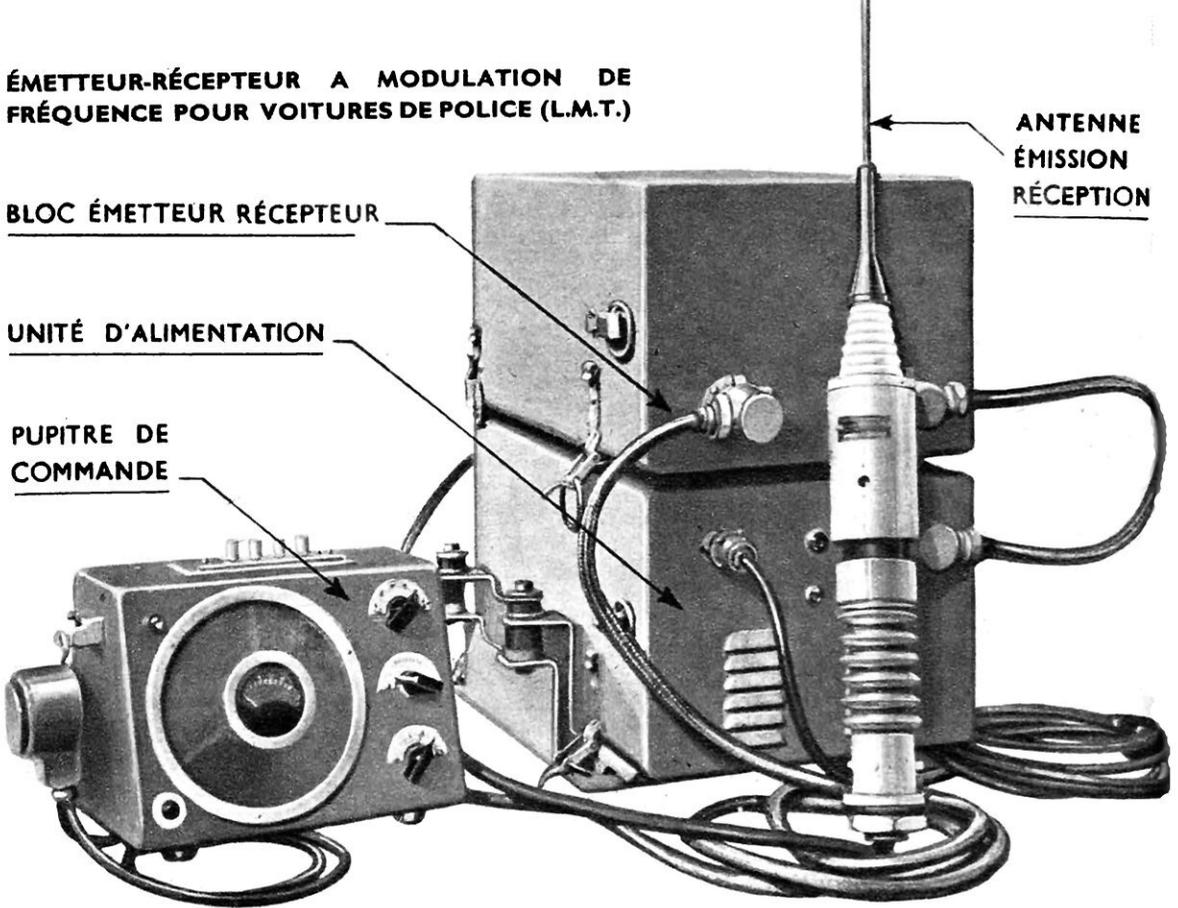
ÉMETTEUR-RÉCEPTEUR A MODULATION DE FRÉQUENCE POUR VOITURES DE POLICE (L.M.T.)

BLOC ÉMETTEUR RÉCEPTEUR

UNITÉ D'ALIMENTATION

PUPITRE DE COMMANDE

← ANTENNE
ÉMISSION
RÉCEPTION



sinage mutuel : on doit admettre que des antennes soient à 1,20 m l'une de l'autre. Un changement de réglage sur un aérien réagit sur les aériens voisins et les désaccorde ; les mâts provoquent une absorption parfois considérable : une antenne de réception placée à moins de 12 m d'un mât subit une réduction d'efficacité sensible. Ces conditions défavorables font que les portées couvertes par les bâtiments de guerre sont en général inférieures à celles des bâtiments de commerce, et que le problème de base est l'augmentation du rendement des antennes plus que de la puissance mise en jeu. La réduction des nappes d'antennes d'ondes moyennes, exigée par les besoins de l'artillerie antiaérienne, a réduit à elle seule la portée de 40 %. L'alimentation des aériens pour ondes courtes et ondes moyennes constitués par des câbles tendus très éloignés de l'émetteur est délicate. Si l'on veut mettre à l'abri des projectiles la self d'accord qui leur permet de couvrir des bandes étendues de fréquence, on doit la relier à l'antenne par un câble coaxial de grand diamètre (25 à 50 cm) qui oblige à percer un trou important dans la cuirasse du navire.

Une réalisation nouvelle peut améliorer la situation, tout au moins en ce qui concerne les ondes courtes : on a développé à l'échelle des ondes décimétriques des antennes-fouets verticales et flexibles qui peuvent atteindre une hauteur de 12 mètres, avec un diamètre à la base de 12 cm. Les antennes-fouets ne sont pas assujetties à être fixées au voisinage

des mâts ; elles peuvent être écartées les unes des autres et la position des réceptrices peut être déterminée d'après la répartition des parasites.

Il serait souhaitable d'utiliser chaque antenne-fouet seulement sur une bande de fréquence voisine de sa fréquence propre ; on serait toutefois ainsi conduit à augmenter le nombre des antennes. Si on trouve un moyen satisfaisant de faire fonctionner simultanément plusieurs récepteurs ou plusieurs émetteurs sur la même antenne, ce sera la solution de l'avenir.

Dans le domaine des ondes très courtes affectées à la radiotéléphonie de proximité, signalons la réalisation de postes émetteurs-récepteurs type « conférence » (voir page 46), dont certains emploient la modulation par déplacement d'impulsions et qui permettent à plusieurs correspondants de communiquer comme s'ils se trouvaient en présence. On dépasse ainsi le stade du trafic bilatéral, qui peut être insuffisant pour des bâtiments en groupe.

LA RADIO ET LES CHEMINS DE FER

Les liaisons radioélectriques se sont introduites depuis peu dans l'exploitation des réseaux ferroviaires. Les exigences de la sécurité des dizaines de milliers de convois

qui circulent chaque jour dans le monde ont imposé la signalisation optique, dont l'usage est général et qui a atteint aujourd'hui un très haut degré de perfection. Mais elle ne couvre pas la totalité des besoins. Si elle transmet des signaux, en nombre d'ailleurs limité et dont, par mauvais temps, l'observation n'est pas toujours facile, elle ne peut en recevoir ; le train en marche est muet. La radio ne connaît pas ces difficultés et, dans un avenir proche, elle est appelée à prendre, dans le domaine ferroviaire, une grande extension, en particulier dans les vastes territoires peu peuplés où les réseaux couvrent couramment plusieurs milliers de kilomètres (Australie, Afrique, Amérique et Asie), et dans les régions de trafic dense. L'exploitation du Transsaharien, pour prendre un exemple typique, ne pourra se concevoir sans la radio. Aux États-Unis, où les chemins de fer ont pris une extension considérable, elle est déjà en service régulier sur certaines lignes où elle rend les plus grands services.

La radio permet les communications bilatérales entre le train et les services fixes ; en cas d'accident, les secours sont demandés sans délai et les autres convois sont avisés de l'obstruction de la voie ; le train en marche signale immédiatement les chutes d'arbres ou de poteaux télégraphiques, les éboulements, les inondations, les incendies, la neige, les avaries de la voie ; il demande des conseils médicaux ou la préparation d'une ambulance.

La tâche de la police à bord du train est facilitée. Le chef de train signale le degré d'occu-

pation de ses voitures, et loue des places en cours de trajet ; les arrêts dans les gares secondaires sont supprimés si le train et la gare constatent qu'aucun mouvement de voyageurs ou de marchandises ne doit y avoir lieu ; les voyageurs peuvent être reliés au réseau téléphonique général. La radio assure des liaisons de secours entre les points fixes.

Les indications de la signalisation optique peuvent être commentées. Il en résulte un gain très important de temps, de sécurité et de commodité. En outre, une communication radiotéléphonique peut être établie entre la locomotive et le fourgon de queue simplifiant considérablement la tâche du personnel. Une liaison supplémentaire peut être réalisée avec des agents circulant à pied et pourvue d'un équipement portatif (page 67). Les services rendus dans les gares de triage, les dépôts, les stations, sont inestimables.

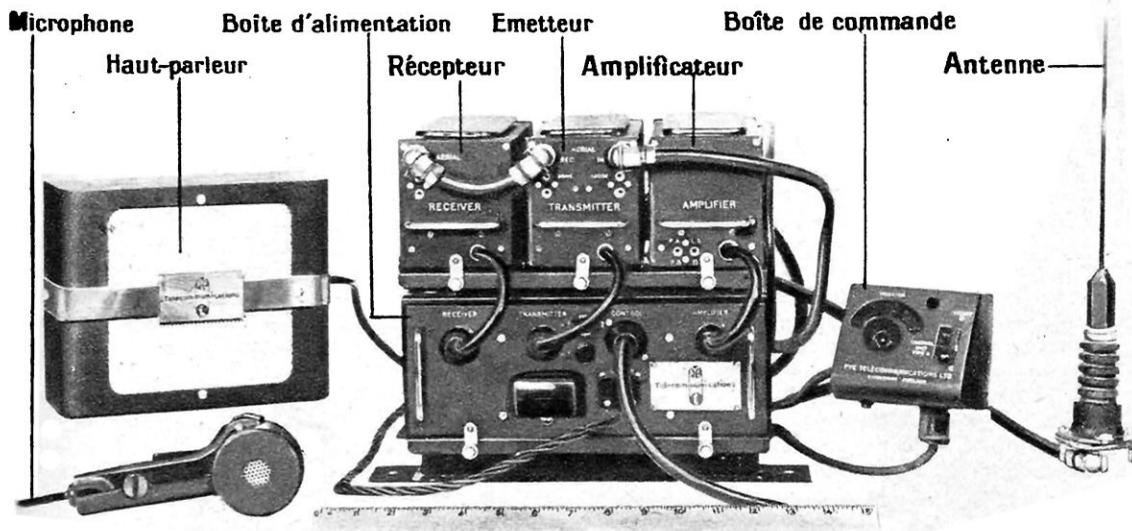
Deux techniques radioélectriques sont actuellement mises en œuvre pour les liaisons entre les trains et les stations fixes en bordure de voie ; chacune a trouvé en Amérique un large champ d'application, qui s'étendra vraisemblablement à l'ancien continent.

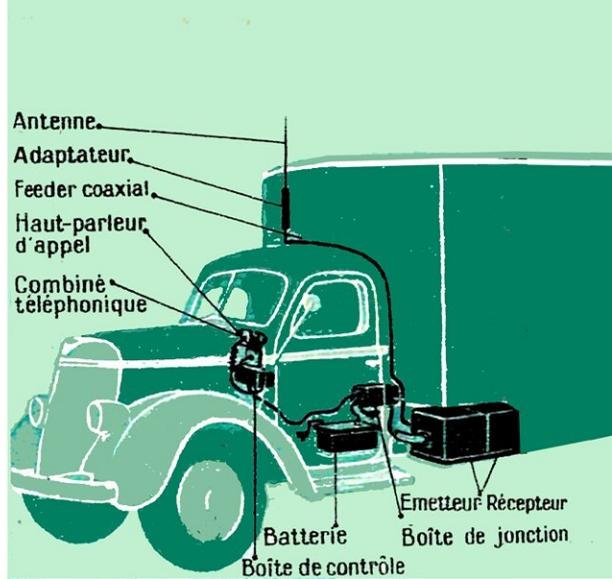
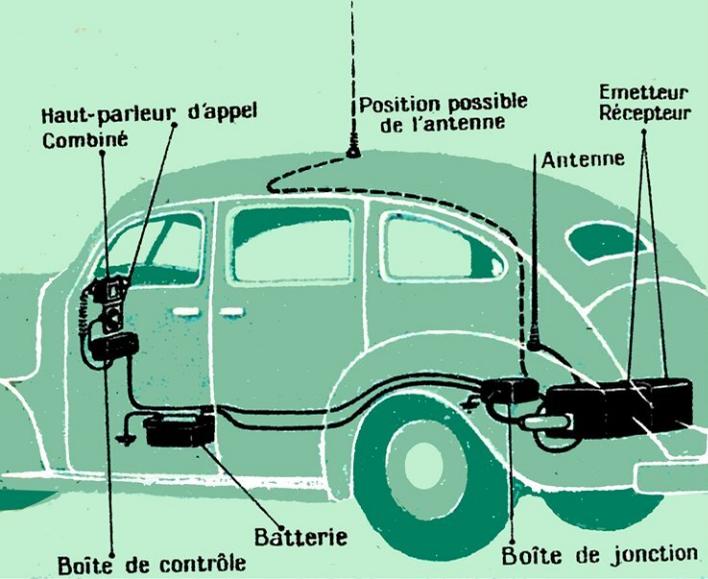
LES ONDES GUIDÉES PAR FIL

La première fait appel aux ondes guidées par les nappes de fils téléphoniques et télégraphiques qui bordent presque toujours les voies ferrées, et parfois par les rails eux-mêmes pour les liaisons à très courte distance, par exemple entre tête et queue du train.

ENSEMBLE D'UN ÉQUIPEMENT RADIO PERMETTANT L'ÉMISSION ET LA RÉCEPTION SUR UNE AUTOMOBILE

Ce récepteur-émetteur fonctionne en modulation d'amplitude sur la bande des ondes très courtes et ne nécessite aucun réglage d'accord. La sensibilité du récepteur à 11 lampes est de l'ordre du microvolt. L'émetteur de 6 lampes, fournit une puissance de 12 watts à l'antenne. Microphone, haut-parleur et boîte de contrôle sont fixés au tableau de bord de la voiture, l'antenne est installée sur le toit et le châssis de l'émetteur et du récepteur dans la malle arrière de la voiture, par exemple. (Pye Telecom.).





EXEMPLES D'INSTALLATION D'UN ÉQUIPEMENT RADIOTÉLÉPHONIQUE À BORD DE VÉHICULES AUTOMOBILES
 À droite, sur un camion, émetteur et récepteur sont logés sous le châssis et l'antenne s'élève au-dessus du poste de conduite. À gauche, émetteur et récepteur prennent place dans la malle arrière et l'antenne est fixée au toit de la voiture.

A bord du train est installé un cadre relié à l'émetteur ou au récepteur. Il se trouve couplé par induction avec la nappe de fils ou avec les rails. Ce couplage est toujours très lâche et, dans les meilleures conditions de proximité entre les fils et la voie, l'affaiblissement qui en résulte est de l'ordre de 1 500, équivalent à un parcours des ondes de plusieurs dizaines de kilomètres sur les fils. Les stations fixes sont naturellement couplées à la nappe de façon beaucoup plus efficace, par branchement direct ou par l'intermédiaire d'un conducteur spécial parallèle à la nappe. Les portées peuvent dépasser 50 km ; les fréquences employées sont de quelques dizaines ou quelques centaines de kilocycles ; en général on fait appel à la modulation de fréquence ; les puissances mises en jeu sont de quelques dizaines de watts.

Avec ce système de couplage, les liaisons sont difficiles entre la locomotive et la voiture de queue du convoi ; il faut en effet que les ondes utilisent deux fois l'induction cadre-fils (une fois pour l'émission, une fois pour la réception) ; on emploie donc souvent un système où l'induction joue simultanément avec les fils et avec les rails ; pour l'émission, on emploie de grandes boucles qui ceinturent le fourgon ou le tender ; pour la réception, des bobines sont couplées de près aux rails. On peut utiliser en outre la conduction de la voie ferrée en isolant les essieux ou les boggies et en les connectant directement à la boucle d'induction : le rail est ainsi simultanément le siège de courants induits et de courants de conduction, et la liaison entre locomotive et fourgon s'effectue de façon très satisfaisante. Il est toujours nécessaire d'assurer la continuité électrique des rails, et l'isolement des essieux ne va pas sans difficultés.

Les systèmes d'induction ont en outre le grave inconvénient de ne pouvoir fonctionner

lorsque la nappe de fils s'éloigne de la voie, ce qui est, en particulier, le cas dans les régions accidentées, les tunnels, dans les gares de triage et les dépôts. Il est alors nécessaire de poser des fils spéciaux, ce qui soulève parfois des problèmes difficiles. Et les ondes relativement longues qui conviennent au guidage sur fils n'offrent qu'un nombre restreint de canaux. Encore faut-il veiller à ce qu'elles n'apportent pas de perturbations à la radio-diffusion ou à d'autres services radioélectriques. Les ondes guidées, malgré la simplicité des solutions qu'elles offrent, n'ont donc pas une souplesse illimitée : aussi les ondes rayonnées dans l'espace, semblent-elles avoir l'avenir le plus prometteur.

LES ONDES RAYONNÉES

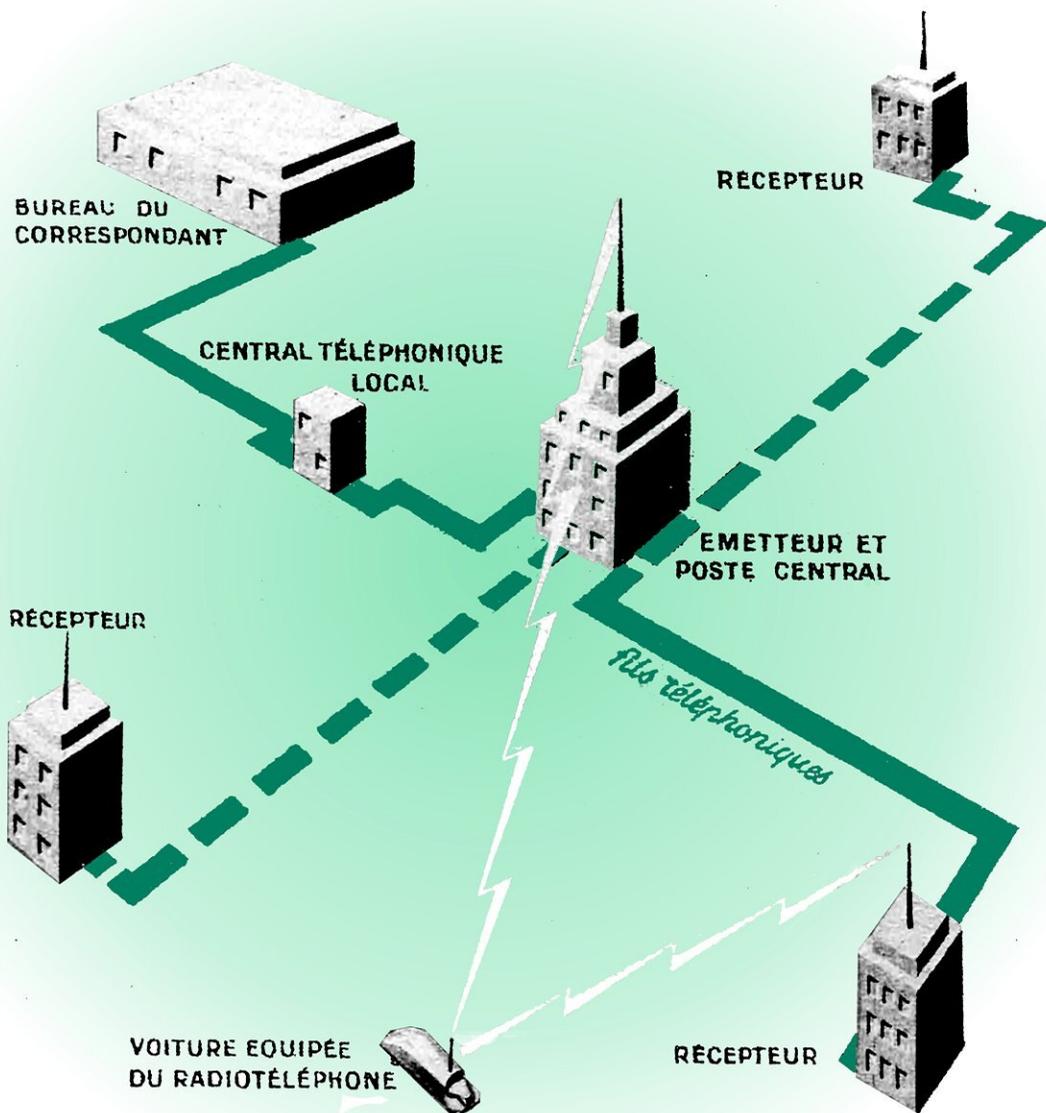
Les véhicules terrestres ou routiers doivent être équipés d'antennes courtes et cependant efficaces : il est donc logique que l'on pense aux ondes très courtes pour les communications par ondes rayonnées entre les véhicules et les stations terrestres. Ces ondes ont d'ailleurs beaucoup d'autres avantages : les aériens peuvent être dotés d'effet directif ce qui augmente le rendement de la propagation. On se trouve dans un domaine où les parasites atmosphériques et la plupart des parasites industriels s'éliminent et où le libre usage de bandes de modulation très larges permet des déviations importantes pour les ondes modulées en fréquence. Mais les fréquences employées doivent répondre à des conditions particulières : tout d'abord elles ne doivent pas s'insérer dans la gamme utilisée pour les liaisons à très grande distance et par conséquent leur fréquence doit dépasser 30 Mc (longueur d'onde inférieure à 10 m). D'ailleurs dans un rayon de 50 à 100 km les ondes de longueur supérieure à 10 m pré-



UNE CONVERSATION TÉLÉPHONIQUE À PARTIR D'UNE AUTOMOBILE
 Le logement du combiné téléphonique et le dispositif d'appel sont placés sous le tableau de bord de la voiture (Western Electric).

SCHEMA DE L'ORGANISATION D'UN SERVICE RADIOTÉLÉPHONIQUE URBAIN ENTRE POSTES FIXES ET MOBILES

Le correspondant est mis en communication par l'intermédiaire, du central téléphonique local avec le poste central du service radiotéléphonique, lequel, disposant d'un émetteur suffisamment puissant, alerte le véhicule demandé en n'importe quel point de la ville. Le conducteur du véhicule, ne disposant que d'un émetteur de plus faible puissance, répond par l'intermédiaire du poste récepteur auxiliaire dont il est le plus rapproché et qui est relié par fil au poste central. En sens inverse, la communication emprunte les mêmes relais.





RADIORÉCEPTEUR DE POCHE DE TRÈS FAIBLE ENCOMBREMENT PERMETTANT L'ÉCOUTE AU CASQUE

sentent assez souvent des zones de silence.

De 30 à 40 Mc se trouve un domaine qui a été exploité par la quasi-totalité des engins mobiles et qui commence à être également fort encombré. Il présente également cet inconvénient que, dans des conditions convenables de l'ionosphère, les ondes peuvent se propager à grande distance, ce qui donne lieu à des brouillages. Aussi tend-on à utiliser le domaine des fréquences toujours plus élevées.

Dans les conditions habituelles, la propagation des ondes ultracourtes est analogue à celle des rayons lumineux et se limite au voisinage de l'horizon, ce qui amène à établir les stations fixes en des lieux élevés et bien dégagés avec des mâts d'antenne d'assez grande hauteur. La portée croît comme la racine carrée de la surélévation; elle est de 20 km pour une station installée à 30 m.

Mais la proximité du sol complique la propagation : les collines, les bâtiments constituent normalement des obstacles derrière lesquels se trouve une « zone d'ombre ». Heureusement les réflexions sur les obstacles voisins, la diffraction qui permet à l'onde de contourner l'obstacle dans une certaine mesure pallient cet inconvénient, tout en risquant d'ailleurs d'introduire des interférences entre ondes directes et réfléchies. Sans entrer dans le détail de la discussion des fréquences optimum, disons que l'avantage est souvent aux ondes les plus courtes, dont le champ se rétablit plus vite derrière l'obstacle, qui sont mieux réfléchies par les « miroirs » de petite dimension, façades d'immeuble ou flanc de coiteau, et qui, à partir de 100 Mc franchissent les mailles métalliques des bâtiments en ciment armé (les bâtiments de pierre et de brique sont traversés par toutes les ondes de ce domaine). Avec les fréquences élevées, les

zones de silence produites par les interférences des ondes ayant parcouru des trajets différents sont rapidement franchies et passent inaperçues pour un véhicule en circulation.

Pour les trains un autre genre d'obstacle vient imposer l'emploi des fréquences élevées.

Les tunnels se comportent, très approximativement, comme les « guides d'ondes », ces modernes tuyauteries de l'énergie radio-électrique. On sait qu'un « guide d'onde » ne peut transmettre l'énergie de n'importe quelle radiation : il faut que la longueur d'onde soit assez courte. De même, bien qu'un tunnel constitue, au point de vue radio-électrique, un guide d'onde aux parois bien imparfaites, il ne pourra se laisser traverser que par des ondes très courtes, d'autant plus courtes que la propagation doit pouvoir se faire lorsque la section d'un tunnel est presque complètement obstruée par le convoi : le guide d'ondes est alors constitué par la surface qui demeure libre entre les parois du tunnel et celles du train. Et la distance est souvent réduite à une dizaine de centimètres, ou même moins, et c'est aussi à des ondes d'une dizaine de centimètres qu'on s'adresse pour assurer la propagation dans de telles conditions.

C'est ainsi que l'un des équipements ferroviaires les plus modernes, celui du Rock Island Railroad (U.S.A.) fonctionne sur 2.660 Mc, soit sur une longueur d'onde de 11,3 cm environ. Les essais entre Chicago et Rock Island (Illinois) ont permis de maintenir le contact bilatéral entre train et stations en bordure de voie sur une distance de près de 300 km, malgré la nature accidentée du terrain et un tunnel de grande longueur. En tous les points du parcours la liaison est excellente entre la locomotive et le fourgon.

LA RADIO ET LES VÉHICULES AUTOMOBILES

L'équipement radioélectrique des véhicules, pour l'établissement de communications téléphoniques bilatérales avec un point fixe, s'est considérablement développé avec la technique des ondes très courtes.

Les applications les plus importantes ont été faites jusqu'à ce jour dans la police : aux États-Unis, en Grande-Bretagne, en Suisse, en France depuis peu, les voitures de police en patrouille ou en intervention demeurent en contact permanent avec un poste de commandement, auquel elles fournissent ou demandent des renseignements, et dont elles reçoivent des ordres. L'efficacité ainsi obtenue est considérable ; dans le domaine policier comme dans les domaines militaires, l'engin mobile qui prend une place prépondérante ne fournit tous ses effets qu'avec l'aide des télécommunications. Les autres grands services publics qui font un large emploi de véhicules (pompiers, eaux et forêts, douanes, etc.) utilisent également de plus en plus les voitures radio.

La radiotéléphonie a pénétré également dans les compagnies américaines de taxis : la personne qui désire une voiture téléphone à un bureau central, d'où des appels sont lancés aux voitures en maraude dans le quartier ou la localité, et le demandeur est avisé téléphoniquement de la suite donnée à son appel. Les recherches fastidieuses sur la voie publique sont ainsi supprimées, et les conducteurs ont le maximum de chances d'avoir des clients au retour des déplacements excentriques.

La radio peut rendre aux transports routiers les mêmes services qu'aux transports par rail.

Enfin, depuis 1945, on étudie l'établissement de communications téléphoniques au bénéfice des voitures particulières, qui peuvent demeurer en liaison avec le réseau filaire par l'intermédiaire de la radio.

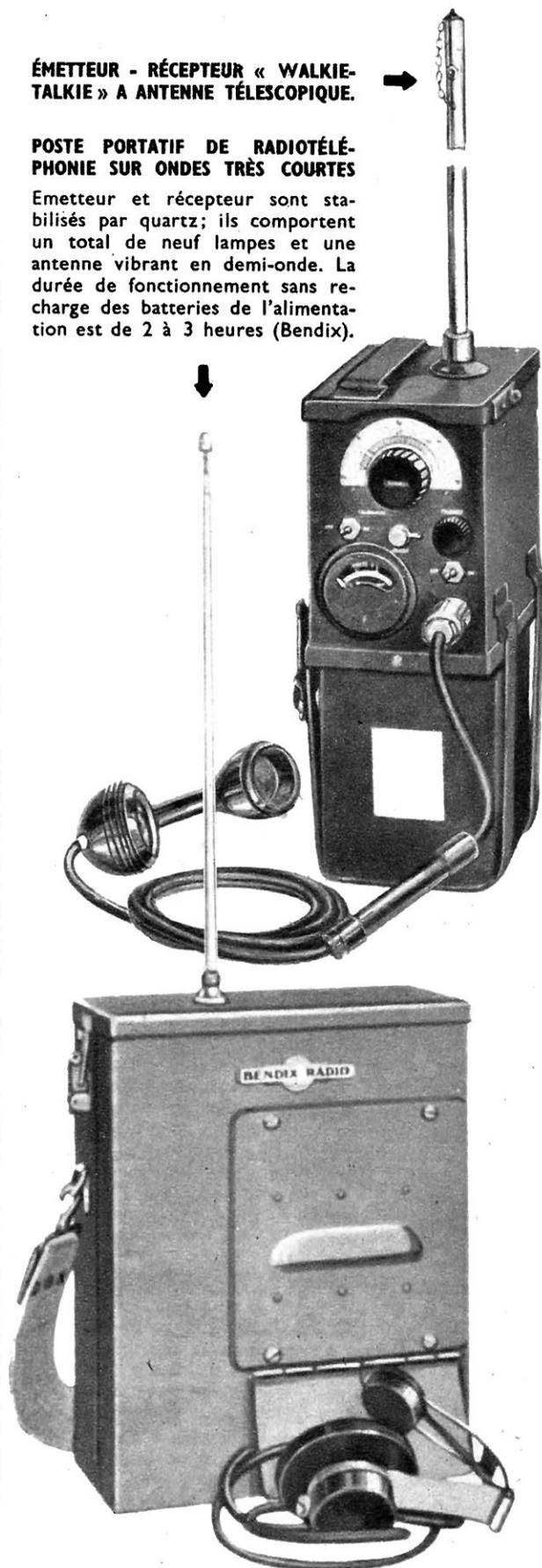
L'équipement radiotéléphonique des voitures comprend un système sélecteur d'appels : lorsque l'opératrice du bureau spécialisé numérote sur le cadran l'indicatif d'une voiture, le conducteur intéressé, et lui seul, est alerté par un signal visuel ou auditif ; il n'a qu'à décrocher son combiné et la communication s'établit avec son demandeur. Pour appeler lui-même, il n'a qu'à décrocher son combiné et l'opératrice répond à son appel.

L'établissement de ces liaisons est prévu initialement dans des villes importantes, mais il doit être étendu aux artères de grande circulation ; la navigation intérieure est également appelée à en bénéficier.

ÉMETTEUR - RÉCEPTEUR « WALKIE-TALKIE » A ANTENNE TÉLESCOPIQUE. →

POSTE PORTATIF DE RADIOTÉLÉPHONIE SUR ONDES TRÈS COURTES

Émetteur et récepteur sont stabilisés par quartz ; ils comportent un total de neuf lampes et une antenne vibrant en demi-onde. La durée de fonctionnement sans recharge des batteries de l'alimentation est de 2 à 3 heures (Bendix).



L'ÉQUIPEMENT DES STATIONS FIXES

Il est essentiel que les équipements de voitures soient légers, peu encombrants, et ne consomment qu'une puissance modérée; on rejette donc sur la station fixe le maximum de sujétions techniques : son émetteur est puissant (100 ou 200 watts), et son récepteur est très poussé.

Comme la station fixe est installée sur un point haut, choisi essentiellement pour des raisons topographiques, l'exploitation se fait généralement à distance, par l'intermédiaire de circuits filaires ou de canaux à ultra-haute fréquence.

La portée limitée des ondes très courtes est un gros avantage pour les liaisons entre véhicules terrestres parce qu'elle permet d'organiser dans des régions voisines un grand nombre de communications sans risque de brouillage.

Pourtant on désire souvent obtenir des portées supérieures à celles qui sont assurées par la station fixe ; en effet, il est parfois important de conserver le contact avec une voiture qui circule à 100 km et au delà ; et parfois aussi on tient à faire disparaître la « zone d'ombre » créée par un obstacle. On utilise alors des stations relais, qui retransmettent l'émission de la station fixe principale vers la voiture, et l'émission de la voiture vers la station principale.

On cherche à faire fonctionner la station relais de telle sorte que la voiture n'ait pas à tenir compte de son existence, et conserve les mêmes réglages en permanence. Ce problème est difficile à résoudre ; en effet, dans de nombreux cas la voiture recevra à la fois les signaux de la station principale et les signaux retransmis par une ou plusieurs stations relais ; il peut en résulter des interférences, et l'inintelligibilité des messages. En modulation d'amplitude, on élargit la bande passante du récepteur et on donne aux fréquences porteuses de la station principale et des stations relais un écart de l'ordre d'une dizaine de kilocycles ; les modulations se superposent à la détection. En modulation de fréquence, le même artifice est impraticable ; les fréquences porteuses doivent être rigoureusement synchronisées par l'intermédiaire des canaux à ultra-haute fréquence.

L'ÉQUIPEMENT DES VÉHICULES

Les installations de voitures sont étudiées pour que leur présence ne constitue pas une gêne et pour que leur exploitation directe par le conducteur soit d'une grande simplicité. L'émetteur, le récepteur et leur alimentation sont placés dans la malle arrière ; on monte sur le tableau de bord un haut-parleur de veille, les organes de commande (clé arrêt-veille-traffic, potentiomètre de renforcement basse fréquence, éventuellement changement

de longueur d'onde) ; on y accroche le combiné téléphonique de trafic ou un simple microphone en utilisant pendant le trafic le haut-parleur de veille. L'antenne est du type fouet, et fixée sur le pare-choc arrière, pour les équipements fonctionnant entre 30 et 40 Mc ; elle est réduite à une tige verticale fixée sur le toit pour la bande des 100 Mc.

Une des difficultés qu'il faut résoudre pour l'installation de la radio à bord des véhicules, est la lutte contre les parasites produits dans ce cas non seulement par le circuit d'allumage du moteur, mais par celui des moteurs des véhicules que l'on croise sur la route.

Une première solution, employée notamment en Grande-Bretagne, consiste à utiliser la modulation d'amplitude, du type classique, en munissant les récepteurs de supprimeurs ou limiteurs de parasites très efficaces qui provoquent la désensibilisation du récepteur pendant la durée d'une perturbation violente.

La seconde solution, qui est employée aux États-Unis et en France, consiste à utiliser la modulation en fréquence.

LES ÉQUIPEMENTS INDIVIDUELS

Pendant la guerre, les postes émetteurs-récepteurs portatifs, destinés à l'emploi par un seul homme et alimentés sur piles, ont connu un très grand développement.

Le handie-talkie est un petit appareil, analogue comme présentation à un gros combiné téléphonique, mais qui contient un émetteur-récepteur complet et ses piles d'alimentation. Une antenne télescopique s'enfonce au repos à l'intérieur de l'appareil ; il suffit de la déployer pour provoquer la mise en marche. Un levier, qui peut être manœuvré par la main qui tient l'appareil, assure l'alternat. Une bretelle permet le transport à l'épaule. Le trafic se faisait sur ondes décamétriques, ce qui réduit les possibilités d'emploi civil en raison des risques de brouillage, mais rien n'empêche de réaliser actuellement des appareils très portatifs et légers sur ondes très courtes. Des appareils d'un poids limité à 3 kg environ permettent des liaisons à des distances de plusieurs kilomètres ; des portées de 10 ou 15 km peuvent être obtenues par conditions favorables.

L'intérêt présenté est tel qu'on envisage aux États-Unis un service de communications radiotéléphoniques privées, auquel on affecterait une bande de fréquences spéciale (460-470 Mc). L'ouvrier agricole sur son tracteur pourra communiquer avec sa ferme, le commerçant avec ses clients, les excursionnistes avec leur domicile, les chefs de chantier avec leur bureau, etc. Les applications sont innombrables, et elles permettent une souplesse à laquelle le téléphone ne peut prétendre.



UN STUDIO D'ENREGISTREMENT DE LA RADIODIFFUSION FRANÇAISE (PHOTO RADIO 48).

LA RADIODIFFUSION

La radiodiffusion est, avec le cinéma et le journal, un des plus puissants moyens de propagation de la pensée et de la culture. Grâce à elle il n'existe plus de région si isolée qui ne soit immédiatement informée de la vie artistique et politique du monde. Aussi les gouvernements ont-ils rapidement compris l'importance de cet instrument de propagande et d'éducation, et la durée de la guerre des ondes a largement excédé celle des combats armés. Aujourd'hui, malgré les conditions économiques défavorables qui prévalent dans de nombreux pays, la radiodiffusion connaît un nouvel essor. Les émetteurs détruits se reconstituent et partout les réseaux s'étendent, mettant à profit les plus récents perfectionnements techniques dans le domaine de la synchronisation, de la modulation, de la transmission par câbles spéciaux souterrains ou hertziens, de l'enregistrement sur ruban magnétique, etc.

L'AUDITEUR moyen de la radiodiffusion tourne les boutons de son récepteur et se soucie assez peu des appareils qui envoient sur les ondes la musique qu'il écoute. Il sait seulement que quelque part se trouvent un studio, un micro, des lampes et une antenne, et il est généralement ignorant de la prodigieuse évolution qui a permis en vingt-cinq ans de passer des premiers balbutiements de la Tour Eiffel à des auditions de haute qualité musicale, et des trans-

missions directes nécessitant la présence des artistes à des heures fixées longtemps à l'avance à ces puzzles d'informations recueillies le dimanche après-midi sur tous les stades et qui, enregistrées et retransmises, composent un véritable journal diffusé aux quatre coins de la France.

Il trouve naturel que les campagnes les plus reculées puissent profiter de la radio au même titre que les villes à proximité desquelles sont installés les émetteurs, et ne



CABINE DE PRISE DE SON D'UN DES STUDIOS LES PLUS MODERNES DE LA RADIODIFFUSION FRANÇAISE.



A la « Broadcasting house » de Londres, deux opérateurs assurent la continuité du programme : à gauche, le speaker, à droite, isolé du premier, l'ingénieur du son.

s'étonne plus guère que des défauts que présentent encore les transmissions : brouillage des stations émettant sur des fréquences voisines, parasites, et... incidents techniques, (de plus en plus rares à mesure que se répèrent les destructions effectuées par les Allemands).

Pourtant la radiodiffusion n'a pu acquérir sa qualité, sa souplesse et sa sécurité de fonctionnement que grâce à une organisation technique complexe, soumise à des règles internationales strictes et employant un matériel constamment perfectionné.

L'UTILISATION MAXIMUM DES FRÉQUENCES DISPONIBLES

On sait que la reproduction correcte de la parole et de la musique exige dans le système classique de modulation en amplitude une bande passante de 10 kc. Comme les bandes passantes de deux stations voisines sur la gamme des longueurs d'onde ne peuvent se recouvrir même partiellement sans que ces émissions soient brouillées, des conventions internationales ont réparti les fréquences entre les différentes nations, sans d'ailleurs pouvoir toujours éviter que deux stations éloignées émettent sur la même fréquence. Le nombre de fréquences disponibles étant restreint, chaque pays s'est efforcé de tirer le parti le meilleur de celles qui lui étaient accordées.

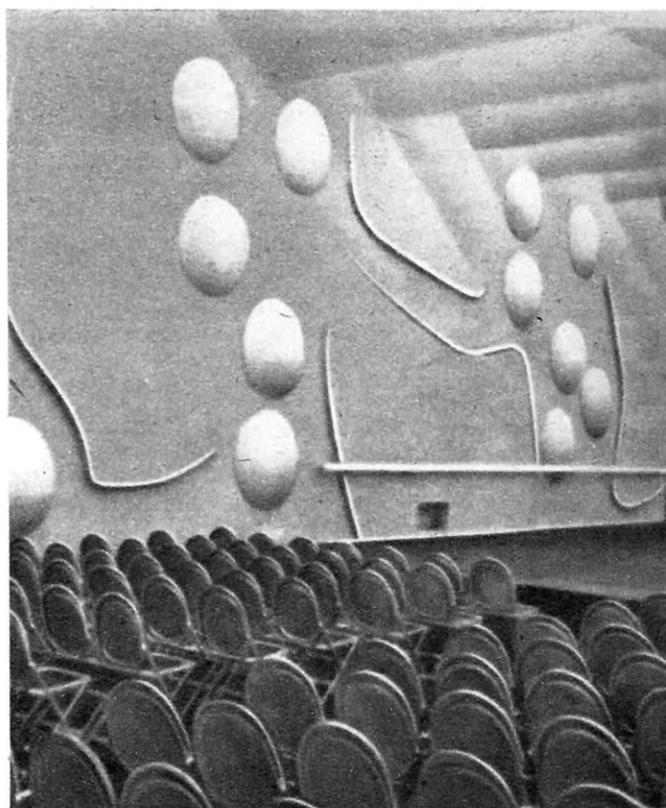
Les ondes longues sont employées en général pour des émetteurs très puissants



LA SALLE DE CONTROLE D'UNE STATION AMÉRICAINE DE 50 KW A MODULATION EN AMPLITUDE (WESTINGHOUSE).

destinés à être écoutés non seulement dans le pays, mais dans les pays voisins. La France dispose, sur les ondes longues, d'une fréquence actuellement inemployée par suite des destructions de l'ennemi (station d'Allouis, de 900 kW). Les ondes moyennes sont généralement réservées à des émissions nationales ou régionales qui doivent couvrir le mieux possible l'ensemble du territoire. Enfin, les ondes courtes servent pour les émissions coloniales à très grande distance. Certains émetteurs à ondes courtes et moyennes ont été groupés en chaînes. Ils retransmettent les mêmes programmes sur la même fréquence et se comportent pour l'utilisateur comme un seul émetteur. L'organisation en chaînes, qui a été étendue en Europe pendant la guerre pour éviter que des stations puissantes et uniques ne servissent de phares pour les radiogoniomètres des bombardiers ennemis, offre en temps de paix des avantages considérables parce qu'elle permet à toutes les stations de la chaîne d'en prendre le commandement, et qu'ainsi la chaîne peut retransmettre des émissions de tous les studios de Paris et de province. Elle permet d'obtenir sur tout le territoire un champ suffisamment intense pour assurer une écoute agréable, gênant au minimum les postes des pays étrangers.

Une chaîne d'émission est un peu à un émetteur unique, ce qu'est un organisme vivant pluricellulaire à une cellule isolée. Elle comporte un grand nombre de studios qui sont reliés à un central unique appelé *centre de modulation*. La liaison avec les



Un studio américain (N.B.C.) dont les murs sont garnis de panneaux absorbants et de sphères diffusantes pour assurer une bonne répartition du son.

studios de province s'effectue par des câbles spéciaux comportant des relais d'amplification. Le centre de modulation est en liaison avec toutes les stations émettrices de la chaîne. Tout cet ensemble est un réseau basse fréquence qui transmet d'un studio quelconque, à l'une ou à toutes les stations de la chaîne, le courant de modulation.

C'est au centre de modulation que sont établies, suivant un horaire minuté avec précision, toutes les connexions qui permettent de composer un programme. Pour pallier toute défaillance du matériel et du personnel, un luxe de sécurités est prévu : il est par exemple impossible que deux studios soient branchés par erreur sur la même ligne ; un organe défaillant est immédiatement remplacé par un autre tenu en réserve.

Chaque station émettrice est une usine fabriquant de la haute fréquence. Elle reçoit la modulation, soit du centre, soit de l'un de ses studios et l'inscrit sur les ondes rayonnées par ses antennes. Mais le fonctionnement simultané de plusieurs émetteurs sur la même fréquence pose un problème délicat. Si les fréquences ne sont pas rigoureusement égales, leur réception simultanée engendre des battements qui rendent l'émission inutilisable, et cette égalité doit être maintenue à 1/10 000 000 près. La solution adoptée pour la synchronisation des émetteurs consiste à les laisser stabiliser leur fréquence d'oscillation indépendamment les uns des autres après qu'ils se sont accordés sur un émetteur témoin. Pour cela, chaque station possède un maître oscillateur contrôlé par un quartz que l'on maintient dans des conditions physiques aussi constantes que possible, avec un luxe de précautions qu'on ne rencontre guère que dans les laboratoires de métrologie. Le facteur le plus important qui agit sur la fréquence d'oscillations du circuit pilote est la température. Aussi maintient-on ce circuit dans un thermostat où la température reste comprise dans d'étroites limites.

La France est, depuis la Libération, dotée de deux chaînes d'émission qui, bien qu'elles rayonnent une puissance totale inférieure à la puissance des émetteurs français de 1939, laissent cependant moins de zones de mauvaise réception sur l'ensemble du territoire métropolitain.

Le fonctionnement des émetteurs en

chaîne, s'il ne multiplie pas le nombre des programmes que l'on peut entendre, et qui est fonction du nombre des fréquences disponibles, permet d'en améliorer la qualité en faisant profiter tous les émetteurs de la chaîne d'une sélection des ressources locales les plus intéressantes : retransmission de concerts de grandes manifestations, etc. Mais pour tirer le meilleur parti des possibilités d'une telle organisation, il faut encore introduire un autre élément de souplesse dans son fonctionnement.

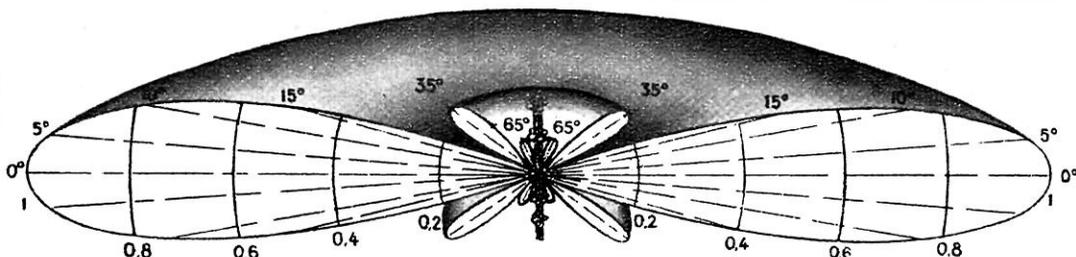
ENREGISTREMENT ET TRANSMISSION DIFFÉRÉE

Il faut pouvoir tenir en réserve une transmission particulièrement intéressante si elle est recueillie à la même heure qu'une autre transmission, ou à une heure à laquelle la grande majorité des auditeurs est au travail, ou si les artistes, les acteurs, les conférenciers ne peuvent être réunis à l'heure où doit avoir lieu l'émission, ou enfin si on veut répéter l'émission. La technique de l'enregistrement et de la transmission différée est parvenue à un tel point de perfection qu'il est pratiquement impossible de reconnaître une telle transmission d'une transmission directe

L'enregistrement s'effectue le plus souvent sur disque. Comme la capacité d'un disque est limitée, il a fallu éviter les interruptions désagréables au passage d'un disque à l'autre. Pour cela on dispose dans le studio de deux appareils d'enregistrement et on enregistre en double la fin de chaque disque sur le disque suivant.

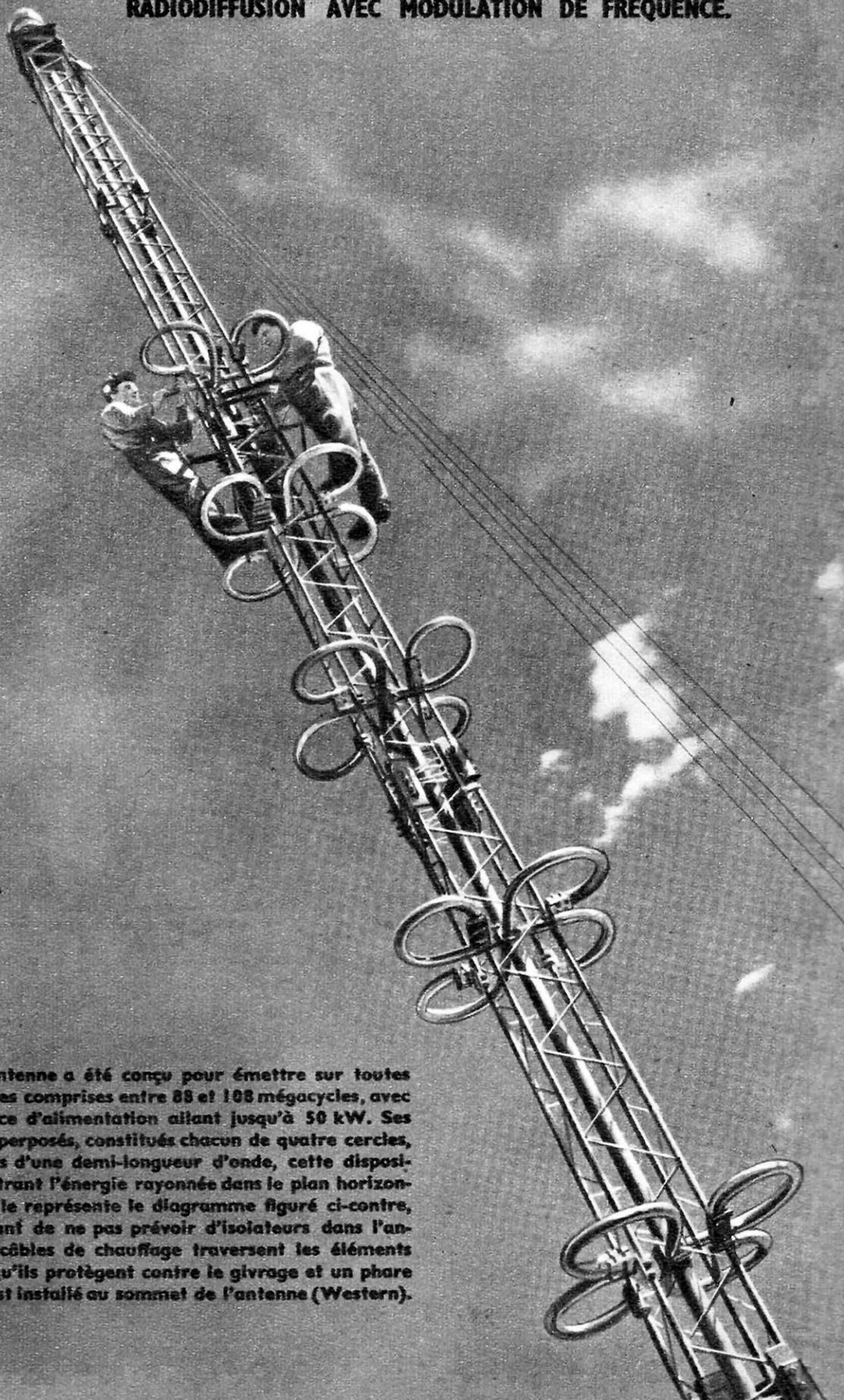
A la retransmission l'opérateur fait tourner le disque à remplacer en même temps que celui qui lui succédera. Il entend simultanément les deux enregistrements et fait varier la vitesse de rotation du deuxième disque jusqu'à ce que les deux enregistrements coïncident. Un commutateur fait alors passer les appareils d'émission du premier disque sur le deuxième.

D'autres procédés permettent d'enregistrer pratiquement n'importe quelle durée d'émission, ce sont l'enregistrement sur film où les vibrations sonores s'inscrivent sous la forme d'une variation de la largeur d'une plaque transparente et sont « lues » par une cellule photoélectrique, et les enre-



COUPE DU DIAGRAMME D'ÉMISSION.

**ANTENNE EN « TRÈFLE A QUATRE FEUILLES » POUR
RADIODIFFUSION AVEC MODULATION DE FRÉQUENCE.**



Ce type d'antenne a été conçu pour émettre sur toutes les fréquences comprises entre 88 et 108 mégacycles, avec une puissance d'alimentation allant jusqu'à 50 kW. Ses éléments superposés, constitués chacun de quatre cercles, sont distants d'une demi-longueur d'onde, cette disposition concentrant l'énergie rayonnée dans le plan horizontal, comme le représente le diagramme figuré ci-contre, et permettant de ne pas prévoir d'isolateurs dans l'antenne. Des câbles de chauffage traversent les éléments tubulaires qu'ils protègent contre le givrage et un phare d'aviation est installé au sommet de l'antenne (Western).

gistrements sur fils ou rubans magnétiques, où les vibrations sonores modifient la perméabilité magnétique de ce fil ou ruban qui à la transmission provoque dans un circuit l'apparition de courants induits.

LES ONDES DIRIGÉES

Il est souvent intéressant de favoriser certaines directions de l'espace et au contraire d'atténuer le rayonnement des antennes de radiodiffusion dans d'autres directions. C'est le cas lorsqu'on veut diffuser dans une zone au moyen d'une station très excentrique et même complètement extérieure à la zone visée (émissions coloniales) et lorsqu'on veut éviter de gêner un émetteur étranger utilisant la même fréquence. Les solutions adoptées sont multiples et dépendent de la fréquence de l'onde porteuse. Elles sont en général d'autant moins encombrantes à réaliser que cette fréquence est plus élevée. Le principe général consiste à employer des aériens composites vibrant en phase ou avec des déphasages convenables de telle sorte que leurs rayonnements s'ajoutent dans certaines directions et se retranchent dans d'autres.

Dans le plan vertical également on a parfois intérêt à limiter le rayonnement des antennes réfléchies sur les couches d'Heaviside qui sont génératrices d'évanouissement ou fading. La solution adoptée presque universellement est l'emploi de pylônes isolés à la base et directement utilisés comme radiateurs ; leur hauteur est voisine de la demi-longueur d'onde ; les haubans sont coupés par des isolateurs.

LES NOUVEAUX PROCÉDÉS DE MODULATION

On a vu par ailleurs que des procédés de modulation d'un principe très différent de celui de la modulation en amplitude ont été étudiés dès avant la guerre et ont rendu des services très importants dans les transmissions militaires.

En particulier la *modulation en fréquence* donne des transmissions téléphoniques d'une plus haute fidélité et permet de reproduire des vibrations sonores allant jusqu'à 15 000 cycles avec des variations d'intensités sonores allant jusqu'à 60 décibels. Elle est beaucoup moins sensible aux parasites que la modulation en amplitude. Elle présente cependant l'inconvénient d'exiger une bande passante 10 fois plus large que la modulation en amplitude, et par conséquent n'est utilisable qu'en ondes courtes avec des émetteurs de portée assez limitée. Elle exige également un changement complet de la construction des radiorécepteurs, et par conséquent son développement rapide ne se conçoit que dans des pays prospères et dotés d'une industrie puissante. Aux États-Unis, la modulation en fréquence a déjà 600 000 auditeurs,

qui écoutent plus de 300 émetteurs ; 500 autres émetteurs sont en construction. En France, la modulation en fréquence est encore au stade expérimental. Il existe à Paris un émetteur d'une puissance de 500 W émettant sur une longueur d'onde comprise entre 5 et 7 m et qui a donné des résultats très encourageants.

La *modulation par impulsions*, qui exige une grande largeur de bande et ne peut en conséquence s'appliquer aux fréquences élevées (ondes très courtes) permet le fonctionnement « multiplex » (voir p. 41), c'est-à-dire la transmission simultanée de plusieurs programmes sur une onde porteuse unique. Une solution d'avenir pourrait être l'installation dans chaque ville d'un émetteur unique transmettant simultanément un nombre élevé de programmes, qui peut aisément atteindre 10 ou 20.

LA RADIODIFFUSION DANS LE MONDE

Le nombre des émetteurs, la puissance rayonnée de leurs antennes, le nombre des radiorécepteurs sont un indice très révélateur de la puissance industrielle et de la prospérité des nations. La guerre, par les destructions qu'elle a causées a changé pour un temps le classement des différents pays.

Au premier rang viennent les U. S. A. avec 1100 émetteurs, d'une puissance totale de 7 000 kW, et 60 millions de récepteurs. Puis vient l'Angleterre avec 121 émetteurs d'une puissance de 6 240 kW et 10 millions de récepteurs auxquels il faut ajouter 600 000 auditeurs branchés sur le réseau téléphonique (en Irlande du Nord). Ensuite vient l'U. R. S. S. : 130 émetteurs d'une puissance globale mal connue mais supérieure à 3 000 kW et 10 550 000 auditeurs dont 6 100 000 pratiquant l'écoute par réseau téléphonique.

Enfin, les pays suivants : France, Allemagne, Japon et Italie ont beaucoup souffert de la guerre qui a entraîné la destruction d'un grand nombre de stations émettrices (la presque totalité des stations françaises a été rendue inutilisable à la Libération). La puissance globale des stations françaises est passée de 2 700 kW (42 émetteurs) en 1939, à 891 kW (45 émetteurs) au début de 1947, et le nombre des auditeurs, qui s'est maintenu sensiblement constant, est de 5 576 000. Pour l'Allemagne, la puissance totale est passée de 1 814 kW (45 stations) en 1939 à 777 (23 stations au début de 1947) et le nombre des auditeurs est tombé de 14 millions à 5,5 millions. Le Japon est passé de 570 kW (53 stations) à 97,5 kW (114 stations) et à 4 millions d'auditeurs. Enfin, l'Italie, dont les émissions sont tombées d'une puissance de 1 313 kW (46 stations) à 409 kW (23 stations) ne compte guère que 400 000 auditeurs.

RADIORÉCEPTEURS

par André BATHELET

Ingenieur A.M. et E.S.E.

Les perfectionnements des radiorécepteurs paraissent encore peu sensibles au grand public, par comparaison avec les résultats acquis avant le conflit mondial. Une évolution se dessine cependant pour les faire bénéficier des études poursuivies pendant les années de guerre. La création de pièces de dimensions réduites, celle de lampes miniatures et subminiatures permettent la réalisation de postes minuscules, qui se fabriquent actuellement aux Etats-Unis par millions. La construction des postes pour automobiles s'est entièrement transformée. La technique récente des circuits imprimés ouvre des possibilités nouvelles quant à la fabrication en grande série de postes de conception simplifiée et doit conduire à un abaissement sensible du prix de revient. Le nombre des auditeurs de la radiodiffusion s'accroît sans cesse. Les chiffres les plus caractéristiques sont ceux des Etats-Unis, où on compte plus de 7 millions de postes sur des automobiles et un total de récepteurs en service dépassant 61 millions.

La technique actuelle de la radio permet la construction de postes récepteurs répondant à tous les besoins. Il existe deux grandes classes d'appareils. Les uns, appelés « récepteurs d'amateurs », sont les plus connus. Ils assurent l'écoute des programmes des stations de radiodiffusion transmettant de la musique et de la parole. Tous les autres sont dits professionnels. Il en existe une très grande diversité, et leur nombre augmente chaque jour en suivant le développement sans cesse grandissant des applications de l'électronique. Les plus anciens sont ceux qui servent à assurer des liaisons entre deux correspondants. On les appelle souvent récepteurs de trafic. Ils diffèrent beaucoup les uns des autres, suivant la distance entre les correspondants et aussi suivant les longueurs d'ondes sur lesquelles se font les transmissions. Dans les armées modernes, ces appareils, auxquels on adjoint toujours

Récepteur portatif Romac " Personal ". L'antenne est logée dans la courroie. Le poids total de ce superhétérodyne 4 lampes est de 2 kg environ.





RÉCEPTEUR PORTATIF " STARLET "

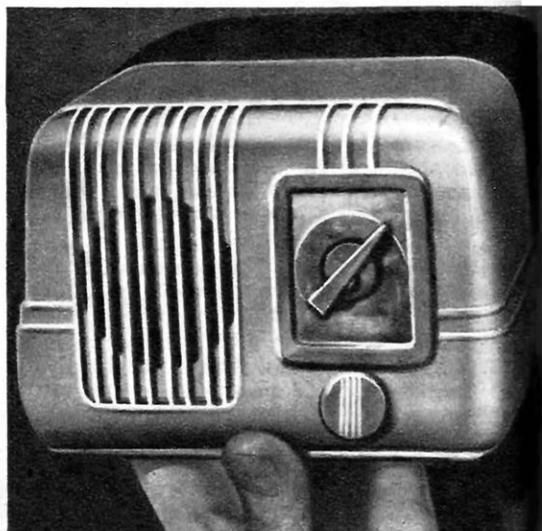
C'est un superhétérodyne à 4 lampes miniatures dont le poids est de quelque 1500 g avec les batteries d'alimentation sous 1,5 et 67,5 V. Il couvre la bande de fréquence de 540 à 1650 kc. L'allumage et l'extinction sont automatiques par manœuvre du couvercle, où est logé le cadre-antenne. Les dimensions de l'appareil sont de 16 x 8 x 10 cm (Garod Electronic Corp.)

un émetteur, formant un ensemble émetteur-récepteur, ont complètement remplacé le téléphone. Leur maniement s'est simplifié au point qu'on peut les mettre entre les mains de personnes non averties. Ils ne peuvent pas être utilisés par des particuliers sans l'autorisation de l'Administration des télécommunications. Les amateurs qui désirent faire de l'émission doivent faire une demande et se voient assigner une longueur d'onde et le droit d'entretenir des conversations purement techniques. Nous ne parlerons pas ici des récepteurs destinés à assurer des liaisons téléphoniques, dont l'importance est telle qu'un chapitre spécial leur a été réservé.

Rappelons seulement qu'ils permettent aux passagers des grands paquebots d'entrer en communication avec le réseau téléphonique du continent, aux automobilistes, dans certaines régions des Etats-Unis ou de Grande-Bretagne, de se rattacher au téléphone urbain (d'où la possibilité pour l'usager en déplacement de converser à chaque instant avec tous les abonnés, de donner des ordres en son absence, de prévenir les intéressés de son arrivée, etc.), aux voitures de la police ou des pompiers de communiquer avec les bureaux centraux, aux avions de se maintenir en liaison avec les postes de contrôle au sol de la navigation, etc. Signalons aussi pour



Récepteur superhétérodyne portatif fonctionnant sur batteries, couvrant la gamme de 540 à 1620 kilocycles (Emerson Radio).



Radiorécepteur miniature " Baby " à 4 lampes, tous courants, couvrant la gamme d'ondes de 180 à 600 mètres (Laly-Radio).

mémoire la série très intéressante de ces appareils très spéciaux qui transmettent ou reçoivent les photographies par radio. Ils sont utilisés principalement par la presse qui peut ainsi recevoir très rapidement des clichés de tous les événements mondiaux d'actualité. Des services réguliers commencent à s'organiser dans certains pays, aux Etats-Unis en particulier, pour la diffusion par radio d'un journal quotidien. Les récepteurs spéciaux y sont mis en location mensuelle chez les abonnés. Ceux-ci trouvent ainsi à leur réveil l'édition du matin d'un journal complet de 24 à 32 pages, enregistré dans les toutes premières heures du matin par le récepteur entré automatiquement en fonctionnement.

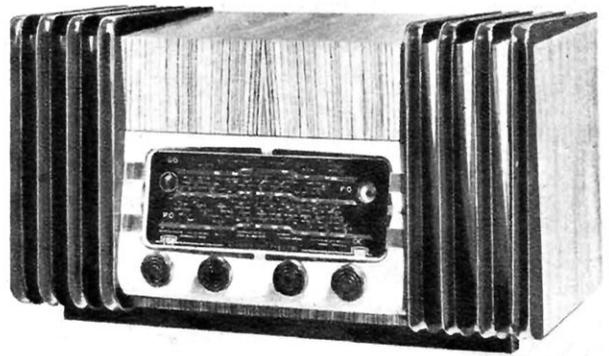
RÉCEPTEURS D'AMATEURS

Les récepteurs d'amateurs peuvent se classer suivant leurs dimensions et leur mode d'alimentation. Il en existe une grande variété, depuis le récepteur de poche jusqu'au meuble de salon, et on peut dire que leur prix est proportionné à leurs dimensions. L'alimentation se fait généralement sur le secteur, quelquefois sur piles ou sur accumulateurs électriques. Nous les diviserons en récepteurs portatifs, récepteurs pour automobiles, récepteurs de table et meubles radio-phono. Avant de donner plus de détails sur chacun de ces types d'appareils, nous définirons quelles sont les caractéristiques principales des récepteurs de radiodiffusion, sans toutefois entrer dans des considérations trop exclusivement techniques.

De nombreux auditeurs ont pour habitude de considérer le nombre de lampes d'un poste récepteur de radiodiffusion comme représentatif de ses performances. Cependant il n'en est rien. Une lampe moderne remplit le plus souvent des fonctions multiples pour lesquelles il aurait fallu plusieurs lampes lors des débuts de la radio. Il est donc devenu nécessaire d'employer des termes un peu plus techniques pour juger des qualités d'un récepteur, et nous pouvons dire qu'il faut examiner quatre qualités primordiales : la sensibilité, la puissance, la sélectivité et la musicalité, auxquelles nous devons ajouter les gammes de longueurs d'ondes qui peuvent être reçues, et le mode d'alimentation.

SENSIBILITÉ

La sensibilité représente l'aptitude de l'appareil à recevoir les émetteurs lointains ou de faible puissance. Plus un récepteur est sensible, et plus on a de chances de capter un plus grand nombre de stations d'émission. La sensibilité s'exprime par la tension haute-fréquence (mesurée en microvolts) à appliquer entre les bornes antenne-terre pour obtenir une bonne audition, représentée conventionnellement par une puissance électrique de 50 milliwatts, délivrée à la bobine du haut-parleur. On constate pratiquement que cette

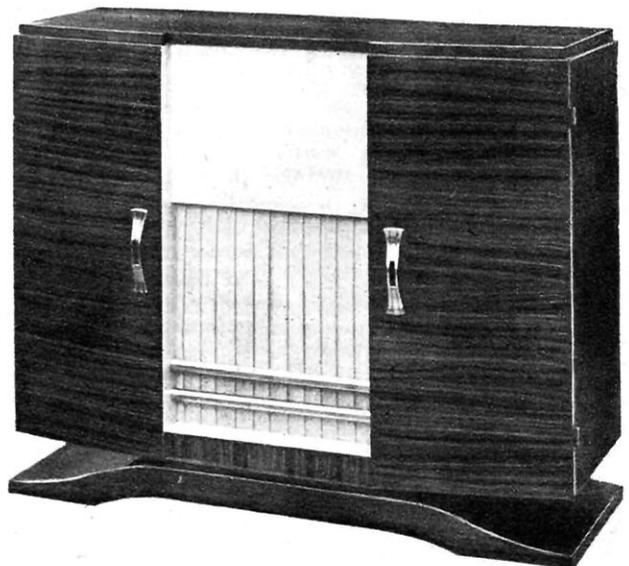


Superhétérodyne six lampes, trois gammes de longueurs d'ondes " Sélection 48 " (Sonneclair-Radio).

condition de bonne audition fixe une limite à la sensibilité dans les conditions actuelles de la technique. En effet, il est bien inutile de recevoir une émission si elle est dominée par des parasites ou par le bruit de fond du récepteur lui-même. C'est ainsi que l'on constate que, pour la gamme des grandes ondes de 800 à 2 000 m et la gamme des petites ondes de 200 à 550 m, on n'a pas intérêt pratiquement à dépasser une sensibilité de 10 à 20 microvolts. Par contre, sur la ou les gammes des ondes courtes de 13 à 50 m, des sensibilités dix fois meilleures, de 1 à 2 microvolts, sont encore très utilisables. Dans ce cas, le récepteur comporte une lampe supplémentaire amplificatrice haute-fréquence. On peut alors capter, sur ces ondes, des émissions du monde entier.

PUISSANCE

Il est très important de comprendre que la sensibilité et la puissance sont deux qualités tout à fait indépendantes. Un poste sensible



Meuble radio-phono combiné " Caelivox "



POSTE RÉCEPTEUR DE RADIODIFFUSION INSTALLÉ SOUS LE TABLEAU DE BORD D'UNE AUTOMOBILE.

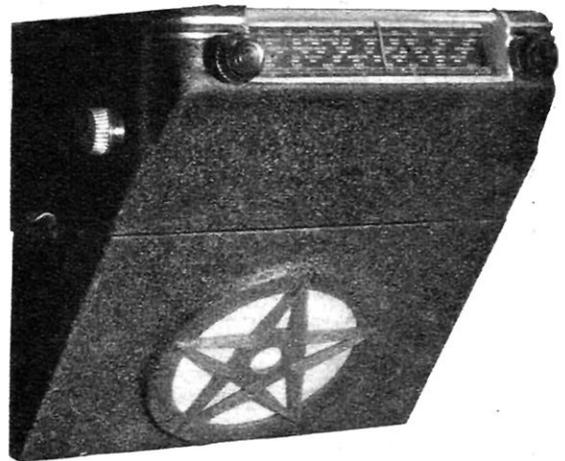
C'est un superhétérodyne 5 lampes à haut-parleur de 16 cm à aimant permanent. Les lampes sont maintenues en place dans leurs supports quelles que soient les secousses imprimées par la voiture, par un dispositif spécial à ressorts. (Radiomobile).

permettra l'écoute de nombreuses stations éloignées géographiquement ou peu puissantes, mais avec un volume sonore qui peut être très réduit. Un poste puissant donnera un volume sonore considérable, mais, s'il n'est pas en même temps sensible, il ne recevra qu'un nombre très limité de stations rapprochées. La puissance dépend essentiellement de la lampe de sortie, dite aussi « lampe de puissance », et du haut-parleur, tandis que la sensibilité est fonction de l'amplification donnée par l'ensemble des lampes et des circuits. On exprime habituellement la puissance par le nombre de watts que la lampe de sortie peut fournir à la bobine mobile du haut-parleur, en assurant une qualité de reproduction minimum représentée conventionnellement par une distorsion totale de 10 % (c'est-à-dire que le rapport entre la somme des intensités efficaces des harmoniques qui n'existent pas dans les oscillations incidentes et qui sont engendrées dans le récepteur, à l'intensité de l'oscillation fondamentale ne doit pas dépasser 10 %). Ce nombre de watts ne donne pas cependant la puissance acoustique transmise à l'air par le haut-parleur. Pour cela, il faudrait connaître le rendement acoustique de ce dernier. La mesure de ce

rendement est encore très difficile, et peu de laboratoires sont capables de l'effectuer de façon satisfaisante. Nous savons cependant que le rendement des haut-parleurs connus est compris entre 0,5 et 30 % suivant les modèles. C'est donc que certains haut-parleurs ont un rendement 60 fois meilleur que d'autres. On comprendra par ces chiffres que c'est un facteur très important dans l'évaluation de la puissance.

SÉLECTIVITÉ

La sélectivité est la facilité avec laquelle se fait la séparation des différentes émissions. Un très grand nombre d'émetteurs rayonnent dans l'espace chacun un programme différent, et notre antenne les reçoit tous simultanément. Un des rôles principaux du récepteur est donc de nous permettre de faire notre choix. Nous dirons qu'il est sélectif si la station choisie est reçue sans être brouillée par d'autres émissions. Naturellement, la difficulté sera très grande si nous voulons écouter une station lointaine ou faible dont



Poste radiorécepteur pour automobile, " Starnett " toutes ondes, s'installant sous le tableau de bord.

la longueur d'onde est voisine de celle d'une station rapprochée et puissante. Dans ce cas, une grande sélectivité sera nécessaire. Inversement, pour l'écoute d'une station rapprochée et puissante, nous pourrions nous contenter d'une sélectivité moindre. Cette sélectivité est obtenue grâce à la qualité et au nombre des circuits accordés du récepteur. De nombreux constructeurs indiquent le nombre de circuits accordés que comporte l'appareil qu'ils présentent.

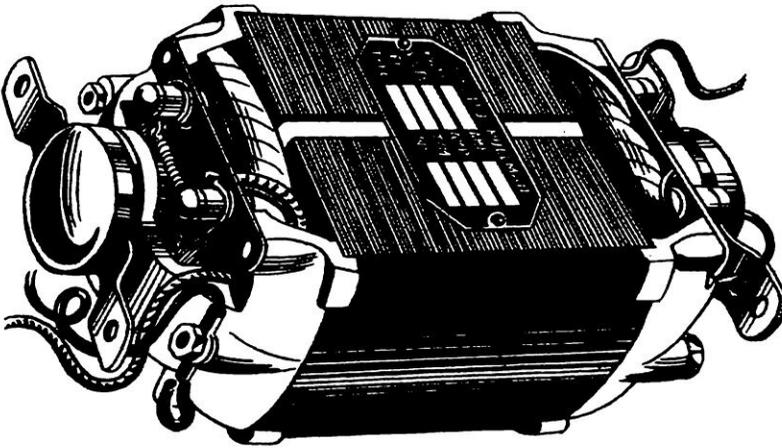
Nous avons dit qu'un bon récepteur devait nous permettre de recevoir sans brouillage une quelconque émission de notre choix. Les longueurs d'ondes des émetteurs sont fixées par les accords internationaux. Le but de ces accords est précisément d'éviter que

des stations émettent sur des longueurs d'ondes presque égales, ce qui rendrait leur sélection impossible. On a admis que deux émetteurs seraient séparés sur l'échelle des fréquences par un minimum de 9 kc, c'est-à-dire 9 000 cycles (périodes par seconde). C'est pourquoi on exprime souvent la sélectivité par l'affaiblissement obtenu dans le récepteur pour les émissions sur des fréquences différant de 9 kc, en plus ou en moins, par rapport à la fréquence de l'émission que l'on désire écouter, et pour laquelle on a réglé son appareil.

Avec le système de modulation classique communément utilisé par les émetteurs de radiodiffusion, la modulation en amplitude, chacun d'eux couvre, de part et d'autre de la fréquence nominale qui lui est attribuée, une bande de fréquences dont la largeur est égale à la fréquence des harmoniques musicaux les plus aigus qu'elle transmette. Pour ne pas gêner les émetteurs voisins, cette largeur se trouve ainsi limitée à 4 500 périodes par seconde. Ceci est peu si l'on considère que notre oreille perçoit encore des sons

Dans les conditions pratiques de la réception, le même degré de sélectivité n'est pas toujours nécessaire. Une émission locale puissante ne risque pas d'être troublée dans sa réception par une réception lointaine faible. Aussi a-t-on mis au point des dispositifs de « sélectivité variable », commandés ou automatiques ; la grande sélectivité entrera en jeu pour la séparation des postes éloignés ou faibles, tandis qu'une sélectivité moins poussée assurera une réception de très bonne qualité des émissions locales.

Si les deux premières caractéristiques citées, sensibilité et puissance, peuvent facilement être représentées par des chiffres, il n'en est pas de même des deux autres : sélectivité et musicalité. En effet, la sélectivité n'est pas seulement le pouvoir de séparer deux stations de longueurs d'ondes voisines. Nous avons dit qu'elle devait nous permettre de recevoir sans brouillage une quelconque émission de notre choix. Malheureusement, des stations dont la longueur d'onde est très différente peuvent créer des brouillages. Dans leur très grande majorité, les récepteurs classiques sont du type superhétérodyne, dit aussi à changement de fréquence. Ils comportent un oscillateur local qui est cause d'innombrables sifflements dont les principaux sont connus sous le nom de sifflement de « fréquence image » et de sifflement de moyenne fréquence, dus tous deux à des interférences avec des émissions de fréquences très différentes de celle sur laquelle est réglé le récepteur (1). Un autre phénomène, appelé transmodulation, est dû aux lampes et se traduit par le chuchotement



Le Dynamotor " Electro-Pullmann " à très faible consommation alimentant un récepteur sur accumulateurs et ne consommant que 2,5 A sous 6 V.

ayant une fréquence de 12 000 périodes par seconde et plus. En fait, cette prescription n'est pas toujours suivie, et nombre d'émetteurs débordent largement cette bande théorique ; leur modulation s'étend le plus souvent jusqu'à 8 000 cycles de part et d'autre de la fréquence nominale. La fidélité de la reproduction y gagnerait si la grande sélectivité des récepteurs, nécessaire pour séparer les émetteurs voisins, ne s'opposait à ce gain, puisqu'elle supprime en principe toute la gamme des fréquences musicales s'étendant au delà de 4 500 cycles. On conçoit ainsi que la sélectivité ne puisse s'obtenir qu'au détriment de la qualité musicale, et que l'on soit conduit à choisir un compromis entre sélectivité et fidélité.

(1) Rappelons que dans un récepteur superhétérodyne, l'amplification des signaux radiophoniques s'effectue non pas sur la fréquence de l'émission, variable d'un émetteur à l'autre, mais sur une fréquence fixe, toujours la même, ce qui permet d'établir les circuits avec le rendement maximum. L'accord du poste s'effectue à l'aide d'un oscillateur local dont on règle la fréquence pour que sa tension, « mélangée » à celle collectée par l'antenne, fournisse des battements à la fréquence fixe choisie, dite « fréquence moyenne », et qui est égale à la différence des fréquences des oscillations superposées. Chaque réglage de l'oscillateur permet théoriquement la réception simultanée d'émissions sur deux fréquences, l'une recherchée, l'autre sur la « fréquence image » de la précédente, c'est-à-dire sa symétrique par rapport à la fréquence de l'oscillateur. On choisira évidemment la fréquence moyenne de manière à ce qu'il n'y ait pas d'émetteur sur ces « fréquences images », mais on ne pourra pas éviter toujours qu'il ne s'en trouve de fréquence suffisamment voisine pour que des sifflements ne se produisent par interférence. En outre, toute émission de fréquence voisine de la fréquence moyenne et pénétrant dans le poste provoquera directement dans le récepteur des sifflements désagréables.

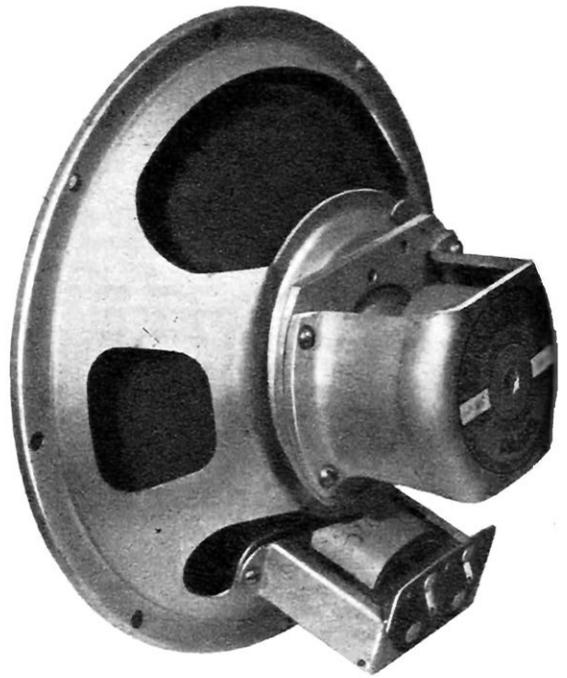
tement d'un émetteur voisin de celui que l'on reçoit. Tous ces défauts peuvent être en grande partie éliminés par une étude très poussée et une construction soignée du récepteur. Chacun d'eux peut être mesuré et chiffré. C'est donc seulement par l'examen d'un tableau de chiffres que l'on peut juger de la sélectivité.

QUALITÉ MUSICALE

Pour la qualité musicale, la différence est encore plus grande. Elle ne peut plus être représentée par des chiffres mais par des courbes qui traduisent le comportement de l'appareil de reproduction sonore pour chaque fréquence du registre musical. Jusqu'à ces dernières années, on se contentait de relever les courbes de fidélité de l'ensemble. Mais on ne savait rien de ce qui se passait dans le haut-parleur, laissant l'oreille seule juge des sons produits, et somme toute de la fidélité du récepteur. Une telle pratique peut conduire à de grandes erreurs.

Tout d'abord, remarquons que la musicalité est une qualité que la plupart des auditeurs apprécient mal. La première raison en est probablement qu'aucun appareil ne reproduit intégralement toutes les fréquences musicales. De ce fait, l'auditeur ne recherche pas l'audition qui se rapproche le plus de la réalité, mais plutôt celle qui flatte le plus son oreille. Une autre raison est que les auditeurs n'ont pas l'occasion de faire instantanément la comparaison entre la musique réelle et celle qui est fournie par leur récepteur de radio. Lorsqu'on écoute un morceau de musique à la radio, on se plaît ou non à l'entendre ainsi, et on le juge alors sur cette impression. D'autre part, si on écoute à la radio un morceau entendu précédemment en réalité, la mémoire auditive entre en jeu et les sons omis par l'appareil se trouvent rétablis par cette mémoire sans que nous y prenions garde. Cependant, lorsque deux récepteurs sont placés côte à côte dans le même local, et que par un jeu de commutateurs on peut rapidement passer à l'écoute d'une même émission sur l'un ou sur l'autre, les auditeurs choisiront sans hésitation celui qui donne la meilleure reproduction.

On est donc venu à évaluer la fidélité d'un récepteur par la mesure directe des sons qu'il produit. Un premier pas vient d'être fait dans cette voie par la création de chambres « sourdes », c'est-à-dire dans lesquelles le temps de réverbération des sons



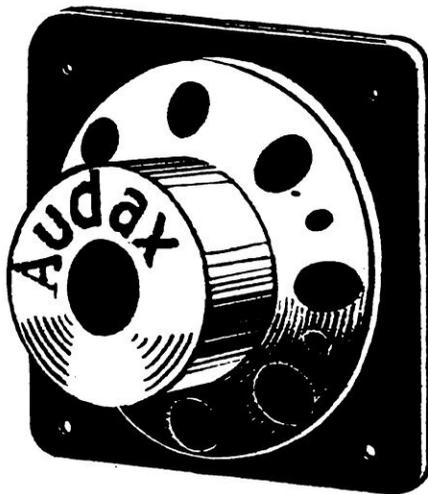
Haut-parleur à aimant permanent "Musicalpha".

est pratiquement nul, les parois absorbantes, généralement en laine de verre comprimée dessinant des alvéoles, supprimant toute réflexion sonore. Dans ces chambres qui les soustraient à toute influence extérieure, les mesures de fidélité des haut-parleurs et des récepteurs complets peuvent être menées à bien.

RÉCEPTEURS PORTATIFS

Examinons maintenant les caractéristiques des nombreux récepteurs mis à notre disposition par l'industrie radioélectrique.

Les récepteurs portatifs sont alimentés par piles. C'est dans cette catégorie que l'on rencontre les plus petits appareils de radio connus. L'apparition des lampes miniatures a permis la construction de tout petits récepteurs de la dimension d'un appareil photographique. Ils n'ont généralement qu'une gamme de longueurs d'ondes (petites ondes). Ils possèdent un cadre qui remplace l'antenne et leur assure une sensibilité et une sélectivité suffisantes pour l'écoute des émetteurs locaux. Leur puissance électrique, 250 milliwatts environ, est faible, car on ne peut pas demander aux piles un débit très grand. Le haut-parleur étant très petit, son



Un des plus petits modèles de haut-parleur français : le type 8,cm "Audax".

rendement n'est que de 0,5 % environ. Il s'ensuit que la puissance acoustique n'est que de 1,3 mW. Elle permet néanmoins une bonne réception de la parole.

RÉCEPTEURS POUR AUTOMOBILES

En Amérique, les récepteurs pour automobiles sont construits avec une seule gamme de petites ondes. En Europe, ils comportent presque toujours deux gammes de petites et grandes ondes, et les derniers modèles ont également une gamme d'ondes courtes. Ils sont alimentés en partant de la batterie d'accumulateurs du véhicule, soit avec un vibreur, soit avec une commutatrice. L'aérien est constitué par une antenne télescopique qui se place sur le côté de la voiture. Par suite du faible développement de cette antenne, une grande sensibilité est nécessaire (5 à 10 microvolts). La puissance doit être suffisante pour dominer les bruits du moteur. Généralement ce but est atteint par l'emploi d'un haut-parleur à grand rendement (4 %) qui fournit une puissance acoustique de 100 mW environ. La musicalité n'est pas particulièrement recherchée sur ces appareils; par contre des précautions spéciales doivent être prises pour éviter que les parasites de l'allumage ne créent un bruit inadmissible dans le haut-parleur. Pour les éliminer il faut mettre des résistances sur les bougies, un condensateur sur la dynamo, un autre sur l'essuie-glace, blinder les fils d'antenne et d'alimentation, relier le moteur au châssis par des tresses de fil de cuivre. L'installation doit être faite par un spécialiste.

RÉCEPTEURS DE TABLE

Avec le récepteur de table, nous entrons dans la catégorie des appareils les plus répandus. On peut les diviser en trois types principaux : le récepteur pygmée, le récepteur moyen et le récepteur de luxe.

Le premier est le plus petit poste alimenté par le secteur. Il est du type tous courants et peut fonctionner sur tous les réseaux alternatifs ou continus. Sa sensibilité est comprise entre 100 et 200 microvolts et sa sélectivité satisfaisante. Le rendement de son haut-parleur est de l'ordre de 1 %, ce qui lui assure une puissance acoustique de 10 mW environ. Cette puissance correspond à une audition très acceptable dans un petit appartement. L'intérêt de ce type de récepteur est son prix modique qui le met à la portée de tous, et son faible encombrement.

Le second est le type de récepteur que l'on rencontre le plus couramment. Monté dans une ébénisterie

de dimensions moyennes, ses qualités et son prix en font l'appareil du grand public. Il comporte presque toujours un indicateur d'accord ou « œil magique » et un réglage de tonalité constitué par un filtre réglable éliminant plus ou moins les fréquences aiguës. Il est le plus souvent à trois gammes d'ondes, mais la tendance actuelle est de diviser la gamme d'ondes courtes en deux, ce qui facilite le réglage et le repérage des stations. Sa sensibilité est très bonne, environ 50 à 100 microvolts. Sa puissance acoustique avec un haut-parleur de rendement 2 % est de l'ordre de 60 mW. En outre, il possède une prise pour le branchement d'un pick-up et une autre prise pour lui adjoindre un haut-parleur supplémentaire.

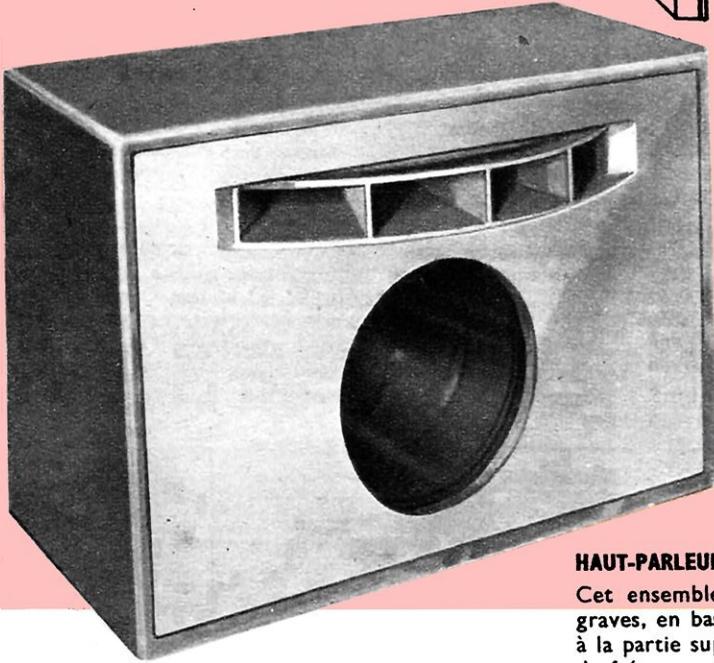
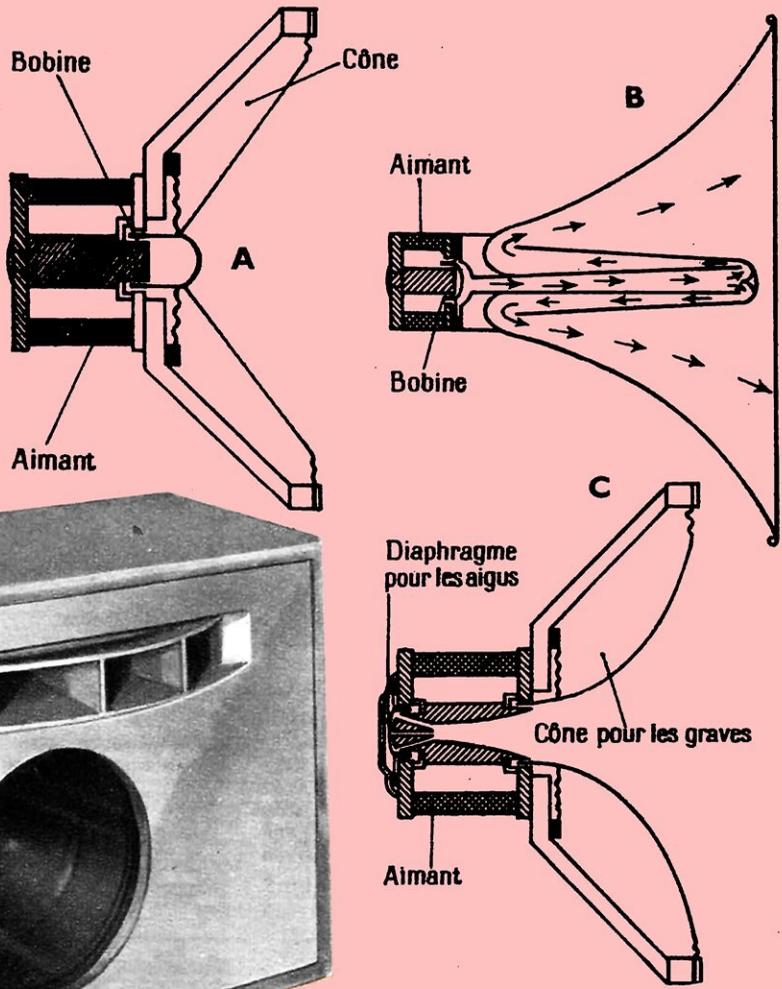
Le récepteur de luxe comprend des perfectionnements qui augmentent considérablement ses performances. En général, il possède une lampe amplificatrice haute fréquence qui lui assure une sélectivité très poussée et une sensibilité excellente de 5 à 10 microvolts. Sa sélectivité est réglable à volonté au moyen d'un commutateur à deux ou trois positions. L'utilisateur peut alors réaliser lui-même, entre sélectivité et fidélité, le compromis le plus judicieusement adapté aux conditions de réception de la station qu'il désire écouter. Une grande sélectivité est nécessaire pour l'écoute d'une émission lointaine; par contre, pour un émetteur local, une faible sélectivité assurera le maximum de fidélité.



Récepteur de télévision à tube de 18 cm " Ontra ".

TROIS TYPES DE HAUT-PARLEURS

A, haut-parleur classique de 21 cm de diamètre à aimant, rendement 2 à 3 %; — **B**, haut-parleur à chambre de compression, diamètre 60 cm, rendement 25 à 30 %; — **C**, haut-parleur double "Tannoy" constitué par un haut-parleur normal avec, en son centre, un petit haut-parleur à chambre de compression pour la reproduction des notes aiguës.



HAUT-PARLEUR WESTERN POUR SALLES DE SPECTACLES.

Cet ensemble combine un haut-parleur pour les sons graves, en bas, et un haut-parleur pour les sons aigus, à la partie supérieure de l'appareil. Il couvre un domaine de fréquences très étendu allant de 60 à 15 000 cycles.

Pour faciliter le réglage et le repérage des stations, la gamme des ondes courtes est généralement divisée en deux et même quatre sous-gammes. La puissance de sortie est très grande grâce à l'utilisation de deux lampes de sortie montées en opposition, suivant le système connu sous le nom de « push-pull ». Le haut-parleur reçoit ainsi une puissance électrique de 8 watts qu'il transforme, avec un rendement de 6 %, en une énergie acoustique d'environ 480 mW. C'est là une puissance très largement suffisante en appartement, même pour la reproduction des disques de danse.

Les meubles radio-phono sont équipés d'un récepteur de luxe, d'un pick-up, et souvent d'un système changeur de disques automatique. Le haut-parleur utilisé peut avoir un rendement qui atteint 10 %, ce qui assure une puissance acoustique très grande, de l'ordre de 800 mW.

MUSICALITE ET MODULATION EN FRÉQUENCE

Les performances dont nous venons de parler, et qui sont celles des récepteurs d'aujourd'hui, sont peu différentes de celles des appareils de 1938, c'est-à-dire d'avant la guerre. Nous avons déjà expliqué que les parasites et le bruit de fond imposaient une limite à la sensibilité. En fait cette limite était déjà atteinte à cette époque. Il en est de même de la sélectivité, pour laquelle nous avons montré qu'on devait se contenter d'un compromis entre sélectivité et musicalité. La puissance obtenue était également suffisante et on savait déjà construire de très bons amplificateurs de grande puissance. Par contre, la musicalité restait encore un domaine peu connu dans lequel de grands progrès pouvaient être réalisés. Deux problèmes se posent à ce propos : celui de la

transmission électrique, qui est le mieux connu, et celui de la transformation de l'énergie électrique en énergie acoustique, autrement dit le problème du haut-parleur.

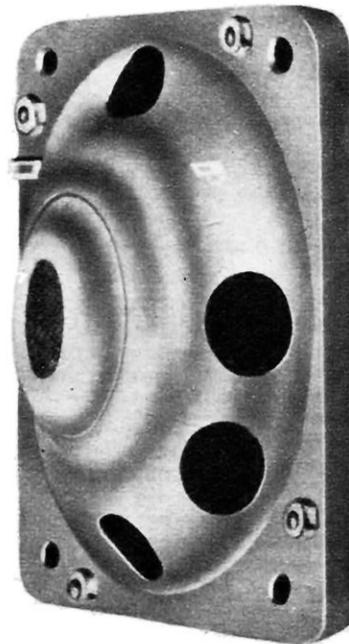
Lorsqu'on a pu analyser les fréquences des sons qui constituent la musique, on a constaté que le registre musical s'étend entre 30 à 15000 périodes par seconde. Pour obtenir une fidélité parfaite dans la reproduction sonore, toutes ces fréquences doivent pouvoir être transmises par une chaîne complexe d'appareils qui va du microphone au haut-parleur du récepteur. Mais est-il bien nécessaire de transmettre une gamme aussi étendue de fréquences musicales ? On peut s'en faire une idée de la façon suivante. Depuis longtemps on a remarqué que la parole est encore très intelligible au téléphone lorsqu'on supprime tous les sons au-dessous de 300 périodes par seconde et au-dessus de 2000 périodes par seconde. Dans ces conditions, cependant, il devient très difficile de reconnaître son correspondant. Les voix de toutes les personnes se ressemblent ; elles ont perdu leur caractère propre, leur timbre. C'est d'ailleurs ce qui se produit le plus souvent en pratique. Il en serait de même pour la musique, et il deviendrait impossible de discerner les divers instruments. C'est une remarque que chacun de nous peut faire en tournant sur « grave », le bouton de réglage de la tonalité d'un récepteur. Pour bien comprendre ce phénomène, rappelons que les instruments de musique n'émettent pas des sons purs. Un son musical est constitué par une fréquence fondamentale accompagnée de tous ses harmoniques dont la fréquence est 2, 3, 4, etc. fois plus grande. C'est l'intensité relative de ces harmoniques qui diffère avec les instruments ou avec les individus lorsqu'il s'agit de la voix. Ils constituent la richesse des sons, le timbre de la voix. Ainsi donc, deux instruments de musique qui émettent une note de même fréquence ne produisent pas la même impression sur notre oreille. Si on supprime ces harmoniques, en adoptant une sélectivité trop poussée, par exemple, tous les instruments et toutes les voix se ressemblent.

Nous avons vu que deux émetteurs voisins sur l'échelle des longueurs d'ondes ont une différence de 9 kc, ce qui limite à 4500 périodes par seconde les fréquences musicales les plus élevées que l'on puisse transmettre sans brouiller

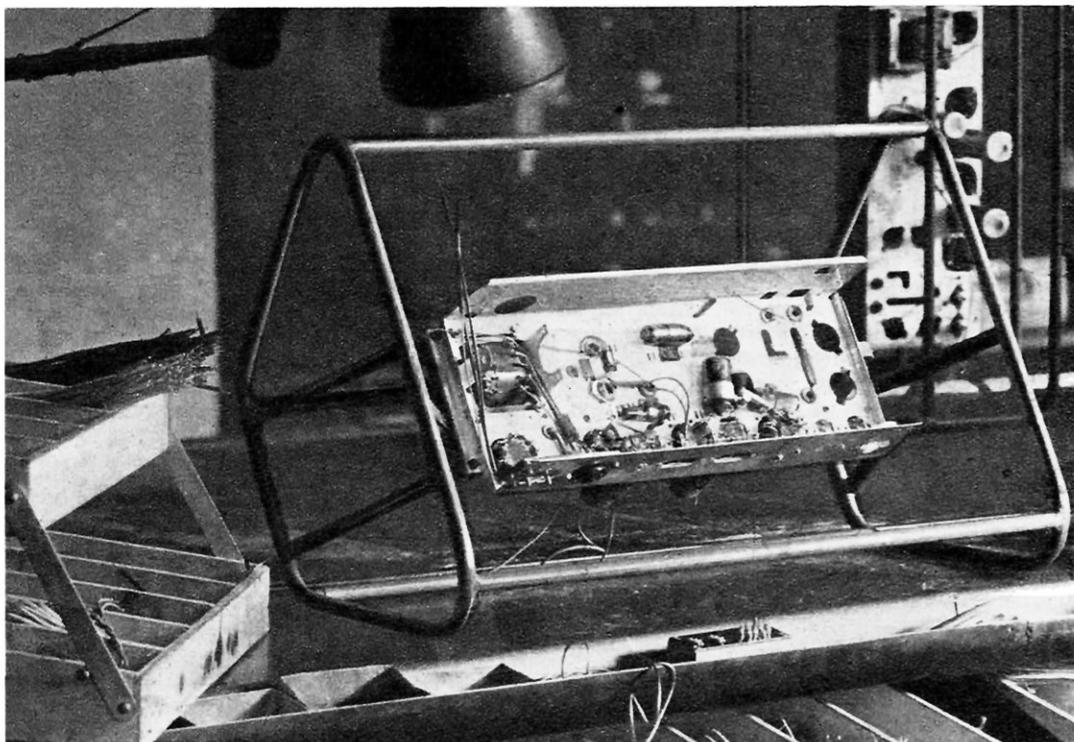
les émissions voisines. Pour obtenir une musicalité parfaite, il faudrait une différence beaucoup plus grande entre les émetteurs, ce qui reviendrait à diminuer leur nombre de moitié ou du tiers. On pourrait tourner la difficulté en synchronisant dans chaque pays les émetteurs qui transmettent le même programme. Pour créer des émetteurs nouveaux, les techniciens ont été amenés à chercher à utiliser des longueurs d'ondes plus courtes, de 2 à 3 mètres. Les progrès récents de l'électronique, tant du côté lampes d'émission que du côté lampes de réception, permettent la fabrication d'appareils utilisant ces faibles longueurs d'ondes. Des difficultés sont pourtant apparues. La portée de ces ondes est relativement faible, 40 à 50 km. De ce fait, de nombreux émetteurs seraient nécessaires pour assurer la diffusion d'un programme dans un pays comme la France. De plus, les parasites, ceux de l'allumage des automobiles en particulier, sont très violents sur ces ondes. C'est pourquoi on est venu à utiliser un nouveau procédé de modulation appelé *modulation en fréquence*, dont un des plus grands avantages est précisément qu'il permet une élimination facile des parasites. Ce système nouveau a un autre avantage très intéressant, il conserve la différence de puissance réelle entre les sons faibles et les sons forts. C'est cette différence que l'on nomme la « dynamique » de l'émission. Les émetteurs que nous écoutons chaque jour appliquent une certaine correction de cette dynamique, c'est-à-dire que les sons faibles sont grossis et que les sons forts sont diminués. Cette « compression » a l'avantage d'augmenter le rendement ou la puissance apparente de l'émission, mais il est facile de comprendre qu'elle enlève une grande part de naturel à la reproduction de la musique.

Il est donc incontestable que ces émetteurs à modulation en fréquence représentent un grand progrès vers la haute fidélité. Malheureusement des récepteurs spéciaux sont nécessaires pour capter les émissions, et ces appareils sont plus compliqués, donc plus coûteux que ceux que nous avons actuellement. Il semble que ces procédés ne peuvent s'appliquer, dans l'état actuel de la technique, qu'à des récepteurs de luxe.

Aux Etats-Unis, où des émetteurs à modulation en fréquence existent déjà en grand nombre, il est pos-



Un haut-parleur pour récepteur miniature, en grandeur naturelle (Truvox Engineering Company).



Châssis de radiorécepteur installé sur son berceau mobile dans la chaîne de montage en grande série.

sible de juger des avantages de cette nouvelle technique. D'après des informations récentes, le public de ce pays s'intéresserait beaucoup plus à la télévision qui vient d'entrer dans sa phase industrielle et commerciale, qu'à la radiodiffusion à haute fidélité. Il pourrait cependant en être tout autrement en France où l'auditeur apprécie beaucoup plus la qualité des émissions.

LES PROGRÈS DES HAUT-PARLEURS

Les haut-parleurs d'aujourd'hui sont d'une qualité sensiblement supérieure à celle de leurs aînés. Il y a quelques années, le haut-parleur est apparu comme l'organe le moins bien connu de toute la chaîne de transmission. Les ingénieurs ont orienté leurs recherches dans cette voie, où des perfectionnements devaient et pouvaient être obtenus. Deux qualités principales sont à considérer : le rendement et la fidélité de reproduction. Pour mener à bien une telle tâche, des études théoriques n'étaient pas suffisantes. Il était nécessaire de pouvoir contrôler les résultats obtenus par des mesures. Il fallait mettre au point tous les appareils nécessaires.

En écoutant l'écho, nous avons tous constaté que les sons se réfléchissent sur les objets qui nous entourent. C'est de ce phénomène que proviennent la plupart des difficultés

rencontrées lors des études de haut-parleurs. Pour obtenir un tracé correct de la courbe de fidélité, il faut éviter que le microphone utilisé à cet effet ne soit impressionné par les sons réfléchis et par les bruits ambiants.

Pour réaliser ces conditions, on a dû construire, comme nous l'avons dit précédemment, des chambres « sourdes » qui sont très coûteuses et dont l'étude et la mise au point ont demandé des années d'efforts. Mais grâce à ces installations, on peut maintenant relever très rapidement la courbe de fidélité en fonction de la fréquence. Le haut-parleur n'est plus un inconnu. On sait reconnaître et mesurer ses qualités et ses défauts. C'est ainsi qu'on a créé des haut-parleurs doubles comprenant un cône pour les sons graves et, au centre, un petit haut-parleur à chambre de compression pour les notes aiguës. Une transformation importante s'est produite depuis l'apparition des nouveaux aciers à aimants tel que l'acier « Ticonal ». La bobine d'excitation bien connue est remplacée par un aimant. Bien que cette solution ne soit pas nouvelle, puisque certains constructeurs l'ont toujours utilisée, elle tend à se généraliser de plus en plus. Les avantages sont les suivants : économie du cuivre nécessaire autrefois pour la bobine, réduction de 350 à 250 volts de la tension continue redressée, correspondant à une économie sur les condensateurs de filtrage et sur les transformateurs d'alimentation, réduction de la consommation

sur le secteur, suppression de l'échauffement du haut-parleur, et possibilité d'améliorer le rendement en augmentant le champ dans l'entrefer. Le prix de revient, par contre, est sensiblement plus élevé, mais ceci est compensé par l'économie que l'on réalise sur les condensateurs de filtrage et le transformateur d'alimentation.

Le rendement des haut-parleurs les plus couramment utilisés dans les récepteurs a sensiblement doublé du fait de ces améliorations. Il n'en reste pas moins qu'il est encore très faible et que de grands progrès restent à réaliser dans ce domaine. Il ne faut pourtant pas croire que seul le haut-parleur intervient dans la qualité de la reproduction. Un autre facteur prédominant est l'ébénisterie dans laquelle il est monté. Si on veut obtenir une bonne reproduction des notes graves, des dimensions minimum doivent être respectées. Toute résonance propre de l'ébénisterie doit être évitée, sinon la fréquence correspondante serait amplifiée démesurément, et toutes les vibrations parasites doivent être supprimées. Le défaut le plus grave qui puisse se rencontrer dans la pratique, est que la fréquence propre de la membrane ou cône du haut-parleur (30 à 130 cycles) corresponde à une résonance de l'ébénisterie. Il est alors nécessaire de changer soit le haut-parleur, soit l'ébénisterie. Des corrections peuvent aussi être obtenues par des moyens électriques, comme par exemple l'utilisation d'une contre-réaction sélective en basse fréquence. Le niveau des notes basses est généralement relevé pour corriger le défaut de l'ébénisterie, qui est presque toujours trop petite, ainsi que le niveau des notes aiguës pour corriger leur affaiblissement dû à la sélectivité. Ce sont là des études très délicates qui ne peuvent être menées à bien que par des mesures en chambres sourdes, complétées de l'écoute par une oreille experte.

PIÈCES MINIATURES

Si le récepteur d'aujourd'hui ressemble encore beaucoup à celui d'il y a dix ans, il est permis de s'attendre à une modification profonde de sa construction dans les années à venir. La guerre a fait faire un pas considérable à la technique de la radio. Tous ces progrès, même s'ils sont connus, ne sont pas encore entrés dans le domaine pratique. En Angleterre et aux Etats-Unis, les dimensions des pièces détachées ont été réduites dans de très grandes proportions. Les lampes miniatures qui étaient utilisées sur les appareils militaires vont bientôt faire leur apparition sur les récepteurs d'amateurs et les téléviseurs. Parallèlement, de petits bobinages, le réglage par variation de perméabilité, de petites résistances, des condensateurs de filtrage de modèle réduit, etc., permettront de diminuer considérablement les dimensions des châssis et par suite le poids des matières premières utilisées, d'où une écono-

mie certaine. Si la fabrication de ces petits éléments peut paraître coûteuse à première vue, elle finira néanmoins par s'imposer et par se traduire par une réduction du prix de revient.

LA FABRICATION EN SÉRIE

La complexité d'un récepteur de radio n'est pas à démontrer au profane qui regarde pour la première fois l'intérieur de son appareil. Quant à la diversité des matières premières entrant dans sa construction, on peut dire qu'elle constitue un record du genre. Sans tenir compte de celles qui entrent dans la fabrication des lampes, nous pouvons déjà énumérer quelques-unes des plus connues : acier, cuivre, aluminium, plomb, étain, argent, nickel, cadmium, bois, verre, papier, caoutchouc, soie, coton, émail, mica, céramique, bakélite, vernis, etc.

Ces matières premières servent à la construction des pièces détachées dont les principales sont les suivantes : ébénisterie, haut-parleur, châssis, bobinages, résistances, condensateurs et potentiomètres. L'ébénisterie est généralement en bakélite moulée pour les récepteurs pygmée, et en bois pour les récepteurs moyens et de luxe. Le châssis est la tôle de montage, l'ossature de l'appareil. Pendant la guerre, par suite du manque d'acier, on a réalisé aussi des châssis en bakélite moulée. Les bobinages comprennent : le transformateur d'alimentation, le transformateur du haut-parleur et les bobines haute et moyenne-fréquence. Les résistances sont en fil bobiné ou en graphite et dimensionnées suivant les besoins. Un récepteur peut en comporter 20 à 100 suivant sa complexité. Les condensateurs se classent d'après leur diélectrique en condensateurs à air (variables et ajustables), au mica, au papier, céramiques et électrochimiques. Les potentiomètres servent aux réglages de la puissance et de la tonalité.

Dans une grande usine, les récepteurs sont montés à la chaîne tout comme les automobiles. La chaîne reçoit, toutes préparées, les pièces détachées dont nous venons de parler. Elle en assure l'assemblage et le réglage, et livre à l'atelier d'emballage des récepteurs complètement terminés. Une chaîne est constituée par un tapis roulant de 60 à 70 m de longueur. Le tapis avance lentement entre deux bandes fixes qui servent de table de travail aux ouvrières. Ces dernières sont placées face au tapis, perpendiculairement à son sens de marche et réparties de chaque côté sur toute la longueur. Les châssis sont fixés sur des berceaux, de telle sorte qu'ils ne reposent jamais directement sur le tapis ou sur les bandes fixes. Lorsqu'un berceau arrive en face d'une ouvrière, elle le tire à elle sur la bande fixe. Après avoir exécuté sur le châssis le travail qui lui est assigné, elle le repousse sur le tapis qui l'emporte vers l'ouvrière suivante. Naturellement, le travail doit être réparti en un certain nombre

d'opérations d'égale durée. Un service spécial chargé de cette répartition procède à des chronométrages et établit pour chaque opération une carte de fabrication qui est affichée devant chaque ouvrière. Le montage complet qui s'échelonne tout au long de la chaîne comprend les opérations principales suivantes dans leur ordre chronologique : assemblage des pièces, câblage électrique, réglage des circuits, contrôle du châssis, mise en ébénisterie et contrôle de l'ensemble.

Si on chemine le long de la chaîne, on voit tout d'abord la frappe du numéro sur le châssis. Tout de suite après commence le montage des pièces : supports de lampes, transformateurs, bobinages, condensateur variable et cadran, potentiomètres. Puis vient le câblage électrique, au cours duquel on voit mettre en place les condensateurs et les résistances, ainsi que les fils qui les relient. On arrive alors au contrôle mécanique dont le but est de vérifier que rien n'a été oublié et qu'aucune erreur n'a été commise. Les lampes sont mises en place et le récepteur est prêt pour le réglage.

Un poste de réglage comprend des générateurs haute et moyenne-fréquence fournissant tous les signaux nécessaires et des voltmètres pour les mesures de sensibilité et de sélectivité. Le châssis est ensuite contrôlé pour vérifier sa puissance et sa musicalité. Ce travail comprend la mesure de la distorsion en basse fréquence et le relevé de 6 à 7 points de la courbe de fidélité en fonction de la fréquence. Les appareils utilisés comprennent : un générateur basse-fréquence, un distorsiomètre et un voltmètre amplificateur linéaire dans la bande de 30 à 20000 périodes par seconde.

Le châssis ainsi terminé est placé dans l'ébénisterie ainsi que le haut-parleur. Ce travail, qui est le plus pénible, est exécuté par des hommes. Les ébénisteries sont livrées à la chaîne dans des housses de protection qui ne sont retirées qu'au moment de l'emballage. L'appareil subit un contrôle général permettant de s'assurer du fonctionnement correct de tous ses organes avant de quitter la chaîne. Les récepteurs terminés sont alors placés sur un banc d'essais, où ils sont soumis à une surcharge de secteur de 10 % pendant quatre heures. Après quoi ils sont de nouveau contrôlés et évacués par un tapis collecteur qui les emporte vers l'atelier d'emballage.

Un hall de montage peut comprendre 6 à 7 chaînes qui fabriquent chacune un modèle différent de récepteur. Une chaîne occupe 30 à 60 ouvrières suivant la complexité de l'appareil qu'elle construit. Le débit varie entre 10 et 25 récepteurs à l'heure suivant les modèles fabriqués, et il est en moyenne de 20. En période normale, on peut considérer qu'une chaîne sur six est en cours de transformation ou en période de démarrage. La cadence normale de production n'est atteinte qu'à partir de 1000 appareils envi-

ron. En tous cas, c'est donc 100 postes à l'heure en moyenne qui peuvent être fabriqués.

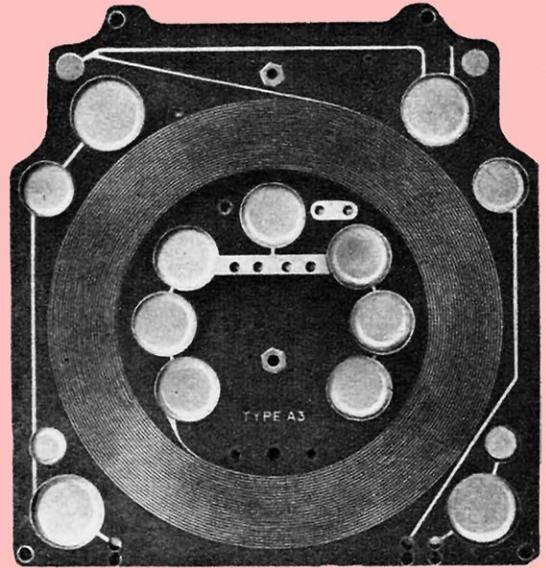
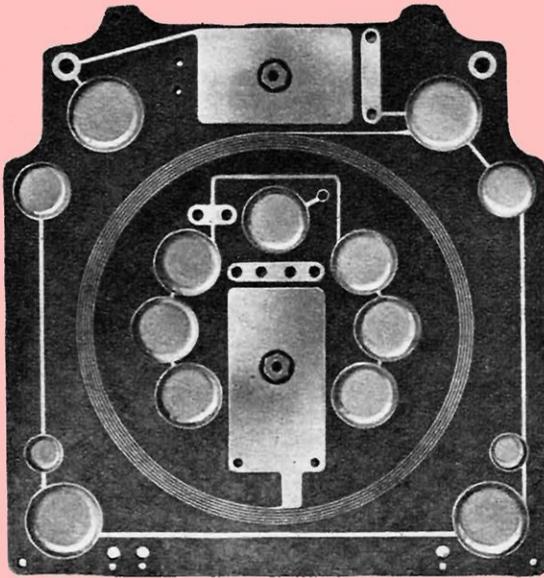
Une telle production est très spectaculaire, mais il ne faut pourtant pas oublier, et ils sont nombreux, tous ceux dont le travail a pour but d'assurer la vie de la chaîne. Pour entretenir une production constante et garantir une bonne qualité des produits finis, une grande régularité de fabrication est indispensable. Pour assurer cette régularité, les approvisionnements doivent se faire avec une avance suffisante sur la production pour que les stocks constituent un volant régulateur. Les études doivent être suffisamment poussées pour que rien ne soit oublié et pour qu'aucune difficulté technique ne freine la mise en route et ne vienne entraver la bonne marche de la chaîne. Une simple vis qui manque pour l'une des opérations entraîne l'arrêt total. Un rôle primordial incombe au service de contrôle. Il doit éliminer toutes les pièces mauvaises qui pourraient arrêter ou même retarder le travail. Dans ce but, il doit faire respecter les tolérances fixées par les services d'études pour toutes les pièces détachées. On doit noter qu'il ne peut accomplir sa mission que s'il est absolument indépendant de la production.

Les pièces détachées sont construites par des usines quelquefois très importantes qui se sont spécialisées dans la fabrication de certains organes essentiels tels que : lampes, haut-parleurs, transformateurs, bobines haute et moyenne-fréquence, condensateurs variables, condensateurs fixes, résistances, pièces en bakélite moulée, décolletage, etc. Chacune de ces usines a des méthodes de travail propres, qui varient suivant le genre de fabrication. Des chaînes de montage existent aussi pour certains organes, mais elles n'ont pas la même importance que celles que nous venons de décrire. Cependant leur organisation, bien que sur une plus petite échelle, reste toujours la même.

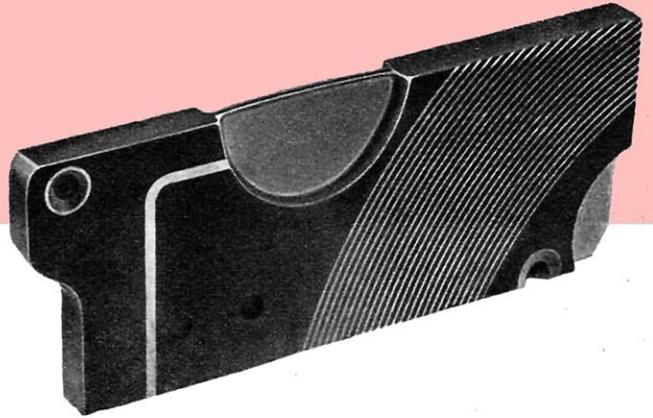
LES CIRCUITS IMPRIMÉS

Dans le prix de revient d'un récepteur de radio, le montage entre pour environ 20 à 25 %. Depuis de nombreuses années les techniciens ont cherché à supprimer le travail de câblage, mais les solutions proposées n'ont pas eu d'application pratique. Récemment, aux Etats-Unis et en Angleterre, on a mis au point des techniques nouvelles de fabrication : les circuits imprimés et la machine à fabriquer les récepteurs de l'Anglais John Sargrove. Sur les appareils militaires allemands, nous avons déjà constaté l'utilisation de bobines en stéatite constituées par une rainure hélicoïdale métallisée. C'était un premier pas vers les circuits imprimés. Maintenant, des procédés modernes ont été mis au point pour déposer sur une plaquette de bakélite les circuits correspondant au câblage

LES DEUX FACES D'UNE PLAQUE DE RADIORÉCEPTEUR fabriquée par la machine automatique Sargrove



Cette plaque a reçu des rainures circulaires pour les condensateurs, spiralées pour les selfs, droites pour les connexions. Elle a été ici métallisée au pistolet puis meulée pour ne laisser le métal que dans les rainures. Les résistances seront déposées par pulvérisation de graphite liquide à travers des stencils. La coupe montre l'amincissement qui joue le rôle de diélectrique d'un condensateur.



du récepteur et constituant par eux-mêmes les connexions, les résistances de toutes valeurs, les condensateurs fixes et même les bobinages. A l'endroit où les connexions doivent se croiser, l'impression de l'une d'elles est faite au dos de la plaquette.

La machine de John Sargrove utilise ces procédés pour fabriquer un petit récepteur simple à deux lampes. Naturellement, certaines pièces, coffrets, lampes, haut-parleurs, condensateurs de filtrage sont fabriqués séparément. On introduit dans la machine des plaques de bakélite qui sont transformées en ensembles comprenant selfs, résistances et capacités appropriées au récepteur à construire. Les ensembles sont contrôlés automatiquement et la suite des opérations ne peut se poursuivre que si la qualité des pièces fabriquées est satisfaisante. Au sortir de la machine, ils sont assemblés et, après mise en place très simple des lampes, des condensateurs de filtrage et du haut-parleur, le poste est prêt à fonctionner et à être livré à l'utilisateur éventuel. Incontestablement, de tels procédés permettent une réduction sensible de la main-d'œuvre mais le récepteur simple construit par la machine de Sargrove ne peut avoir un grand succès en Europe à l'heure actuelle. En effet, il n'est pas possible d'imprimer des bobines permettant la réception sur la gamme des grandes

ondes. Mais la technique évolue très rapidement vers les ondes de plus en plus courtes pour lesquelles il est très facile d'utiliser des bobines imprimées. Il est donc possible que, dans l'avenir, cette fabrication soit appelée à un grand développement. Pour l'immédiat, nous pouvons très bien envisager des machines pour la construction d'éléments de récepteurs. Ceci implique une normalisation des récepteurs en tant que schémas, et aussi l'assurance que des techniques nouvelles ne viendront pas bouleverser complètement la fabrication avant que les machines qui auront été construites ne soient amorties. La radioélectricité étant constamment en évolution, nul ne peut garantir qu'une construction, aussi révolutionnaire soit-elle, puisse rester en vedette un temps suffisant pour amortir les frais d'installation de machines aussi compliquées. Quoiqu'il en soit, la machine de John Sargrove, qui a démontré tous les avantages des circuits imprimés, marque ainsi d'une première étape la voie à suivre pour les réalisations de l'avenir.



LA TÉLÉVISION

par Maurice LORACH
Ingénieur-Docteur de l'Université de Paris

La télévision, comme son aînée la radiodiffusion, est le fruit de longues et patientes recherches. Après plus de vingt années de mise au point, elle quitte maintenant le domaine du laboratoire pour entrer dans une phase véritablement industrielle. Actuellement, aux Etats-Unis, dix stations émettrices sont en service, cinquante-cinq en installation, et on en prévoit plus de deux cents pour 1949. Le nombre de postes récepteurs en fonctionnement peut être évalué à cinquante mille et dépassera le demi-million avant la fin de l'année. En France se trouvent les studios peut-être les plus perfectionnés du monde et la qualité des équipements ne le cède en rien à celle de l'étranger. Plusieurs émetteurs régionaux sont prévus pour desservir les centres urbains les plus importants. D'ores et déjà les applications possibles de la télévision apparaissent innombrables et ne semblent pas devoir se limiter à la transmission d'images dans le seul but d'apporter aux amateurs des distractions supplémentaires. Elle trouvera sa place à l'usine, pour la surveillance des machines et des organes de contrôle peu accessibles, dans l'armée pour la reconnaissance détaillée lointaine à l'aide d'engins téléguidés, en aviation pour le contrôle de la navigation aérienne et l'atterrissage sans visibilité, dans les télécommunications où elle fournira un moyen de transmission d'une rapidité et d'une puissance inégalées, dans la recherche scientifique où elle constituera un nouvel instrument de travail aux possibilités insoupçonnées dans de nombreux domaines...

LES PRINCIPES

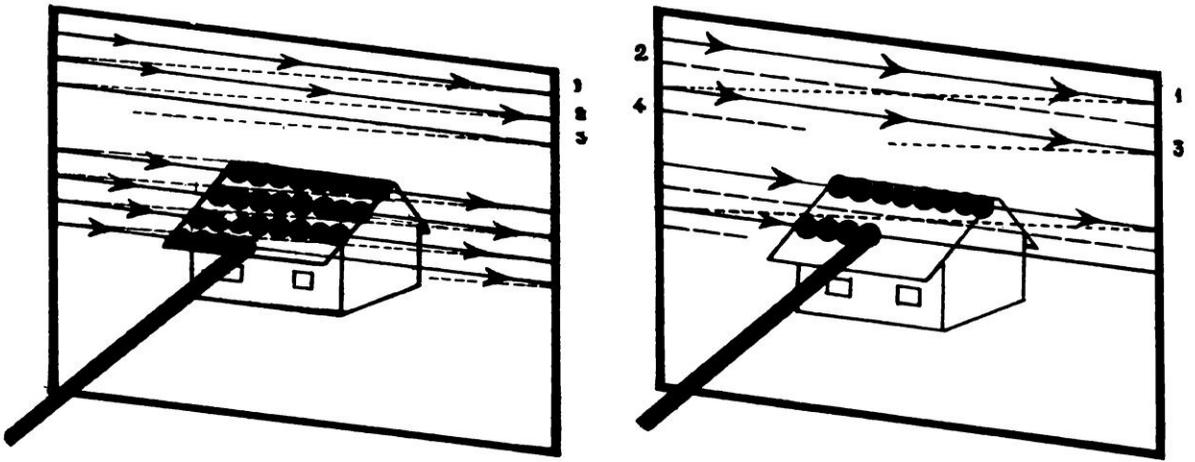
LA transmission d'une image à distance implique nécessairement sa décomposition à l'émission et sa reconstitution à la réception. On ne sait pas, jusqu'à présent opérer en transmettant en totalité tous les éléments qui la constituent, par une opération unique qui traduirait simultanément les valeurs relatives de tous les points de l'image en les répartissant identiquement sur la surface de l'écran de réception. Le principe de base est donc l'analyse : elle consiste à décomposer l'image en éléments très petits juxtaposés que l'on transmet successivement par des signaux qui en traduisent fidèlement la luminosité.

Cette analyse s'effectue tout naturellement par lignes successives. Plus les éléments sont petits, plus ces lignes seront nombreuses et serrées, et plus l'image reçue sera fine. Nous verrons plus loin quelles limites les possibilités actuelles de la technique imposent à cette finesse.

L'illusion du mouvement implique la succession rapide d'images successives, comme au cinéma ; la continuité du mouvement est rétablie grâce à la persistance des impressions lumineuses sur la rétine. Il faut donc transmettre la suite complète des éléments correspondant à une image en un temps très

court, inférieur à la durée de la persistance dans l'œil (un seizième de seconde). On choisit donc un nombre d'images complètes transmises par seconde supérieur à 16 ; il est commode, pour diverses raisons pratiques, de choisir un nombre qui soit un sous-multiple simple de la fréquence de distribution du courant industriel. En France, où cette fréquence est de 50 périodes par seconde, on a adopté ainsi vingt-cinq images par seconde ; aux Etats-Unis, pour une fréquence industrielle de 60 périodes par seconde, on transmet trente images par seconde.

L'exploration complète d'une image doit donc être effectuée, en France, en $1/25$ de seconde et, aux Etats-Unis, en $1/30$ de seconde. C'est pendant cette faible durée que l'élément explorateur doit parcourir successivement toutes les lignes. Leur nombre atteint actuellement 455 en France, 525 aux Etats-Unis et 405 en Angleterre. La qualité des images est bonne, mais inférieure à celle que donne le cinéma ; pour faire disparaître cette inégalité, il faudrait porter le nombre de lignes au voisinage de 1000, ce qui réduirait proportionnellement la durée de balayage d'une ligne qui est déjà très brève, $1/11375$ de seconde en France. Une augmentation correspondante du nombre de détails

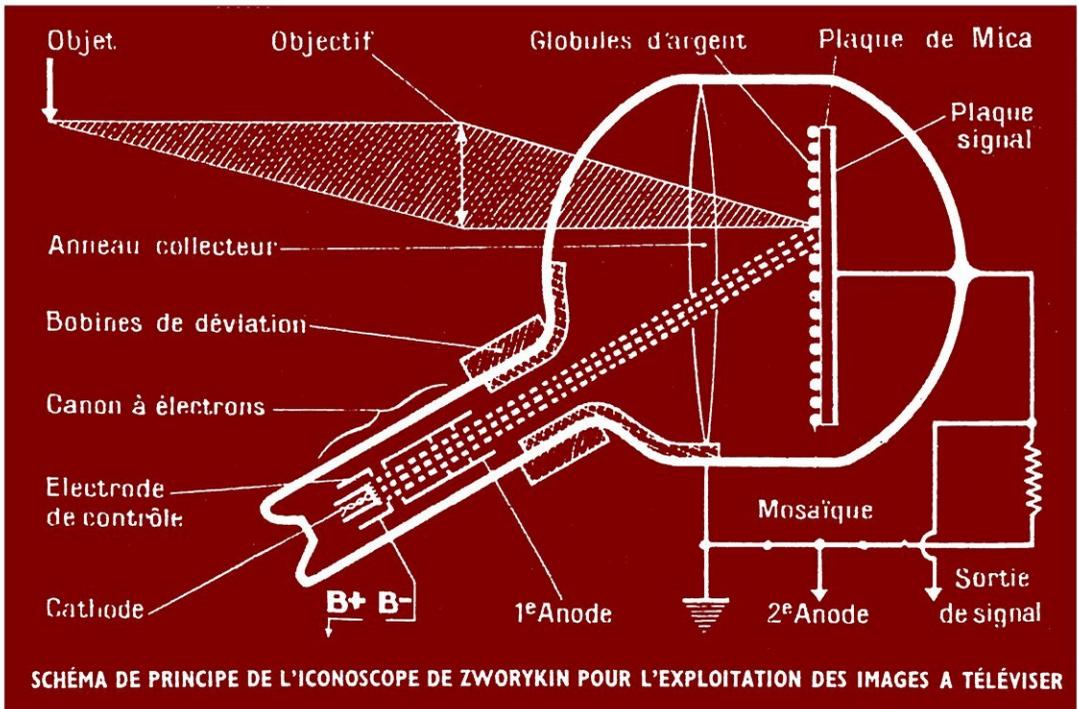


SCHEMA DE PRINCIPE DU BALAYAGE SIMPLE DES IMAGES (à gauche) ET DU BALAYAGE ENTRELACÉ (à droite).

transmis sur une ligne étant nécessaire, on voit que le nombre total de « points », donc de signaux à transmettre par seconde croît comme le carré du nombre de lignes. C'est dans cette montée rapide du nombre de signaux à transmettre en 1/25 de seconde que réside actuellement la principale difficulté à vaincre pour répandre la télévision à haute définition. Un nombre élevé de signaux par seconde signifie une très haute fréquence à inscrire sur une onde, l'onde porteuse, dont la fréquence doit être elle-même beaucoup plus grande. L'exploitation française actuelle fonctionne avec une bande de fréquences (différence entre la fréquence la plus élevée et la fréquence la plus basse à transmettre) de l'ordre de

3 millions de périodes par seconde, autrement dit de 3 mégacycles (Mc), et une onde porteuse de 46 Mc. On conçoit que seuls des tubes spéciaux soient capables de moduler ces ondes et de les amplifier d'une façon satisfaisante en respectant la bande de fréquences à transmettre qui est d'autant plus étendue que la finesse de l'image est plus grande. Nous sommes là dans le domaine des ondes très courtes, de quelques mètres de longueur, dont la propagation est analogue à celle des rayons lumineux. La portée d'un émetteur est limitée à l'horizon de son antenne. Celle de la Tour Eiffel atteint exceptionnellement 150 km.

Dans ces limites, la réception de l'émission s'effectue en traduisant les signaux



SCHEMA DE PRINCIPE DE L'ICONOSCOPE DE ZWORYKIN POUR L'EXPLOITATION DES IMAGES A TÉLÉVISER

électriques — et amplifiés — en signaux lumineux qui s'inscrivent sur un écran par un système de balayage analogue à celui de l'émission et en synchronisme parfait avec celui-ci.

L'ANALYSE ENTRELACÉE

Nous avons vu qu'il était très difficile d'améliorer la finesse des images. Mais la satisfaction du spectateur tient aussi à d'autres facteurs, sur lesquels il a été possible d'agir favorablement. L'un des plus importants est la stabilité de l'image, l'absence de tout clignotement parasite.

Le balayage de l'image s'effectue, comme nous venons de le dire, ligne par ligne.

image se trouve ainsi balayée deux fois du haut en bas dans le même temps où elle ne l'était précédemment qu'une seule fois. On transmet de la sorte non plus 25 images mais 50 demi-images par seconde. L'effet de papillotement disparaît comme si on était passé à 50 images vraies par secondes ; mais les difficultés de transmission ne sont pas accrues, puisque le nombre total de détails transmis en 1/25 de seconde reste le même.

L'ICONOSCOPE

Nous n'avons pas, jusqu'à présent, précisé la nature du dispositif d'exploration. Il s'agit essentiellement d'obtenir à chaque instant, dans le circuit de l'émetteur, un courant proportionnel à l'éclairement de

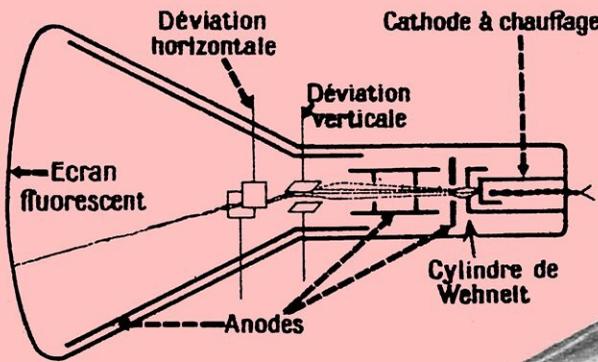
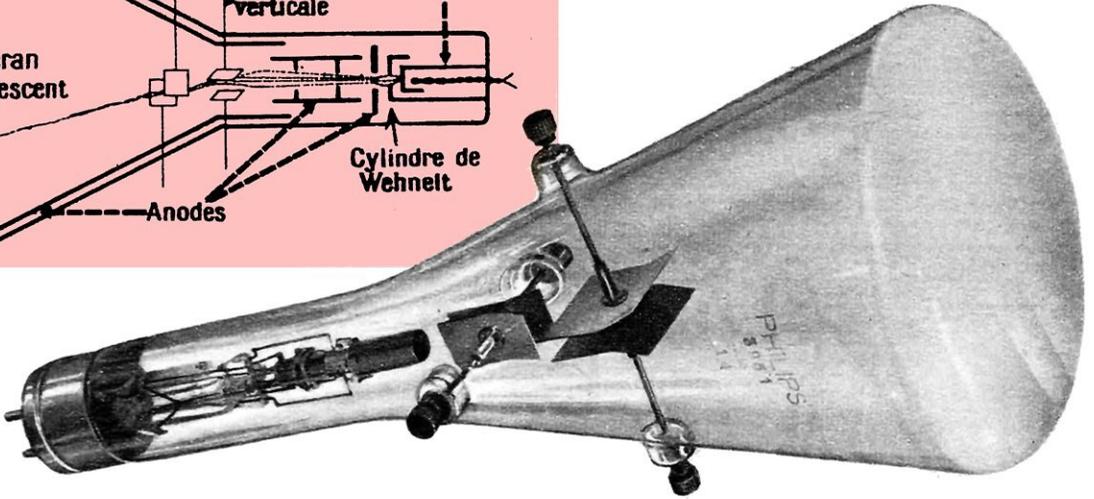


Schéma d'un tube cathodique à balayage électrostatique de l'écran.

Tube cathodique à déviation électrostatique pour mesures (Philips).



Partant du bord gauche, par exemple, le dispositif explorateur parcourt d'un mouvement uniforme une première ligne horizontale, jusqu'au bord droit, puis revient rapidement au bord gauche pour parcourir la deuxième ligne, et ainsi de suite jusqu'à la dernière. Ainsi se trouve réalisé ce que l'on appelle le balayage simple (voir page 96). Il ne met pas à l'abri d'un effet de scintillement pénible à la réception, du fait que les premiers signaux de l'image se sont affaiblis lorsque les derniers sont reçus. C'est pourquoi on préfère pratiquer l'analyse entrelacée. Le dispositif explorateur parcourt successivement, comme précédemment, les lignes d'ordre impair, 1, 3, 5, puis remonte rapidement en diagonale de l'angle inférieur droit à l'angle supérieur gauche pour parcourir cette fois les lignes d'ordre pair, 2, 4, 6... le tout en 1/25 de seconde (en France). Chaque

chacun des points successivement balayés. Ce courant jouera, pour la modulation de l'onde porteuse, le même rôle que le courant microphonique dans une station de radiodiffusion.

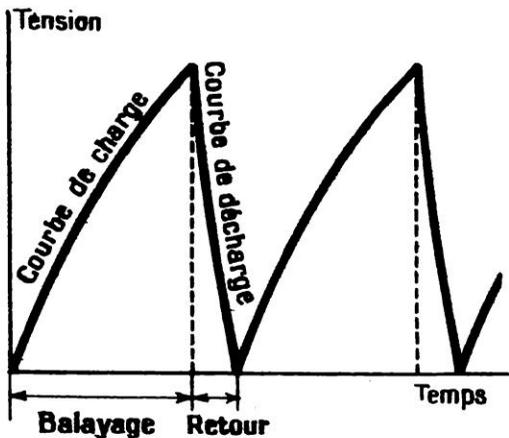
On a proposé et expérimenté un très grand nombre de dispositifs d'exploration. Nous laisserons de côté en particulier les systèmes mécaniques qui font appel à des disques perforés tournant à grande vitesse et à des cellules photoélectriques, pour décrire seulement le principe de fonctionnement de l'élément essentiel d'une caméra moderne de télévision, le tube analyseur, dont le modèle est l'iconoscope de Zworykin.

Dans un tube où l'on a fait le vide se trouve une plaque d'une construction très particulière, dite mosaïque photosensible. C'est une feuille de mica portant, sur une face, une plaque métallique continue, sur l'autre,

des milliers de petits éléments séparés les uns des autres, jouant le rôle de cathodes de cellules photoélectriques (voir pages 96 et 105).

La réalisation d'une telle mosaïque est très délicate et extrêmement coûteuse, car la mise au point d'une fabrication exige de longues études et de nombreux tâtonnements. Elle s'effectue dans des chambres spécialement ventilées où les opérateurs, tel des chirurgiens, portent des gants, des calots et des voiles. En effet, la plus petite poussière tombant sur la plaque sensible y produit une tache insensible qui supprime plusieurs points d'analyse et donne à la réception une tache noire. La fabrication des tubes analyseurs est donc grevée par un déchet important : le prix de revient actuel d'une caméra est supérieur à un million de francs.

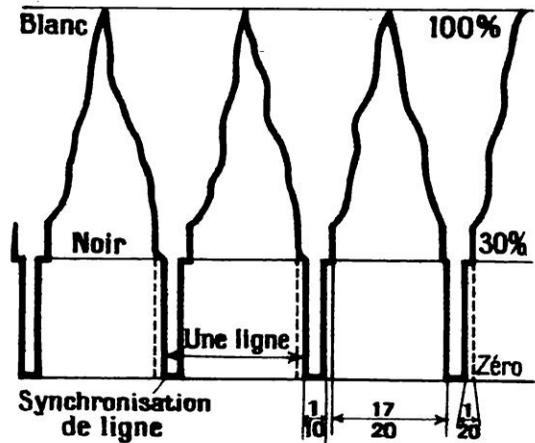
L'image du sujet à transmettre est projetée optiquement sur cette plaque. Chacun des éléments photoélectriques émet des électrons en nombre proportionnel à son éclairage et au temps qui s'écoule entre deux décharges successives, et se charge donc positivement. On dispose ainsi d'une véritable image électrique du sujet à téléviser. L'exploration de cette image se fait en déchargeant suivant des lignes successives tous ces éléments. Comme ils constituent avec la plaque continue sur l'autre face du mica autant de condensateurs microscopiques qui sont ainsi déchargés les uns



Exemple de tension de balayage en dents de scie

après les autres, on recueille sur l'électrode qui relie la plaque continue à l'émetteur, un courant constamment proportionnel à leur charge, donc à l'éclairage qui a frappé chaque élément.

La décharge successive par balayage est réalisée par un faisceau cathodique, engendré à l'extrémité du tube par un « canon à électrons » constitué par un filament chauffé jouant le rôle de cathode émettrice d'électrons. Devant elle se trouve un diaphragme



« Signal » de télévision à modulation « positive » (émission de la British Broadcasting Corporation).

auquel on applique une tension variable pour régler le débit des électrons, l'annuler en particulier à chaque retour de la fin d'une ligne au début de la suivante. D'autres électrodes sur lesquelles nous n'insisterons pas ont pour mission d'accélérer les électrons, de concentrer le faisceau, qui normalement aurait tendance à s'étaler, les électrons se repoussant mutuellement, afin que sa trace sur la mosaïque demeure très fine, et de protéger la mosaïque contre les émissions d'électrons secondaires.

Le faisceau doit se déplacer de gauche à droite pour décrire les lignes et de haut en bas pour passer d'une ligne à la suivante. Cette déflexion peut être obtenue par des procédés électrostatiques ou électromagnétiques. Il suffit par exemple de disposer sur le parcours du faisceau cathodique et de part et d'autre une paire de plaques entre lesquelles on applique une tension convenable pour que, la plaque positive attirant les électrons du faisceau et la plaque négative les repoussant, le faisceau se trouve dévié à son passage entre les plaques. Pour que le faisceau balaie une ligne, on applique entre les plaques une tension progressivement croissante. Pour qu'il passe d'une ligne à la suivante, on utilise une deuxième paire de plaques semblable à la première, mais orientée à angle droit, à laquelle on applique une tension croissant plus lentement que la première. Ainsi l'image se trouve explorée entièrement.

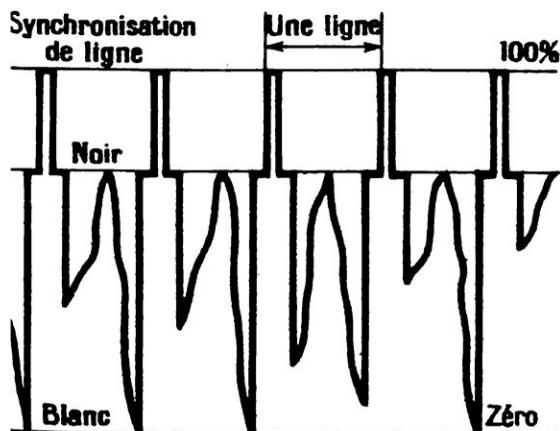
En pratique, on préfère souvent faire appel à la déflexion électromagnétique qui simplifie en particulier la construction des tubes puisqu'on n'est plus obligé d'y loger les deux paires de plaques avec leurs connexions qui traversent la paroi de verre. La déflexion est en effet obtenue à l'aide de bobines extérieures convenablement placées par paires se faisant face, les paires se trouvant à l'angle droit. Lorsque les élec-

Type récent d'antenne de télévision pouvant être utilisée à la fois pour des signaux d'image et de son (R.C.A.).

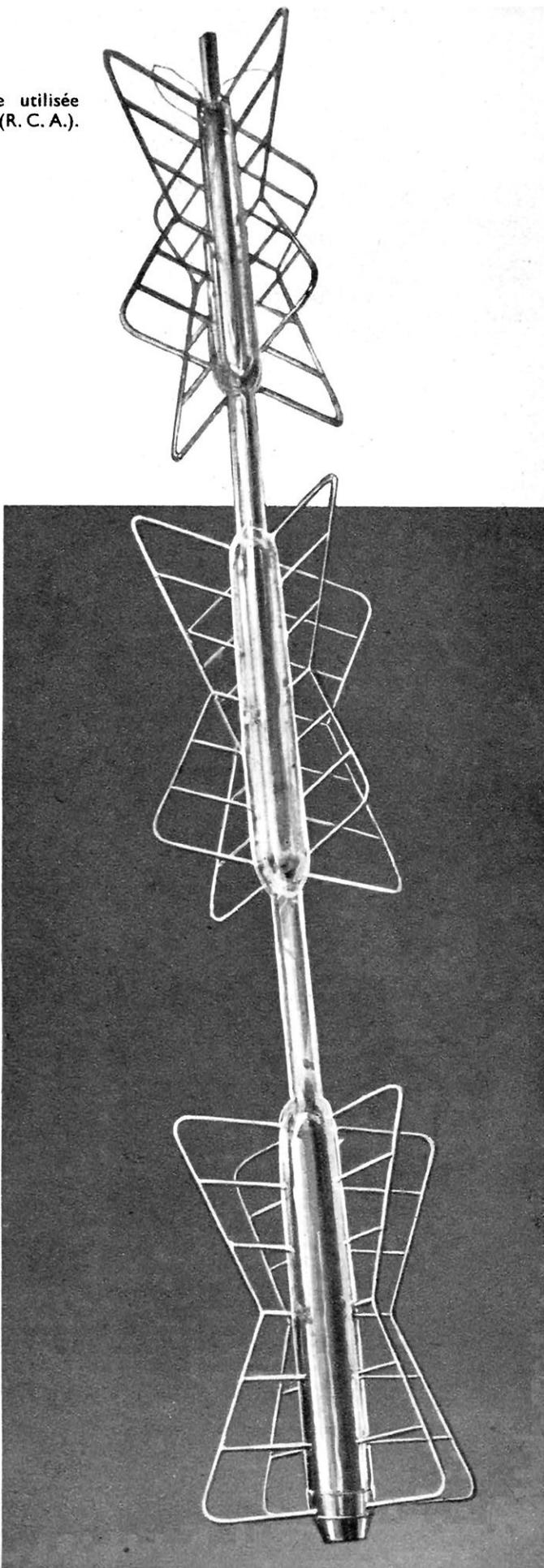
trons du faisceau traversent le champ magnétique engendré par une paire de bobines, ils sont soumis à une force qui, suivant les lois de l'électromagnétisme, est à la fois perpendiculaire à leur vitesse et aux lignes de force du champ, et qui est proportionnelle, en particulier, à la valeur de ce champ. Ainsi, au lieu d'être dévié dans le sens des lignes de force électrique normales aux plaques, le faisceau est dans ce cas dévié normalement aux lignes de force magnétique, mais l'effet produit en définitive est exactement semblable et l'exploration complète de l'image pourra être obtenue en faisant passer dans les deux jeux de bobines des courants croissant suivant des lois convenables.

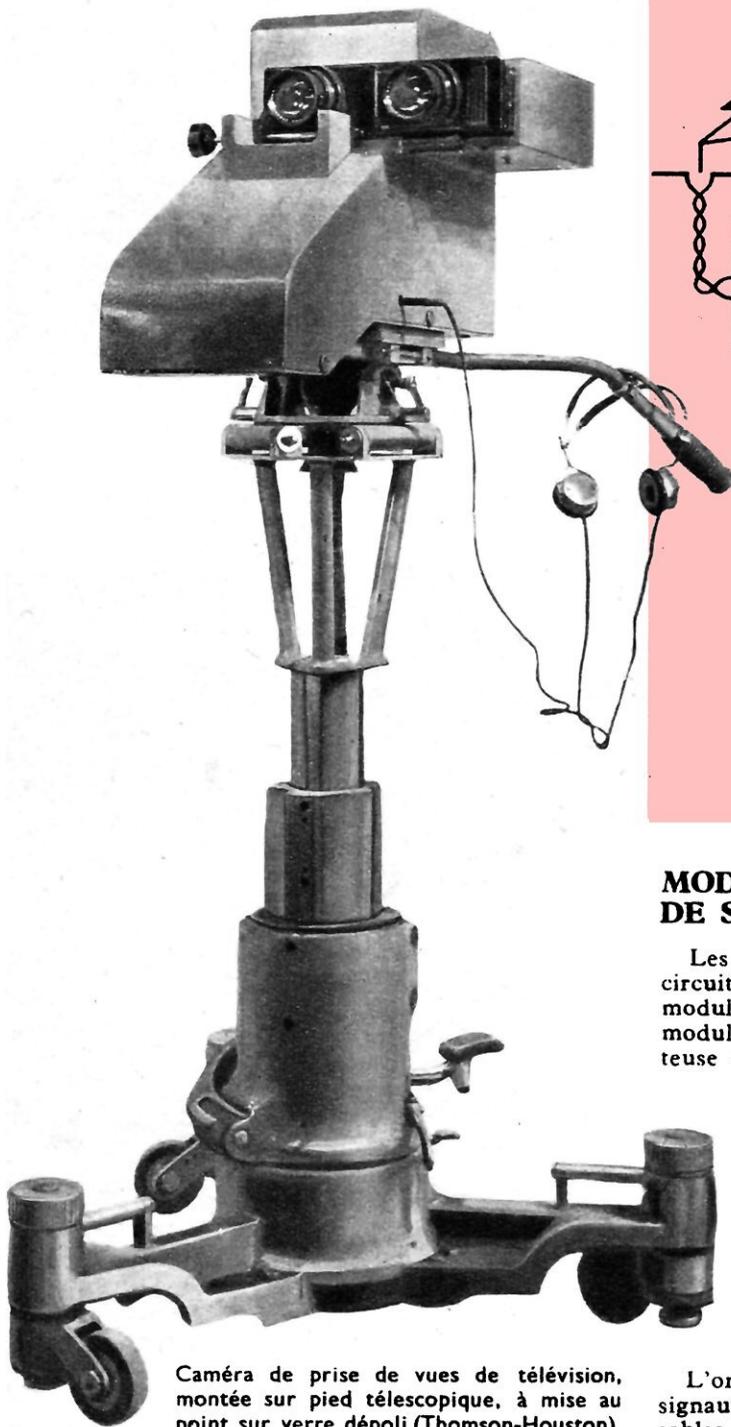
TENSIONS DE BALAYAGE

Depuis une dizaine d'années, divers systèmes ont été imaginés et mis en œuvre pour engendrer les tensions variables à appliquer aux plaques ou aux bobines. Ils se ramènent tous à la charge progressive d'un condensateur, pendant le temps correspondant soit au balayage d'une ligne pour la déflexion horizontale, soit au balayage de l'image entière, pour la déflexion verticale, et à la décharge de ce condensateur dans un temps aussi court que possible, correspondant au retour brusque du faisceau cathodique. On obtient ainsi une tension dite « en dents de scie » (voir page 98). On a soin de n'utiliser que le début de la période de charge du condensateur, alors que la tension est sensiblement proportionnelle au temps, de manière que le faisceau cathodique se déplace sur la mosaïque photosensible à vitesse sensiblement constante. Lors de la décharge, la tension ne tombe pas à zéro instantanément, mais toujours



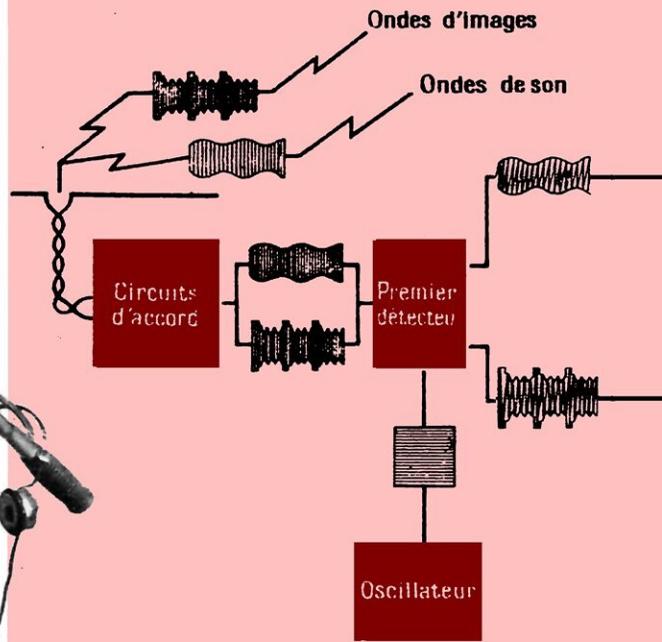
« Signal » de télévision à modulation « négative » (standard de la télévision américaine à 525 lignes)





Caméra de prise de vues de télévision, montée sur pied télescopique, à mise au point sur verre dépoli (Thomson-Houston).

au bout d'un temps très court, que l'on s'efforce de réduire afin d'obtenir une forme de courbe de la tension en fonction du temps qui se rapproche le plus possible de la « dent de scie » idéale. Le faisceau explorateur pourra ainsi revenir très rapidement de droite à gauche, de la fin d'une ligne au début de la suivante, dans l'exploration des lignes, et de bas en haut, en diagonale, à la fin de l'exploration de chaque image.

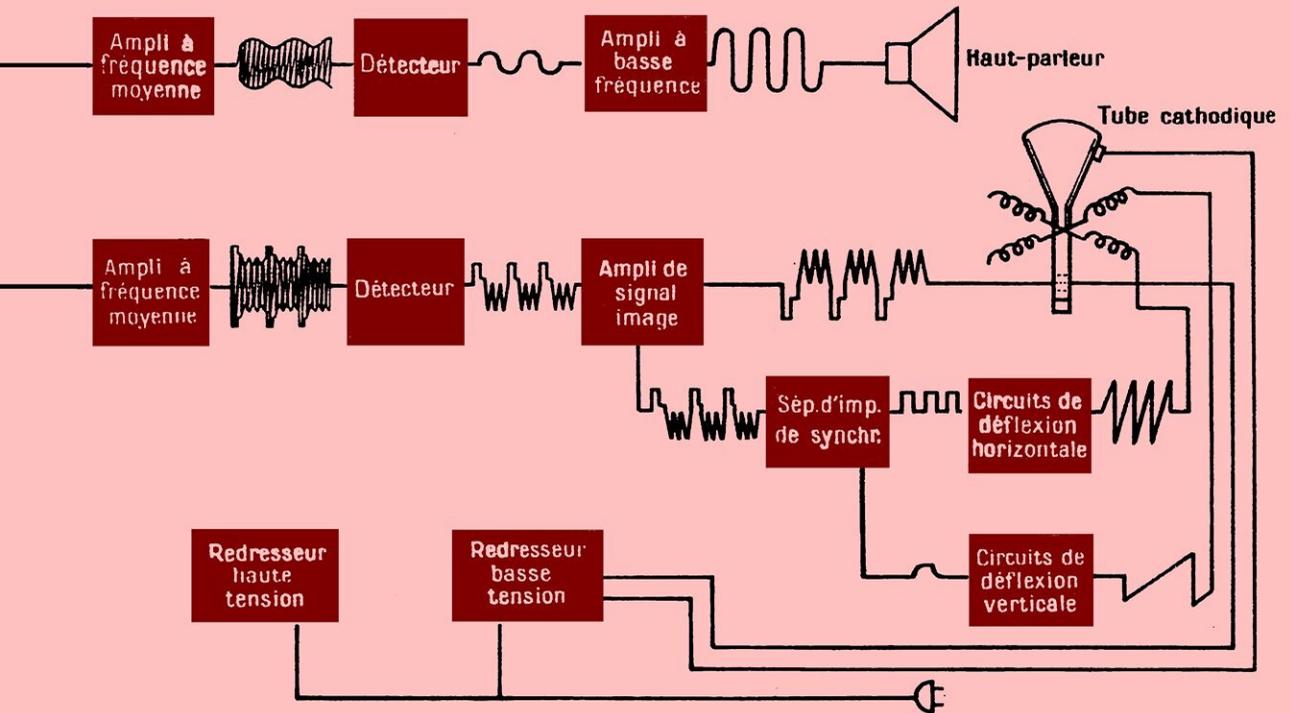


MODULATION ET SIGNAUX DE SYNCHRONISATION

Les signaux électriques recueillis dans le circuit d'entrée de l'émetteur servent à moduler l'onde porteuse. Un organe appelé modulateur reçoit d'une part l'onde porteuse sous la forme d'une tension sinusoïdale d'amplitude constante, et d'autre part le signal-image livré par l'icône-copie sous la forme d'une tension constamment proportionnelle à l'éclairement du point exploré. Il fait varier l'amplitude de l'onde porteuse suivant les variations de cette dernière tension de sorte que l'onde modulée prend une forme caractéristique, l'enveloppe des oscillations d'amplitude variable reproduisant la forme de la tension image.

L'onde ainsi modulée porte aussi des signaux complexes et particuliers indispensables pour assurer la rigoureuse synchronisation des récepteurs avec l'émetteur. Il importe, en effet, que chaque point d'image analysé soit reproduit au même instant et à l'endroit correspondant sur l'écran du récepteur. On pourrait évidemment concevoir la possibilité d'envoyer par radio, en même temps que le signal-image, les signaux de balayage de lignes et d'images afin de commander les balayages correspondants à la réception. On préfère, pour des raisons de simplification, engendrer les tensions

DIAGRAMME D'UN RÉCEPTEUR DE TÉLÉVISION TYPE



de balayage en « dents de scie » au récepteur même par des dispositifs électriques analogues à ceux de l'émetteur. Mais un réglage rigoureux est indispensable car tout écart conduirait à des brouillages désastreux. C'est là qu'interviennent les signaux de synchronisation, qui sont de deux sortes : synchronisation de ligne et synchronisation d'image. Les premiers commandent, à l'émission et à la réception, les balayages horizontaux, les seconds provoquent le retour du faisceau cathodique à la fin de chaque image, en haut et à gauche pour recommencer une nouvelle exploration. Ces signaux dits de fin d'image ont lieu à la cadence de 25 par seconde pour les standards français actuels (25 images par seconde) et ceux de ligne à une cadence évidemment fonction du nombre de lignes analysées, 11 375 par seconde pour le standard français actuel (455 lignes).

Ces signaux ont lieu à la fin de chaque ligne et à la fin de chaque image. Ils se résument en des signaux brefs ou « tops » qui commandent les dispositifs de balayage. Ils viennent s'ajouter aux signaux normaux d'images. Dans le standard français à 455 lignes, par exemple, l'onde porteuse est supprimée pendant un temps très bref 455 fois pendant la transmission d'une image (page 126).

L'onde de télévision portant la modulation d'image et les signaux de synchronisation prend ainsi une forme très particulière,

qui varie d'ailleurs suivant les systèmes adoptés par les différents pays.

Dans le standard français, la valeur maximum de l'amplitude (100 %) correspond aux blancs purs. Les noirs purs correspondent, non pas à zéro, mais à 30 % seulement de l'amplitude maximum de l'onde porteuse. Ainsi la modulation d'image couvre les valeurs comprises entre 30 et 100 %. Les signaux de synchronisation prennent place au-dessous du niveau 30 %. Un signal de fin de ligne représente un « top » d'une durée sensiblement égale au dixième de la durée totale d'une ligne. Les signaux de fin d'image ont une durée sensiblement égale à celle de 10 lignes. Ils consistent généralement en 10 « tops » suivis d'un trait qui couvre les 9/10 de la durée totale du signal. La durée des signaux de ligne et d'image doit être relativement grande, car il faut tenir compte du fait que les retours du faisceau ne sont pas instantanés. On remarquera que, pour cette même raison, chaque reprise de ligne n'a pas lieu instantanément, mais après un instant très bref pendant lequel la modulation de l'onde porteuse correspond au noir maximum, de sorte que pendant son retour le faisceau ne laisse pas de trace sur l'écran. Ce signal dure 1/20 du temps du signal total de fin de ligne ; il porte le nom d'amorce, signal de niveau noir ou encore, comme disent les Américains, de *blanking signal*.

Dans les différents pays, la disposition et

la durée relative des signaux ne sont pas les mêmes, bien que dans l'ensemble les formes des ondes modulées se ressemblent beaucoup. C'est ainsi que pour le signal de la British Broadcasting Company comme pour celui de l'émission de Paris, les blancs purs correspondent à 100 % de la modulation, avec une analyse entrelacée à 405 lignes (page 98). Au contraire, aux Etats-Unis, avec le standard actuel de 525 lignes, la modulation est négative, c'est-à-dire que les blancs d'images correspondent à 0 % de la modulation; autrement dit, une diminution de l'intensité lumineuse provoque une augmentation de la puissance rayonnée, et inversement à la réception (page 99). Cette disposition permet d'utiliser sur les récepteurs de télévision un système de contrôle automatique de la sensibilité analogue aux systèmes antifadings des récepteurs de radiodiffusion.

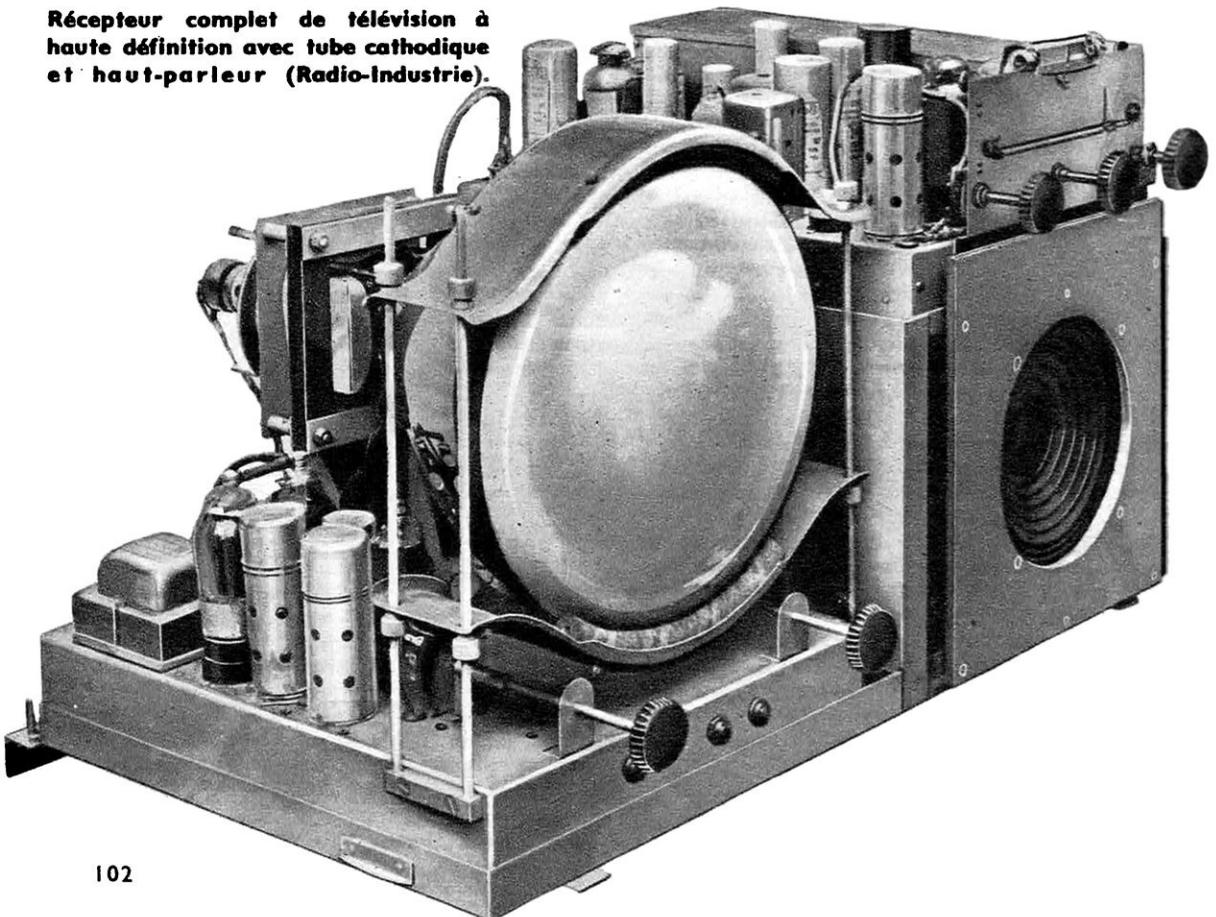
Remarquons d'ailleurs qu'une émission d'images s'accompagne toujours d'une émission de son et qu'une émission complète de télévision comporte par conséquent des parties distinctes. C'est ainsi que, pour l'émission de la Tour Eiffel, la vision est transmise sur 46 Mc et le son sur 42 Mc. Le récepteur comporte une partie également distincte pour le son. Afin d'assurer une qualité parfaite pour la partie son, certaines émis-

sions américaines font appel dans ce cas à la modulation de fréquence à laquelle se prêtent précisément les ondes courtes.

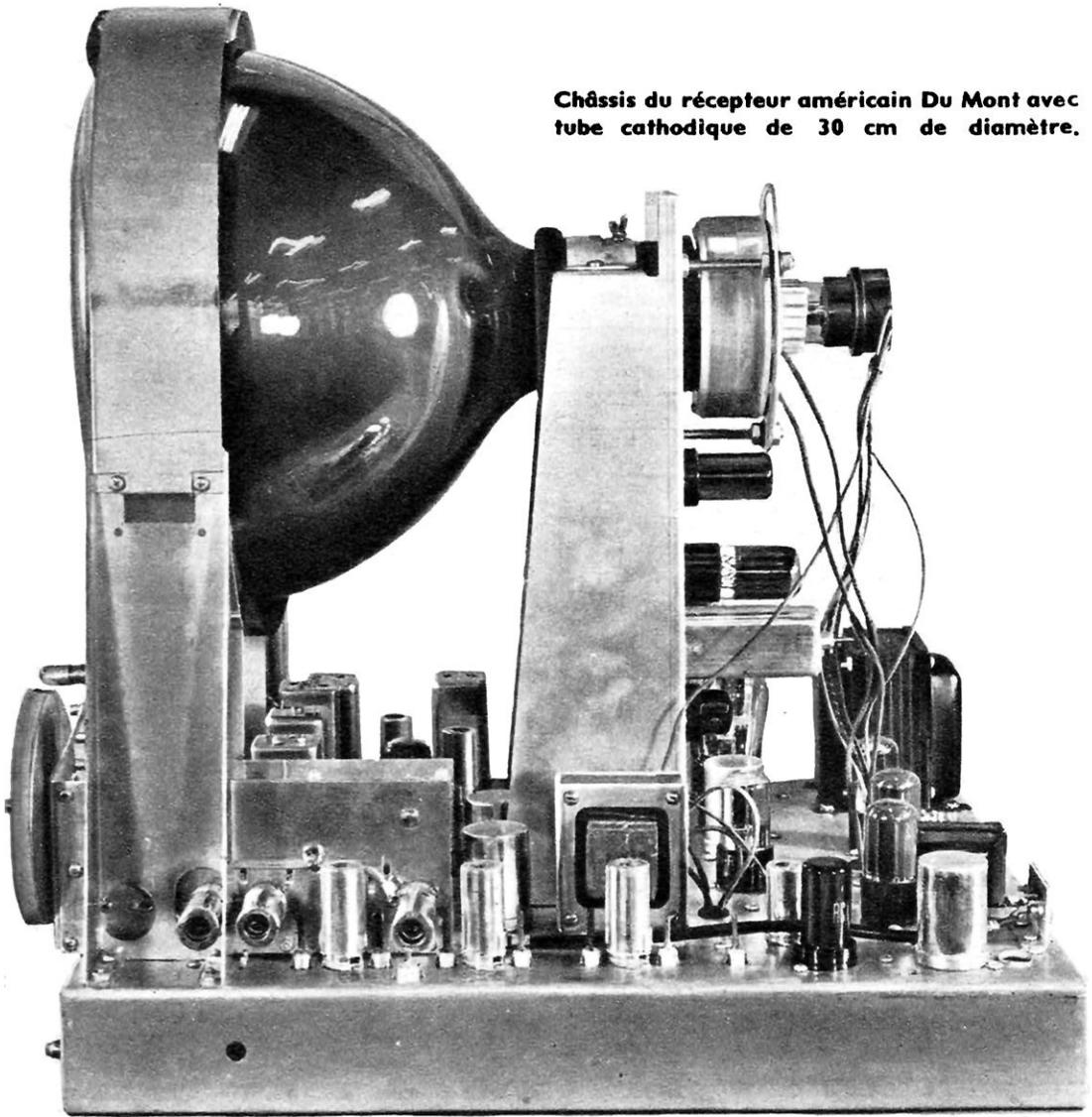
Généralement, en émission normale à modulation d'amplitude, la différence de fréquence entre les ondes porteuses de son et d'image est judicieusement choisie pour simplifier la construction des récepteurs du type superhétérodyne dont on sait qu'ils comportent un oscillateur local provoquant, par superposition des oscillations qu'il engendre avec celles des ondes reçues, des battements à fréquence moyenne sur lesquels portent les opérations suivantes d'amplification et de détection (page 101). Dans le cas des émissions de la Tour Eiffel, par exemple, un seul oscillateur fournit les battements nécessaires pour l'obtention d'un signal moyenne fréquence-image d'un côté et d'un signal moyenne fréquence-son de l'autre, que l'on sépare aisément.

Certains essais ont eu lieu récemment, notamment en Angleterre, pour utiliser une onde porteuse unique pour l'image et le son. Le signal de son relativement simple peut être transmis en utilisant le temps mort qui sépare la fin de chaque ligne du commencement de la suivante. Mais les avantages qu'on peut escompter en théorie de ce procédé sont encore loin d'être acquis en pratique.

Récepteur complet de télévision à haute définition avec tube cathodique et haut-parleur (Radio-Industrie).



Châssis du récepteur américain Du Mont avec tube cathodique de 30 cm de diamètre.



LA TRANSMISSION

La modulation appliquée à l'onde porteuse correspond à une fréquence très élevée qu'il est possible d'évaluer au moins grossièrement par un calcul simple. On peut entendre par « point » d'image un carré théorique tel que l'analyse soit aussi fine dans le sens horizontal que dans le sens vertical. Pour une image analysée suivant 455 lignes et d'une forme rectangulaire dont les dimensions sont dans le rapport 4/3, on trouve dans ces conditions un nombre de « points » total de $455 \times 455 \times 4/3$, soit 276 000 points par image et, par conséquent, en multipliant ce nombre par celui des images balayées en une seconde, 25 en l'occurrence, 6 900 000 « points » par seconde. Comme il y a deux alternances par période, on peut admettre approximativement 3 450 000 cycles (périodes par seconde).

Cette fréquence correspond à la gamme appelée petites ondes en radiodiffusion.

Pour qu'une modulation s'effectue dans de bonnes conditions, il importe que la fréquence porteuse soit au moins dix fois supérieure à la fréquence de modulation. On voit donc tout de suite qu'il est impossible de réaliser une émission de télévision sur 500 mètres de longueur d'onde, par exemple, qui correspond à une fréquence de 600 kilocycles. La fréquence de la modulation serait beaucoup supérieure à celle de l'onde porteuse. On se trouva ainsi conduit, pour les standards compris entre 400 et 600 lignes, à adopter des longueurs d'ondes voisines de 7 mètres (gamme de fréquences comprises entre 40 et 50 mégacycles, soit 40 et 50 millions de cycles). Nous avons déjà signalé les inconvénients de ces ondes dont les principaux résultent de leur mode de propagation, qui se rapproche de celui des

ondes lumineuses. Leur portée maximum est limitée à l'horizon de l'antenne émettrice, et elles sont arrêtées par des obstacles importants, collines, édifices, etc. C'est pourquoi les émetteurs de télévision ont besoin d'édifices élevés pour l'érection des antennes. A Paris, on met à profit la Tour Eiffel, et en Amérique les plus hauts gratte-ciel.

De plus, ces ondes peuvent être sujettes à des réflexions ou des réfractions sur le sol ou des obstacles, qui nuisent grandement à la qualité de la réception. Il en résulte que le choix de l'emplacement et de la disposition d'une antenne de réception présente une grande importance et sa mise au point est souvent délicate. Dans un grand nombre de cas, on se contentera d'un simple dipôle dont chaque bras aura une longueur égale au quart de la longueur d'onde (1 m. 63 pour la réception actuelle de la Tour Eiffel). Souvent un réflecteur sera nécessaire et ce

pensables. A la sortie de l'étage de détection, on trouve en particulier un étage séparateur qui remplit un rôle important, puisque c'est lui qui sépare les trois sortes de signaux : signaux d'image ou de vision, signaux de synchronisation de lignes, signaux de synchronisation d'images.

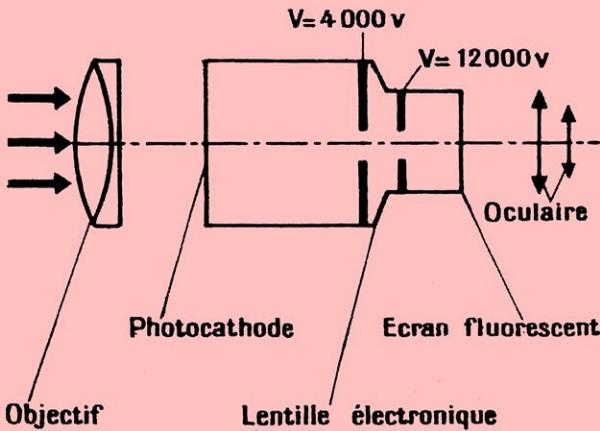
L'élément de base d'un récepteur de télévision est aujourd'hui le tube cathodique, sur lequel se reconstitue l'image (page 97). Il présente, dans son principe de fonctionnement, des grandes analogies avec le tube d'exploration, l'iconoscope précédemment décrit. Il est constitué par une ampoule de verre de forme spéciale, vide d'air, à une extrémité de laquelle se trouve un canon à électrons donnant un faisceau cathodique qui va frapper le fond du tube, recouvert d'une substance fluorescente. Sur le trajet du faisceau cathodique se trouvent disposées, comme avec l'iconoscope, soit deux paires de plaques, soit deux paires de bobines, suivant que le tube est à déflexion électrostatique ou magnétique. A ces plaques ou à ces bobines sont appliquées les tensions de balayage, fournies par le dispositif dit de « base de temps » du récepteur, lui-même commandé par les signaux de synchronisation. Ainsi la tache lumineuse excitée sur l'écran par le faisceau cathodique décrit successivement toutes les lignes en synchronisme avec le dispositif d'exploration de l'émetteur.

La brillance de la tache lumineuse, souvent appelée « spot », est d'autant plus grande que la puissance apportée par le faisceau est plus élevée. Il faut donc moduler ce faisceau d'électrons suivant les intensités des signaux d'image, ce que l'on obtient en appliquant, après amplification, les tensions correspondantes à une électrode particulière, le « Wehnelt », sorte de diaphragme électrique qui joue le rôle d'une grille et qui est placé au voisinage de la cathode émettrice d'électrons et en règle le débit, comme si son ouverture était variable. Pour un blanc, par exemple, elle sera moins négative que pour un noir, elle repoussera moins les électrons qui la franchiront alors en plus grande quantité. Ainsi la brillance du « spot » correspondra à chaque instant à l'éclairement du point correspondant de l'image analysée à l'émission.

Bien entendu, le faisceau cathodique doit être aussi fin que possible afin de permettre une reproduction parfaite de tous les points sans chevauchement. Ceci est obtenu au moyen de lentilles électroniques, électrostatiques ou électromagnétiques, qui concentrent le faisceau, comme des lentilles optiques concentreraient un rayon lumineux.

Il existe des tubes dont les diamètres s'échelonnent entre 7 et 50 centimètres. Il est évident qu'un tube de 7 centimètres ne peut fournir qu'une image ayant environ 5 centimètres dans sa plus grande largeur, ce qui est peu. Cependant, avec des tubes

SCHÉMA D'UN TÉLESCOPE ÉLECTRONIQUE



dernier, sous sa forme la plus simple, sera constitué par un dipôle parallèle au premier et placé à une distance égale à une demi-longueur d'onde. Une solution à ce problème peut être apportée dans l'avenir par la construction d'antennes très soignées communes à tout un immeuble : mais le problème de la distribution des ondes reçues aux utilisateurs reste encore à résoudre.

LA RÉCEPTION : LE TUBE CATHODIQUE.

Les types de récepteurs classiques, super-hétérodynes en particulier, sont utilisables en télévision. Les fréquences élevées et la largeur de bande caractérisant l'émission posent des problèmes d'amplification ardues. Des circuits spéciaux, des bobinages précis ainsi que des lampes particulières sont indis-

perfectionnés supportant des tensions élevées, il est possible d'obtenir des images très brillantes que des dispositifs optiques peuvent agrandir et même projeter sur des écrans de grandes dimensions. Dans un récepteur courant actuel, un tube de 22 centimètres de diamètre est très acceptable.

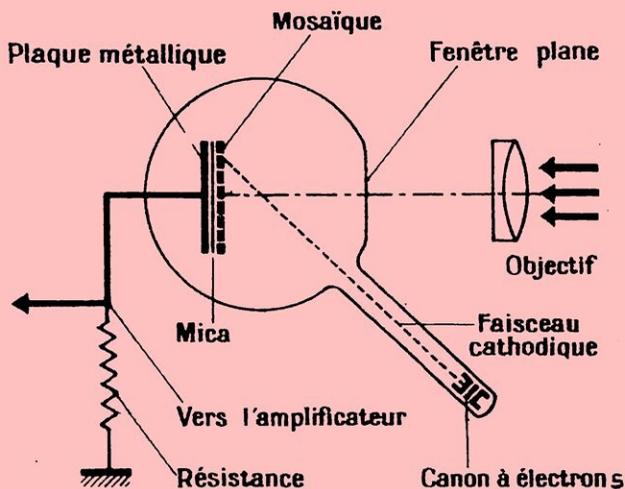
Le prix de revient d'un récepteur dépend essentiellement du tube utilisé, car les tensions nécessaires, l'appareillage et le nombre de lampes sont sensiblement proportionnels à son diamètre. On peut prévoir pour l'avenir trois modèles courants de récepteurs : le premier, populaire et très bon marché, avec un écran de 7 à 16 centimètres, le second, classique, pour salon, avec écran entre 22 et 36 centimètres ; et enfin, le récepteur de luxe, avec système de projection sur grand écran.

L'ÉVOLUTION TECHNIQUE

LES TUBES ANALYSEURS

Sur la majorité des caméras de télévision, c'est encore l'iconoscope qui est utilisé, mais il tend à être remplacé par des tubes analyseurs de plus en plus sensibles, permettant des définitions plus élevées, ainsi que des prises de vues avec des éclairages faibles, comme on les rencontre, par exemple au cours des reportages. Nous ne parlerons ici que des plus caractéristiques, en donnant, pour commencer, quelques indications sur un tube qui n'est pas un analyseur, mais qui, comme ceux que nous allons passer en revue,

PRINCIPE DE L'ICONOSCOPE



fait appel à une cathode photoélectrique. Il s'agit d'un « transformateur d'images », le télescope électronique (1).

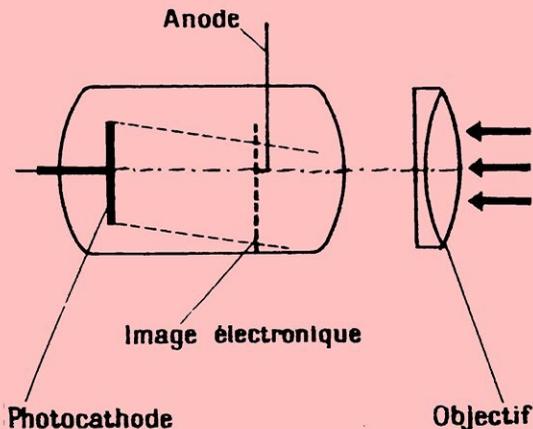
LE TÉLESCOPE ÉLECTRONIQUE

Dans un télescope électronique, on trouve un objectif qui forme l'image de l'objet à examiner sur une photocathode *semitransparente* qui se trouve sur la face d'entrée. Les électrons qui sont émis par chaque point sous l'action des rayons lumineux sont alors projetés, après avoir été accélérés par une lentille électrostatique, sur un écran fluorescent *semitransparent aux électrons*, où ils reconstituent une image électronique, rendue à son tour visible par fluorescence.

Employé en lumière visible, ce tube ne présente apparemment pas d'intérêt, quoiqu'il soit possible de restituer une image finale avec une brillance plus grande que celle qui aurait résulté de l'observation directe. Mais si la photocathode est sensible à l'infrarouge, on peut réaliser un *éclairage invisible*, par un projecteur muni d'un verre infrarouge, et examiner une cible qui ne se doute pas qu'elle est observée. Ceci suggère des applications militaires qui, pendant la guerre, ont suscité des recherches très poussées (2).

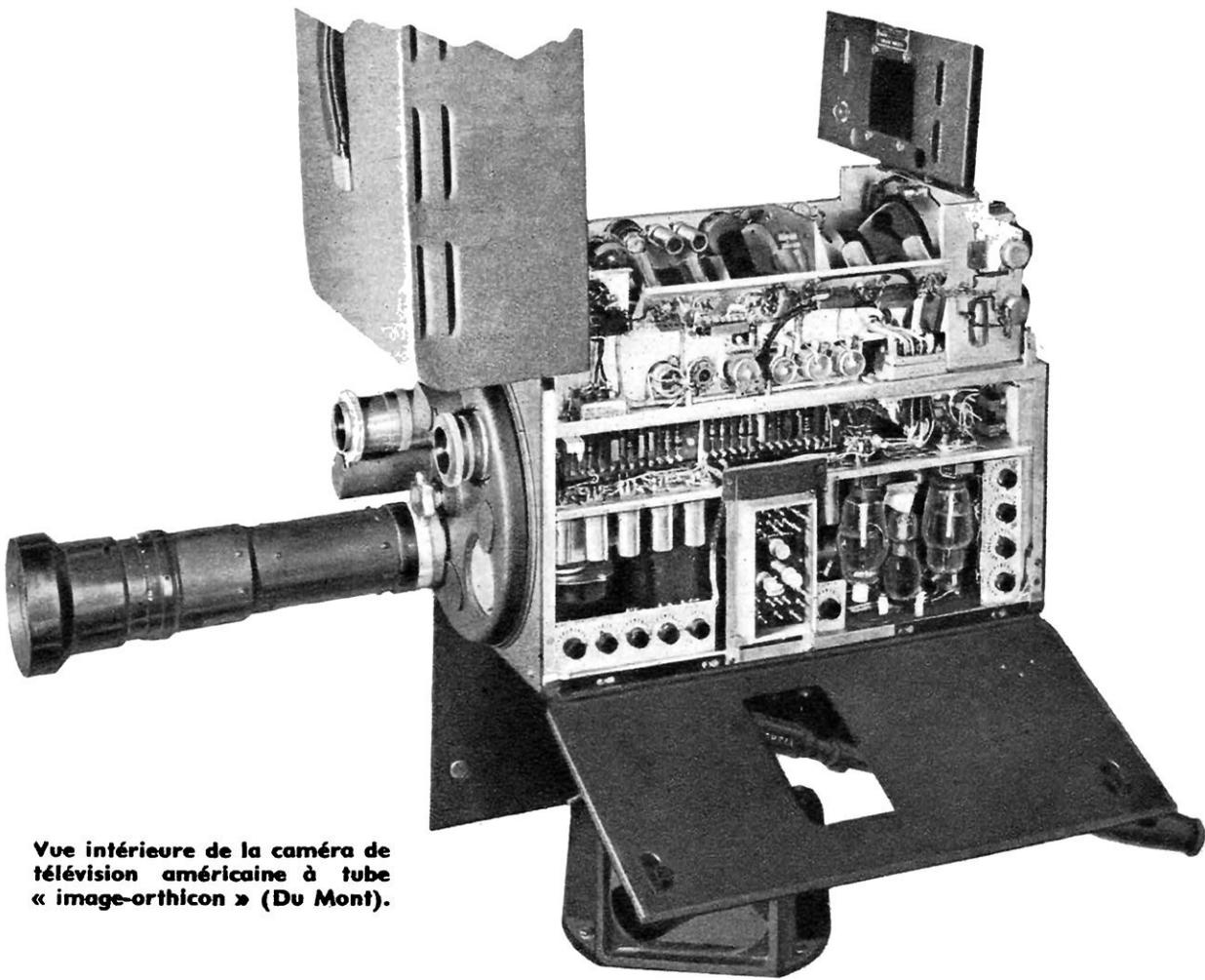
Du point de vue fabrication, la photocathode se traite comme une cellule photoélectrique avec la différence que la couche

PRINCIPE DU DISSECTEUR DE FARNSWORTH



(1) Dans la description des tubes analyseurs, il a été fait un large emploi de la documentation de M. Y. Rocard.

(2) Certains chars allemands avaient un télescope électronique au moment de l'offensive des Ardennes (fin 1944). Certains véhicules anglais étaient conduits de nuit avec un transformateur d'image et un éclairage infrarouge. Les Américains ont confié des jumelles à télescope électronique à des tireurs individuels.



Vue intérieure de la caméra de télévision américaine à tube « image-orthicon » (Du Mont).

soleil, par exemple). Il convient bien à la transmission des films, où l'on peut disposer d'un éclairage intense.

L'ICONOSCOPE DE ZWORYKIN (1934)

L'iconoscope apporte un progrès considérable par le principe de l'*accumulation*. Nous avons vu qu'il ne comporte pas de photocathode conventionnelle, mais un très grand nombre de petites particules sensibles à la lumière, isolées les unes des autres sur une plaque en mica (page 105).

Ces particules sont en fait de minuscules gouttelettes d'argent photosensibilisées. Une plaque métallique munie d'une électrode de sortie est appliquée derrière le mica.

La préparation de la mosaïque est une opération assez simple en principe. On dispose une couche fine d'argent sur le mica et on la craquèle en chauffant à 600° C environ. Cette opération est cependant délicate et très coûteuse et s'effectue dans des chambres spécialement ventilées pour être entièrement à l'abri de la poussière. Il faut compter sur un déchet de 96 %, ce qui explique que le prix de revient actuel d'une caméra soit supérieur à un million de francs.

Une image est projetée optiquement sur cette mosaïque. Par effet photoélectrique, chaque gouttelette d'argent perd un certain nombre d'électrons, donc se charge positivement et prend un certain potentiel déterminé par la charge positive ainsi acquise et par sa capacité avec la plaque, *qui est relativement grande* ; il s'ensuit que, même pour des charges assez fortes, son potentiel par rapport à cette plaque restera assez faible.

Le tube est complété par un *canon à électrons* produisant un pinceau comme dans l'oscillographe cathodique, pouvant être focalisé sur la mosaïque et capable de balayer celle-ci. Chaque fois que le pinceau d'électrons vient frapper une petite gouttelette il la neutralise en apportant brusquement les charges négatives voulues, opération qui se fait sans réaction appréciable sur le faisceau, puisque le potentiel des gouttes varie peu. Mais cet apport brusque de charges se traduit par un signal brusque dans une résistance en série avec la plaque arrière. Ce signal est envoyé sur la grille d'une lampe et amplifié ; c'est le signal de la télévision.

On voit qu'en principe il y a *accumulation de lumière* ; on entend par là que la lumière dispose de la totalité du temps d'exploration d'une image entière pour créer des charges

sur chaque gouttelette, et que la réserve de charge est vidée d'un seul coup au passage du pinceau. On a ainsi un signal d'intensité bien plus élevée que dans le dissecteur d'image, par exemple, et on pourrait s'attendre à ce qu'il le soit dans le rapport du nombre total de points par image (441×441 dans une image de télévision carrée à 441 lignes).

C'est effectivement ce qui se passerait, si la lumière sur un corps isolé créait par effet photoélectrique un véritable courant continu d'électrons. Malheureusement le potentiel pris par les gouttes qui restent chargées positivement tend à retenir les photoélectrons émis et à les rappeler (le pinceau lui-même au cours de son balayage crée des électrons

secondaires qui accentuent encore cet effet), et finalement on ne vide la charge des petites capacités élémentaires au cours du balayage que d'une manière très incomplète. Finalement l'accumulation de lumière ne joue qu'avec un faible rendement, mais procure encore un gain très important.

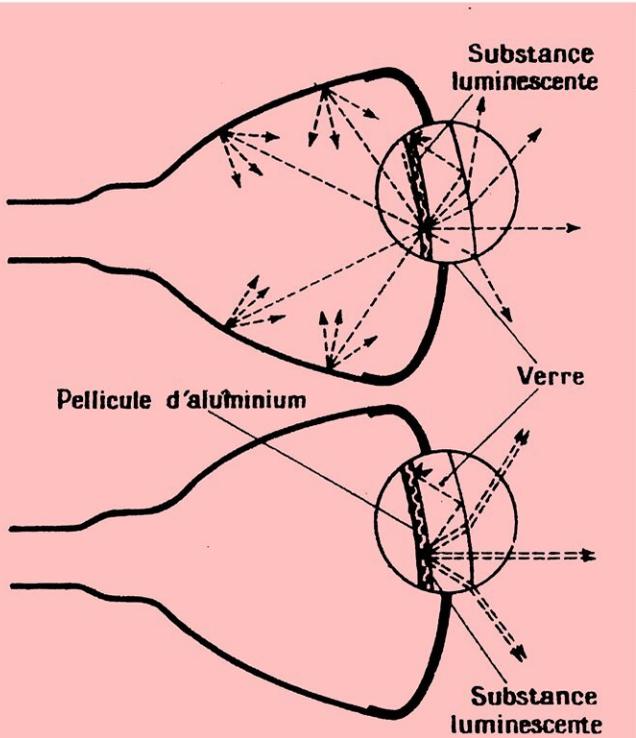
On a fait des iconoscopes donnant encore de bonnes images vers 300 lux d'éclairage des scènes à téléviser : 300 lux correspondent à l'éclairage d'une pièce près d'une fenêtre quand il y a un bon éclairage à l'extérieur (10 000 lux ; le plein soleil à la verticale produit 100 000 lux).

L'ORTHICON

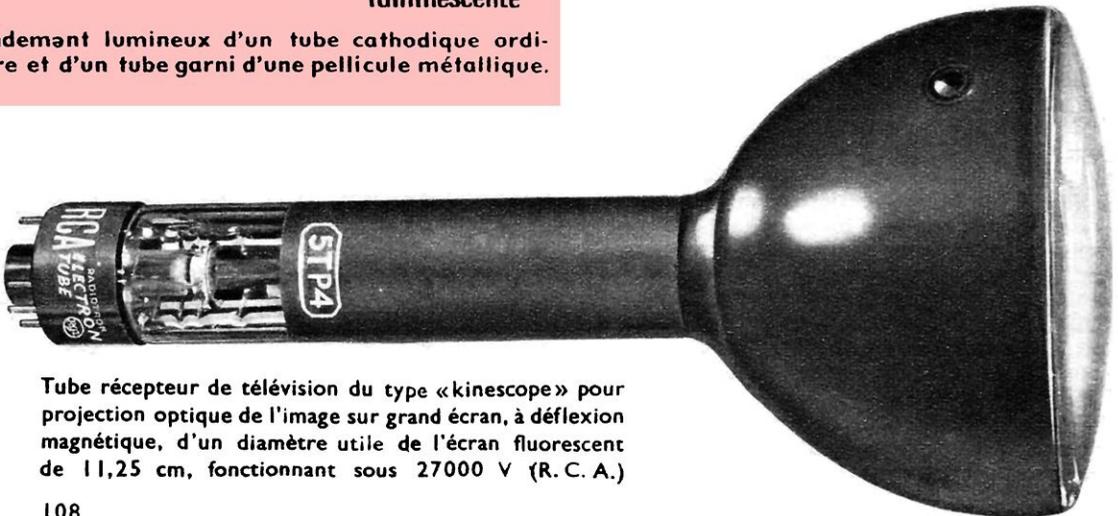
On a appelé *orthicon* un iconoscope, établi par Zworykin en 1939, où le balayage de la mosaïque est réalisé par un pinceau d'électrons très lents : on arrive ainsi à supprimer à peu près l'émission secondaire de la mosaïque ; on retrouve l'accumulation de lumière.

Le dispositif de déviation est constitué par une paire de plaques pour le balayage de lignes et une paire de bobines pour le balayage d'image. De plus, un champ magnétique axial puissant, aussi uniforme que possible, est produit par une grosse bobine extérieure, coaxiale : elle détermine la concentration du faisceau et assure sa direction perpendiculaire à l'écran, alors que, dans l'iconoscope, la direction générale du faisceau fait un angle de 36° environ avec l'axe optique, normal à la mosaïque, ce qui entraîne des déformations importantes obligeant à des dispositifs de correction compliqués.

L'écran portant la mosaïque photosensible est semi-transparent, d'où l'inconvénient, commun à tous les dispositifs analogues, d'une perte de lumière par le défaut de transparence du support isolant et de la plaque conductrice, nécessairement assez épaisse pour que sa résistance électrique demeure faible.



Rendement lumineux d'un tube cathodique ordinaire et d'un tube garni d'une pellicule métallique.



Tube récepteur de télévision du type «kinescope» pour projection optique de l'image sur grand écran, à déflexion magnétique, d'un diamètre utile de l'écran fluorescent de 11,25 cm, fonctionnant sous 27000 V (R. C. A.)

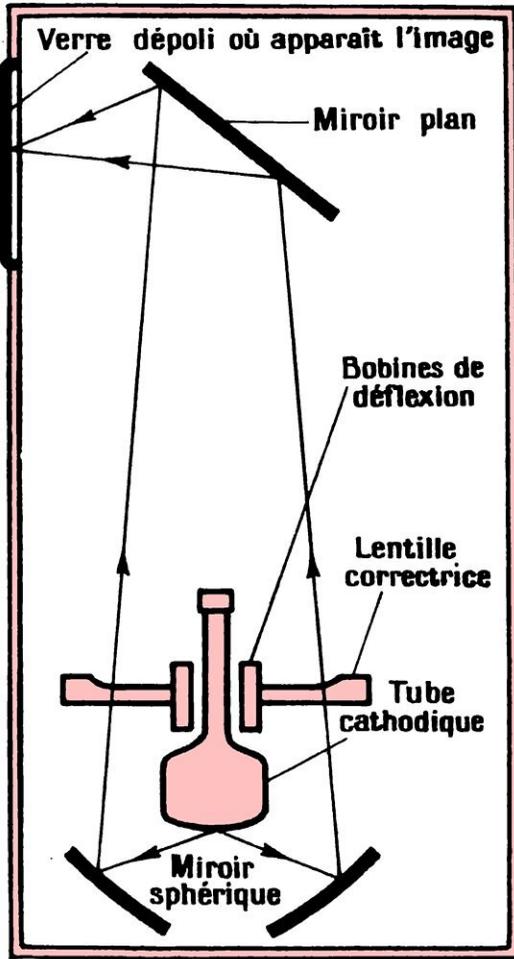


Schéma du dispositif optique de Schmidt dans un récepteur de salon à projection sur grand écran.

Ce tube perfectionné est employé couramment pour les prises de vues en plein air dans les caméras américaines ; celles-ci sont munies de téléobjectifs à très grande ouverture assurant un éclairage suffisant de l'écran. Les appareils fondés sur ce principe peuvent en effet être sensibles à quelques lux (l'éclairage de la pleine lune donne 0,2 lux). Mais la netteté de l'image est un peu moins bonne que dans l'iconoscope.

Une réalisation française connue sous le nom d'*isoscope* est due à M. Barthélemy et aux ingénieurs de la Compagnie des Compteurs.

LE SUPERICONOSCOPE

Les effets secondaires qui gênent l'accumulation des charges dans l'iconoscope peuvent contribuer à donner des signaux de valeur élevée, sans qu'on ait à faire appel obligatoirement à une mosaïque. Dans le *supericonoscope* (page 106), on trouve ainsi un étage d'amplification à émission secondaire

avant le balayage par le faisceau cathodique. L'image est formée optiquement sur une cathode semitransparente dont chaque point livre des photoélectrons. Ceux-ci, par focalisation, donnent une image électrique sur une plaque diélectrique à laquelle est accolée une plaque métallique. Le balayage de ce diélectrique par le faisceau cathodique fournit un signal amplifié par suite de l'émission secondaire de chacun des points du diélectrique frappé par les électrons photoélectriques primaires. On construit des bons supericonoscopes donnant encore des images satisfaisantes à 30 lux.

Une réalisation française toute récente, connue sous le nom d'*ériscope*, a été mise au point par la Société Radio-Industrie et équipe les caméras de reportage de la Télévision française.

De grands progrès semblent encore permis si l'on parvient à combiner les principes de ces divers appareils.

L'IMAGE-ORTHICON

La preuve en est fournie par l'*image-orthicon*, dont le principe de fonctionnement est plus compliqué (page 106).

L'image de l'objet à téléviser est formée par un dispositif optique sur une photocathode semitransparente. Chaque point de cette image devient une source de photoélectrons qu'une focalisation et une accélération convenables projettent sur une plaque de verre, isolante, mais très mince (2,5 microns d'épaisseur). On obtient ainsi une image électronique. Devant cette plaque se trouve

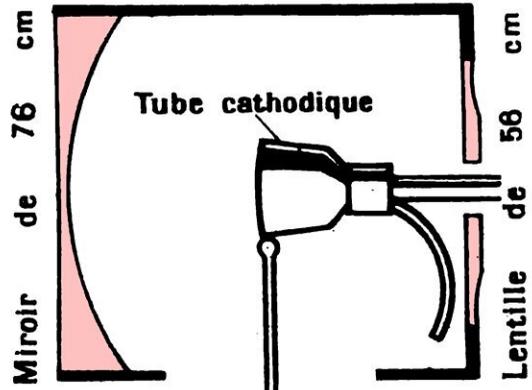
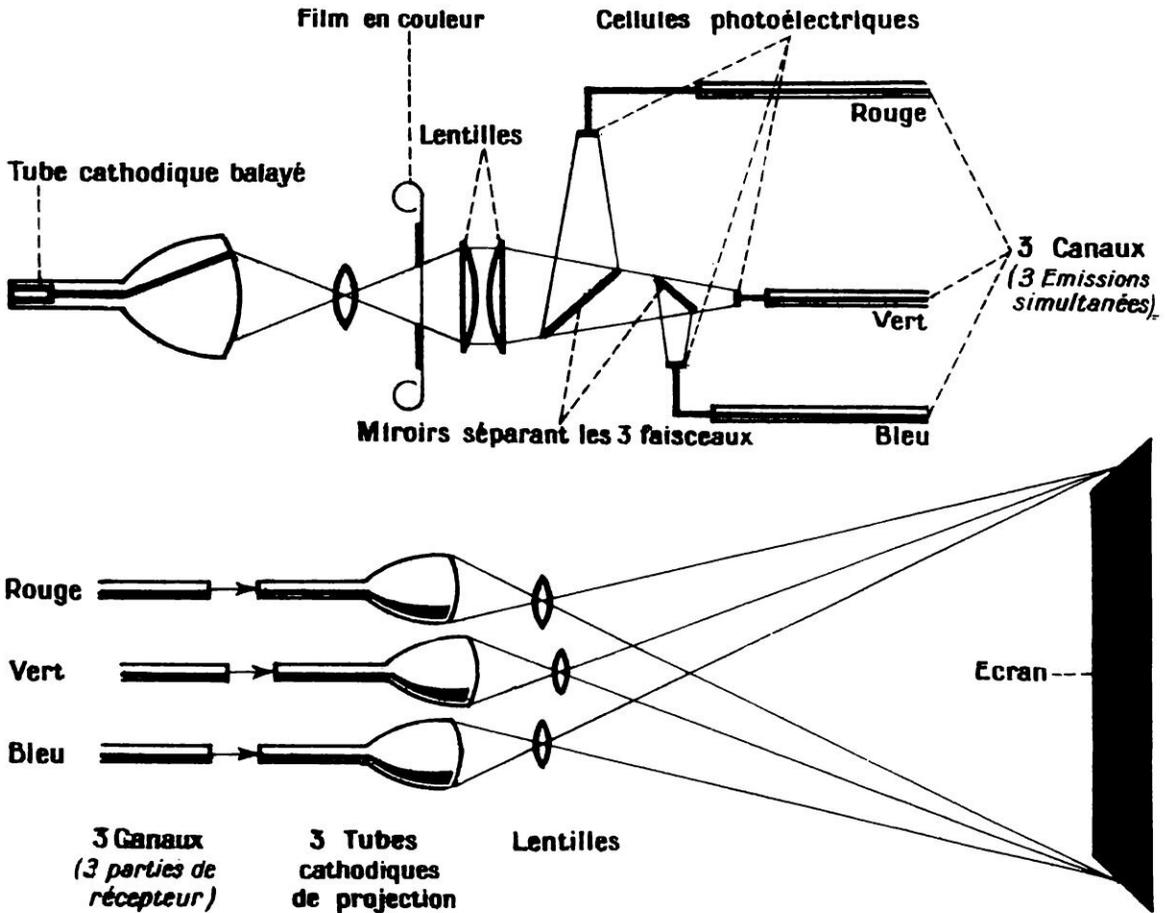


Schéma d'un système de projection pour écran.

une grille extrêmement fine, métallique (400 traits au centimètre), dont les fils sont assez fins pour ne pas porter d'ombre sensible sur la lame de verre. Sous l'effet des électrons incidents, les points de la lame de verre émettent des électrons secondaires qui sont aussitôt recueillis par la grille. La lame étant très mince, les charges positives qui s'y développent peuvent être neutralisées par le



SCHÉMAS D'UN POSTE ÉMETTEUR A TROIS CELLULES PHOTOÉLECTRIQUES ET D'UN RÉCEPTEUR A TROIS TUBES CATHODIQUES POUR LA TÉLÉVISION EN COULEUR PAR LE PROCÉDÉ ÉLECTRONIQUE A ANALYSE SIMULTANÉE.

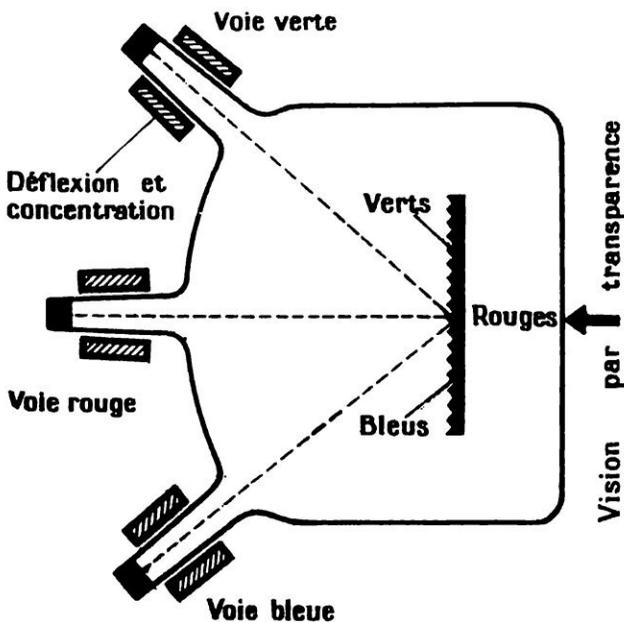


SCHÉMA D'UN TUBE CATHODIQUE SPÉCIAL A TROIS FAISCEAUX POUR LA RÉCEPTION DIRECTE EN COULEUR.

balayage d'un faisceau d'électrons *lents* venu d'un canon à électrons, à l'autre extrémité du tube : il suffit, pour que cette opération soit possible, que la lame présente une légère conductivité dans le sens de son épaisseur ; bien qu'elle soit en verre, c'est tout de même le cas parce qu'elle est très mince.

Une partie des électrons du faisceau cathodique est ainsi absorbée lors de la neutralisation. Les électrons en excès dans ce faisceau, formant à leur tour un faisceau modulé traduisant fidèlement les éclaircissements de la première plaque, n'ont pas d'autre ressource que de repartir vers le canon à électrons, suivant une trajectoire de retour voisine de la trajectoire d'aller, et viennent frapper l'électrode qui diaphragmait le faisceau primaire au départ et qui est à un potentiel assez élevé pour produire à son tour des électrons secondaires. Ceux-ci attaquent alors les étages successifs d'un multiplicateur d'électrons, pour fournir le courant de sortie à l'anode.

Les opérations de focalisation et de déflexion pour le balayage se font sur des électrons encore rapides, ce qui en facilite la réalisation. Avant qu'ils frappent la face postérieure de la lame de verre, ils sont ralentis

par une électrode accessoire, l'anneau de freinage.

L'image-orthicon, dernier né de la technique Zworykin (laboratoires R. C. A., aux Etats-Unis) bat tous les records de sensibilité. La lueur d'un briquet permet de téléviser une scène entière. On a cependant dû admettre une perte de finesse assez notable, de sorte que ce tube n'est pas à recommander aujourd'hui pour toutes les applications.

TUBES CATHODIQUES RÉCEPTEURS

Les techniciens américains se sont efforcés d'améliorer la luminosité des tubes en disposant une mince pellicule métallique sur la face intérieure de l'écran luminescent. (page 108). Elle doit être assez fine pour n'absorber qu'une faible partie du faisceau incident, mais son rôle est de réfléchir la lumière émise par la matière fluorescente et de l'empêcher de se perdre dans toutes les directions, en particulier à l'intérieur du tube en diminuant le contraste. Etant conductrice et maintenue au potentiel d'anode, elle empêche l'écran de se charger négativement et de réduire par conséquent l'énergie cinétique des électrons qui le frappent et par suite la fluorescence.

Par un procédé nouveau de fabrication, l'écran de verre peut être serti dans une partie métallique. Le fond du tube est alors entièrement plat et la surface totale peut être utilisée sans déformation. Depuis quelques années, certains constructeurs s'efforcent de réaliser des tubes rectangulaires, forme rationnelle en rapport avec celle de l'écran. Ils se heurtent à des difficultés de verrerie et notamment de soufflage.

LA PROJECTION DES IMAGES

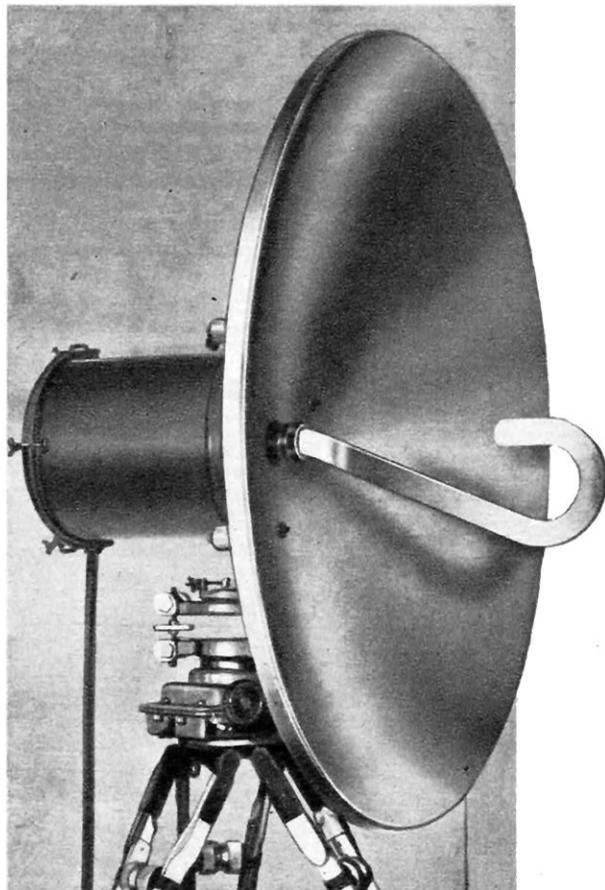
A l'heure actuelle, les tubes cathodiques présentent au maximum un diamètre d'écran de 36 cm en France et de 50 cm en Amérique. Déjà, pour ces diamètres, de sérieuses difficultés entrent en ligne de compte (tensions élevées, balayage, encombrement).

Une solution ingénieuse consiste à projeter sur un écran l'image fournie par le tube cathodique. La luminosité n'est pas suffisante avec un tube ordinaire, à moins de porter l'anode accélératrice à une tension très élevée (30 000 à 60 000 V), ce qui réduit à quelques heures la « vie » du tube. Des types spéciaux de projection ont dû être réalisés.

Dans de nombreux récepteurs étrangers l'image est obtenue en partant d'un petit tube à rayons cathodiques de 6 cm de diamètre. Les rayons lumineux sont réfléchis par un premier miroir en face de l'écran du tube, puis par un deuxième incliné, dans le centre duquel passe le tube de projection, et enfin une lentille qui projette l'image sur un miroir incliné placé derrière l'écran de projection. L'image définitive mesure alors 30 cm sur 40 cm ; le grossissement est de

l'ordre de 100 et l'intensité lumineuse est suffisante pour que l'émission soit suivie dans un local faiblement éclairé.

Le procédé de projection le plus couramment utilisé à l'heure actuelle fait appel à une optique de Schmidt (page 109) comportant un miroir sphérique et une lentille destinée à corriger les aberrations de sphéricité. Un miroir plan renvoie l'image sur un écran translucide. Il est évident qu'un tel système optique ne convient à la télévision commerciale que si le prix de ses éléments constitutifs est abordable. Malheureusement, la fabrication des lentilles correctrices par les méthodes habituelles est extrêmement coûteuse et longue. Depuis peu, on les réalise par moulage en utilisant une résine thermoplastique transparente telle que le méthacrylate de méthyle (plexiglas). Le problème principal à résoudre consiste dans la préparation des moules métalliques dont la forme



Projecteur à réflecteur parabolique de 1,2 m de diamètre, alimenté par tube guide d'ondes, servant à transmettre les signaux d'images à courte distance (jusqu'à 60 m) lors des reportages télévisés. Récepteur et émetteurs, montés sur trépieds, sont d'aspect identique et opèrent sur ondes très courtes (bande de 6 800 à 7 050 mégacycles).

doit constituer une réplique négative de la surface de la lentille. Les lentilles ainsi préparées possèdent d'excellentes propriétés optiques, une grande transparence et une déformation négligeable à froid.

Des équipements ont été construits sur ce principe pour des salles de spectacle. C'est ainsi qu'aux Etats-Unis, la R. C. A. a construit un ensemble (p. 109) comportant un miroir sphérique de 76 cm de diamètre qui renvoie l'image donnée par le tube à travers une lentille correctrice de 55 cm de diamètre. Le tube cathodique, dont l'écran mesure 21 cm de diamètre, donne ainsi une image couvrant un écran de 4,6 m sur 6,1 m.

LA TÉLÉVISION EN COULEURS

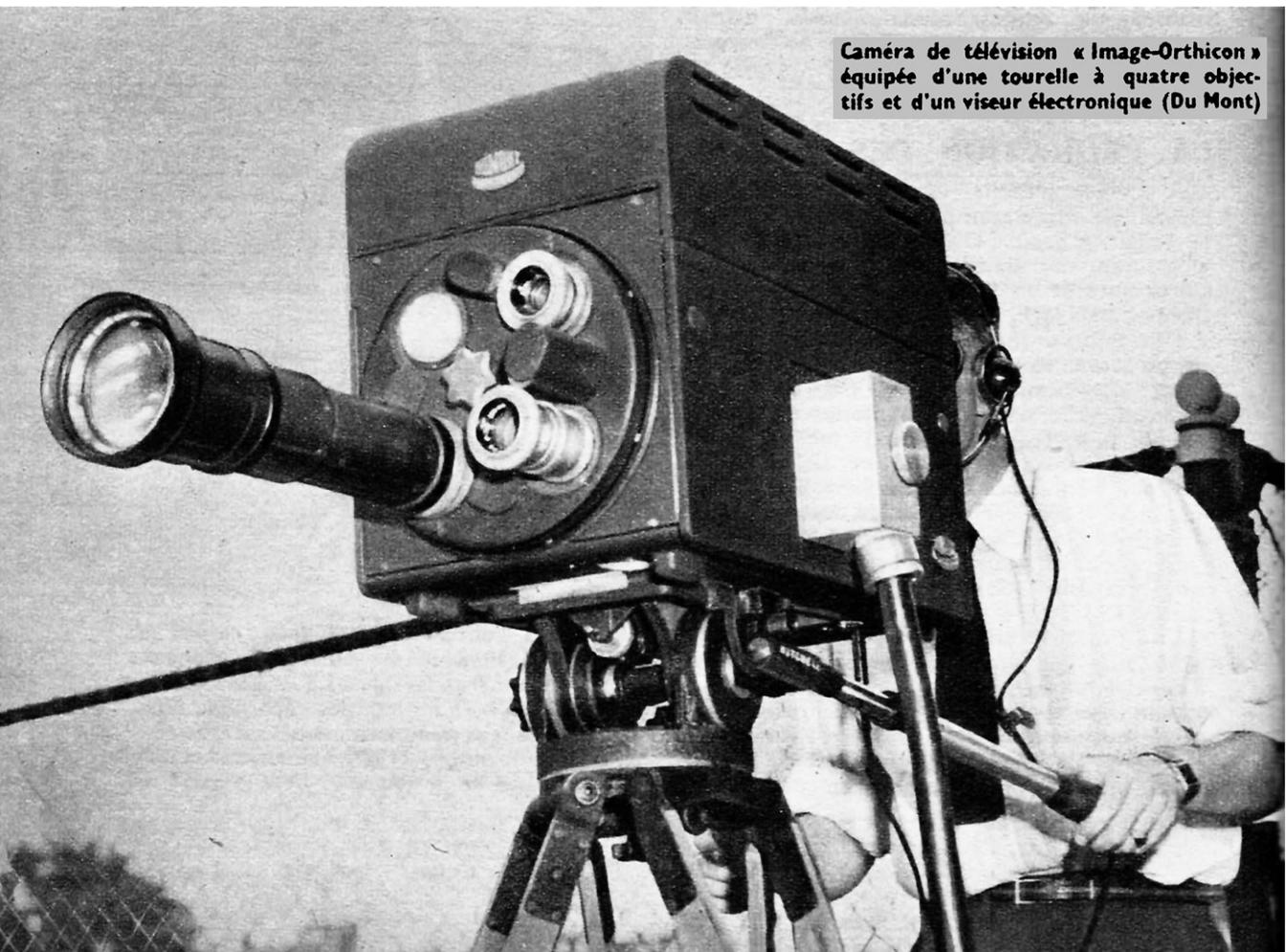
Actuellement, tous les pays avancés en matière de télévision étudient la télévision en couleurs. Deux systèmes s'affrontent avec leurs avantages et leurs inconvénients ; système mécanique à analyse successive, système électronique à analyse simultanée.

Le système mécanique comporte un ensemble de filtres colorés animé d'un mouvement de rotation tant à l'émission qu'à la réception. A l'émission, la caméra est équipée d'un tube orthicon devant lequel tourne un cylindre comportant deux fois trois couleurs successives : rouge, bleu, vert. La vitesse de rotation du cylindre est telle que les filtres se succèdent tous les $1/120$ de seconde. Si

l'on tient compte de l'entrelacement à l'analyse, on voit que l'analyse trichrome est répartie sur trois images complètes successives : première image, lignes impaires rouge, lignes paires bleu ; deuxième image, lignes impaires vert, lignes paires rouge ; troisième image, lignes impaires bleu, lignes paires vert, etc. Le chiffre de $1/120$ de seconde correspond au standard américain, où le secteur alternatif est de 60 périodes par seconde. En France, le dispositif serait identique, mais les filtres se succéderaient tous les $1/100$ de seconde.

A la réception, un disque comportant deux fois trois secteurs colorés successifs (rouge, bleu, vert) tourne devant un tube cathodique normal. Sa vitesse de rotation doit être rigoureusement égale à celle du cylindre utilisé à l'émission. L'émetteur fournit par conséquent des « tops » particuliers qui permettent de synchroniser le moteur d'entraînement du disque coloré par l'intermédiaire d'un dispositif électromécanique spécial. Ainsi le tube cathodique fournit une succession rapide de demi-images rouges, bleues et vertes qui se fondent par suite de la persistance des impressions rétiniennees en une image colorée unique. Certains défauts apparaissent au spectateur, notamment lorsqu'il remue la tête rapidement.

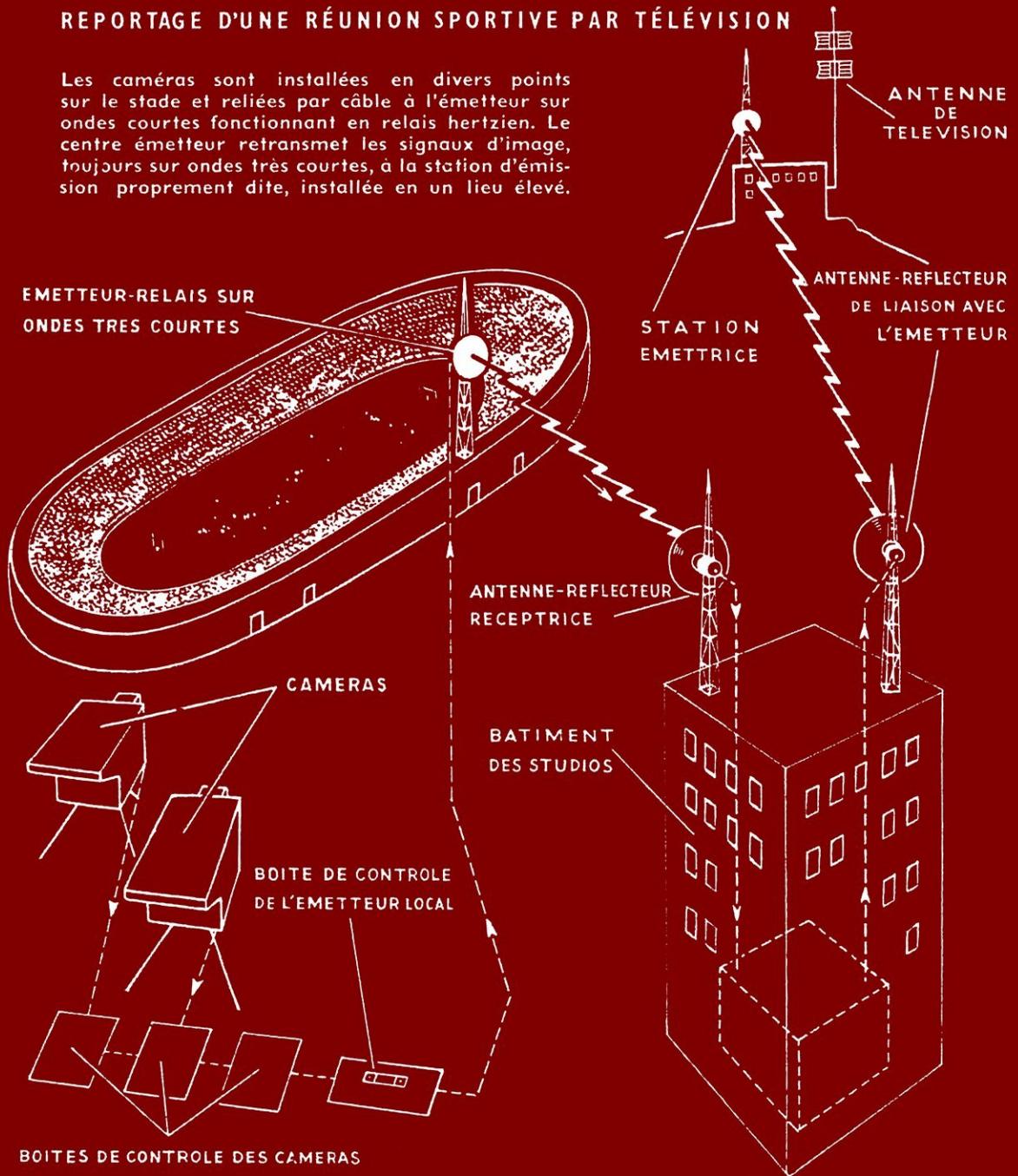
Le prix de revient d'un récepteur est sensiblement plus élevé que pour la réception ordinaire en noir et blanc. Celle-ci demeure



Caméra de télévision « Image-Orthicon » équipée d'une tourelle à quatre objectifs et d'un viseur électronique (Du Mont)

REPORTAGE D'UNE RÉUNION SPORTIVE PAR TÉLÉVISION

Les caméras sont installées en divers points sur le stade et reliées par câble à l'émetteur sur ondes courtes fonctionnant en relais hertzien. Le centre émetteur retransmet les signaux d'image, toujours sur ondes très courtes, à la station d'émission proprement dite, installée en un lieu élevé.



possible en supprimant simplement le disque coloré.

Le système électronique (page 110) possède le gros avantage de ne pas utiliser de dispositifs mécaniques, mais présente l'inconvénient d'être d'une installation difficile et relativement compliquée à mettre au point. Tout se passe en somme comme s'il y avait trois émissions (une pour chaque couleur) et trois réceptions simultanées. La transmission s'effectue par conséquent sur trois voies, c'est-à-dire que chaque image partielle et de couleur primaire est transmise sur une bande séparée. A l'émission, les

images, celles d'un film par exemple, sont analysées par le « spot » d'un tube cathodique très lumineux convenablement balayé, auquel les Américains ont donné le nom de « flying spot ». La lumière traversant le film est décomposée par un jeu de miroirs en trois faisceaux, rouge, bleu et vert, dirigés sur trois cellules photoélectriques dont chacune est sensible à une des couleurs et comporte un dispositif amplificateur multiplicateur d'électrons. Chaque cellule commande l'émission sur un canal de fréquences séparé. La largeur totale de la bande de fréquences transmise est triple de celle d'une émission

en noir et blanc avec le même nombre de lignes d'analyse. La R.C.A. met au point actuellement une caméra permettant d'effectuer directement les prises de vues en couleurs.

Le récepteur comporte trois tubes cathodiques à projection qui fournissent les trois images colorées. Leurs écrans spéciaux fournissent respectivement des luminosités bleue, verte ou rouge, qui sont corrigées par des filtres. A la projection, les trois images se superposent exactement sur un écran pour reconstituer l'image colorée. La difficulté principale est de régler judicieusement les trois faisceaux pour qu'ils se recoupent exactement.

Dans le système R.C.A., l'écran de projection mesure 45 centimètres sur 60 centimètres. Les trois tubes cathodiques ont chacun un diamètre de 7 cm 5 et fonctionnent sous 26 000 volts. La projection s'effectue directement par des lentilles sans optique de Schmidt.

Actuellement, plusieurs laboratoires étudient la réalisation d'un tube cathodique spécial de réception comportant trois cathodes auxquelles parviendraient les signaux d'image correspondant à la décomposition trichrome, et un écran gaufré unique (page 110). Le dispositif optique spécial se trouve ainsi supprimé. A chaque cathode est adjoint son équipement particulier de concentration et de déflexion du faisceau. La fabrication de l'écran exige une très grande précision. Ses différentes parties sont sensibles uniquement aux électrons qui les frappent directement; celles qui émettent une luminosité verte sont inclinées d'un certain angle vers le haut, celles qui donnent le bleu sont inclinées vers le bas; celles qui donnent le rouge sont atteintes de face à travers des fentes. Les difficultés de mise au point d'un tel tube sont telles que seules des expériences de laboratoire ont pu être effectuées jusqu'à présent.

Sur ce principe, J. L. Baird en Angleterre a établi un tube cathodique dit *téléchrome* dont il existe deux modèles, un pour la bichromie, l'autre pour la trichromie.

Le premier comporte une plaque plane en mica, de 25 centimètres de diamètre, recouverte d'un côté d'une poudre fluorescente rouge orangé et, de l'autre, d'un enduit fluorescent bleu-vert. Deux faisceaux électroniques distincts viennent former les images élémentaires du couple bichrome, qui s'additionnent en reconstituant une image en couleurs naturelles.

Dans le deuxième modèle, l'écran est plan, enduit d'un côté d'un composé fluorescent rouge, comme précédemment, mais l'autre face est ondulée. Les dents de scie ainsi produites en forme de triangles isocèles sont enduites respectivement de composés fluorescents vert et bleu. Trois pinces électroniques distincts sont utilisés, l'observation doit se faire face à l'écran, mais l'image peut être renvoyée par un miroir à 45°.



PROJET D'ORGANISATION DE LA « STRATOVISION » AUX ETATS-UNIS.

Ce tube permet aussi d'obtenir une vision stéréoscopique par la méthode des anaglyphes, avec des lunettes munies de verres bleu-vert et rouge-orangé.

LES RELAIS

Nous avons dit que l'emploi obligatoire d'ondes métriques pour les transmissions de télévision ne permettait pas d'assurer une diffusion à plus de 100 kilomètres. Encore à cette distance faut-il envisager des installations réceptrices assez compliquées. Il faut donc mettre en œuvre tout un système de relais pour couvrir un vaste territoire. Trois solutions sont possibles.

La première, celle des *câbles coaxiaux*, était seule utilisée avant la guerre, pour transmettre la modulation à des stations émettrices régionales, comme on le fait en radiodiffusion.

En raison des fréquences élevées et de la complexité des signaux, seuls des câbles spéciaux peuvent convenir afin qu'aucune perturbation ne vienne troubler la réception correcte des images. Un câble coaxial comporte un conducteur creux dans lequel est logé un conducteur central maintenu en place par des pièces isolantes spéciales permettant une souplesse relative pour la mise en place, le tout étant soigneusement



blindé. Il est nécessaire en pratique de placer tous les huit ou dix kilomètres un « répéteur » constitué par un amplificateur spécial précédé d'un ensemble correcteur et complété de divers dispositifs de contrôle et de sécurité.

En France, un câble-relais Paris-Limoges avec dérivation vers le Midi était commencé en 1939. La guerre n'a pas permis de terminer ce projet. Les Américains disposaient à cette époque de plusieurs centaines de kilomètres de câbles coaxiaux avec répéteurs appropriés pour la retransmission des émissions de New York à diverses villes de province.

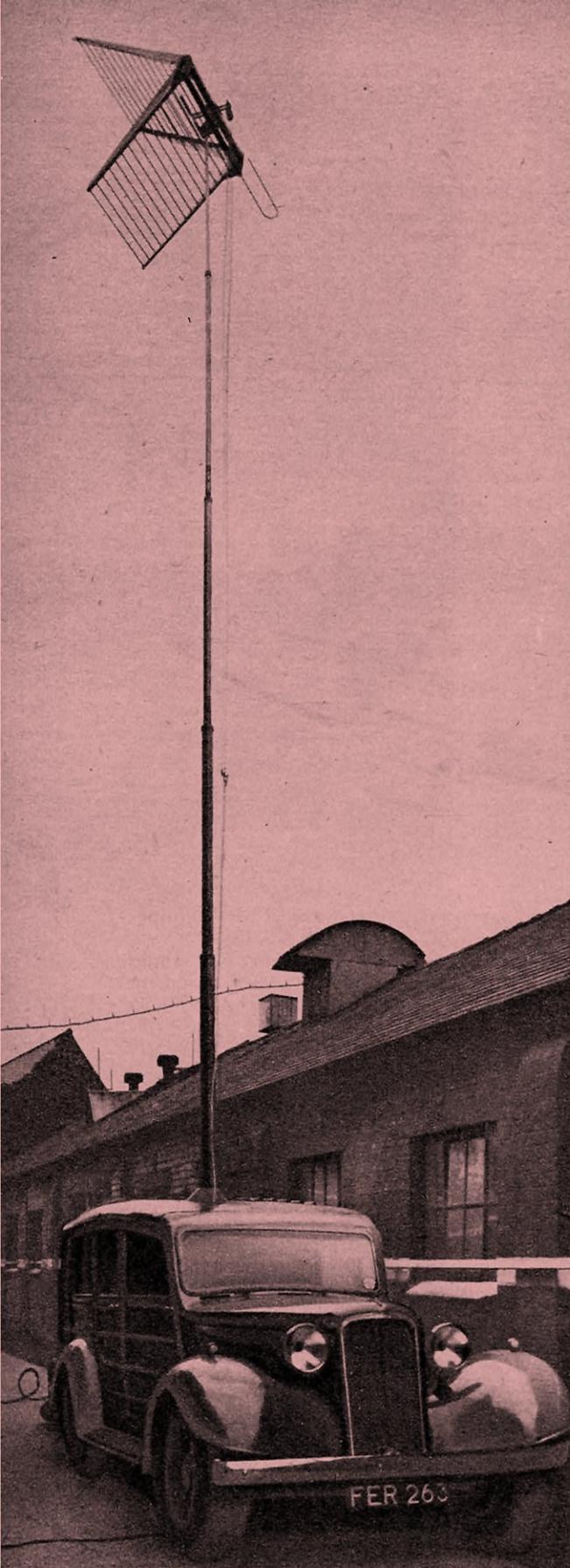
On considérait en 1939 que l'équipement d'un réseau de retransmission pour télévision revenait sensiblement à 300 000 francs le kilomètre (prix et pose du câble, ainsi que 1/10 du prix de chaque ensemble répéteur, en considérant qu'il en fallait un tous les dix kilomètres). L'évolution de la technique des ondes courtes pendant la guerre a contribué à orienter les recherches vers d'autres procédés plus modernes. A l'heure actuelle, il n'existe en France aucun réseau de télévision. Des travaux sont en cours pour équiper dans quelques mois les villes de Lille et de Lyon en les réunissant à Paris par relais hertziens. Ce retard aura l'avantage

d'orienter les techniciens vers des équipements moins onéreux que les câbles.

Les *relais hertziens* utilisent des ondes centimétriques qui peuvent être aisément dirigées, comme l'est un rayon lumineux par un projecteur. Une antenne appropriée de quelques centimètres est logée au centre d'un projecteur parabolique en métal ou d'un « cornet » réflecteur qui concentre la presque totalité du rayonnement dans un cône de quelques degrés d'ouverture. Un cornet identique assure la réception.

Chaque répéteur peut ainsi être installé au sommet d'une tour métallique de quelque 40 mètres de hauteur, dans une cabine close, et fonctionner sans surveillance. Des portées directes de 50 kilomètres sont facilement obtenues. Il est évident que la ligne hertzienne doit éviter les collines, montagnes, etc., qui forment des obstacles à la propagation. Dans les régions montagneuses, ces tours seront utilement érigées au sommet des points culminants. En France, le dernier pylône de la ligne Paris-Lille vient d'être mis en place, et on espère que cette importante station régionale sera mise en exploitation vers la fin de l'année 1948.

La puissance mise en jeu dans ces transmissions est relativement faible car les



aériens de réception et d'émission sont à gain élevé. Les appareils situés dans la cabine placée sur chaque tour sont commandés à distance. On prévoit des bandes passantes relativement larges permettant des transmissions de l'ordre de 15 mégacycles et l'emploi de divers modes simultanés de transmission (modulation de fréquence, fac-simile, multiplex, etc.). En raison de leur simplicité et de leur prix de revient relativement peu élevé, les relais hertziens s'imposent aujourd'hui.

Un ingénieur américain, M. Nobless de la Compagnie Westinghouse, a eu l'idée d'installer les relais sur des avions. C'est la *stratovision* (page 115) qui a déjà fait couler beaucoup d'encre aux États-Unis. Il est évident que plus l'antenne de l'émetteur ou des relais est élevée et plus la distance couverte est grande. Quelques essais ont été effectués avec un avion volant à 7 000 mètres, sur des fréquences de 107,5 et 500 Mc. Un service spécial pourrait être organisé avec une douzaine d'avions pour couvrir la presque totalité des régions les plus peuplées des États-Unis. La distance desservie par chaque avion est de l'ordre de 400 kilomètres (cercle de 800 kilomètres de diamètre). En France, aucun essai de ce genre n'a encore été tenté, car les distances à franchir sont bien plus petites. Les techniciens américains qui se sont penchés sur le problème estiment qu'il faudrait au moins dix ans pour mettre sur pied la stratovision.

LES REPORTAGES

Pour que la télévision intéresse le public, il est nécessaire que ses programmes soient variés et vivants.

Les reportages représentent pour la télévision une source infinie d'émissions. Des équipements mobiles sont évidemment nécessaires. Les services de la Télévision Française disposent d'un ensemble complet conçu et réalisé par Radio-Industrie. Cet équipement sera complété prochainement d'un équipement léger, construit par la Compagnie des Compteurs et, à la fin de l'année 1948, par un second équipement léger, en cours de réalisation à la Société Sadir-Carpentier.

En Angleterre, il faut signaler le récent équipement léger créé récemment par les Etablissements Pye. Les caméras sont au nombre de deux ; chacune est portée par un chariot pliant en métal léger muni de quatre roues orientables. Chaque caméra ne comporte qu'un viseur optique, la concentration et la mise au point électronique étant effectuées à partir du pupitre de surveillance placé dans la camionnette. Les deux caméras sont équipées d'icônoscopes ; elles

La voiture de reportage Pye, en Grande-Bretagne avec son mat télescopique de 12 m supportant l'antenne qui relaie les signaux de vision.

renferment les amplificateurs et les systèmes de balayage. A chaque caméra se trouve adjoit un microphone et un préamplificateur pour la prise de son. Un certain nombre de microphones supplémentaires permettent de transmettre des commentaires. Chaque chariot est muni de 300 mètres de câble, ce qui fournit une portée suffisante pour suivre un déplacement continu de la scène. Ces câbles renferment cinq paires blindées et neuf fils non blindés. Les opérateurs de prise de vues disposent d'écouteurs pour recevoir les instructions du technicien assis devant le pupitre de surveillance.

C'est au pupitre de surveillance que s'effectuent les opérations de fondu et de mélange, ainsi que le contrôle, la discrimination et le mélange des prises de vues provenant des caméras. A l'arrière du véhicule sont installés les générateurs de signaux de synchronisation, les amplificateurs de vision et les dispositifs de mélange des signaux de vision aux signaux de synchronisation.

Le signal complet module une onde porteuse de fréquence 660 Mc. A cette fréquence, l'émetteur fournit une puissance de sortie de l'ordre de 500 watts, pour un niveau de modulation correspondant au blanc maximum. Un feeder symétrique transmet cette puissance à un dipôle horizontal placé dans un réflecteur et fixé au sommet d'un mât télescopique émergeant du toit de la camionnette. La mise en place de ce mât est contrôlée par un moteur ; une fois le véhicule

parvenu sur les lieux de la prise de vues, il suffit de mettre le moteur en marche ; aucune surveillance n'est alors nécessaire, car le moteur s'arrête automatiquement dès que le mât a atteint une hauteur de 12 mètres. De ce fait, les opérateurs ont tout le loisir de s'occuper des autres équipements. L'aérien fournit un faisceau de 20° d'ouverture, qui est reçu par la station centrale d'émission de télévision avec éventuellement des relais en nombre convenable.

L'ensemble complet, camionnette et équipement, pèse deux tonnes et demie, et peut emporter trois personnes, dont le conducteur.

En Amérique, les reportages fournissent un très important appui aux programmes. Sept à dix reportages par semaine sont actuellement réalisés à New York par les trois stations existantes. Des cars permettent d'assurer les retransmissions. La tendance principale est cependant d'employer un matériel léger en valises. Les techniciens estiment que ce procédé est très commode et permet de résoudre maints problèmes particuliers difficiles avec un matériel encombrant, lourd et fixe. Tout reportage est ainsi rendu possible.

Les techniciens américains du reportage essaient, dans la majorité des cas, de réaliser les liaisons par câbles téléphoniques malgré les inconvénients qui en résultent pour la qualité des images transmises si la distance est importante. Au delà de 10 kilomètres, la liaison hertzienne entre le car et la station principale est réalisée sur des longueurs

Dans la voiture de reportage Du Mont, aux Etats-Unis, les écrans de contrôle des prises de vues





Caméra de prises de vues de la Télévision française, équipée pour les reportages, avec tourelle à six objectifs (Radio-Industrie).

d'onde centimétriques. Des portées régulières de l'ordre de 25 kilomètres sont atteintes avec une puissance de 100 watts fournie par l'émetteur du camion. Le public américain est très fervent des retransmissions par télévision de manifestations sportives, de premières de théâtre et de films, et de tout événement d'actualité.

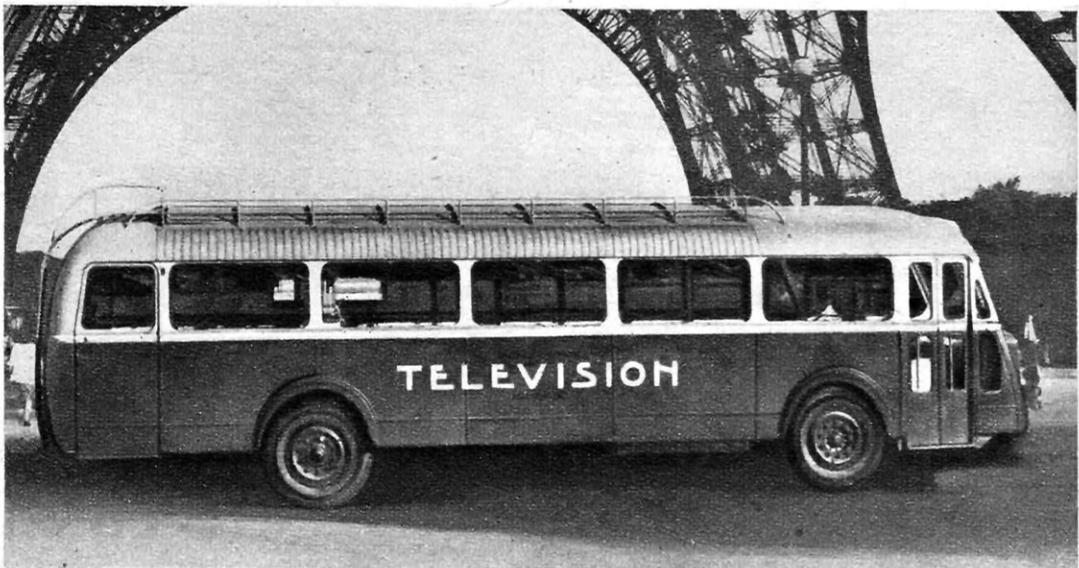
L'ÉQUIPEMENT FRANÇAIS

En France, l'équipement mobile actuel comprend deux cars spécialement aménagés : l'un est réservé au matériel de prise de vues proprement dit et à ses accessoires, l'autre aux différents émetteurs.

Le car de prise de vues comporte les organes correspondant à deux voies complètes à haute définition, qui peuvent être mises en service séparément ou simultanément, en rapport avec une centrale de synchronisation commune. Dans le premier cas, les deux voies se prêtent un mutuel secours et, dans le second, l'ensemble permet un enchaînement à volonté de vues prises sous des angles différents par deux caméras situées en des points séparés.

Ces deux caméras, montées sur pied de campagne, sont reliées au car par des câbles coaxiaux d'environ 100 mètres, distance minimum indispensable à certains reportages. Elles sont équipées de tubes analyseurs *érisopes*.

De dimensions réduites et de faible poids (24 kg), ces caméras sont aussi maniables que celles de la cinématographie. Leur tourelle à six objectifs, couplés par paires identiques, permet un choix rapide entre les trois combinaisons. Les optiques sont amovibles et on peut leur en substituer d'autres presque instantanément selon les circonstances, par exemple, un téléobjectif



Le car de reportages de la Télévision française portant le matériel mobile de prises de vues et de son.

pour les prises de vues lointaines. La mise au point se fait par levier latéral commandant la tourelle, grâce à un viseur sur verre dépoli fournissant une image non inversée qui préjuge de celle transmise.

Les deux voies de vision représentent la partie la plus importante des organes montés à bord du car de prise de vues. Onze baies, dont deux de synchronisation, renferment les dispositifs d'alimentation, d'amplification, de correction et de contrôle. Ce matériel de haute qualité est celui dont le prototype a permis de réaliser les premières démonstrations publiques de télévision à haute définition au Palais de la Découverte en 1946. Il n'a pas manqué de bénéficier, depuis cette époque, des perfectionnements techniques nés dans les laboratoires.

Le car de prise de vues comprend, d'autre part, un équipement microphonique destiné à la sonorisation des images, une table à double plateau d'enregistrement et de lecture de disques phonographiques et un poste de télécinématographie pour films de 16 millimètres, particulièrement convenable aux téléreportages différés et aux démonstrations.

Les courants de vision et de son peuvent être utilisés sur place à des démonstrations locales, être transmis par câbles au centre principal fixe ou moduler les émetteurs du second car.

Ce dernier présente des caractéristiques mécaniques semblables et renferme le matériel de régie technique, c'est-à-dire un pupitre mélangeur d'images et un pupitre de sonorisation, plaçant sous les yeux des techniciens les contrôles et commandes leur permettant d'assurer la conduite de l'émission et la bonne marche de l'exploitation.

Un émetteur à modulation d'amplitude sur ondes centimétriques (puissance 10 watts, bande passante 10 Mc) assure la liaison avec le centre principal, qui doit se trouver en vision optique. Cette technique de retransmission par ondes dirigées assure

aux images une grande stabilité qui n'est pas affectée par les conditions de propagation et les perturbations radioélectriques.

Un second émetteur à modulation d'amplitude, sur ondes métriques (puissance 45 watts ; gamme 200 à 300 Mc, bande passante 10 Mc) est destiné à la diffusion des images à petite puissance. Il peut naturellement opérer la liaison avec le centre principal, si les conditions de propagation l'exigent ou le permettent.

Un troisième émetteur à modulation de fréquence, sur ondes décimétriques (puissance 50 watts, gamme 200 à 400 Mc, qualité radiodiffusion) est réservé à la diffusion de la version sonore, en liaison avec le centre principal ou d'une manière autonome.

Ces trois émetteurs spécialement conçus peuvent assurer un service quasi permanent et rayonnent leur énergie par des aériens groupés sur le toit du véhicule.

Cet équipement mobile a été inauguré le 5 juin 1947, par la diffusion d'un spectacle de bienfaisance, donné au Théâtre des Champs-Élysées à Paris. Cette manifestation a pu être intégralement transmise par l'émetteur de la Tour Eiffel (455 lignes) grâce au car de prise de vues, stationné à proximité du théâtre et dont les deux caméras avaient été disposées, l'une au premier rang des fauteuils d'orchestre, l'autre au premier balcon.

Le même car de prise de vues a été appelé à Bruxelles en juillet 1947, afin d'y donner des démonstrations de télévision à haute définition. Le matériel, mis en batterie dès l'arrivée, a permis d'obtenir la première image moins d'une heure après le branchement de la ligne de distribution électrique.

Les démonstrations se sont déroulées pendant trois semaines en plein air, à raison de huit heures par jour devant des milliers de spectateurs sans le moindre incident technique. Elles ont fait grand honneur aux techniciens français.

APPLICATIONS SPÉCIALES

LES récepteurs de radiodiffusion ne représentent aujourd'hui qu'une faible proportion de l'appareillage radioélectrique en usage dans le monde pour d'innombrables applications aux télécommunications, aux liaisons terrestres, marines, aériennes, etc. On peut prédire un avenir semblable à la télévision, tant dans la recherche scientifique que dans le domaine des applications industrielles.

ENSEIGNEMENT ET RECHERCHES

Sur le plan éducatif, on envisage sérieusement la transmission de cours depuis des universités et facultés dotées d'équipements

émetteurs. Cette diffusion éducative paraît se généraliser aux Etats-Unis. La première installation a été effectuée à l'hôpital de la célèbre Université John Hopkins, où une caméra est suspendue au-dessus d'une table d'opération dans une salle de chirurgie affectée à un grand maître. Ceci permet aux médecins consultants et aux étudiants de suivre tous les détails d'une intervention.

Il est vraisemblable que ce procédé s'étendra à la majorité des enseignements. On conçoit que la radio ne puisse présenter le même intérêt, car elle ne permet pas de suivre des manipulations, un exposé au tableau, ou une expérience, sans télévision.

Lors de congrès ou réunions, la télévision



APPAREIL ÉMETTEUR-RÉCEPTEUR DE FAC-SIMILE (TIMES FAC-SIMILE CORPORATION)

Il est capable d'émettre ou de recevoir sur papier photographique ou sur film, des documents de la dimension d'une demi-page de quotidien en 20 minutes environ.

permet à un auditoire refoulé d'une salle comble de suivre dans les couloirs ou au dehors ce qui se passe à l'intérieur. Cette application inattendue a été utilisée pour la première fois, lors des premières séances de l'O. N. U. Les caméras placées sur une galerie assuraient le fonctionnement de 10 récepteurs installés dans les couloirs. Les journalistes et le public malchanceux purent voir et entendre aussi confortablement que dans la salle des séances.

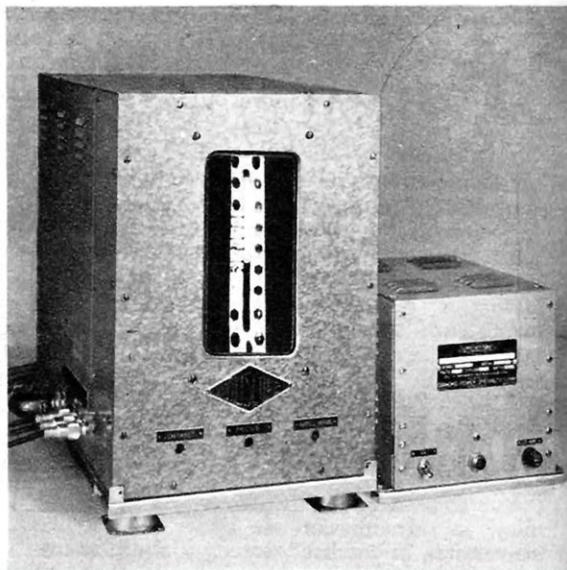
Signalons encore les installations utilisées à Bikini pour transmettre les détails de la formidable expérience. Une tour avait été spécialement installée pour supporter les caméras destinées à enregistrer l'explosion : un camion émetteur permettait la retransmission sur ondes courtes au Département de la guerre.

L'organisation inverse est réalisable, c'est-

à-dire qu'un seul opérateur peut voir et contrôler à distance diverses machines et sous-stations éloignées les unes des autres. Dans ce cas, plusieurs ensembles émetteurs sont nécessaires.

La télévision trouve maintes applications dans le domaine du contrôle et de la détection : citons l'examen du fond des mers, la recherche d'épaves, mines, etc., au moyen d'une caméra immergée (l'éclairage peut être réalisé par des rayons ultraviolets, par exemple). Dans ces conditions, des recherches d'épaves sont possibles ainsi que l'examen particulier des grands fonds, sans risque de pertes humaines.

Les équipements modernes de télévision commencent à être utilisés aux Etats-Unis pour transmettre des messages avec une énorme rapidité. Dans ce nouveau procédé, appelé « ultrafax », les documents à trans-



L'« UTILISCOPE » : APPLICATION ORIGINALE DE LA TÉLÉVISION DANS UNE CENTRALE THERMIQUE AMÉRICAINE :

A gauche, la caméra de prises de vues et son amplificateur ; à droite, l'équipement récepteur : sur l'écran de l'oscillographe apparaît l'image d'un niveau d'eau des chaudières (Farnsworth).



ÉQUIPEMENT DE « FAC-SIMILÉ » POUR RECEVOIR A DOMICILE UN JOURNAL TÉLÉDIFFUSÉ (FINCH).

Le texte et les images du journal s'inscrivent sur du papier électrolytique qui se déroule à une vitesse de l'ordre de 8 à 10 centimètres environ par minute.

mettre sont photographiés sur un film standard de 35 mm. Le faisceau lumineux horizontal produit par un tube cathodique spécial appelé « flying spot » (même type que celui utilisé en télévision en couleurs) analyse le film qui se déroule dans le sens vertical.

TÉLÉCOMMUNICATIONS ET FAC-SIMILE.

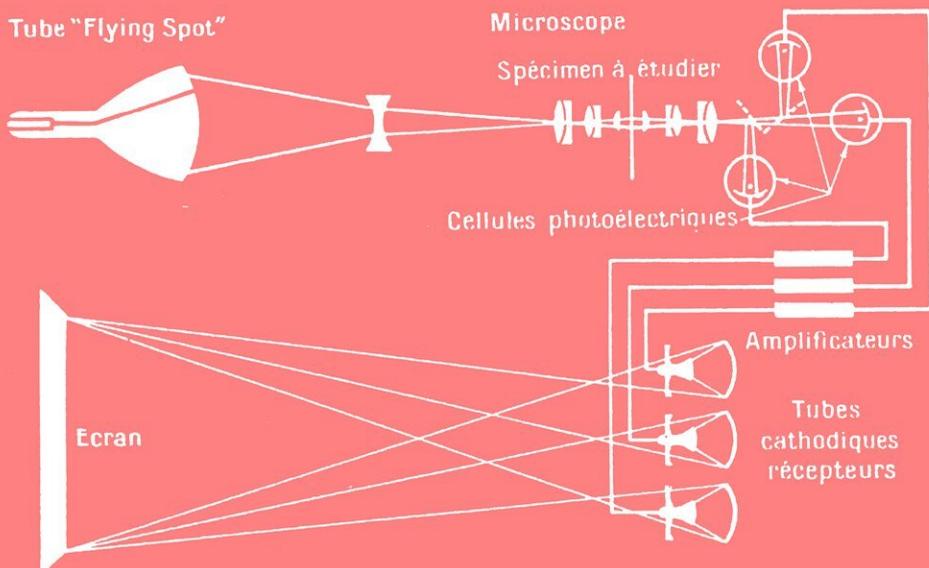
A la réception, un tube cathodique identique impressionne une pellicule en mouvement. Les agrandissements sont ensuite possibles et des clichés peuvent être réalisés pour un tirage à de nombreux exemplaires. Dans ces conditions, une vitesse de transmission de 600 000 mots par minute peut être atteinte, environ 1 800 à 2 000 pages de chacune 300 mots. De très nombreux débouchés s'ouvrent dès à présent pour cette

récente application : transmission de journaux à la province, livres, documents, plans, copies de films pour réseaux de salles de projection, cartes d'opérations, cartes météorologiques, et même, pour certains réseaux télégraphiques surchargés, transmission en quelques secondes d'un nombre considérable de télégrammes. Cette dernière application est susceptible de bouleverser le trafic télégraphique ordinaire.

Le procédé mis en œuvre s'apparente aux transmissions de documents divers, qui se développent énormément outre-Atlantique sous le nom de « fac-similés ».

Plusieurs compagnies ont mis au point des équipements permettant, avec un abonnement spécial, de recevoir à domicile un journal tout imprimé. Un réseau d'exploitation est actuellement en cours de réalisation. Toutes ces transmissions ont lieu en noir et blanc.

DISPOSITIF DE TÉLÉVISION EN COULEUR JOINT A UN MICROSCOPE





Caméra de télévision installée à bord d'un avion militaire.

Il n'y a cependant aucune raison pour qu'elles ne soient pas complétées ultérieurement par la couleur. Déjà, à l'heure actuelle, la télévision en couleurs a trouvé une application pour le moins inattendue, et qui fait déjà sensation dans les milieux cinématographiques. La télévision en couleurs résout le problème du tirage des copies positives des films en couleurs. Ces copies sont ordinairement obtenues par des procédés spéciaux de tirage, minutieux et onéreux.

Qu'il s'agisse de noir et blanc ou de couleurs, il est facile de convertir une image négative

de télévision en image positive et vice versa par un expédient simple : ajouter ou retirer un étage à l'amplificateur d'image. Par conséquent, le système électronique de télévision en couleurs exposé ci-dessus peut facilement être utilisé et adapté. La copie négative est analysée et enregistrée par un ensemble émetteur en couleurs alimentant un ou plusieurs récepteurs en couleurs qui fournissent les copies positives.

Signalons enfin une idée plus audacieuse : on peut employer un tube balayeur flying-spot conjugué à un système de télévision en couleur et à un microscope. Le faisceau lumineux de balayage est réduit par un système optique approprié et dirigé sur le spécimen à observer. La lumière recueillie est dirigée par un ensemble de lentilles et de filtres sur les cellules photo électriques correspondantes. Les signaux recueillis alimentent après amplification un récepteur normal de télévision à écran. Un tel dispositif pourrait fournir une image en couleurs de dimensions très agrandies permettant à plusieurs observateurs ou groupes d'élèves de suivre une démonstration ou un cours.

TÉLÉVISION ET AVIATION

L'apparition de la télévision à bord d'avions (télévision aéroportée) a eu lieu pendant la guerre du Pacifique.

Tout d'abord, des projections radioguidées et équipées d'installations émettrices de télévision envoyaient à un poste de commandement (navire éloigné de plusieurs dizaines de kilomètres) l'état de la région maritime survolée. Les dispositifs de contrôle à distance permettaient de commander l'engin pour qu'il pique directement sur la cible ennemie détectée.

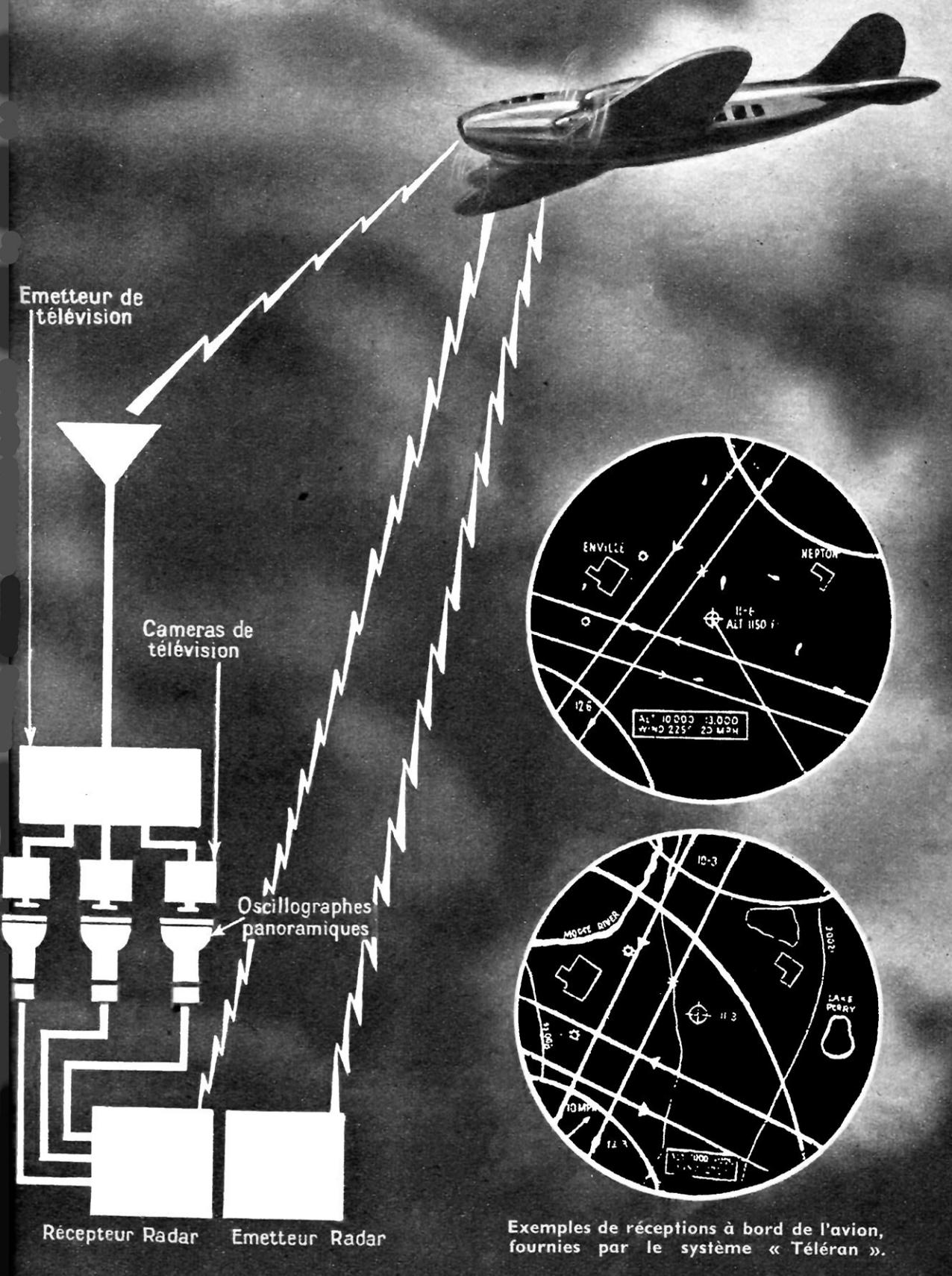
Avec les mêmes installations, des planeurs furent guidés à distance par un avion de commandement équipé d'un récepteur de télévision.

Des avions de reconnaissance ont pu envoyer immédiatement à leur P. C. le détail des opérations et des régions survolées (déplacement de troupes, de trains) et les résultats des bombardements. De tels renseignements ont pu également être fournis de nuit au moyen de rayons infrarouges.

Des installations complètes de bord (caméra, équipement émetteur) d'un poids total de 51 kg ont été fabriquées par la R. C. A. Des ensembles spéciaux pour bombes volantes ont également été employés ; leur poids, caméra comprise, était de 23 kg.

La majorité de ces émissions s'effectuait à 40 images par seconde avec analyse à 350 lignes. Les émissions d'avion avaient lieu sur une bande de fréquences comprise entre 264 et 373 Mc avec une puissance voisine de 100 watts. Pour des avions volant à 6 700 m d'altitude des images ont pu être transmises régulièrement sur des distances supérieures à 300 km.

LE SYSTÈME TÉLÉRAN



Exemples de réceptions à bord de l'avion, fournies par le système « Télérán ».

De telles installations sont actuellement à l'étude pour des applications pacifiques : détection d'incendie, inspection pour secours en cas d'inondations, accidents, etc.

La télévision semble être le moyen idéal pour assurer des atterrissages faciles par tous les temps en fournissant au pilote la représentation exacte de la région survolée. Une caméra placée sous l'avion enregistre les lieux survolés. Un équipement complet permet de voir sur l'écran d'un tube récepteur les détails exacts du terrain. De nombreux laboratoires tant en France qu'à l'étranger ont étudié ce procédé. En 1939, les réalisations manquaient de finesse dans les détails et ne permettaient pas un emploi rationnel, notamment par temps de brouillard et la nuit. L'emploi de rayons infrarouges doit être encore d'une grande utilité.

Enfin, le contrôle de la circulation aérienne fait depuis peu appel à la télévision avec le système « Téléran » qui met en œuvre simultanément les techniques du radar et de la télévision. Toutes les informations possibles

sur la présence des avions au voisinage d'un aéroport, leur route, leur altitude, sont rassemblées à terre au moyen du radar. La télévision offre un moyen idéal pour transmettre instantanément aux navigateurs tous les renseignements qui peuvent leur être utiles.

Pratiquement, un radar panoramique au sol donne, sur plusieurs écrans d'oscillographes, la représentation de la circulation aérienne à diverses altitudes et leur superpose une carte de la région, l'indication éventuelle des vents, le tracé des routes aériennes, etc. Ces images sont reprises par des caméras de télévision et transmises dans toutes les directions. Chaque pilote se règle sur l'émission correspondant à son altitude.

Une telle organisation est certainement appelée à rendre les plus grands services à la navigation aérienne qui, du fait de l'augmentation constante de l'intensité du trafic aérien, traverse une phase critique et exige la mise en œuvre de toutes les ressources de la technique moderne.

LA TÉLÉVISION EN FRANCE

LES premières émissions françaises de télévision ont commencé en 1932. L'analyse mécanique avait lieu à 60 lignes. Le studio, d'environ 20 mètres carrés, était situé dans les locaux du poste de Paris P. T. T., rue de Grenelle. Une baie vitrée séparait le studio proprement dit des dispositifs de contrôle et de réglage. La caméra était placée contre la vitre. Elle était peu sensible et l'intense éclairage nécessaire pour des prises de vues correctes était tel que la température de la pièce atteignait facilement une cinquantaine de degrés, d'où la nécessité d'une installation de ventilation réfrigérée afin d'obtenir une température acceptable comprise entre 25 et 30°. La partie émission proprement dite était installée dans le pilier sud de la Tour Eiffel, l'antenne lui était reliée par un câble coaxial assez rudimentaire.

L'évolution technique a permis de transformer et de moderniser ces installations.

Ce n'est qu'en 1937 que la télévision entièrement électronique a été mise en exploitation. Le standard était alors fixé à 455 lignes avec caméras équipées d'iconoscopes. L'émetteur a vu sa puissance passer à 40 kW, soit 30 kW effectifs fournis par l'aérien. Un câble coaxial spécial d'environ 400 mètres de longueur, d'un poids total de 12 tonnes a été alors installé en vue d'assurer la liaison entre l'émetteur et l'aérien situé au sommet de la Tour Eiffel avec le minimum de pertes.

L'émetteur actuel a vu sa bande passante portée de 2,5 à 4 Mc. La modulation d'image est transmise directement sans porteuse depuis le centre de prise de vues, sur un câble concentrique de 930 m de longueur.

L'émetteur « son » transmet ses signaux également par un feeder concentrique à une antenne quart d'onde qui n'est autre que le prolongement supérieur de la hampe du drapeau de la Tour Eiffel.

LES STUDIOS

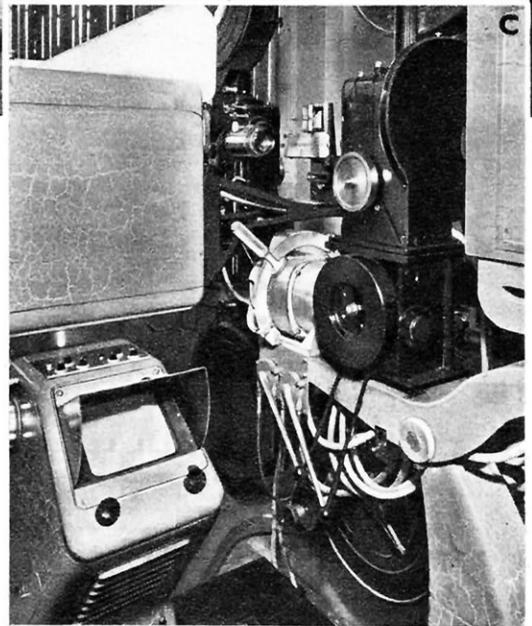
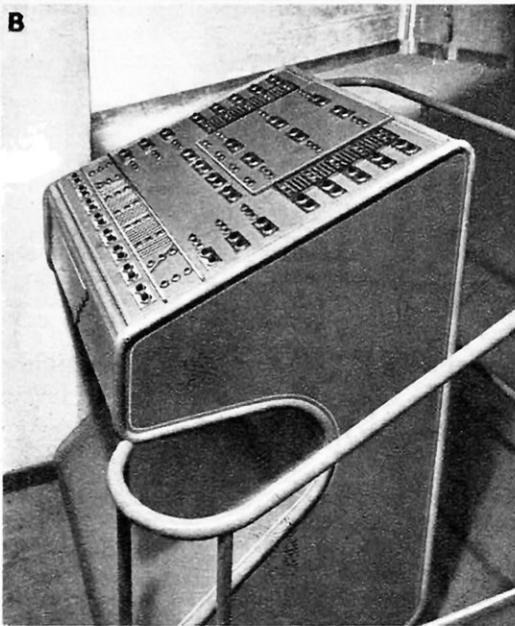
Le centre de prise de vues comporte deux studios avec leur régie respective. Trois autres studios sont en construction.

Le premier studio comprend un plateau d'environ 300 m² dont la partie avancée forme une sorte de scène de théâtre devant une salle de 265 places en gradins. La régie se trouve à l'extrémité, à environ 40 m de la scène, et à une hauteur d'environ 8 m surplombant les spectateurs. Cette disposition particulière est assez commode pour certaines productions, comme par exemple, des jeux télévisés. Elle est par contre assez peu pratique pour des prises de vues courantes, car la partie du plateau utilisable proprement dit ne permet pas de monter simultanément un nombre important de décors.

L'éclairage est réalisé par des projecteurs à incandescence à lentille de Fresnel dont la puissance unitaire varie entre 1 et 5 kW, réalisant une puissance totale de 300 kW.

Le second studio mesure 24 m sur 16 m avec une hauteur de 7,3 m. Il comporte au centre, une piscine de 12 m sur 3,5 m, profondeur 2,8 m, qui est recouverte de dalles, pour l'utilisation normale du studio. Une cabine étanche permet de réaliser des prises de vues sous-marines. Cette disposition a particulièrement étonné les techniciens américains. Trois passerelles mobiles permettent

**AU CENTRE D'ÉMISSION DE
LA TÉLÉVISION FRANÇAISE**



A. La « régie » assurant le contrôle des prises de vues du studio I. Au premier plan, le pupitre de contrôle et de commande. A travers la baie vitrée du fond, on aperçoit le décor planté sur le plateau du studio.

B. Pupitre de commande des projecteurs des studios; leur puissance totale pour le studio I est de 300 kW.

C. Equipement de télécinéma : au premier plan, la caméra qui reçoit l'image projetée par les dérouleurs grâce à des miroirs. L'image est contrôlée constamment par un récepteur à tube cathodique logé dans le pied de la caméra. Toutes les commandes de l'appareillage sont automatiques (Cie Française de Télévision).

les déplacements des projecteurs, microphones et décors. Ce studio a été traité acoustiquement comme un studio de radio-diffusion.

Trois petits studios sont en construction pour certains cas spéciaux, informations, conférences, prises de vues avec deux ou trois personnages, émissions techniques.

Trois autres studios sont en construction également.

Tous ces studios sont prévus avec leur régie propre et les loges d'artistes.

Le service de la télévision dispose en outre du matériel suivant :

Deux équipements à deux caméras chacun (455 lignes) ;

Deux équipements expérimentaux de définition variable de 500 à 1 000 lignes (dont un réglé à 800 lignes en fonctionnement expérimental) ;

Un équipement de 1 000 lignes en période de finition ;

Un équipement de reportage.

SIGNAUX DE LIGNES ET D'IMAGE

Sur la figure ci-contre, le palier A D présente une hauteur fixe qui définit le niveau du noir. Le signal de synchronisation de ligne proprement dit est B E F C, sa largeur n'est pas normalisée car elle n'a que peu d'intérêt ; il importe essentiellement qu'elle soit un peu inférieure à A D. Il est important toutefois que ce signal ait une pente raide.

La figure ci-contre, représente deux trains de signaux consécutifs se succédant à un intervalle d'un cinquantième de seconde exactement. Ce signal est adapté au système de balayage entrelacé à nombre de lignes impair (455) ; on remarque qu'en haut et à gauche, l'avant-dernière ligne de la trame impaire est conforme à la figure précédente, la dernière ligne de cette trame (la moitié seulement environ) comporte un signal de vision. Pendant 15 lignes ou moins, on constate ensuite que les signaux de vision sont supprimés. Dans cet intervalle de temps, qui laisse au faisceau cathodique du tube récep-

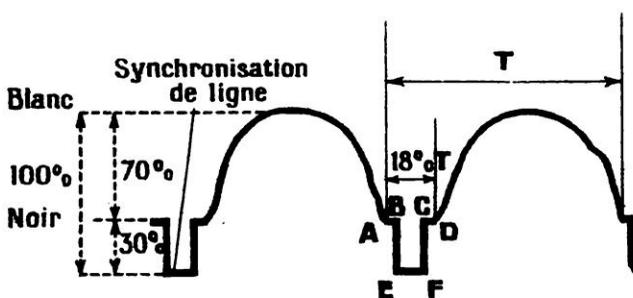
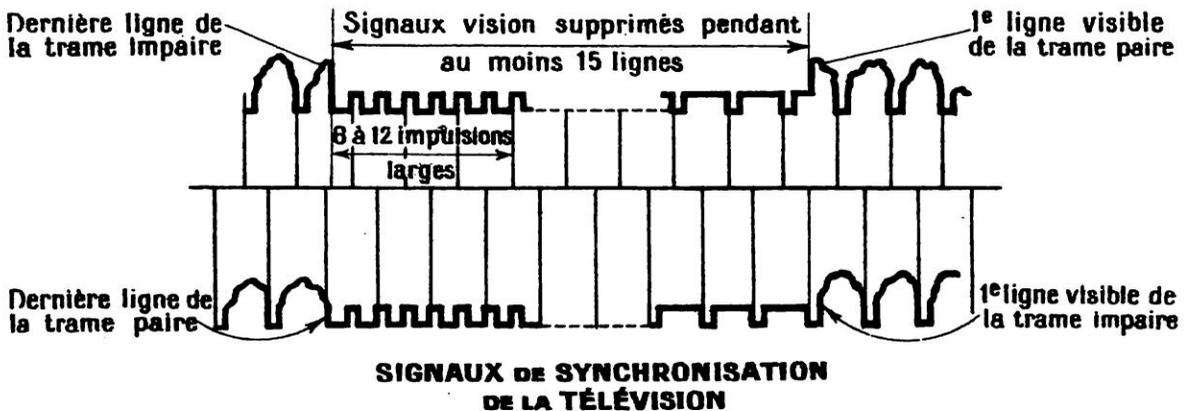
teur la possibilité de retourner en haut de l'image, les signaux de synchronisation de ligne sont maintenus, sauf au début où ils sont remplacés par des impulsions larges à fréquence double de la fréquence ligne. L'ensemble de ces impulsions constitue le signal de synchronisation d'image proprement dit. Leur largeur est égale à 40 % de la période d'une ligne.

Après 15 lignes environ d'interruption les signaux de vision reprennent : c'est la trame paire. A la fin de la dernière ligne de la trame paire, c'est-à-dire exactement un cinquantième de seconde après le début du train d'impulsions larges précédent, le second train d'impulsions larges commence : il est exactement identique au premier, et les opérations se succèdent de la même manière.

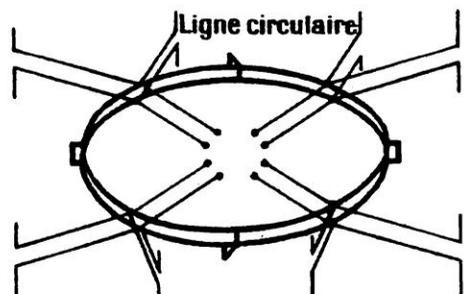
L'émetteur proprement dit est toujours installé dans le pilier sud de la Tour Eiffel. Il reçoit la modulation du centre de la rue Cognacq-Jay.

Améliorée il y a quelques mois, l'antenne fait honneur aux ingénieurs français, puisque sa réalisation remonte à 1937. Le système rayonnant est constitué par 8 dipôles verticaux placés autour du sommet de la Tour Eiffel, aux extrémités des diagonales d'un octogone régulier inscrit dans un cercle de 7,2 m de diamètre.

Un réflecteur formé de 42 fils régulièrement espacés et placés suivant les génératrices



SIGNAL IMAGE TYPE DE LA TÉLÉVISION FRANÇAISE



DISPOSITION SCHÉMATIQUE DES DIPÔLES DE LA TOUR EIFFEL



d'un cylindre vertical de 3,8 m de diamètre et de 5,9 m de hauteur assure la symétrie du champ rayonné.

La récente décision du Comité mixte de Télévision vient de maintenir pour dix ans le standard à 455 lignes. Il est vraisemblable que les équipements régionaux seront équipés avec un standard définitif (800 à 1000 lignes) et qu'un second émetteur à haute définition fonctionnera simultanément à Paris. A Paris, en juillet 1947, la première transmission d'un programme à haute définition (800 lignes) a été effectuée sur ondes décimétriques (22 cm) à l'aide d'un ensemble émetteur-récepteur construit par la

Cie Générale de T. S. F. L'antenne était formée par un cornet qu'on peut voir sur le toit de Magic-City. Les mois qui viennent verront la fin de ces travaux de recherches et la mise en œuvre d'un standard définitif.

Signalons que la France est le seul pays au monde ayant réalisé des émissions publiques à 1000 lignes et à avoir déterminé les bases d'un futur standard à haute définition.

Des relais sont actuellement en cours de construction : Lille et Lyon doivent être équipés sous peu. Le Sud avec Bordeaux, Toulouse, Marseille, suivra, ainsi que l'Ouest avec Rennes.

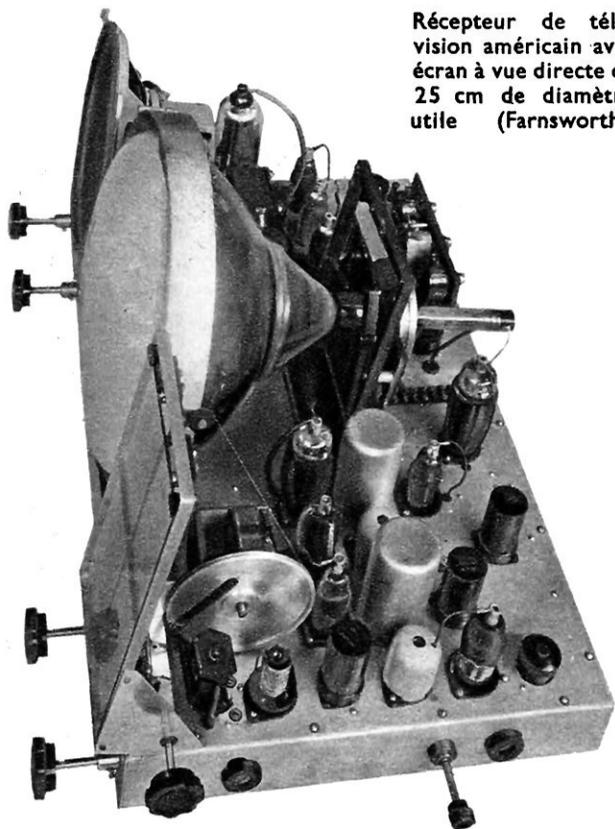
LA TÉLÉVISION A TRAVERS LE MONDE

Plusieurs nations ont apporté une large contribution à l'évolution de la télévision afin de lui permettre non seulement de sortir de la période expérimentale, mais d'entrer dans une phrase vraiment commerciale et industrielle. Actuellement, il s'agit

essentiellement de l'installation et du développement des réseaux.

Aux Etats-Unis, la télévision étant essentiellement privée, plusieurs firmes possèdent des émetteurs et s'efforcent actuellement d'accroître le nombre des villes et des villa-

Récepteur de télévision américain avec écran à vue directe de 25 cm de diamètre utile (Farnsworth).



Châssis d'un récepteur de télévision italien avec écran de 30 cm de diamètre à vue directe (Safar).

ges desservis par l'intermédiaire de relais.

Les campagnes sont loin d'y être dédaignées, car on estime que la clientèle de la télévision y serait, toutes proportions gardées, sensiblement plus importante que dans les villes. Etant donné l'étendue du territoire, l'organisation de la télévision ne peut se concevoir sans réseaux, comparables à ceux de la radiodiffusion. On envisage même, pour un avenir plus lointain, la traversée du continent.

En mars 1947, il y avait en fonctionnement quotidien : 3 émetteurs à New York, 2 à Chicago, 1 à Philadelphie, 1 à Washington, 2 à Los Angeles, 1 à Schenectady.

Chaque station peut recevoir une retransmission (par relais) ou assurer son propre programme. On estime qu'à la fin de 1949, la moitié de la superficie du territoire américain sera couverte par des émissions se répartissant entre deux cents stations environ.

Le nombre de récepteurs en service en décembre 1946 n'était que de 7 000. Ce chiffre relativement bas résultait de l'incertitude qui régnait au sujet de la sortie, soit-disant prochaine, de la télévision en couleurs. Dès l'annonce officielle que cette dernière ne verrait pas le jour commercialement avant cinq ans, la vente des récepteurs a commencé, et on peut estimer à environ 50 000 le nombre de ceux qui sont actuellement en service.



D'après les pronostics de fabrication, ce chiffre sera vraisemblablement quintuplé à la fin 1948.

Il est entendu que la télévision américaine n'est viable que s'il y a de quoi la payer commercialement, c'est-à-dire par la publicité en particulier. Or la publicité en télévision est encore problématique bien que des contrats aient été passés avec plusieurs firmes (Gillette, Chevrolet).

En tenant compte du nombre d'habitants, le Grande-Bretagne est le pays où la télévision est le plus vulgarisée. Ce développement est étroitement lié à la parfaite qualité des programmes transmis. Les techniciens anglais ont préféré maintenir leur ancien standard et consacrer tous leurs efforts à la qualité de la transmission, au développement des relais et au financement des programmes.

Des reportages nombreux apportent à la clientèle éloignée les informations et les spectacles les plus divers et les plus appréciés. De nombreux laboratoires travaillent activement sur les systèmes en couleurs, dont le procédé électronique. Le public anglais n'est pas influencé par ces améliorations et ne demande pas de systèmes à projection. Il semble que la télévision réponde à un besoin et que toute satisfaction soit obtenue pour le moment par l'excellence des émissions. Les diverses caractéristiques particulières ont été indiquées dans les chapitres précédents.

En Italie, depuis quelques mois, les techniciens tentent de reprendre leur activité en matière de télévision et, si possible, de reconstruire les installations et le matériel mis au point en 1939 et complètement détruits par la guerre. A cette époque, l'ingénieur A. Castellani a réalisé à la S. A. F. A. R. de Milan une station d'émission érigée au Mont Mario, dans la périphérie de Rome, avec des dipôles installés à 150 m de hauteur environ. Dans la ville même et la banlieue de très bons résultats ont été obtenus sur 441 lignes. Des essais de projection avec tube spécial alimenté sous 40 000 volts ont été réalisés avec succès. Des techniciens italiens espèrent reprendre les émissions régulières en 1949.

En Allemagne, d'excellentes émissions ont été réalisées jusqu'à 1940 sur 441 lignes. Les techniciens d'outre-Rhin avaient particulièrement étudié les systèmes optiques de projection. Toutes les installations existantes ont été détruites par les bombardements.

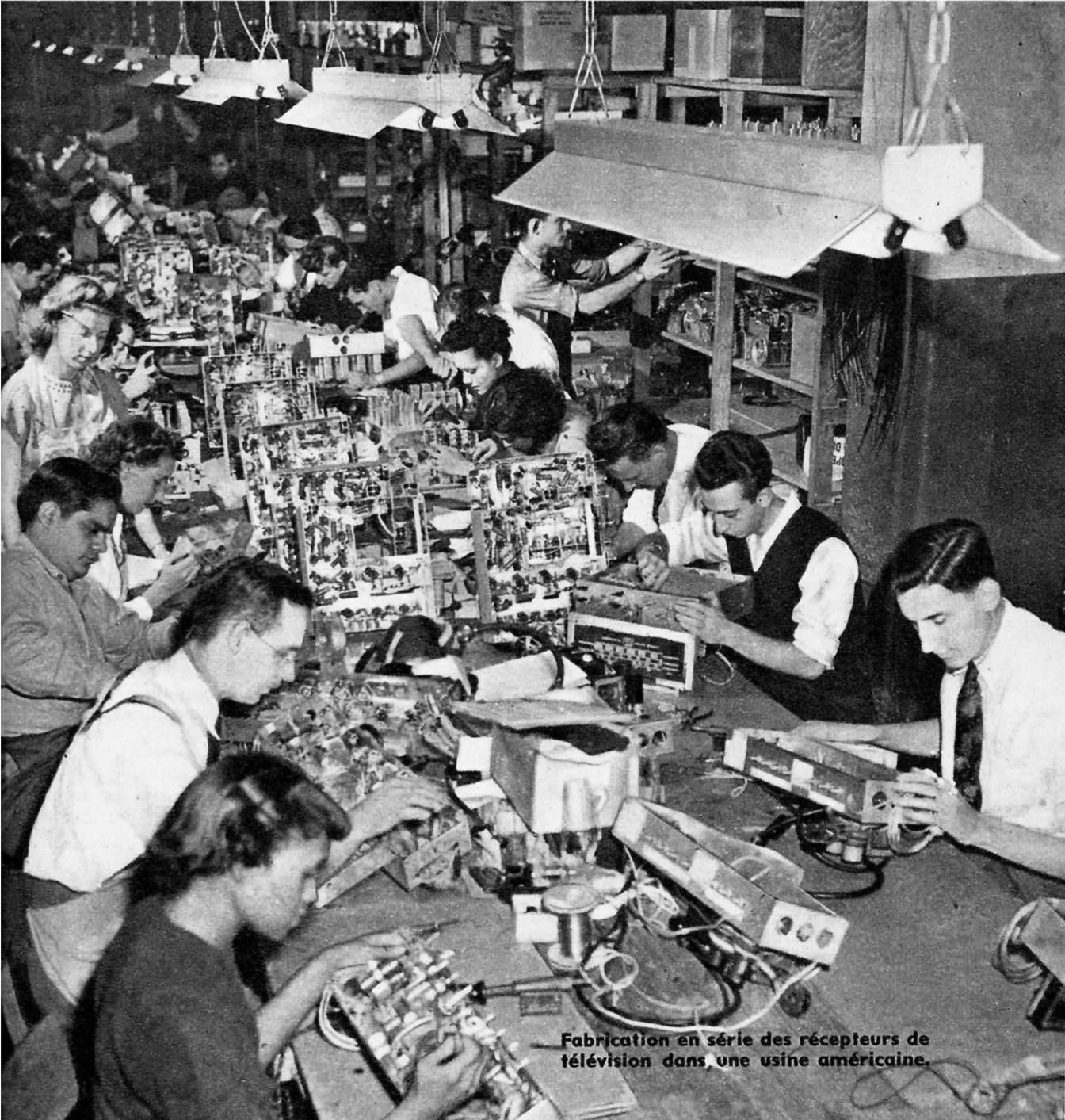
En Russie, des essais expérimentaux ont également eu lieu et ont repris ces derniers mois : les techniciens paraissent particulièrement intéressés par les systèmes à haute définition. Un réseau doit relayer prochainement les émissions de Moscou qui semblent être reprises régulièrement.

En Suisse, aucun réseau n'existe, mais de nombreux laboratoires étudient très sérieusement divers dispositifs. Signalons en parti-

culier les travaux du professeur Fischer de l'Institut Polytechnique de Zurich qui a mis au point un système de projection original.

De nombreux autres pays, tels la Belgique, la Hollande, la Norvège, la Suède, l'Espagne et la Tchécoslovaquie envisagent sérieusement la possibilité de la télévision. Plusieurs de ces pays ont demandé récemment des devis à diverses firmes françaises.

On peut dire que tous les pays du monde sont intéressés par la télévision. L'Égypte, par exemple, et les Indes, ne sont pas les dernières renseignées sur les récents progrès obtenus. L'Amérique du Sud verra prochainement plusieurs de ses Etats équipés d'une manière satisfaisante.



Fabrication en série des récepteurs de télévision dans une usine américaine.

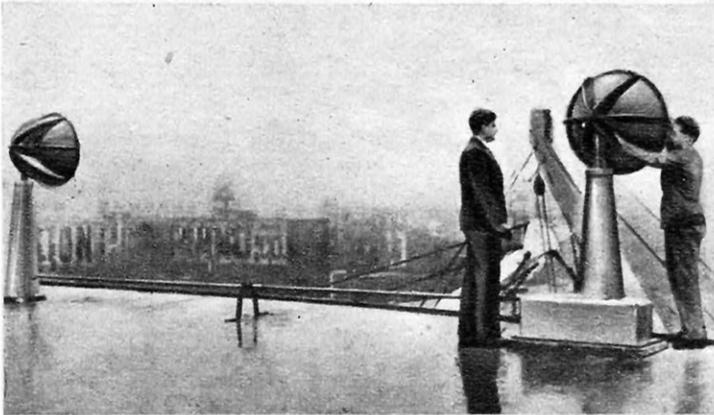
LE RADAR

par Maurice PONTE et Pierre GRIVET

Docteur ès Sciences

Docteur ès Sciences

Le radar est l'une des inventions qui ont le plus contribué à changer la physiologie des opérations sur mer et dans l'air pendant la guerre. C'est à la fois un phare hertzien émettant des ondes très courtes, et un « œil » qui observe les objets illuminés par ce phare. Il porte beaucoup plus loin que l'œil humain, même aidé par les instruments optiques les plus perfectionnés car il n'est pas gêné par la brume, ni par le brouillard ni même par la pluie ; il fonctionne aussi bien la nuit que le jour. De plus, il mesure la distance qui le sépare de l'objet examiné avec plus d'exactitude que le meilleur télémètre optique. Il a complètement renouvelé les méthodes de tir des canons de marine et de D.C.A., les procédés de bombardement et de chasse de l'aviation ainsi que la science de la navigation maritime et aérienne. Après avoir vu, pendant toute la guerre, se multiplier ses applications militaires, le radar connaît un nouvel essor dans les œuvres de paix et est appelé à rendre d'inestimables services dans tous les domaines de la locomotion.



Le premier radar : projecteur et miroir de réception pour la détection des icebergs installés sur le paquebot « Normandie » (1935).

Le radar est devenu une technique de si grande importance qu'il est difficile d'en faire le tour en quelques pages. Et pourtant, son nom et son existence étaient inconnus du grand public il y a sept ans. Les rares initiés la désignaient alors, dans les pays où elle est née, du nom de *D.E.M.* (Détection Electro-Magnétique) en France, de *Radiolocation* en Angleterre ; l'importance des recherches effectuées en Amérique pendant la guerre a fait prévaloir le nom américain plus récent de *Radio Detection and Ranging*.

Quelques chiffres justifieront cette habitude : on peut estimer à trente mille le nombre de chercheurs employés pendant la guerre dans les laboratoires anglo-saxons à la mise au point des appareils et des méthodes ; un seul laboratoire américain, le *Radiation Laboratory* du *Massachusetts Institute of*

Technology occupait à lui seul 3 800 personnes à la fin de la guerre. Dans l'armée américaine seulement, plus de 200 000 personnes ont été employées dans les services de radar (terre, mer, air) ; l'armée américaine a acheté, au 1^{er} juillet 1945, pour 2 milliards 700 millions de dollars d'équipements de radar divers.

Il faut donc vraiment que cette technique ait joué un rôle capital pendant la guerre, et il y aurait déjà quelque difficulté à donner un aperçu complet de ses applications militaires.

Or, depuis la fin de la guerre, les attributions du radar se sont élargies, et l'on englobe maintenant sous cette dénomination toutes les techniques qui ont plus généralement pour but de fournir les coordonnées de position d'un navire, d'un avion... et il nous faudrait également traiter de cet aspect de la question.

Nous ne pourrions donc donner que des aperçus très généraux des méthodes et des appareils dans une analyse forcément incomplète.

PHYSIQUE ÉLÉMENTAIRE DU RADAR

Le schéma du radar a d'abord été appliqué très au ralenti dans le domaine de l'acoustique. On en saisira l'essence par l'expé-



Un porte-avion américain de 27 000 tonnes, armé de canons de 120 mm, dont le tir est commandé par des radars. On aperçoit les aériens qui se détachent sur le ciel.

rience simple suivante : un observateur est dans une plaine, à quelques centaines de mètres de la lisière de la forêt ; il peut détecter l'existence de la forêt — s'il ne la voit pas, étant, par exemple, plongé dans la brume — et évaluer sa distance par la méthode suivante : il pousse un cri bref, ou tire un coup de pistolet ; s'il y a vraiment une forêt devant lui, cet obstacle lui renvoie un écho et en comptant au chronomètre le nombre de secondes qui sépare le cri ou le coup de son écho, l'observateur connaît la distance de l'obstacle : autant de dixièmes de seconde, autant de fois il y aura 18 mètres jusqu'à la lisière de la forêt, puisque le son chemine à la vitesse de 360 mètres à la seconde.

Cette expérience de cours a été transposée pour la première fois dans un but militaire par le professeur Langevin, qui inventa à cette occasion la détection par « ultrasons », pendant la guerre 1914-1918 ; l'expérience était faite dans l'eau où le son chemine plus vite, à 5 km/s, et servait à détecter les sous-marins ou à sonder le fond de la mer.

Le radar fonctionne sur un schéma analogue, *mais beaucoup plus vite*, et son principe se trouve dans un phénomène aussi vieux que la radioélectricité elle-même : dans tout corps conducteur placé dans un champ électromagnétique, s'induisent des courants qui, à leur tour, rayonnent ; le corps devient une source d'émission et renvoie un écho électromagnétique.

Le premier écho de ce genre observé dans l'histoire était de très grande ampleur ; il était produit par la réflexion des ondes sur la couche ionisée, donc conductrice, de la haute atmosphère. Cette couche, dite d'Heaviside, renvoie sur la terre les ondes de radiodiffusion émises vers le ciel, et elle fut télémétrée pour la première fois par son

écho en 1922, par l'Anglais Sir E. Appleton, prix Nobel 1947, puis par les Américains Breit et Tuve (voir page 10).

Le phénomène d'écho se produit à des degrés divers sur tous les obstacles, et il en résulte que tout obstacle situé au passage des ondes issues d'un émetteur renverra vers celui-ci une partie de l'énergie émise ; le problème consiste à trouver le moyen d'augmenter le plus possible cette fraction infime d'énergie renvoyée, à la recevoir, à l'amplifier et lui faire commander les appareils les plus divers suivant le but poursuivi.

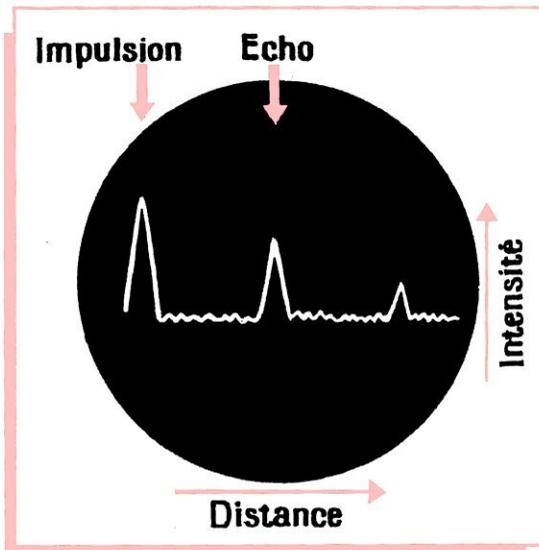
La supériorité de ce moyen de détection sur tous ceux qu'on peut imaginer — et qu'on emploie parfois avec succès — : chaleur, lumière visible, son, etc. vient de son aptitude à traverser le brouillard, les nuages, les fumées, comme les ondes de radiodiffusion, et, dans certaines conditions, à suivre des trajets pratiquement linéaires avec la vitesse de la lumière, constante universelle connue qui permettra de ramener les mesures de distances à des mesures de temps. Le résultat sera très sûr et pratiquement instantané.

Pourquoi donc a-t-il fallu attendre 1934 pour que ce principe *a priori* si simple ait pu être mis en œuvre ?

C'est parce qu'il a été nécessaire de développer la technique des ondes ultracourtes dont la longueur d'onde va de quelques mètres à quelques centimètres ; c'est le domaine des ondes métriques, décimétriques, centimétriques que nous désignerons, dans la suite, par le vocable unique d'ondes ultracourtes.

En effet, avec les ondes plus longues, par exemple cent mètres, les obstacles de grandeurs courantes, navires, avions, ne renvoient qu'une partie tellement infime de l'énergie qu'elle est pratiquement indécélebrable.

Ce n'est que pour des ondes du même ordre de grandeur que l'obstacle que celui-ci consent à réémettre suffisamment et, en même temps, la petitesse de la longueur d'onde permet à l'émission de concentrer les ondes sur l'obstacle en utilisant une antenne directive, l'analogue du porte-voix en acoustique. A la réception, on peut de même accroître l'énergie reçue en captant celle qui tombe sur une antenne de réception directive, qui joue le même rôle qu'un cornet acoustique pour le son. On peut montrer que, pour une surface d'embou-



MESURE DE LA DISTANCE PAR LE RADAR.

Le « spot » se déplace sur l'écran à vitesse constante, et la distance qui sépare l'impulsion émise de l'écho enregistré mesure le temps mis par l'impulsion pour atteindre la cible et revenir au récepteur. Le « top » se déplaçant dans l'espace avec la vitesse de la lumière (300 000 km/s), il suffit de calibrer l'écran pour mesurer directement, par simple lecture, la distance radar-cible.

LE PRINCIPE DU RADAR ET SON APPLICATION A LA DÉTECTION DE LA LUNE.

Un émetteur d'ondes très courtes envoie un train d'ondes très bref (impulsion) de grande puissance dans la direction de la lune. Cette impulsion se propage à travers l'espace avec la vitesse de la lumière (300 000 km par seconde) et frappe la surface de la lune qui, fonctionnant alors comme émetteur, la diffuse dans toutes les directions. L'écho revient à l'émetteur, deux secondes et demie environ après l'émission. La distance de la Terre à la Lune est de 385 000 km environ. Lorsqu'on détecte un avion à 200 km, l'écho de l'impulsion revient à l'émetteur au bout de 1,3 milliseconde.

chure donnée des projecteurs et des récepteurs, la portée est inversement proportionnelle à la racine carrée de la longueur d'onde.

C'est ainsi qu'on a assisté en radar à une course vers les ondes de plus en plus courtes, depuis les ondes de quelques mètres (Angleterre, 1935) jusqu'aux ondes de 3 cm.

Il nous sera permis de rappeler que notre pays avait pris un bon départ dans cette course puisque, le premier, il utilisait, dès 1934, les ondes décimétriques (16 centimètres) au problème de la détection des obstacles en mer.

LES PROBLÈMES TECHNIQUES FONDAMENTAUX

Le radar se propose donc d'appliquer les propriétés de réémission d'ondes ultracourtes par un obstacle, à déceler sa présence et à déterminer ses coordonnées.

D'une manière générale, il faut donc trouver l'obstacle qui peut être

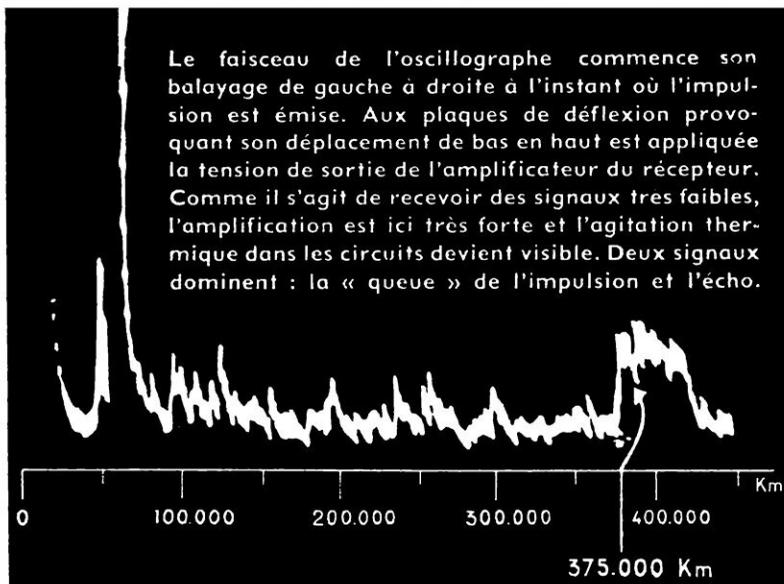


SCHÉMA DE PRINCIPE D'UN RADAR SIMPLE

EMISSION

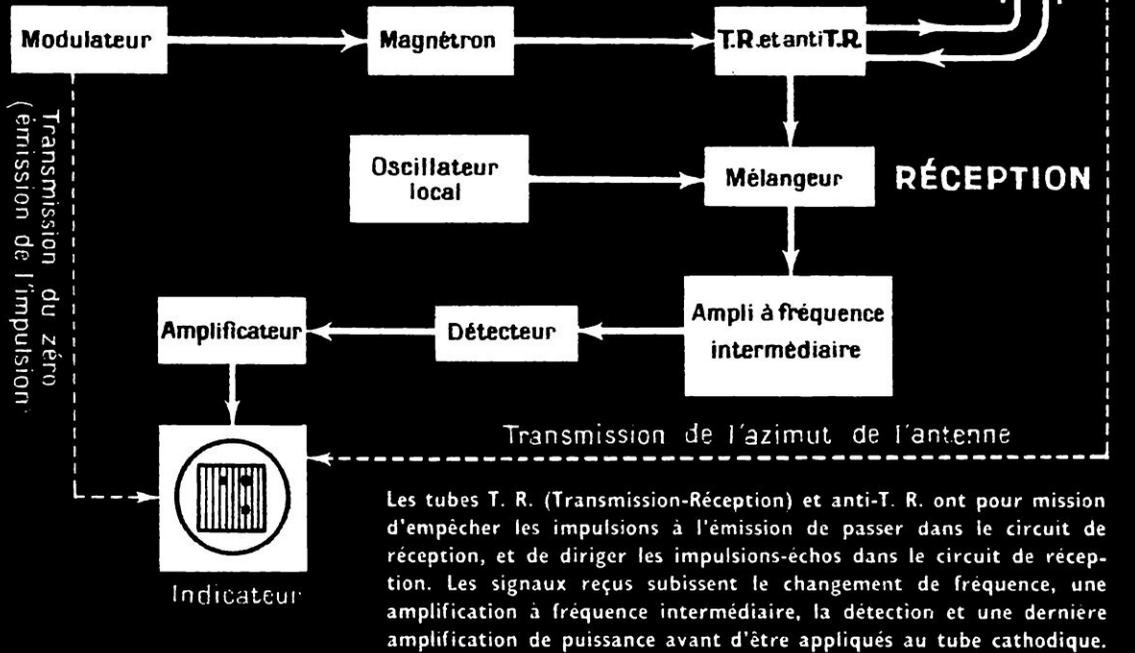
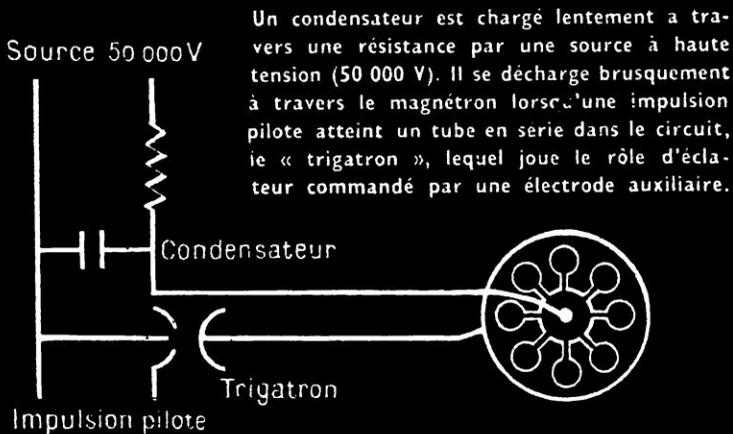


SCHÉMA DE PRINCIPE D'UN GÉNÉRATEUR D'IMPULSIONS



un récepteur sensible. Nous rencontrons là une difficulté qui a longtemps freiné l'emploi des ondes les plus courtes. Dans le cas simple où le but est bien dégagé, un avion par exemple, toute réflexion des ondes par la mer ou le sol n'intervient pas, le champ sur l'obstacle est en raison inverse de la distance émetteur-observateur : le champ renvoyé au récepteur est ainsi en raison inverse du carré de la distance : la puissance, proportionnelle au carré du champ, qui est destinée à déclencher le récepteur dans un but donné, est ainsi inversement proportionnelle à la puissance quatrième de la distance. Si donc des essais préliminaires donnent une portée limite de 10 kilomètres, par exemple, avec une certaine puissance à l'émission, il faudra multiplier celle-ci par un facteur de 10 000 pour atteindre le même résultat à 100 kilomètres. Si le but est un char, un bateau, un périscope, les ondes peuvent suivre deux chemins pour l'atteindre, l'un direct, l'autre

situé dans un vaste domaine à deux (bateau sur la mer) ou trois dimensions (aéroplane dans l'atmosphère), mesurer sa distance et les angles qui fixent, par rapport à l'observateur, sa position, par exemple l'azimut et le site.

a) Pour *décélérer* l'obstacle de loin, il faut avoir les moyens nécessaires, c'est-à-dire une puissance d'émission convenable et

avec une réflexion intermédiaire sur le sol ou la mer ; ces deux voies se gênent mutuellement et la portée diminue ; pour une hauteur donnée du but au-dessus de la mer, la puissance reçue diminue comme la puissance huitième de la distance.

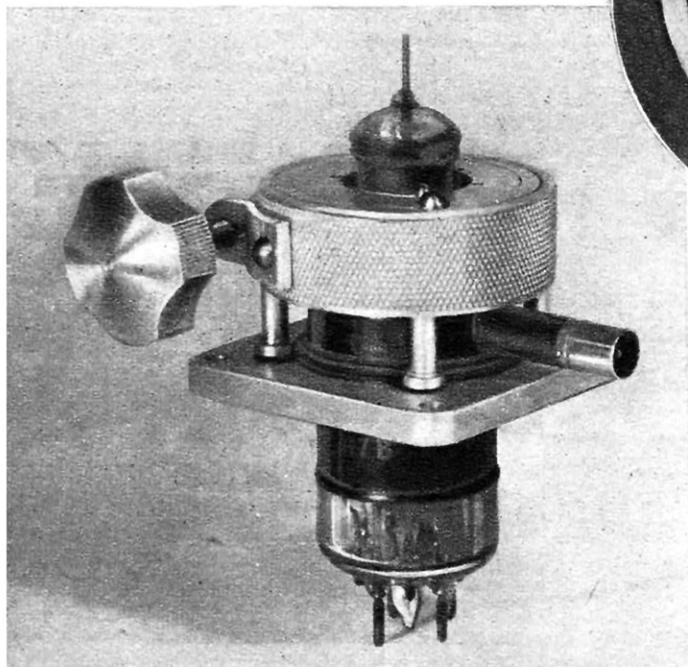
Si donc le développement du radar a donné lieu à une course vers les faibles longueurs d'ondes, il a aussi provoqué un emballement vers les grandes puissances d'émission : de quelques kilowatts au début, nous arrivons maintenant à près de mille kilowatts !

Or, s'il fallait émettre de telles puissances de manière continue, à la façon d'un poste de radiodiffusion, on arriverait à un matériel analogue à celui d'une telle station, à supposer qu'il soit réalisable en ondes ultra-courtes, ce qui n'est pas encore le cas. Les lampes à elles seules auraient des dimensions supérieures au mètre... Nous devrions dire adieu à l'espoir de créer un matériel mobile.

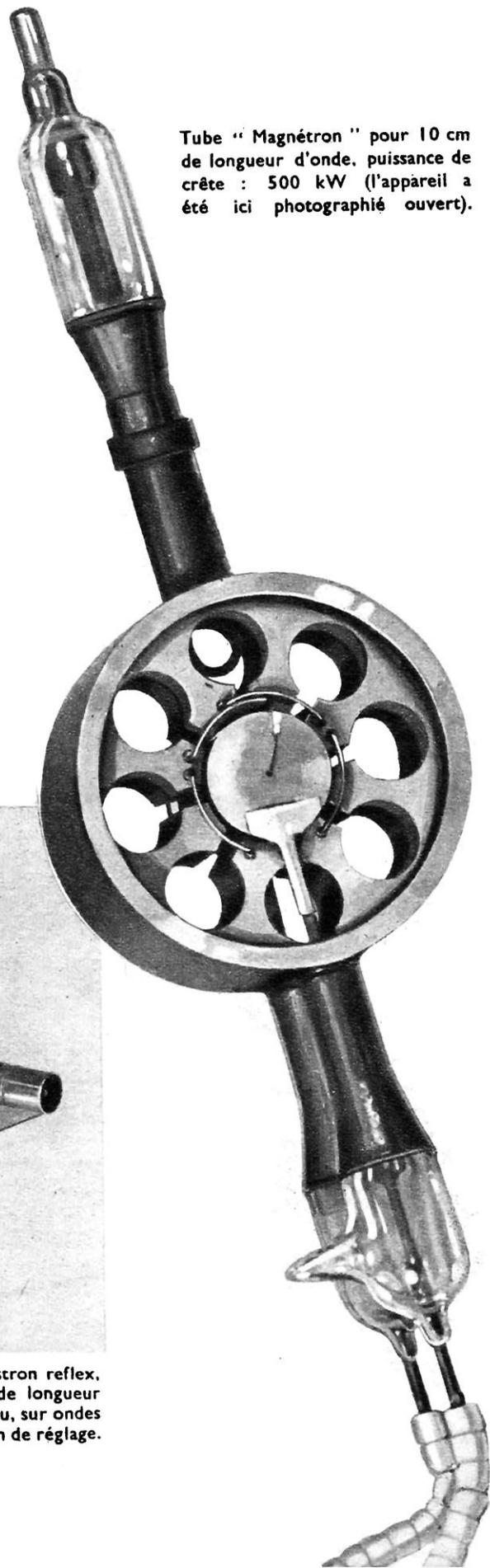
Heureusement, la technique a bien des ressources et nous fournit une solution qui permet du même coup de mesurer la distance de l'objet à détecter.

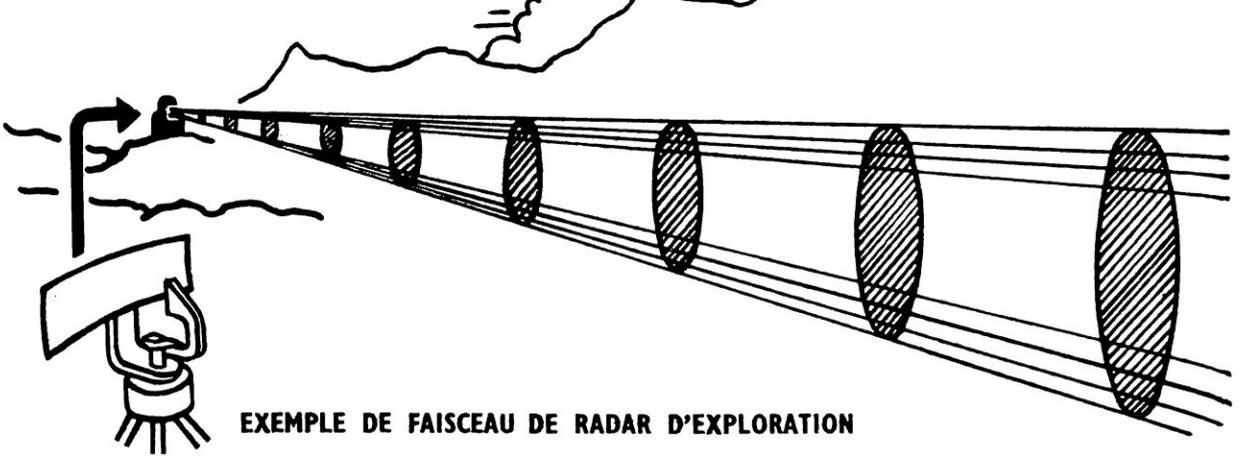
Nous émettrons pendant un temps très court, par exemple de l'ordre de la micro-seconde, puis arrêterons l'émetteur. Les ondes, émises avec la puissance instantanée nécessaire, se propagent alors que l'émetteur se repose. Au bout d'un certain temps (égal au quotient de la distance émetteur-

Tube " Magnétron " pour 10 cm de longueur d'onde, puissance de crête : 500 kW (l'appareil a été ici photographié ouvert).



L'oscillateur local du récepteur de radar : tube klystron reflex, seul type de tube susceptible de livrer une onde de longueur stable et cependant réglable, en fonctionnement continu, sur ondes de 3 à 20 cm. L'accord se fait à l'aide d'un seul bouton de réglage.





EXEMPLE DE FAISCEAU DE RADAR D'EXPLORATION

Le faisceau émis par ce réflecteur de radar plus large que haut permet l'exploration précise en azimut et couvre en hauteur une bande considérablement plus large. La concentration du faisceau est, en effet, inversement proportionnelle à l'ouverture du réflecteur. On remarquera devant le réflecteur représenté schématiquement en bas et à gauche de la figure, l'ouverture du guide d'ondes d'alimentation.

obstacle par la vitesse de la lumière) les ondes frappent l'objet qui les renvoie de sorte que nous retrouvons, au bout d'un temps double du précédent, le train d'ondes au point de départ, considérablement atténué, mais capable d'actionner le récepteur qui, lui, est resté actif durant toute la période d'arrêt de l'émetteur.

Il n'y a plus qu'à recommencer l'émission. On dit qu'on émet en « impulsions » ou en « tops » : la fréquence de répétition de ces impulsions sera choisie en tenant compte de la plus grande distance à mesurer, pour qu'il n'y ait pas de chevauchement entre les réceptions des tops successifs : un top doit être de retour bien avant l'émission du top suivant.

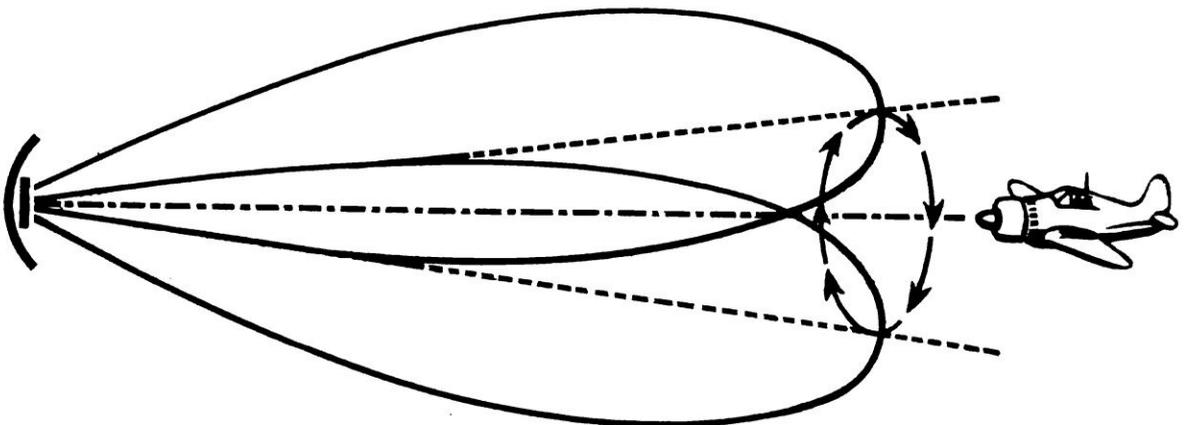
On retrouve là quelque chose d'analogue au vieux principe de la roue dentée pour

mesurer la vitesse de la lumière, sauf que nous l'utiliserons en sens inverse : de la mesure du temps qui sépare le top émis du top reçu, on déduira la distance de l'obstacle, connaissant la vitesse des ondes, 300000 km/s.

Une fréquence de répétition de 10 000, par exemple, permettra de mesurer des distances jusqu'à 15 kilomètres, une fréquence de 1 000 jusqu'à 150 kilomètres.

La puissance moyenne appliquée à l'émetteur sera égale, pour des tops rectangulaires, à la puissance de crête multipliée par la fraction de période durant laquelle se produit l'émission : pour une répétition de 200 tops par seconde, d'une durée de 1,5 microseconde, la puissance moyenne sera de 75 watts pour une puissance de crête de 250 kilowatts ; l'émetteur se ramène à des dimensions raisonnables.

MÉTHODE DES INDICATIONS ALTERNÉES POUR DÉTERMINER LA DIRECTION DU BUT



On voit ici les deux diagrammes d'émission symétriques par rapport à l'axe du projecteur radar. Les échos obtenus ont une égale intensité lorsque la cible est juste sur l'axe. Lorsqu'elle s'en écarte, l'un des échos a une intensité supérieure à celle de l'autre. En pratique, on préfère souvent faire tourner autour de l'axe de l'antenne son dispositif d'alimentation légèrement décalé au voisinage du foyer (voir page 137), de sorte que son diagramme tourne dans l'espace comme le montrent les flèches. On recueille un écho modulé à la fréquence de rotation tant que la cible n'est rigoureusement sur l'axe.

Différents facteurs techniques de détail viennent fixer en pratique les fréquences de répétition des radars ; pour les modèles les plus courants, elles s'échelonnent entre 60 et 3 000 périodes par seconde (cycles).

b) Nous avons ainsi donné un aperçu de la mesure de la distance de l'objet.

Les angles de position seront mesurés avec des procédés qui rappelleront ceux qu'on pourrait imaginer en optique. Les rayons lumineux peuvent être concentrés par des projecteurs et les positions de l'axe de l'instrument de projection et de la lunette d'observation sont généralement amenées sur l'objet par observation oculaire. En radar, les systèmes de projection et de réception différeront plus ou moins suivant la longueur d'onde d'emploi et la précision à obtenir, mais ce seront également des projecteurs d'ondes et la position de l'objet sera définie en l'amenant sur l'axe du faisceau ou en la situant par rapport à cet axe.

c) Les principes qui précèdent vont nous permettre de définir le schéma général de tout appareil de radar.

On rencontrera (page 134) :

— Un émetteur haute fréquence en ondes ultracourtes ou métriques ;

— Un récepteur ;

— Un système d'aériens dirigés ou projecteurs ;

— Un indicateur qui transformera les signaux radio-électriques reçus en éléments d'observation ou de commande ;

— Une « base de temps » pour produire les impulsions sur un rythme connu et stable, et servir au chronométrage.

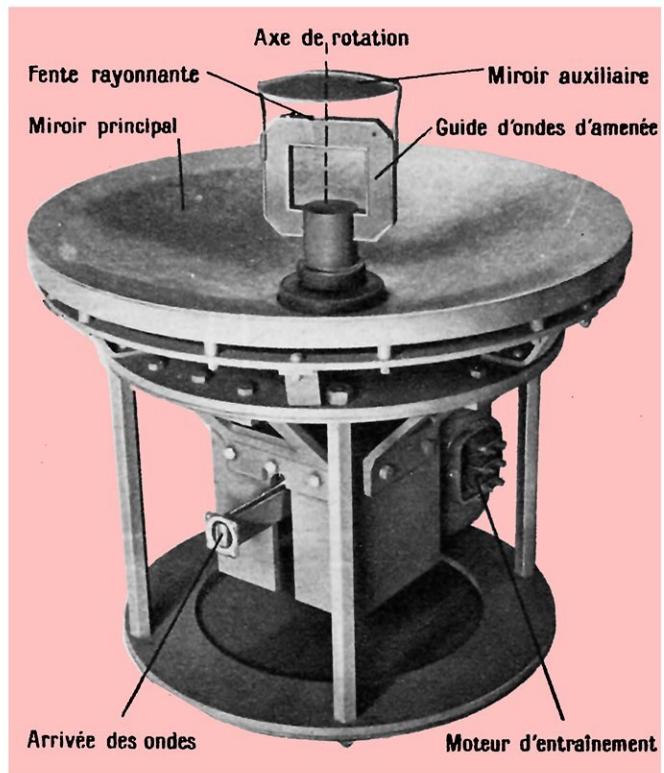
Pour mémoire, le système nécessite évidemment un ensemble d'alimentation qu'il est inutile de préciser davantage : disons seulement qu'il doit fonctionner sous tous les climats, sous toutes les températures, dans l'air raréfié des hautes altitudes comme au sol et que ces conditions ont posé bien des problèmes intéressants mais difficiles aux techniciens.

EMETTEUR

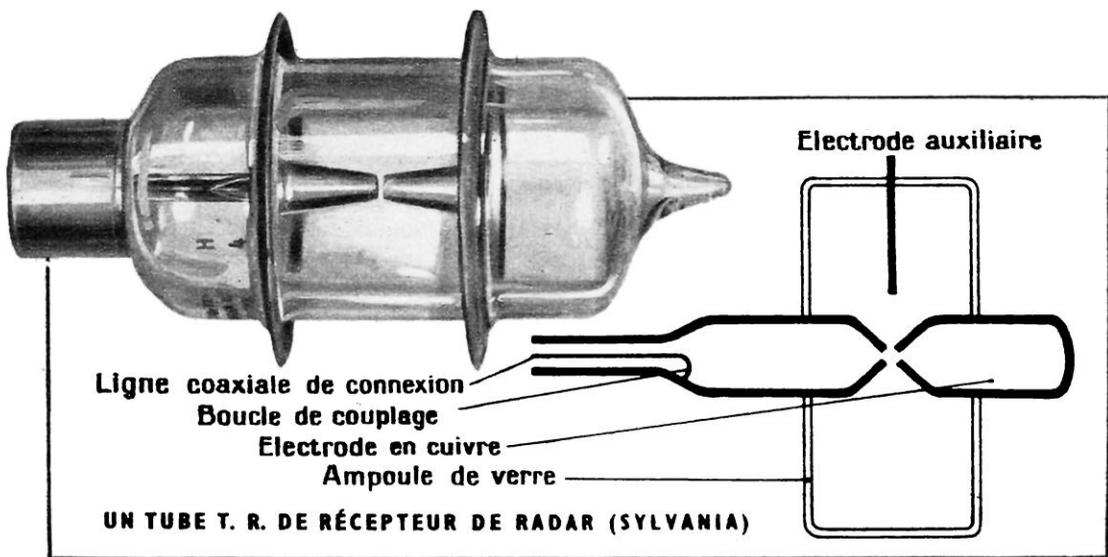
Comme nous l'avons déjà fait remarquer, il a fallu trouver le moyen de produire des puissances de crête considérables sur des ondes de plus en plus courtes. Or, l'âme de l'émetteur est le tube d'émission qui l'équipe. Les tubes de conception classique, tels que ceux qui équipent nos émetteurs

de radiodiffusion ou même de télévision, ont des limites imposées par des lois physiques inévitables ; on ne sait pas construire des tubes de cette nature capables de délivrer des centaines de kilowatts sur des longueurs d'ondes décimétriques. Or, c'est la puissance qui est nécessaire pour déceler des avions à grande distance, par exemple 250 kilomètres : les premiers radars de surveillance (Angleterre, 1938) étaient donc sur ondes métriques. Jusqu'à 50 centimètres environ, les tubes classiques peuvent encore convenir.

Mais les fréquences supérieures étaient si désirables qu'on a créé pour les produire un tube spécial appelé *magnétron* (page 135). Le principe du tube qui allait ainsi bouleverser toute la technique militaire a été découvert par un Japonais vers 1928 ; c'était alors un tube de laboratoire, inutilisable pratiquement. Des travaux français entrepris dès 1932 par Maurice Ponte et Henri Gutton, aboutirent à la création de tubes réellement utilisables ; ils furent couronnés de succès puisque fut construit en France, en 1932, le premier de tous les radars : le détecteur d'icebergs du « Normandie » qui fonctionnait sur 16 centimètres et dont le



Exemple d'antenne-projecteur donnant des diagrammes tournants ; une onde de 10 cm est rayonnée par une ouverture excentrée par rapport à l'axe du projecteur ; elle se réfléchit successivement sur les deux miroirs. La fente rayonnante tourne entraînée par le moteur visible derrière le miroir.

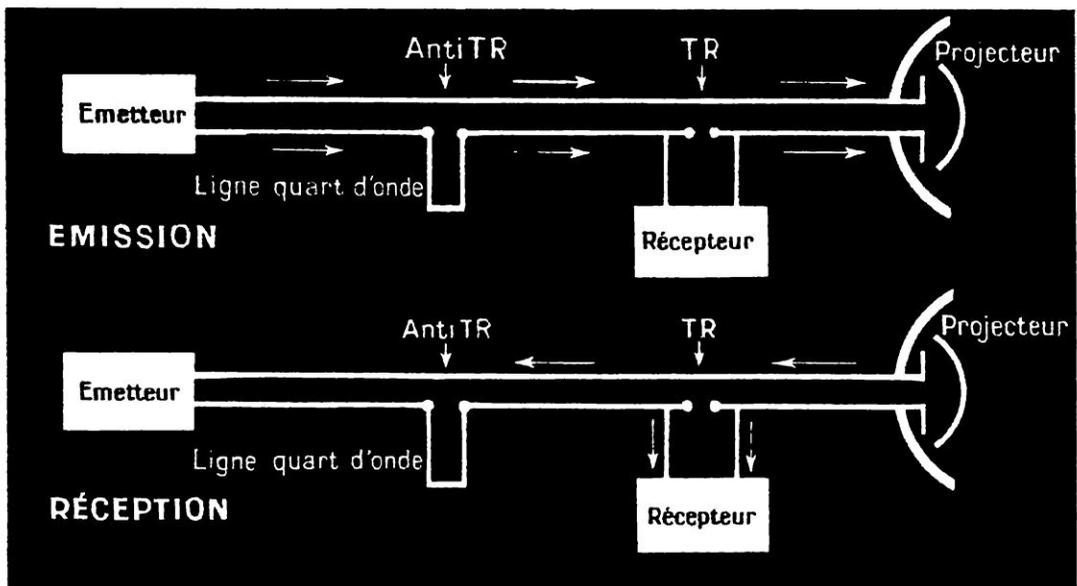


L'énergie haute fréquence arrive par la ligne coaxiale et excite la résonance de la cavité. Une haute tension se développe entre les deux cônes métalliques et le gaz s'illumine, s'ionise et devient conducteur. L'électrode auxiliaire produit en permanence des ions dans le gaz, ce qui le rend facilement excitable.

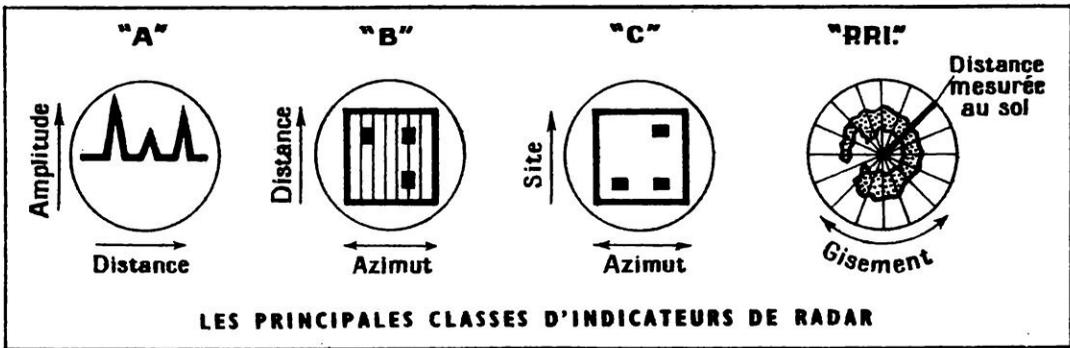
prototype avait alors une portée de 1 à 2 kilomètres. Les tubes actuels sont le fruit d'un amalgame des résultats anglais, français et américains, collaboration qui devrait servir d'exemple dans d'autres domaines. Les techniciens russes ont également beaucoup travaillé la question mais, semble-t-il, indépendamment.

Dans ce tube, les électrons issus d'une cathode tournent autour d'elle sous l'effet d'un champ magnétique longitudinal et

défilent devant des circuits oscillants en entretenant leurs oscillations par échange d'énergie entre les circuits et cette « roue » électronique ; le magnétron représente une sorte d'alternateur électrostatique, où un anneau d'électrons cannelé (pôles de l'inducteur) tourne à une allure vertigineuse devant les lèvres de multiples « cavités » qui représentent les pôles de l'induit. Dans ce tube on utilise donc à la production des ondes les phénomènes dus aux temps de parcours



SCHEMA DU FONCTIONNEMENT DES TUBES T. R. ET ANTI-T. R. A L'ÉMISSION ET A LA RÉCEPTION.
 A l'émission, les tubes T. R. et anti-T. R. sont allumés sous l'effet de la puissante impulsion venue de l'émetteur ; dans cet état ils se comportent comme un court-circuit métallique et le récepteur est protégé ; la marche du courant est indiquée par les flèches. A la réception, les tubes T. R. et anti-T. R. se sont éteints et sont isolants ; le « top » de réception très faible est impuissant à les rallumer ; la partie gauche (émetteur et ligne quart d'onde) est dimensionnée pour se comporter alors en court-circuit.



des électrons qui justement se manifestent comme phénomènes nuisibles dans les lampes classiques, (voir le chapitre des tubes).

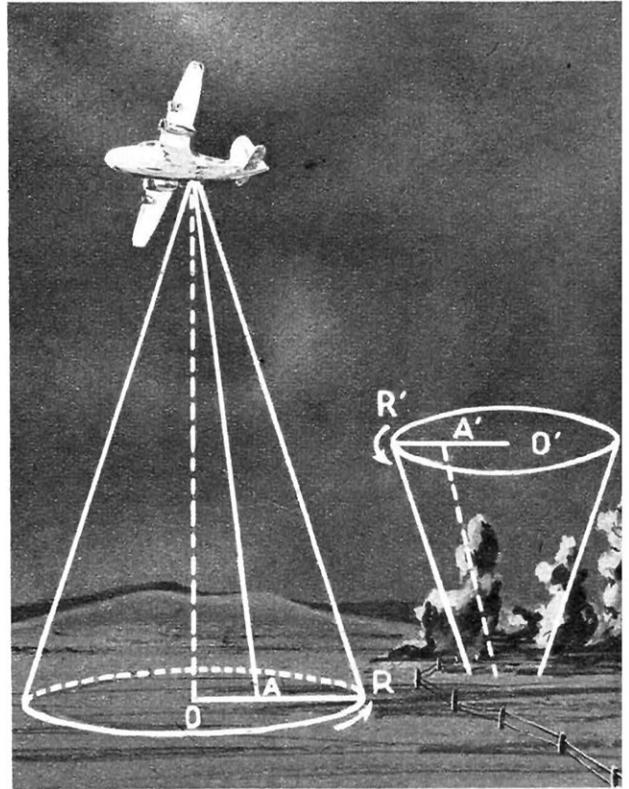
Le succès du magnétron dans le radar vient aussi de ce que ce tube est particulièrement bien adapté à la production de puissances de crête très élevées en régime d'impulsions ; les premiers tubes (1936-1937) donnaient cent watts sur dix à vingt centimètres : les tubes actuels vont jusqu'au mégawatt sur dix centimètres et leur limite en longueur d'onde n'est atteinte que vers le centimètre. Ces tubes ont des dimensions raisonnables voisines du décimètre ; ils ne sont pas, certes, sans présenter certains inconvénients — tout se paie en technique — mais ce sont eux qui ont permis les prodigieux développements du radar : oublions donc leurs quelques défauts.

RÉCEPTEUR

Tout le problème à la réception vient du fait que, si nous envoyons des puissances instantanées de plusieurs centaines de kilowatts, la puissance qui revient au récepteur pour les obstacles les plus défavorables n'est plus que de quelques 10^{-14} watts (un, cent millième de milliardième de watt).

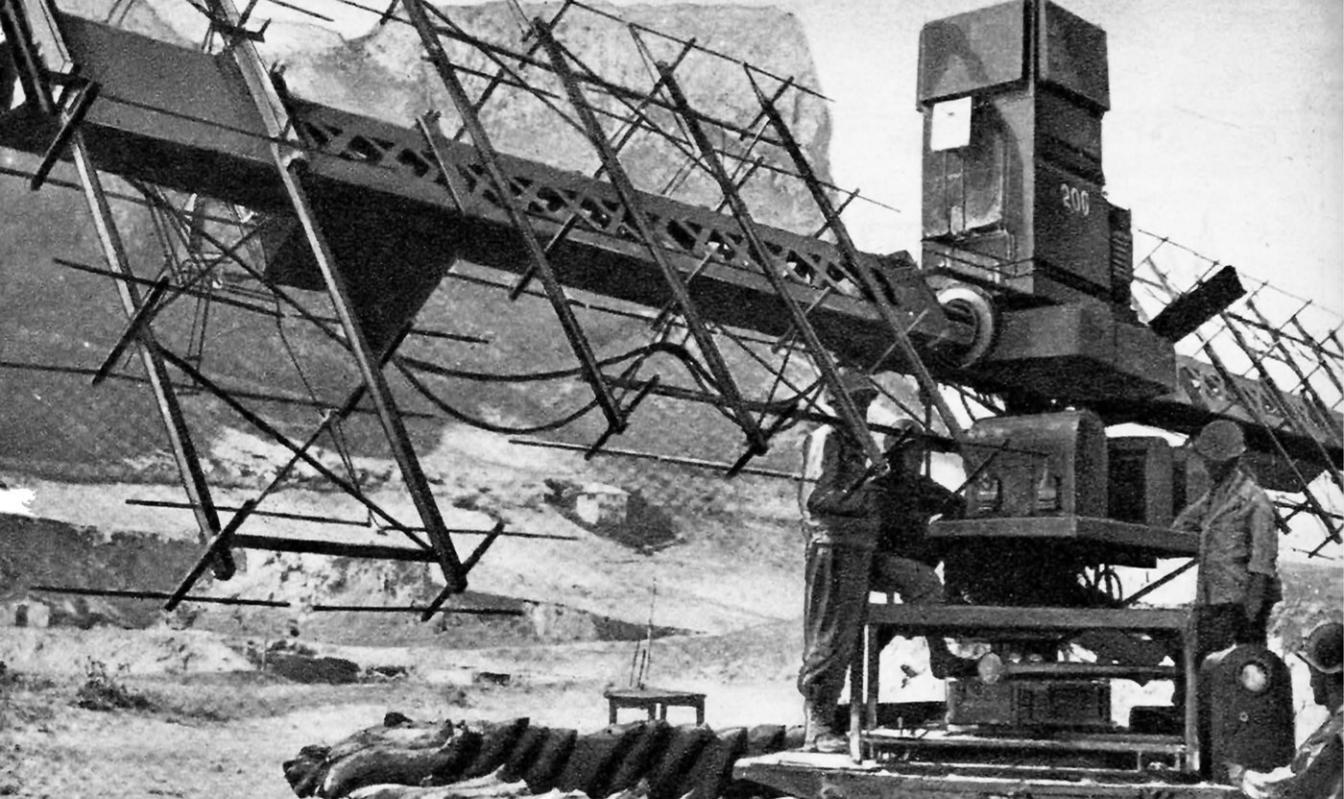
Le récepteur devra donc utiliser toutes les ressources de la technique la plus moderne pour recevoir des signaux aussi faibles sans qu'ils soient noyés par le bruit de fond de l'amplification. Ce sera le plus généralement un superhétérodyne, spécialement adapté pour ne pas déformer les impulsions reçues en retour de l'obstacle ; la bande de fréquence intermédiaire devra être assez large, quelques mégacycles, et on se rapproche de la technique de réception de la télévision. Il faut d'ailleurs remarquer que les progrès de la technique du radar ont grandement aidé ceux de la télévision.

Là encore, il a fallu résoudre un problème de tubes, car il fallait pouvoir engendrer les oscillations locales destinées à la conversion de fréquence : il est nécessaire de les produire de manière continue, cette fois, mais à faible puissance et en gardant la possibilité de faire varier la fréquence émise afin de permettre l'accord du récepteur :



LE PRINCIPE DU RADAR PANORAMIQUE « P. P. I »

Un pinceau d'ondes hertziennes balaie un cône dont la base est la zone à explorer. Le balayage de ce cône s'effectue de telle sorte que l'extrémité du pinceau décrit le rayon OR , un rayon légèrement décalé, et ainsi de suite. La vitesse de rotation du rayon balayé OR est d'environ 50 t mn. Les ondes réfléchies par le terrain sont reçues par le radar et règlent l'intensité du pinceau électronique du tube cathodique, lequel balaie l'écran-radar de telle sorte que le spot décrive le rayon $O'R'$ pendant que le pinceau hertzien décrit le rayon OR . Le rayon $O'R'$ tourne sur l'écran radar à la même vitesse que le rayon OR autour de l'axe du cône exploré. Dans ces conditions, on obtient de chaque point A une image A' plus ou moins lumineuse suivant l'intensité des ondes réfléchies. On fait ainsi apparaître en définitive sur l'écran une image complète du terrain exploré.



Un des premiers radars américains, mis en œuvre pour surveiller le ciel pendant la campagne d'Italie.

la solution a été apportée cette fois par le tube à modulation de vitesse. Celui-ci utilise encore les échanges d'énergie entre un faisceau d'électrons et un circuit formé par une « cavité résonnante », mais sans action de champ magnétique.

Enfin, le premier détecteur, celui qui permet la conversion de la fréquence des ondes reçues en une fréquence plus basse par mélange avec les oscillations locales, a dû lui aussi, être spécialement étudié pour être sensible aux ondes décimétriques. On utilise le plus généralement des cristaux détecteurs, analogues à la galène des postes d'autrefois, mais à base de silicium ou de germanium avec une pointe de tungstène. La mise au point de cet élément, à elle seule, a nécessité les travaux de laboratoires entiers pour qu'on obtienne un nouvel élément plus proche par sa stabilité, son rendement et son aspect, d'une lampe de radio que d'une galène.

LES AÉRIENS

Les aériens employés dans le radar doivent rayonner l'énergie en faisceaux plus ou moins concentrés suivant le but à atteindre : une loi générale de la physique, le « principe d'Huyghens », impose au système des dimensions qui soient au moins de plusieurs longueurs d'ondes.

En ondes métriques, c'est-à-dire au début du radar à grande distance, les aériens étaient constitués par des rideaux d'antennes avec miroirs : ils étaient tout à fait analogues aux aériens de trafic : les dimensions sont rapidement considérables et il

est impossible d'obtenir des faisceaux très concentrés ; afin de concentrer une grande partie de l'énergie dans un cône d'angle au sommet de douze degrés environ, il faudrait en effet utiliser des systèmes de dimensions voisines de dix longueurs d'ondes, ce qui représente déjà trente mètres pour une longueur d'onde de trois mètres.

En ondes ultracourtes, les aériens prennent la forme de véritables projecteurs, par exemple sous forme de paraboloïdes de révolution, avec une antenne au foyer. Celle-ci est alimentée par un feeder bifilaire normal ou un feeder coaxial.

Cette forme très originale d'aérien a été utilisée par deux Français, Darbord et Clavier, en 1932, au cours de l'étude d'un système de transmission téléphonique au-dessus de la Manche, à l'aide d'ondes décimétriques qui joignaient Calais et Douvres.

Une autre technique, encore plus récente, est également employée : c'est celle des guides et cornets : les ondes ultracourtes peuvent se propager dans des tuyaux métalliques de dimensions voisines de celles de la longueur d'onde. En terminant ces guides par des cornets en forme de cônes ou de troncs de pyramide évasés vers le but à atteindre, l'énergie est rayonnée sous forme de faisceaux dont la concentration dépend des dimensions du contour du cornet.

Miroirs ou cornets sont montés sur des plates-formes ou dispositifs qui peuvent être entraînés mécaniquement dans les divers degrés de liberté voulus, à la vitesse suffisante pour suivre l'objectif.

Ces systèmes relativement simples suffisent lorsque les angles de position n'ont

pas à être déterminés avec une grande précision, quelques degrés en azimut par exemple.

Ce résultat n'est pas suffisant lorsque le radar doit servir à diriger des opérations très précises, telles que la commande d'un tir de pièces marines ; il est alors nécessaire de déterminer les angles à dix minutes d'angle près. On doit abandonner l'emploi d'un pinceau unique très fin, car les dimensions du projecteur seraient impraticables, même en ondes centimétriques, et il deviendrait ainsi impossible de trouver l'obstacle et de rester pointé sur lui. On fait appel à un artifice par lequel on compare successivement les réceptions de l'écho sur deux diagrammes voisins, mais larges, disposés symétriquement par rapport à l'axe du projecteur. Lorsque la rotation du système amène ces indications alternées à être d'amplitude égale, l'obstacle qui émet l'écho est sur l'axe ; la précision peut être considérable. La commutation d'un diagramme à l'autre se fait le plus souvent mécaniquement, par exemple, par balancement de l'antenne ou de son réflecteur.

Notons une simplification importante de l'équipement sur les radars modernes.

Il semble *a priori* nécessaire d'employer deux systèmes d'aériens, l'un pour l'émission, l'autre pour la réception, et c'est effectivement ce qui a été fait au début du radar. Mais, avec les émissions par impulsions, émetteur et récepteur ne travaillent pas simultanément : on emploiera donc la même antenne à l'émission et à la réception, en munissant ce « projecteur unique » d'un système de commutation automatique « émission-réception ». Ce passage se fait le plus généralement par un tube à gaz (dit T.R.) situé sur l'alimentation du projecteur et qui, en s'allumant, court-circuite la voie récepteur dès que l'émetteur entre en jeu (page 138).

L'INDICATEUR

L'indicateur comporte presque toujours un tube cathodique au moins.

On sait que ces appareils possèdent la propriété de transformer un signal électrique en un signal lumineux qui apparaît sur un écran. La position de la figure lumineuse produite, son intensité, sa forme, dépendent des signaux appliqués au tube ; l'écran du tube conditionne leur couleur et leur

persistance, c'est-à-dire le temps durant lequel la manifestation lumineuse reste perceptible après que le signal a cessé.

Dans les appareils de radar, les tubes cathodiques sont employés de bien des façons ; on peut grouper leurs modes d'emploi en deux types (page 139) :

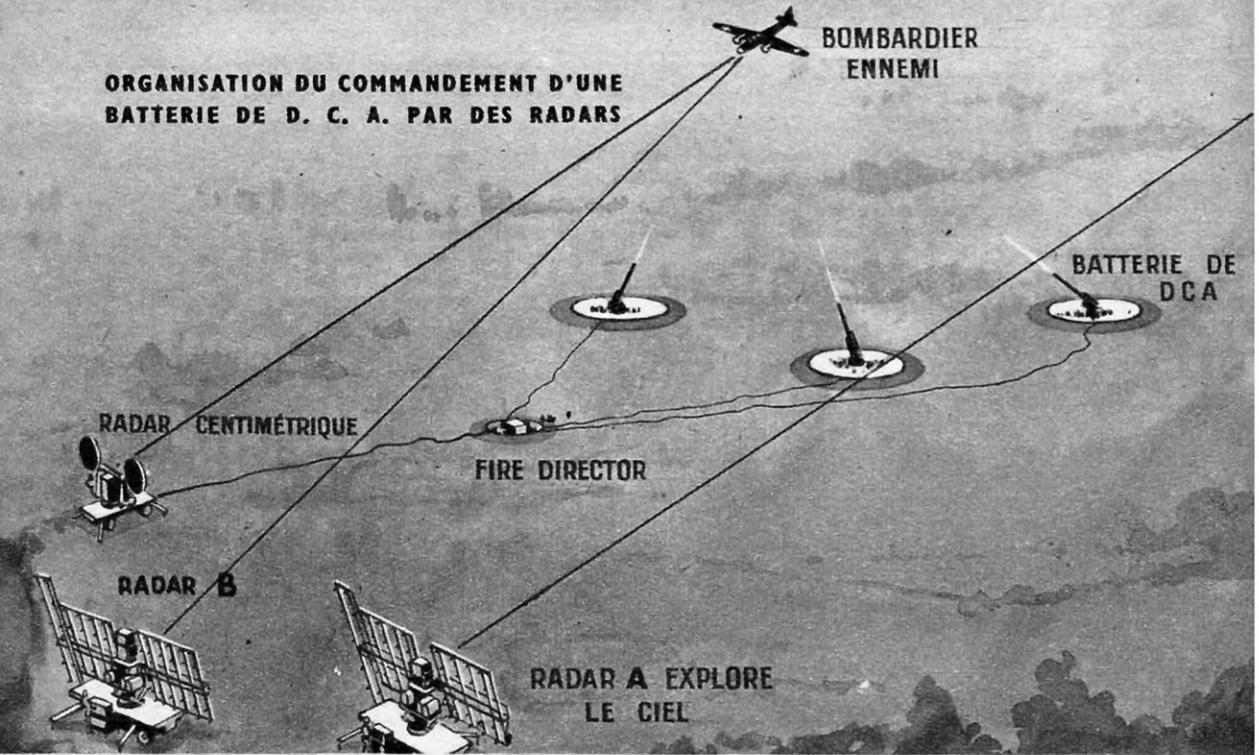
— Ceux dans lesquels les tubes servent comme appareils de mesure (distance, angle). Suivant les applications ils comportent un, deux ou trois tubes indicateurs A, B, C, lettres par lesquelles les Anglo-Saxons distinguaient leurs propriétés ;

— Ceux qui fournissent une représentation, au moins grossière, de l'ensemble des échos dans un domaine, en reproduisant



Équipement mobile de radar, Mark 20, fonctionnant sur 1000 mégacycles (30 cm de longueur d'onde), utilisé pour la commande des projecteurs.

ORGANISATION DU COMMANDEMENT D'UNE BATTERIE DE D. C. A. PAR DES RADARS



Le radar A, dont la mission est d'explorer constamment le ciel, a détecté un avion. Celui-ci est suivi par le radar B qui, quelque temps avant qu'il entre dans le champ d'action de la D. C. A., le signale au radar centimétrique. Celui-ci remplace le télémètre optique des anciennes batteries. Il détermine avec précision les coordonnées de l'avion et sa vitesse et les passe automatiquement au « fire-director », instrument automatique de calcul des éléments de tir qui sont ensuite transmis directement aux batteries.

une espèce de carte de la région explorée (« P.P.I. » ou *Plan Position Indicator*).

Dans le système « A », l'abscisse du point cathodique lumineux est proportionnelle au temps et dans son mouvement le spot balaye tout le fond de l'oscillographe dans le temps qui sépare deux tops successifs : l'ordonnée représente l'amplitude de l'écho. L'intensité du spot n'est utilisée qu'accèssoirement (en particulier le spot est éteint pendant son rapide retour à son point de départ). L'apparition d'un écho se traduit par celle d'une pointe dont la distance à l'impulsion initiale mesurera le temps aller-retour du signal et, par conséquent, la distance de l'obstacle. Celle-ci peut être transmise à divers systèmes de commande sans même qu'il y ait lieu de faire une lecture intermédiaire, par des procédés électriques.

L'indicateur « A » peut servir à des mesures d'angle grossières (quelques degrés par exemple) en observant le maximum d'amplitude de l'écho en fonction de la rotation du projecteur. Il peut servir à une mesure plus précise des angles par commutation de diagrammes en comparant sur son écran les intensités alternées des échos reçus.

Dans le système « B », la distance est portée en ordonnée et l'azimut en abscisse, c'est-à-dire que la position azimutale du projecteur est traduite en une tension électrique de déviation horizontale du spot. Le signal d'écho commande l'intensité lumineuse du spot, de sorte que l'existence d'un obstacle

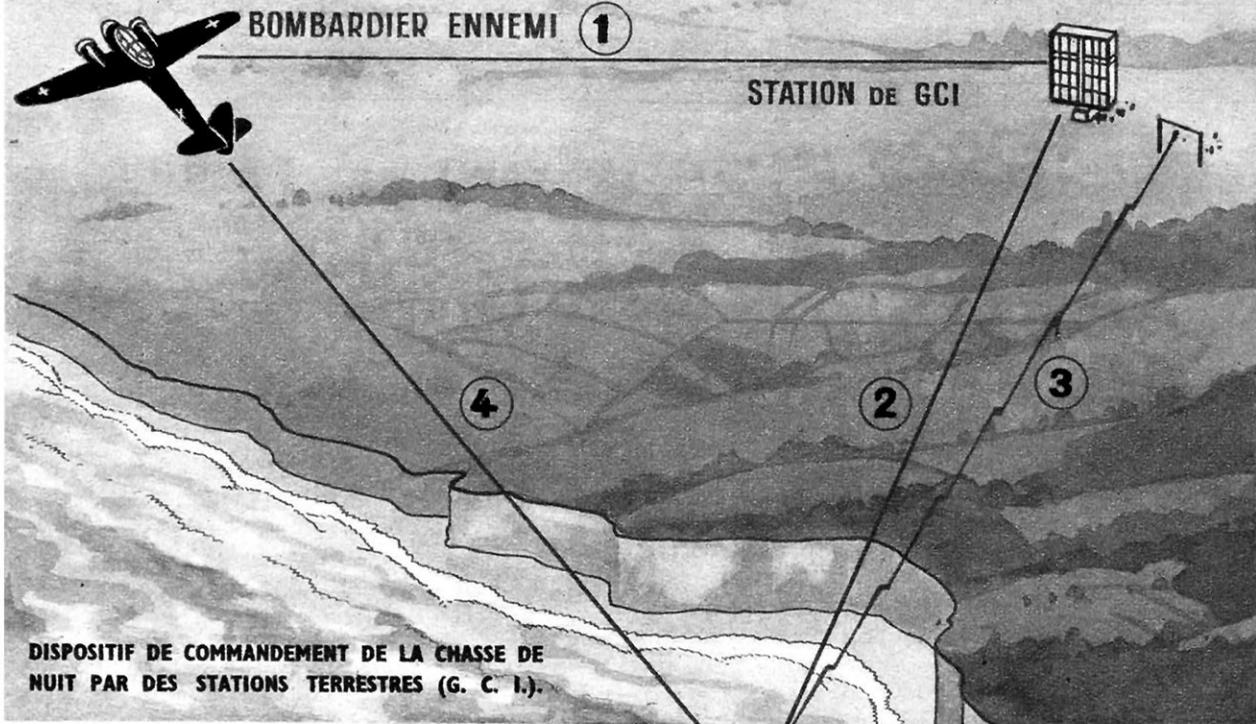
se traduit par l'apparition d'une tache lumineuse dont les coordonnées fournissent la distance et l'azimut, lorsque l'appareil est pointé en azimut sur l'obstacle.

Le système « C » est analogue au B, où la distance est remplacée par le site : il sert à pointer l'axe de l'appareil sur l'obstacle lui-même et permet de rester « accroché » constamment sur lui, autorisant ainsi la commande d'appareils de tir.

Dans les appareils précédents, le projecteur ne balaye l'espace que pendant la recherche initiale du but.

Le « P.P.I. » nécessite l'emploi d'un balayage constant de l'espace à explorer par les faisceaux issus du projecteur du radar qui tourne constamment, mais il donne une image très suggestive de l'espace exploré.

Sous sa forme la plus simple, le « P.P.I. » représente en coordonnées polaires un plan de l'espace exploré, par exemple du sol situé au-dessous d'un avion ; la distance du spot d'écho au centre du tube donne une mesure de la distance du point exploré, et son angle polaire donne l'azimut par rapport à un plan repéré de l'avion. Les points apparaissent comme des taches dont la grandeur dépend de l'ouverture du faisceau et dont l'intensité dépend de la nature de l'obstacle réfléchissant : l'eau apparaît noire, les bâtiments, les bateaux apparaissent lumineux, etc. Généralement, l'écran est doué d'une persistance assez longue pour que la carte reste inscrite durant la rotation de l'aérien.



La station G. C. I. suit l'avion ennemi (1) et le chasseur ami (2) qu'elle dirige (3) vers le bombardier. Quand le chasseur est à proximité du bombardier, il met son radar de bord (4) en action et rejoint le bombardier qu'il attaque.

Enfin, dans les radars modernes, ces appareils cathodiques ne jouent plus qu'un rôle secondaire ; ils servent uniquement à surveiller la marche des opérations et à choisir le but. Les tensions de déviation des oscillographes reçoivent encore une amplification supplémentaire et commandent alors des moteurs électriques qui exécutent les manœuvres désirables des canons, par exemple, sans intervention humaine. Les ordres sont transmis directement par le radar aux canons ou aux projecteurs par des servomécanismes ; ces dispositifs peuvent seuls assurer aux armes une réaction assez rapide pour qu'elles soient efficaces contre des attaques un peu rapprochées par avions. C'est l'introduction de ces télémechanismes qui a permis d'équilibrer les chances de combat au profit des navires contre les avions, et qui a permis aussi aux escadrilles sans équipages, télécommandées d'un avion chef de groupe, de se défendre, comme l'exemple en fut donné par les escadrilles de Bœing B-29 « Superfortress » qui bombardèrent le Japon.

LA BASE DE TEMPS

La base de temps définit la durée des impulsions et le rythme de leur répétition.

Elle agit à la fois sur l'émetteur pour déclencher les émissions en impulsions, sur le récepteur pour le bloquer durant l'émission, et sur l'indicateur pour démarrer

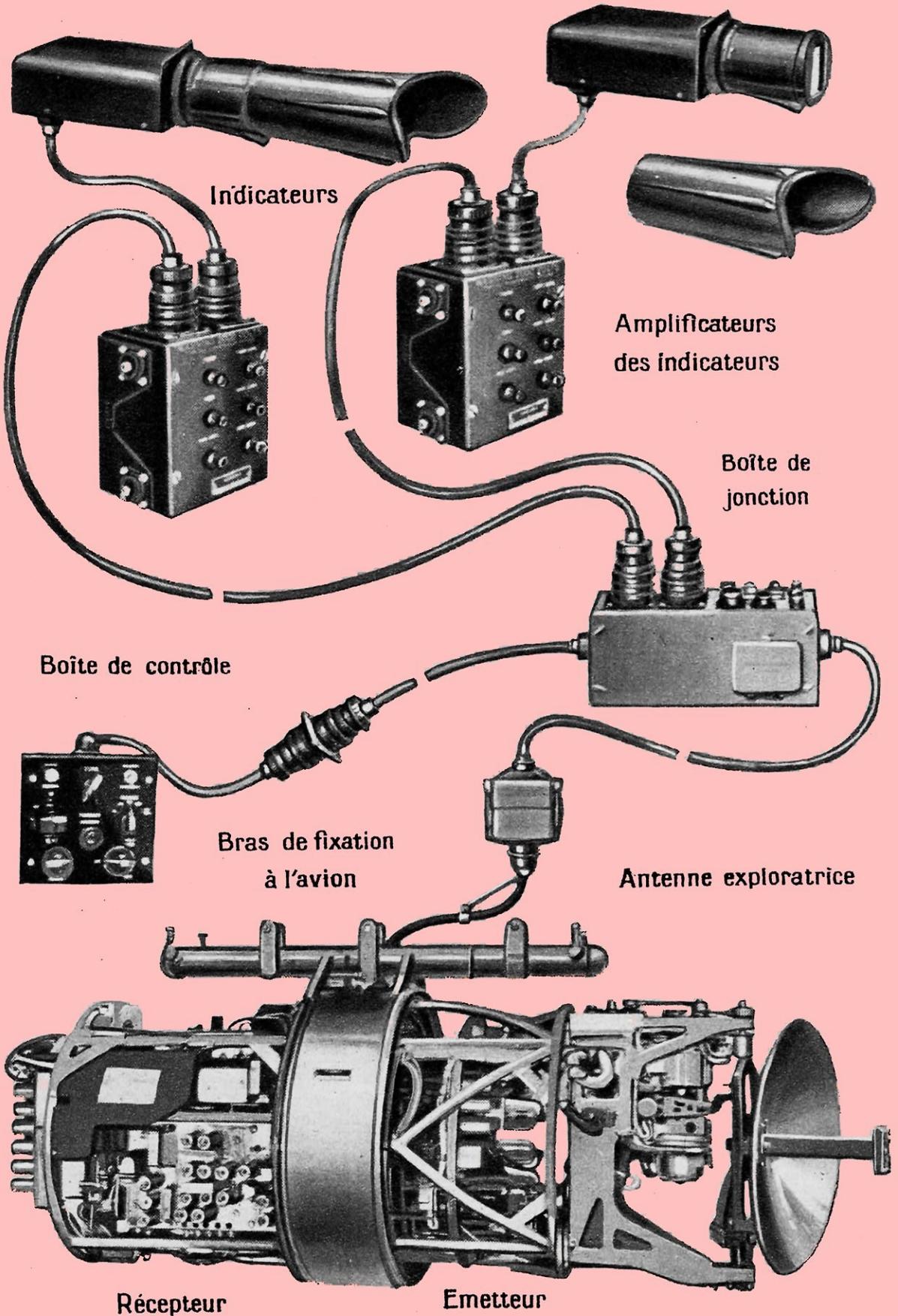
et assurer le mouvement horizontal du « spot ».

La fréquence des impulsions est conçue, comme nous l'avons déjà remarqué, en fonction de la distance maximum à atteindre et de la puissance moyenne que peut supporter le tube d'émission.

Leur durée est importante également : dans les limites imposées par la qualité des signaux à émettre, il y a intérêt à avoir des impulsions aussi brèves que possible, car les signaux n'en seront que mieux définis : les dessins caractéristiques seront nets sur les écrans d'oscillographes. De plus, lorsqu'il faut mesurer de courtes distances (radar anti-collision par exemple), il faut se souvenir que le radar est aveugle pendant la durée de l'impulsion : à ce moment-là, le récepteur est bloqué ou saturé par l'émission. Si donc l'émission dure une microseconde, tout obstacle situé à moins de 150 à 300 mètres environ ne pourra être décelé ; d'où la tentance que l'on observe dans le développement du radar vers une diminution constante du temps d'impulsion, qui est passé de 25 à 30 microsecondes à 1/10 de microseconde et atteindra bientôt 1/100 de microseconde. Seules, encore, les ondes décimétriques sont assez courtes pour se plier à être découpées aussi rapidement en morceaux aussi courts.

Nous ne pouvons donner plus de détails sur les méthodes de production des impulsions, qui font appel aux techniques les plus

ÉQUIPEMENT RADAR POUR AVION DE CHASSE DE CHASSE DE NUIT AN/APS-4



déliçates des circuits. Disons seulement que leur mise au point a été des plus ardues, notamment pour les puissances de crête élevées mises en jeu et que leur étude est, actuellement encore, loin d'être terminée.

TYPES DE « RADAR » CARACTÉRISTIQUES

Le nombre de types d'appareils de radar construits jusqu'ici est extraordinairement élevé. Le nombre de types alliés connus s'élève à plus de trois cents.

La multiplicité de ces modèles tient non seulement aux nécessités tactiques, mais encore au fait que l'urgence amenait à faire sortir des laboratoires les prototypes avant mise au point complète, et cela surtout en Angleterre.

Nous ne retiendrons ici que quelques modèles typiques, que nous passerons en revue dans un ordre que suggère la hiérarchie des problèmes à résoudre.

APPAREILS D'ALERTE AU SOL

Ceux-ci ont pour but de surveiller un espace, aérien par exemple, et d'avertir de l'approche de divers éléments, ennemis en temps de guerre, ou simplement intéressants en temps de paix, s'il s'agit d'avions cherchant à gagner un aéroport, par exemple.

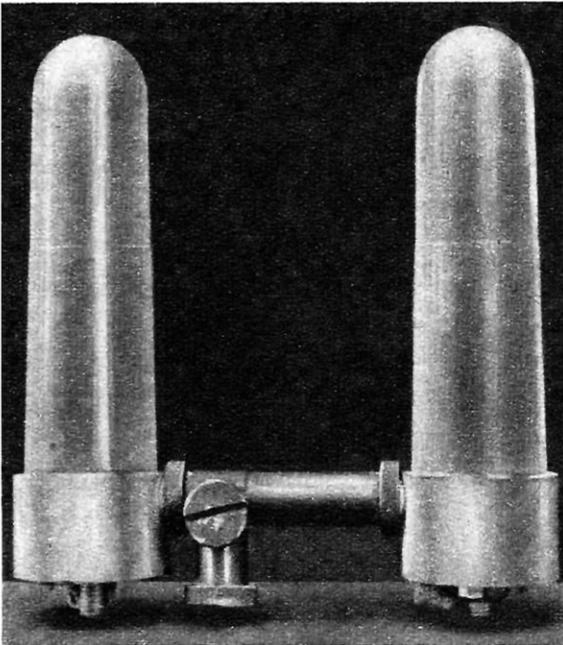
Ils doivent surveiller en permanence un

domaine défini, mais il est inutile qu'ils donnent avec précision les positions des objectifs.

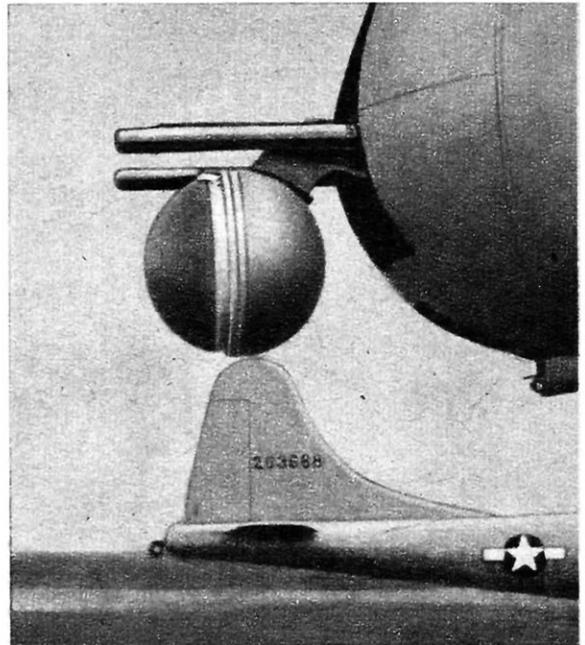
On pourrait faire entrer dans cette catégorie le détecteur d'obstacles pour la Marine marchande française, construit dès 1935 sur ondes décimétriques (*Normandie*, longueur d'onde 16 centimètres, détection à 6-10 kilomètres), premier de son espèce et qu'on peut considérer comme l'ancêtre des radars sur ondes ultracourtes.

Des équipements autrement plus importants furent mis en service dès 1938 par les Anglais pour la surveillance du domaine aérien jusqu'à 300 kilomètres environ (ondes métriques); ce matériel a été d'un secours fondamental durant la bataille d'Angleterre (1940), car il permettait de localiser les avions ennemis et d'utiliser ainsi au mieux les faibles effectifs d'avions de chasse dont disposait l'Angleterre; le succès fut complet, puisque, du 8 août au 31 août 1940, les Allemands perdirent 957 avions.

Les Américains s'étaient également préoccupés de la question, et le radar aurait pu changer le cours des événements durant la journée historique de Pearl-Harbour. A 7 h 02 en effet, ce jour-là, le simple soldat J.-L. Lockhard vit apparaître sur son oscillographe des traces fort suspectes, à 200 kilomètres de là, d'autant plus inquiétantes qu'elles se rapprochaient; mais ces renseignements furent mal interprétés, et à 7 h 55 le désastre commença.



Antenne diélectrique pour avion utilisée par les Allemands: elle consiste en un bloc de matière plastique (polystyrène) coiffant un guide d'alimentation, donnant un ensemble à la fois directif et aérodynamique.

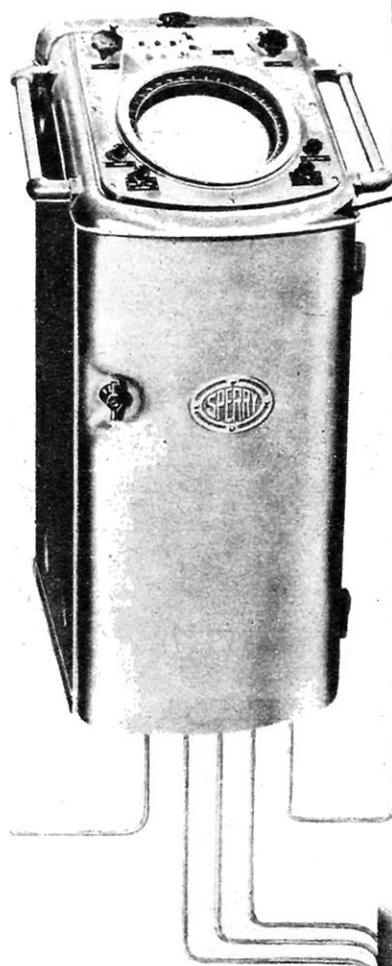


Le « radome » (dôme du radar) AN-APG-15 fixé derrière la tourelle dans la queue d'une « Superfortress » B-29: l'aérien est protégé contre les intempéries par une feuille de matière plastique moulée (polythène).

EQUIPEMENT RADAR POUR NAVIRE MARCHAND (SPERRY)

Ce radar fonctionne sur 3 cm de longueur d'onde, avec des impulsions de 0,25 microseconde et une puissance de crête de 30 KW. L'aérien tournant effectue 15 tours par minute; l'ouverture du faisceau est de 15° en hauteur et 2° en largeur; la forme en persienne du réflecteur lui permet d'offrir peu de prise au vent.

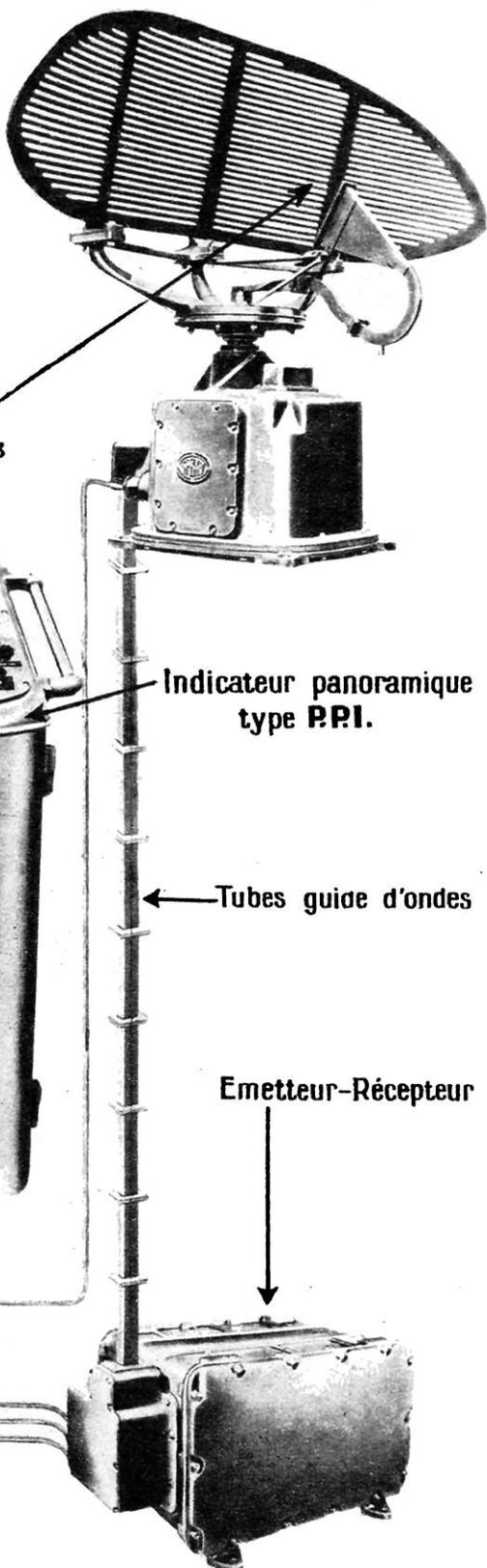
Antenne tournante émettrice d'impulsions et réceptrice d'échos



Indicateur panoramique type P.P.I.

← Tubes guide d'ondes

Émetteur-Récepteur



Comme exemple de ces équipements, nous citerons le matériel américain S C R271 D de 1941 (longueur d'onde : 3 m ; puissance de crête : 100 kW ; durée d'une impulsion : 25-30 microsecondes ; fréquence des impulsions : 621/s ; portée : 9 à 250 km à ± 6 km près ; précision en azimut : $\pm 4^\circ$; indicateur par oscillographe «A» ; développement de l'antenne : 15 m \times 8 m environ).

Ces premiers équipements furent rapidement perfectionnés pour augmenter leur mobilité et permettre de guider les avions de chasse durant les combats de nuit. De plus, des systèmes d'identification furent mis au point (I.F.F. : *Identification Friend or Foe*) pour permettre la distinction des avions amis et des avions ennemis.

Les installations précédentes, avec leurs pylônes et leur matériel encombrant, ne pouvaient répondre aux besoins de protection d'objectifs militaires mobiles. La mobilité a été augmentée en faisant appel à des ondes plus courtes : un bon exemple d'un tel matériel est donné par le AN/T P S-3 américain (longueur d'onde : 50 cm ; puissance de crête : 250 kW (triode classique) ; durée d'une impulsion : 1,5 microsecondes ; fréquence des impulsions : 200/s ; portée : 7 à 50 km pour un bombardier à 3 000 m, à ± 3 km près ; précision en azimut : $\pm 2^\circ$; indicateur par oscillographe « A » (distance) et « P.P.I. » (surveillance et mesure de l'azimut) ; aérien : miroir de 3 m de diamètre).

L'appareil pèse 600 kg et il est divisé en douze boîtes ; il est mis en place en 30 minutes.

La comparaison de ces caractéristiques avec celles du S C R-271 D montre bien les tendances générales dans l'évolution du radar.

La combinaison de ces radars avec des liaisons radiotéléphoniques bien au point a permis d'établir la méthode de combat de protection désignée par G.C.I. (*Ground Control Interception*). Dans ce procédé, (page 143) les éléments d'une chaîne de radar sont reliés à des salles de centralisation des renseignements, qui restent en contact avec les avions de chasse et leur donnent les directives nécessaires pour le combat : l'organisation des transmissions radio-auxiliaires rapides, dans cette méthode, doit être considérée comme un exploit difficile ; mais on est arrivé à réduire à 30 secondes l'écart entre l'alerte à la station radar et l'arrivée des ordres aux escadrilles de chasse.

Cette méthode se révéla terriblement efficace dès la bataille d'Angleterre où, en une journée, 185 avions allemands sur 500 furent abattus. Elle fut encore perfectionnée lorsque les avions de chasse eux-mêmes furent munis de radars mobiles dont nous parlerons plus loin.

Des systèmes analogues furent employés pour la surveillance de zones en mer.

APPAREILS DE COMBAT AU SOL OU EN MER

Le radar, sous ses formes perfectionnées, possède une précieuse propriété, celle de déterminer la position d'un objectif avec une précision considérable, et cela par tous les temps. Chose remarquable d'ailleurs, la précision en distance est *absolue* : l'erreur possible en mètres ne dépend pas de la grandeur de la distance elle-même, et c'est un avantage précieux pour les artilleurs.

Enfin, spécialement en mer, les radars les plus modernes laissent lire sur leurs écrans, immédiatement, la position des points de chute des salves (gerbes d'eau) par rapport au but : tout s'inscrit sur les indicateurs comme si un arpenteur magique se trouvait sur place. Les corrections sont donc très rapides.

Le radar est donc un instrument de conduite de tir idéal. Le matériel correspondant devra avoir une précision adaptée au type d'arme commandée et, autant que possible, il devra pouvoir rester « accroché » sur le but et le suivre dans ses évolutions : la transmission automatique des éléments à un poste de tir lui-même auto-

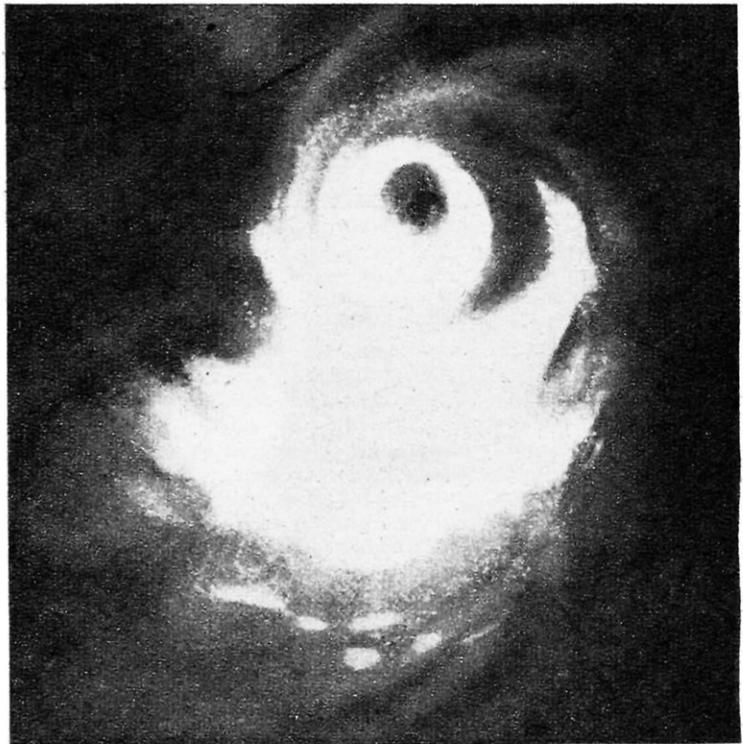
matique permettra d'atteindre le maximum d'efficacité du matériel.

L'exemple le plus spectaculaire, parce que le premier, est probablement donné par la mésaventure que subit la flotte italienne en juin 1942 au Cap Matapan : deux croiseurs italiens furent envoyés par le fond par des navires anglais munis de radar, avant même d'avoir soupçonné la présence de leur ennemi.

A bord des navires de guerre, les équipements en radars de surveillance et de tir ressemblent à un système G.C.I., mais sont encore plus complexes car le navire se déplace, tangue et roule. Renseignements et éléments de tir sont centralisés dans un poste qui devient le cerveau de l'unité. La technique du combat naval a donc été profondément modifiée par le radar : toutes les phases de combat sont observées sur les écrans des indicateurs et conduites par des officiers dont les fonctions se rapprochent de celles de l'ingénieur autant que de celles du combattant.

L'efficacité de la défense antiaérienne a, elle aussi, été augmentée par le radar auquel on a asservi des pièces de D.C.A. (page 142) C'est la supériorité de son radar qui a beaucoup contribué à assurer le succès de la marine des U.S.A. dans sa lutte contre la flotte aérienne japonaise.

Les types d'appareils qui remplissent ces divers buts tactiques sont très nombreux.



Comment apparaît un typhon sur l'oscillographe d'un radar panoramique fonctionnant sur 10 m de longueur d'onde, porté par un navire.

Citons comme caractéristiques le *S C R 584*, poste mobile de haute précision pour conduite automatique de tir (longueur d'onde : 10 cm ; puissance de crête : 300 kW (magnétron) ; durée d'une impulsion : 0,8 microseconde ; fréquence d'impulsions : 1 707/s ; portée : 0,5 à 30 km à ± 15 m près ; azimut et site à $\pm 0,1^\circ$ près ; indicateurs : un « P.P.I. », deux « A » ; aérien : antenne tournante dans un miroir de 1,80 m d'ouverture), et le *AN/M P G 1*, appareil destiné à la surveillance et au tir à partir de la côte (objectifs en mer) (longueur d'onde : 3 cm ; puissance de crête : 60 kW (magnétron) ; durée d'une impulsion : 1 microseconde pour la surveillance et 0,25 microseconde pour le tir ; fréquence d'impulsions : 1 024/s pour la surveillance et 4 079/s pour le tir ; portée : 75 km (surveillance), 0,5 à 25 km (tir) ; précision sur la portée (tir) : ± 5 m ; précision angulaire : $\pm 0^\circ 02$; indicateurs : « P.P.I. » et deux « B » ; aérien spécial : combinaison de cornets et de réflecteurs).

APPAREILS SITUÉS A BORD D'AVIONS

Ceux-ci méritent une mention spéciale puisqu'ils ont contribué efficacement à limiter l'emploi d'une forme particulièrement sauvage de guerre : le bombardement de nuit à l'aveuglette, opération dont les Allemands peuvent revendiquer l'invention (Londres et Coventry).

On peut les diviser en trois classes :

- Les appareils de surveillance ;
- Les appareils de combat ;
- Les appareils de bombardement et de navigation.

La surveillance

Les appareils de surveillance sont les plus anciens. Placés à bord d'avions, ils avaient pour mission de déceler tout ce qui pouvait être en mer, notamment les sous-marins en surface afin de protéger les convois. Les premiers radars anglais construits dans ce but (A.S.V. : *Air to Surface Vessels*) fonctionnaient sur 1 m 5 (portée 15 à 20 km) et dès 1941 les pertes allemandes en sous-marins s'élevèrent rapidement. La défense des sous-marins contre cette technique connut des phases dramatiques. Les Allemands s'aperçurent bien vite que ni la nuit ni le brouillard ne protégeaient leurs sous-marins et ils purent déceler le secret de leurs déboires en captant intact un A.S.V. au début de 1942. Les sous-marins furent alors équipés d'un récepteur sensible à ces ondes, chose possible puisqu'elles étaient d'un domaine à peu près classique. Cet appareil permettait aux sous-marins de surveiller le ciel et de déceler leurs guetteurs de loin ; avant d'être attaqués, ils avaient le temps de plonger.

LA NAVIGATION AÉRIENNE ET LE BOMBARDEMENT SANS VISIBILITÉ PAR LE SYSTÈME SHORAN

L'avion émet un signal radar qui déclenche la réponse de deux stations A et A'. Les réponses s'inscrivent séparément sur une échelle circulaire. Le temps mis par les réponses pour revenir à l'avion mesure sa distance aux deux stations. Le but à bombarder est défini comme l'intersection de deux cercles C et C' ayant respectivement pour centre ces deux stations. L'avion décrit le cercle C et largue ses bombes quand il arrive à l'intersection de C et C' ou peu avant. Pour décrire le cercle C, l'avion fait coïncider le signal correspondant à la réponse de la station A avec un index fixe. Quand il arrive sur C', le signal correspondant à la réponse de A' vient lui aussi sur l'index : l'avion lâche alors ses bombes.

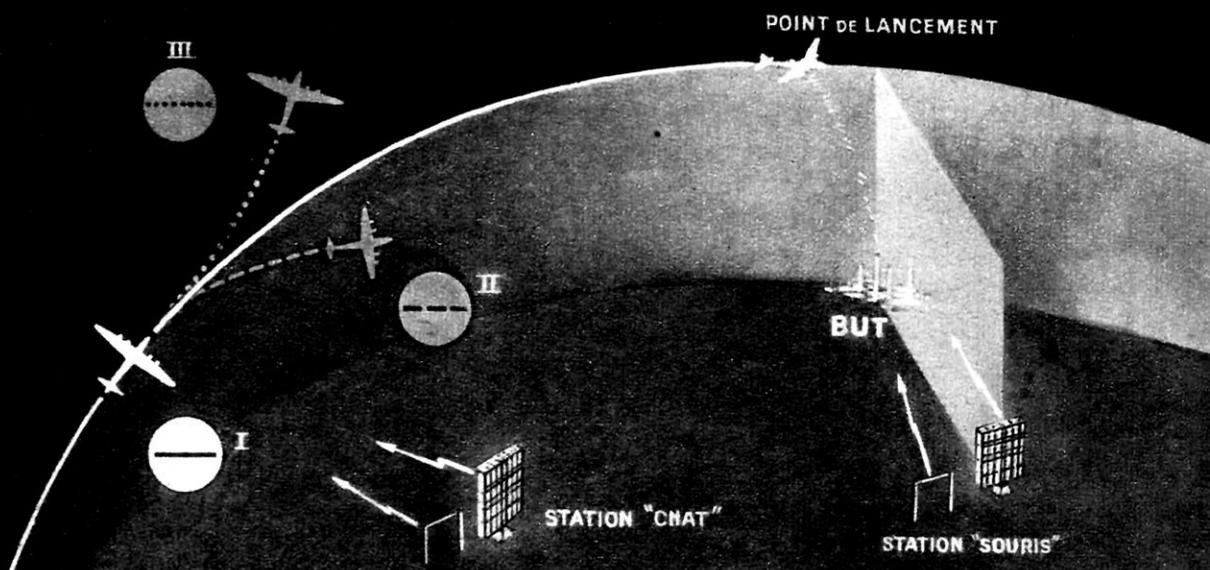
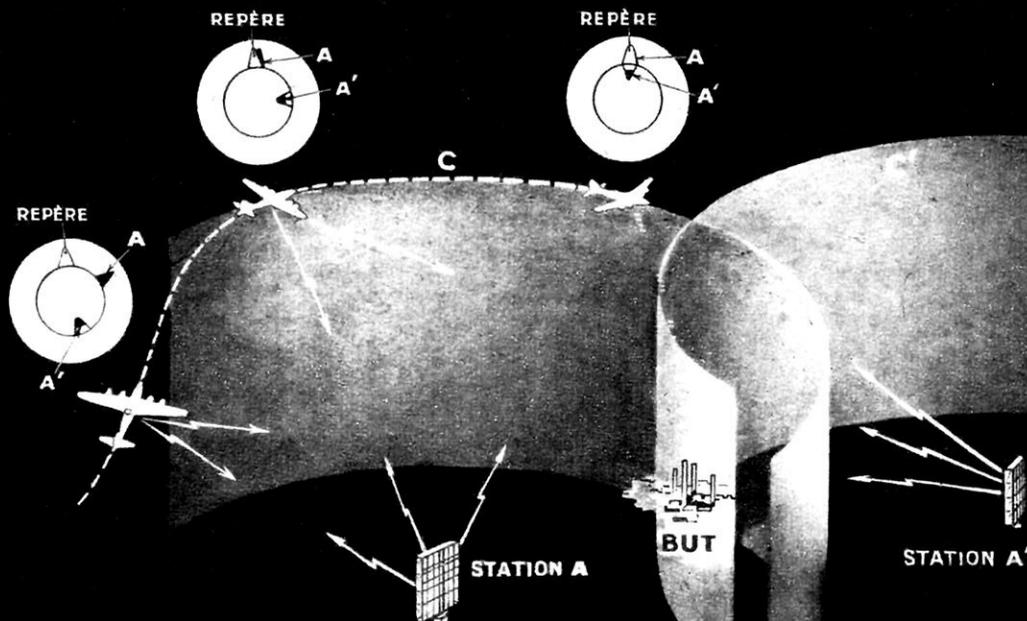
LE SYSTÈME OBOE DE NAVIGATION AÉRIENNE ET DE BOMBARDEMENT SANS VISIBILITÉ.

Une station radar appelée station « chat » mesure de façon permanente la distance qui la sépare d'un appareil de bombardement et veille à ce que cette distance reste constante. Pour cela, elle envoie un certain signal (I) tant que l'avion suit un cercle dont elle est le centre et qui passe par le but. S'il vient à s'en écarter elle émet deux autres signaux (II) et (III) qui avertissent l'avion qu'il est soit à droite, soit à gauche du cercle et lui permet ainsi de revenir sur sa route correcte. L'avion est ainsi acheminé au-dessus du but qu'il doit bombarder. Quand il va atteindre le but, une deuxième station, station « souris », émet un signal l'avertissant de se préparer au largage des bombes. Puis, quand il passe au point de lancement, elle lui donne l'ordre de larguer.

La situation empira dès lors rapidement pour les Alliés : à la fin de 1942, environ sept cents sous-marins coulaient chaque mois plus d'un demi-million de tonnes de bateaux alliés.

La solution fut apportée par l'apparition d'un A.S.V. sur 10 cm, d'une portée de 30-40 km environ, qui permit aux guetteurs d'échapper à nouveau à l'attention de leur proie.

Un exemple typique d'opération est trouvé dans l'exploit d'un « Liberator »



parti « en chasse » avec onze heures de carburant. Après quelques heures monotones, l'observateur détecte une tache suspecte à 40 km, 95° à gauche de la direction de marche. Le cap est mis sur l'écho dont l'intensité grandit ; la visibilité est très mauvaise.

Arrivé au-dessus du but, l'avion descend et, à cent mètres au-dessous de lui, il aperçoit un sous-marin allemand avec son équipage sur le pont, aussi tranquille — ou plus — qu'à Kiel en temps de paix. En vingt secondes,

cinq bombes l'envoient par le fond

La campagne des sous-marins allemands fut complètement désorganisée par ces nouveaux moyens, malgré les efforts des Allemands pour se protéger : deux sous-marins laboratoires équipés pour l'étude des rayonnements indésirables furent eux-mêmes expédiés par le fond ; 70 % des sous-marins coulés le furent grâce au radar.

Les A.S.V. ont été très perfectionnés, avec avertisseurs automatiques d'échos, bombardement automatique, anti-roulis, etc.

et, depuis 1943, certains sont équipés en trois centimètres. Ces appareils sont arrivés à déjouer la tactique allemande suivant laquelle les sous-marins ne remontaient jamais, mais prenaient l'air qui leur était nécessaire par un tuyau spécial (Schnorkel) muni d'une embouchure de dimension réduite ; la bouche d'air du tuyau elle-même était détectée malgré les réflexions gênantes sur la mer et les vagues.

L'efficacité des appareils modernes est mise en évidence par les exploits d'un groupe de bombardement américain de 20 avions opérant dans la mer de Chine ; il a coulé en quatre mois (1944) 250 000 tonnes de navires marchands et 10 navires de guerre.

Appareils de combat

Les plus intéressants servent à guider le combat des avions de chasse ou à protéger les bombardiers en assurant leur défense, par action automatique des armes de bord.

Les appareils les plus modernes fonctionnent sur ondes décimétriques et centimétriques ; le champ de surveillance est de 80° en azimut et 20° à 40° en site. Le pointage des armes est automatique et le moment même de la mise de feu se détermine en encadrant l'image due à l'avion ennemi entre des repères. La portée de surveillance est de 15 à 25 km, ce qui est suffi-

sant avec la vitesse des avions actuels. L'apparition d'avions plus rapides nécessitera d'autres études.

La combinaison de ces appareils avec les systèmes de G.C.I. assure une efficacité remarquable de la chasse aérienne : le G.C.I. signale à l'avion de chasse l'objectif lorsque celui-ci est encore lointain (100 km par exemple) et guide l'avion jusqu'à ce que sa proie soit à portée. L'avion de chasse agit alors en toute indépendance.

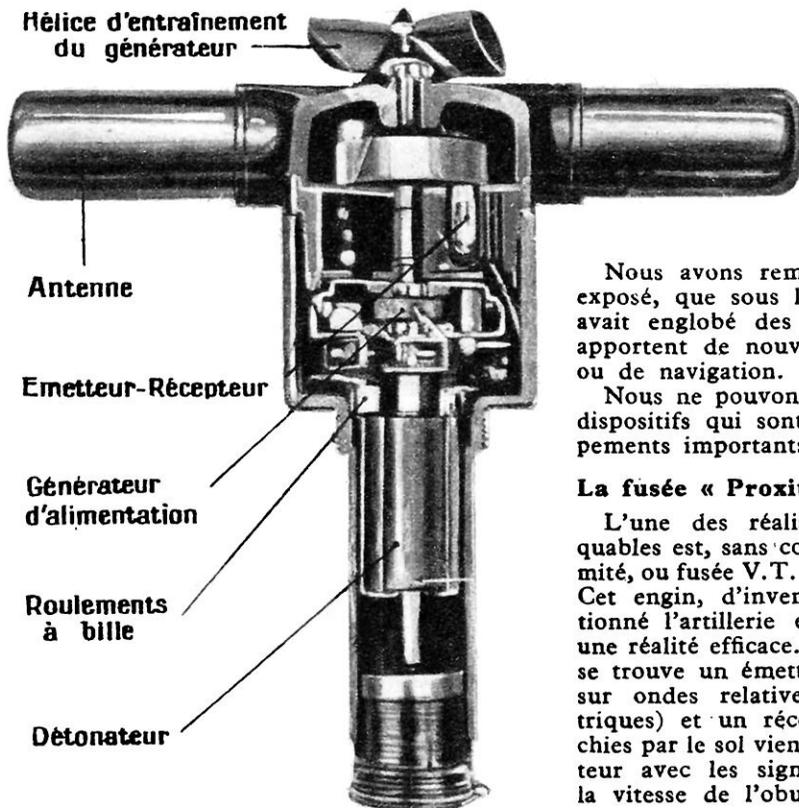
Appareils de bombardement et de navigation

Un exemple typique de cet appareil est donné par le type H 2 S. Celui-ci possède comme indicateur un P.P.I. ; il fonctionne en général sur 3 cm, avec exploration de l'hémisphère située sous l'appareil.

Le tube cathodique est doué d'une rémanence importante (plusieurs minutes), de sorte que la trace du parcours de l'avion pendant un temps de cet ordre peut apparaître dans son entier, ce qui permet la navigation par tous temps, la détermination de la dérive et des éléments du bombardement.

Il semble que les Américains aient utilisé pour la première fois le bombardement au radar sur Wilhelmshafen, le 3 novembre 1943 (appareil « Mickey »), et, depuis cette date, plus de la moitié des bombardements par « Fortress », « Liberator » et « Superfortress », ainsi que toute la navigation ont été effectués par cette méthode.

EXEMPLE DE FUSÉE DE PROXIMITÉ POUR PROJECTILE-FUSÉE ANTI-AÉRIEN.



TECHNIQUES DÉRIVÉES DU RADAR

Nous avons remarqué, au début de cet exposé, que sous l'expression « radar » on avait englobé des techniques voisines qui apportent de nouveaux moyens de combat ou de navigation.

Nous ne pouvons passer sous silence ces dispositifs qui sont appelés à des développements importants.

La fusée « Proxit »

L'une des réalisations les plus remarquables est, sans conteste, la fusée de proximité, ou fusée V. T. ou encore fusée « Proxit ». Cet engin, d'invention anglaise, a révolutionné l'artillerie en faisant du tir fusant une réalité efficace. Dans la coiffe de l'obus, se trouve un émetteur-récepteur en général sur ondes relativement longues (décamétriques) et un récepteur. Les ondes réfléchies par le sol viennent battre dans le récepteur avec les signaux reçus directement ; la vitesse de l'obus étant élevée, les deux

ondes diffèrent notablement en fréquence (effet Doppler) et leurs battements donnent naissance à un signal qui agit sur un relais électronique de mise de feu lorsqu'il est suffisamment intense, c'est-à-dire lorsque l'obus est à une demi-longueur d'onde environ du sol, ou, plus généralement, du but.

Ces obus ont déjà une efficacité remarquable dans des tirs terrestres, car ils permettent de réaliser de manière sûre et simple un tir fusant précis, tir très meurtrier et démoralisant.

Mais ils sont encore plus utiles lorsque la batterie elle-même est réglée par radar sur le but ; c'est le cas de la défense antiaérienne, notamment contre des engins type VI. Cette riposte anglaise a été d'une si grande efficacité qu'à la fin de la guerre, en Europe, près de 85 % des VI étaient anéantis avant la fin de leur course.

Des fusées analogues ont été montées sur des bombes dont la distance d'éclatement au sol était ainsi réglée et adaptée au type de bombe.

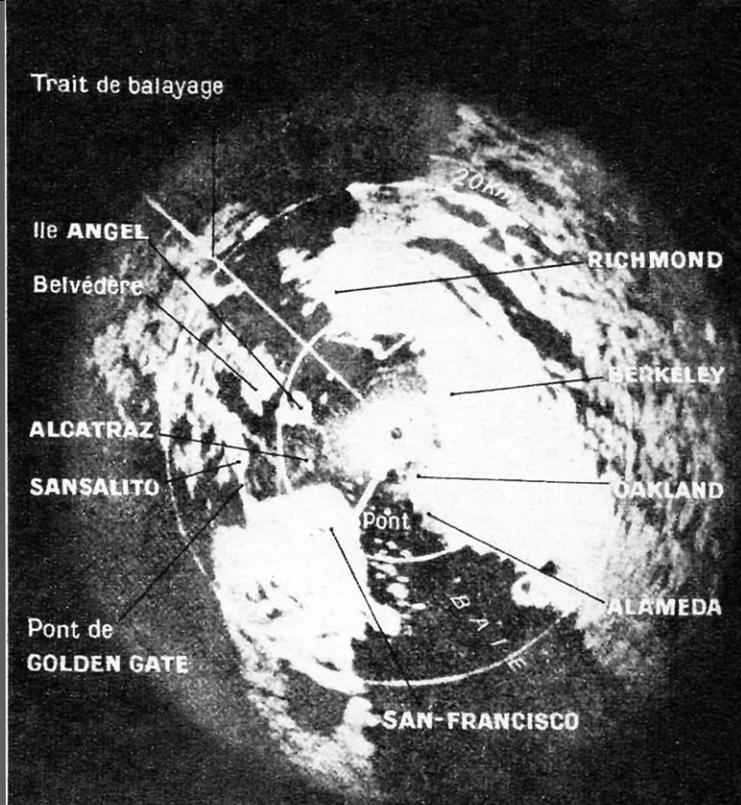
La difficulté de construction de ces fusées est grande, car les accélérations auxquelles sont soumis leurs éléments, notamment leurs tubes, au moment du départ du coup, atteignent en effet près de 20 000 fois l'accélération de la pesanteur, et les forces d'inertie correspondantes sont évidemment énormes.

Les altimètres

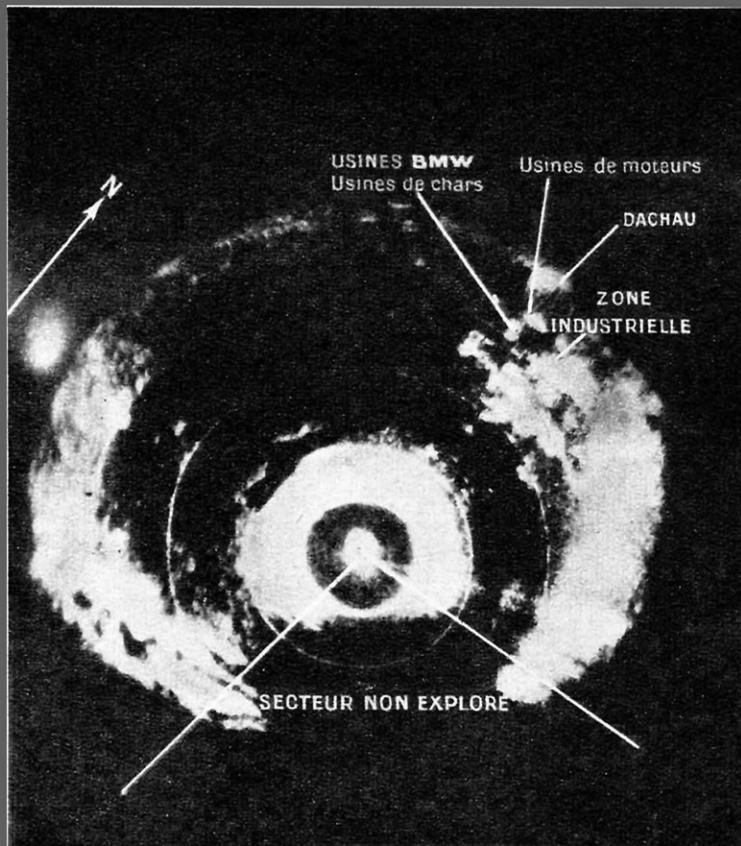
La mesure de l'altitude d'un avion a donné lieu à de nombreuses recherches dont le but était de s'affranchir des méthodes barométriques trop incertaines, spécialement à basse altitude et lorsque l'avion ne suit pas un parcours régulier.

Le radar apporte une solution de choix puisque la terre représente pour un radar situé à bord un miroir excellent. Ses principes sont utilisés avec deux modalités d'applications.

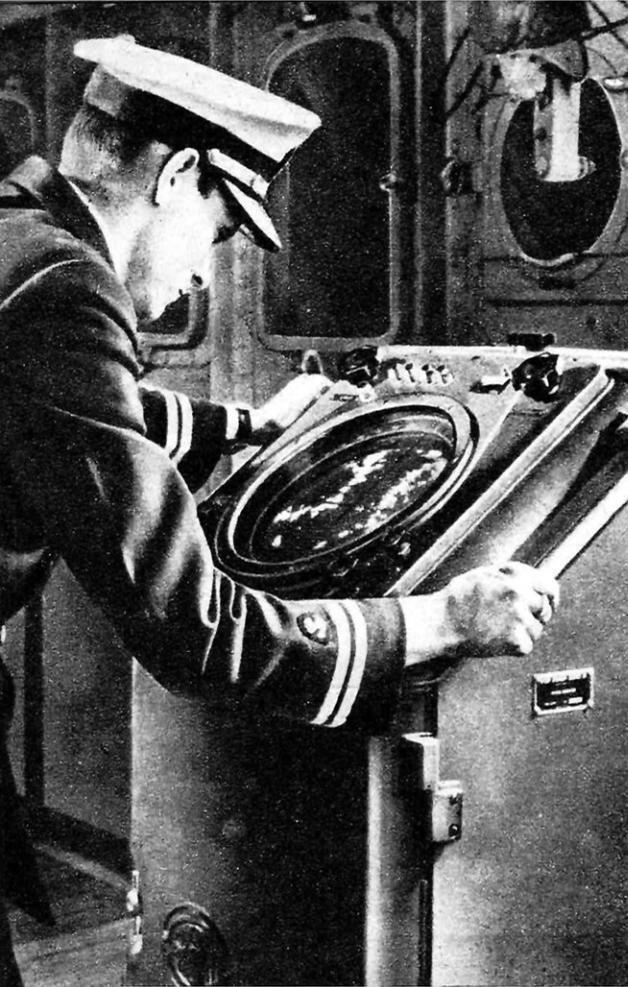
Dans l'une, l'altimètre est en somme un radar à impulsions qui mesure la distance du sol à la verticale : ce peut être un appareil indépendant,



LA BAIÉ DE SAN FRANCISCO PHOTOGRAPHIÉE SUR UN RADAR PANORAMIQUE (P.P.I.) FONCTIONNANT SUR 3.2 M DE LONGUEUR D'ONDE, PORTÉ PAR UN AVION VOLANT A 2 500 MÈTRES D'ALTITUDE.



MUNICH, TEL QU'IL APPARAÎSSAIT SUR L'ÉCRAN DE RADAR PANORAMIQUE P. P. I. DES BOMBARDIERS DE LA 15^e U. S. AIR FORCE EN EXPÉDITION DE BOMBARDEMENT SUR L'ALLEMAGNE.

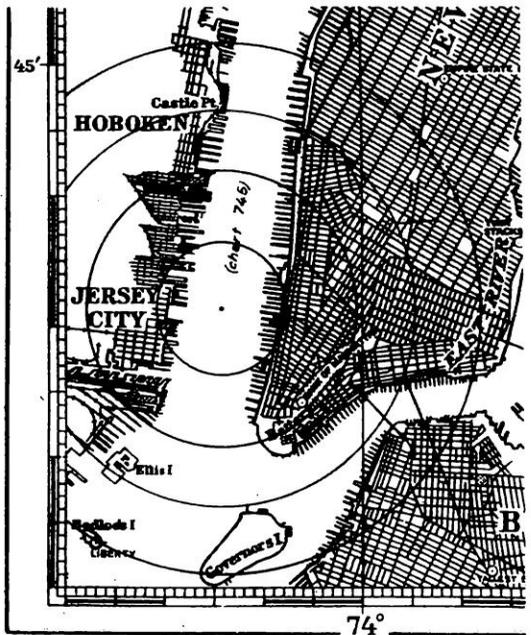
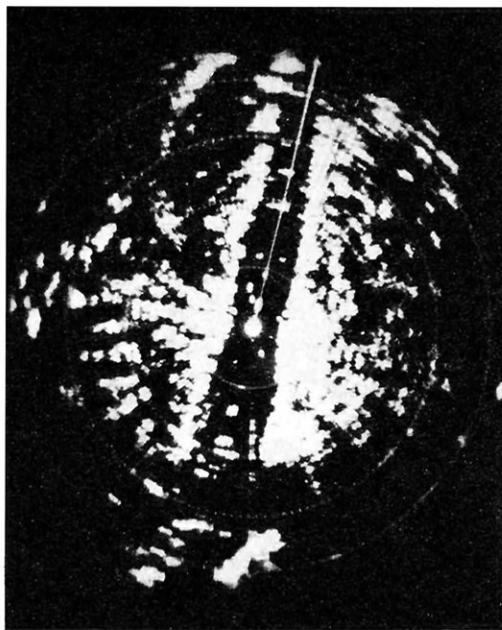


mais on peut employer dans ce but les postes type H₂S. Ces appareils conviennent pour les altitudes déjà élevées, par exemple entre 200 et 8 000 mètres ; ils fonctionnent sur ondes relativement grandes (70 à 80 centimètres). Un exemple de ce type est fourni par l'AN/APN₃ qui équipait les « Superfortress » B-29.

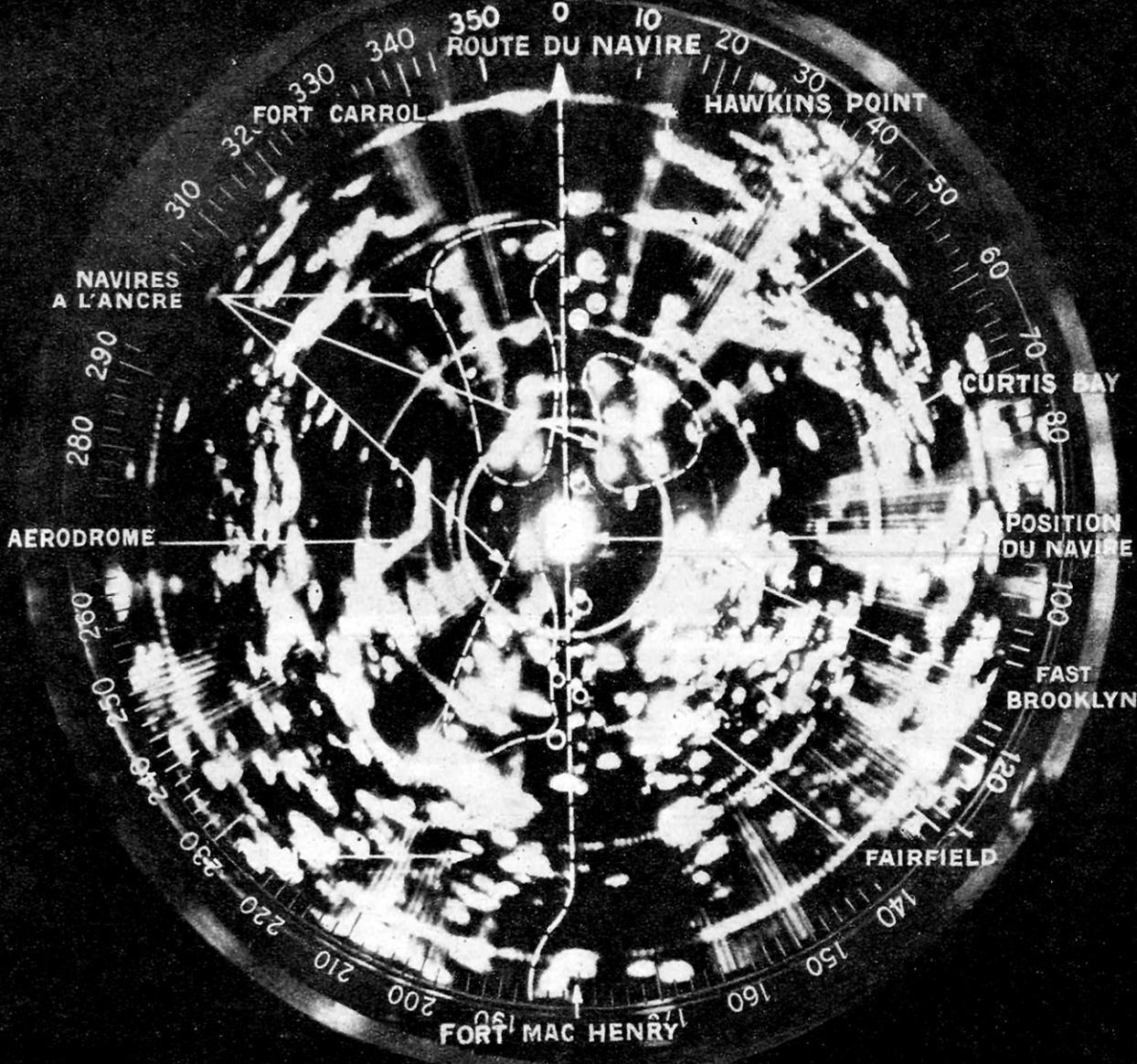
L'autre solution est destinée à la mesure des altitudes faibles. Nous avons déjà remarqué, en effet, que les radars à impulsions sont aveugles au-dessous d'une certaine distance. Dans ces altimètres, la fréquence même de l'émission varie de manière connue et assez rapidement pour que le signal de retour ait une fréquence notablement différente de celle qui est émise à son arrivée au récepteur : la période de battement entre les deux fréquences est ainsi fonction de l'altitude, et l'appareil peut être calibré.

Il existe de nombreux modèles d'altimètres de cette conception. La longueur d'onde employée le plus généralement est voisine de 80 centimètres ou de 12 à 20 centimètres. Ils conviennent pour des altitudes jusqu'à 1 000-2 000 mètres. L'appareil de ce type le plus moderne, l'« Aviasol », est construit en France. Il possède deux gammes 1 500 m et 300 m et permet de détecter des variations d'altitude de 1 mètre au voisinage du sol. (Voir le chapitre sur la radio à bord des avions).

INSTALLATION D'UN ÉCRAN CATHODIQUE RADAR DANS L'HABITACLE D'UN NAVIRE MARCHAND (Sperry).



UN NAVIRE PÉNÉTRANT DANS UN PORT PEUT SE GUIDER PAR L'OBSERVATION D'UN ÉCRAN RADAR : A gauche, ce que le pilote observe sur l'écran du radar (Sperry) ; à droite, la carte de la région correspondante (New-York). Les cercles sont distants d'un demi-mille (926 m). Le navire est au centre de l'écran et les autres bâtiments dans le chenal apparaissent comme autant de points blancs. Des démonstrations analogues ont été faites sur la Seine, à Paris, par la Marine Nationale, au cours de l'été 1947.



LE PORT DE BALTIMORE, TEL QU'IL APPARAÎT SUR L'ÉCRAN RADAR PANORAMIQUE INSTALLÉ SUR UN NAVIRE
 La surface de l'eau est sombre, et tous les obstacles sur les rives et dans le port apparaissent en vive fluorescence sur l'écran panoramique du radar. Les balises ont été entourées d'un cercle blanc.

Navigation aérienne

L'exposé que nous avons fait du radar avec indicateur panoramique P.P.I. pourrait conduire à l'idée que cet appareil peut répondre sans addition aux problèmes de la navigation. En fait, ce n'est pas toujours le cas, et il est nécessaire de disposer au sol ou en mer de systèmes émetteurs qui sont reçus par le radar lui-même, augmentant le contraste et permettant de mieux délimiter les objectifs ou la route à suivre.

Le prototype de ces appareils est la *balise répondeuse*. Celle-ci est constituée essentiellement par un émetteur déclenché par les ondes envoyées par l'appareil de radar interrogateur ; le temps de déclenchement étant faible, on peut considérer la balise répondeuse comme un amplificateur d'écho. L'identification de la balise peut être faite en produisant sa réponse sur une fréquence

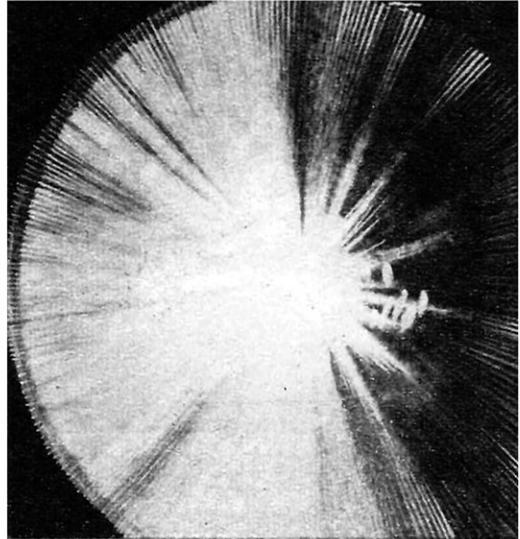
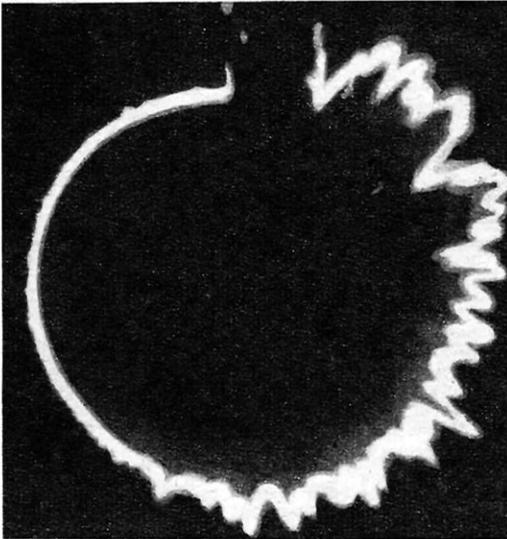
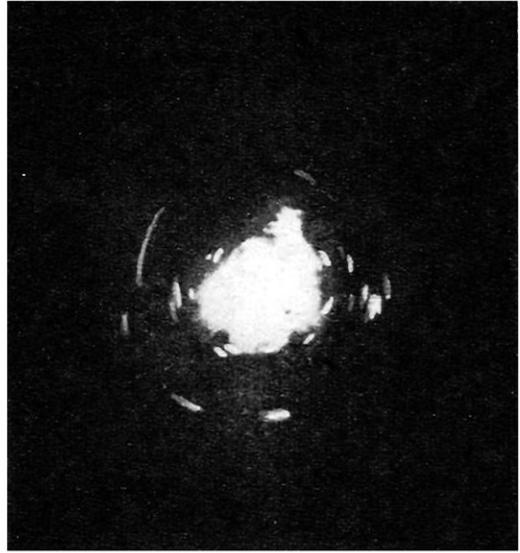
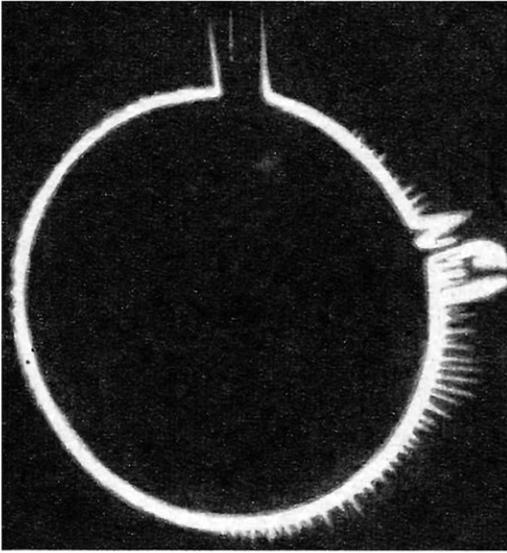
différente de celle du radar et en codant la réponse.

Ces balises sont fixes (balisage de chemins, aéroports...) ou mobiles (postes pour parachutistes, destinés à encadrer un objectif).

Elles ont été employées dès 1940 par les Anglais sur les ondes de radar d'alors (vers 1 m 5) ; dans cette catégorie rentrent les célèbres balises légères « Eurêka ».

Ces balises ont été par la suite adaptées aux ondes décimétriques.

Les interrogateurs situés à bord peuvent être spécialement construits pour le travail avec les balises : on obtient alors les ensembles anglais « Rébecca-Eurêka ». Le « Rébecca », installé à bord de l'avion, comporte un émetteur à impulsions et un récepteur à deux antennes, dispositif qui permet de repérer la position angulaire de la balise par rapport à l'axe de l'avion.



L'EFFET D'UN BROUILLAGE SUR DEUX TYPES DE RADARS ALLEMANDS UTILISÉS PENDANT LA GUERRE

A gauche, avec un radar à balayage circulaire, les avions sont détectés normalement sur la droite du diagramme (en haut), tandis que le brouillage a pour effet de rendre tout repérage impossible (en bas). A droite, avec un radar panoramique, l'écran où s'inscrivent normalement les avions en vol (en haut) est complètement obscurci par les traces radiales dues au brouillage (en bas).

Ces postes permettaient l'identification des balises au sol jusqu'à 130 kilomètres avec une précision de 300 mètres en distance.

Les balises américaines AN/CPN6 sur trois centimètres sont faites pour travailler en liaison avec les radars HzS. Un codage de la réponse de la balise fait apparaître celle-ci sur le P.P.I. sous forme de taches lumineuses irrégulièrement espacées.

Dans cette catégorie on peut ranger les nombreux systèmes de balisage destinés aux avions pour l'approche sans visibilité des aérodromes et le contrôle d'atterrissage.

Les premiers comportent des balises qui

peuvent être déclenchées par interrogation et donnent les indications utiles à l'atterrissage (balises anglaises BABS, portée 30 km).

Dans le contrôle d'atterrissage, l'avion atterrit au moyen des instructions envoyées du sol par des opérateurs. Ceux-ci disposent de radars d'observation et de précision : ces derniers observent un avion donné et permettent, par liaison radiotéléphonique, de donner les indications nécessaires au pilote qui, en principe, n'a qu'à obéir pour arriver au sol dans de bonnes conditions : ces appareils sont bien au point et très sûrs ; ils amélioreront considérablement la sécurité

des communications lorsque tous les aérodromes en seront équipés ; c'est une question de temps et de travail, mais aussi de bonne volonté internationale car l'équipement doit être standardisé dans le monde entier si on veut à la fois réduire son prix de revient et gagner la confiance des utilisateurs.

Dans la navigation à grande distance, jusqu'à 1 000 kilomètres par exemple, les systèmes employés s'apparentent encore au radar, mais s'en écartent cependant assez pour qu'une description assez longue soit nécessaire, que nous ne pouvons entreprendre ici.

LA DÉFENSE ANTIRADAR

Le problème de la protection contre le radar se pose au point de vue militaire.

Peut-on se défendre efficacement contre cette arme redoutable ? On peut penser soit à le brouiller, soit à éliminer les réémissions d'ondes qui constituent l'écho. Les deux méthodes ont été essayées.

Le brouillage peut être effectué par des stations très puissantes, émettant sur l'onde même des radars. Ces émissions ont pour effet de noyer les images reçues sur les indicateurs dans un fond continu intense. Cette

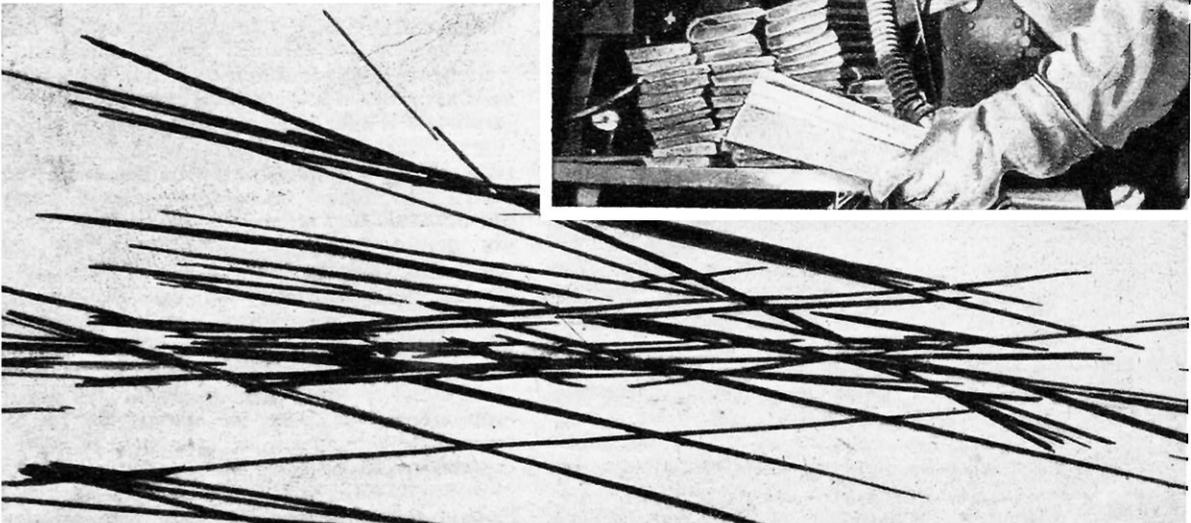
méthode est applicable sur ondes décimétriques, et encore avec difficulté ; mais sur ondes centimétriques, l'état actuel de la technique rend la méthode à peu près inopérante, car la puissance qui serait nécessaire aux brouilleurs ne peut être atteinte.

Le brouillage peut être obtenu par un moyen qui rend confuse la position radio-électrique du mobile ; il suffit pour cela d'environner l'avion d'un nuage de bandes métalliques plus ou moins éloignées. Les Parisiens connaissent bien ces languettes de papier métallisé qui jonchaient les rues après les alertes suivies d'effets. Ce mode d'action est assez efficace et des navires alliés dans l'Adriatique en ont subi les effets, des avions allemands ayant pu déjouer la surveillance des radars par ce moyen.

Enfin, les Allemands ont tenté de recouvrir leurs sous-marins de substances absorbantes pour les ondes de radar, dans l'espoir d'annihiler les échos. En fait, cette méthode très onéreuse est difficile à employer — il faut des centimètres d'épaisseur de matières spéciales — et peu efficace. Une absorption de 90 % (résultat très difficile à obtenir) réduit la portée de moitié seulement environ et une absorption de 99 %, impossible à

A bord d'un bombardier américain, un membre de l'équipage s'apprête à lancer les paquets de paille d'aluminium pour brouiller les radars ennemis. Chaque paquet contient plusieurs milliers de petits dipôles d'aluminium (ci-dessous).

Petits dipôles d'aluminium destinés à brouiller les radars allemands sur la longueur d'onde desquels ils étaient accordés, leur longueur étant égale à la moitié de la longueur d'onde utilisée par les radars. Sur la France, les Alliés utilisaient souvent de simples bandes de papier métallisé.





LE RADAR DE LA « PETITE AMÉRIQUE » LORS DE LA RÉCENTE EXPÉDITION AMÉRICAINE DANS L'ANTARCTIQUE

Le radar a été employé sur une très grande échelle au cours de l'expédition polaire, tant à terre que sur les navires ou sur les avions. Il a servi en particulier à la détection des icebergs, dont les plus grands, jusqu'à 60 m de haut, pouvaient être repérés jusqu'à 40 km de distance, tandis que les gros glaçons apparaissaient sur les écrans, conjugués avec une antenne à 30 m de hauteur, jusqu'à 13 km de distance par mer calme. Des icebergs ont été décelés à 30 km au milieu d'une tempête de neige. Grâce au radar mettant en évidence les chenaux libres dans la banquise, de nombreuses fausses manœuvres ont pu être évitées, les hydravions étaient guidés vers des plans d'eau libres de glace; le dessin des côtes cachées par le brouillard pouvait être relevé et les ballons de sondage météorologique équipés de réflecteurs tétraédriques tels que celui présenté sur la page 157 étaient suivis jusqu'à 50 km et plus. L'installation ci-dessus était celle d'un radar de surveillance d'aérodrome, près de la piste aménagée au voisinage de la Baie des Baleines, capable de suivre le vol des avions dans un rayon d'une quarantaine de kilomètres.

réaliser aujourd'hui, la réduirait au tiers : ce n'est pas intéressant avec les portées des radars modernes.

On peut conclure de cette brève esquisse que, au moins dans l'état actuel de la technique, l'efficacité du brouillage du radar est très faible.

AVENIR DU RADAR

Nous avons constaté que les progrès du radar ont suivi ceux obtenus dans la production de longueurs d'ondes plus courtes. Nous nous sommes arrêtés à trois centimètres, étape officielle atteinte à la fin de la guerre. Il apparaît techniquement utile de descendre encore, par exemple au millimètre.

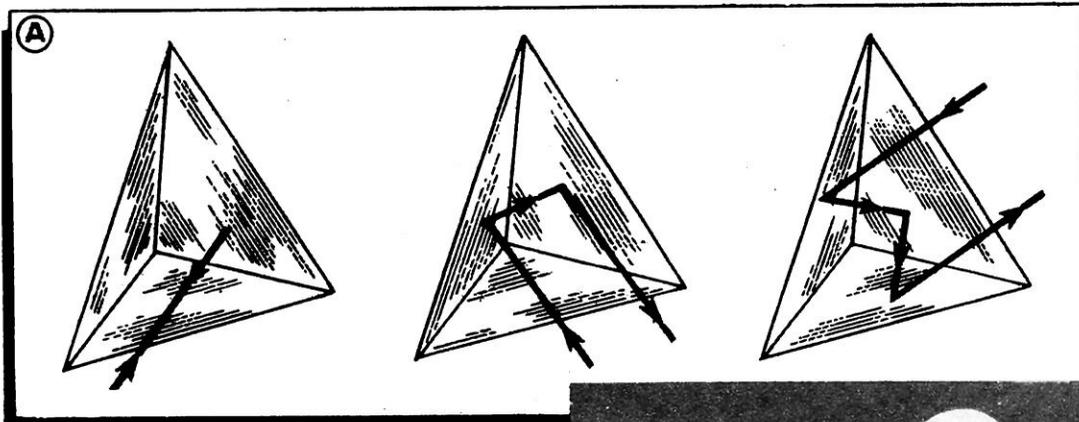
Mais une difficulté nouvelle se présente dans ce domaine, invaincue encore : au-dessous de trois centimètres, les ondes sont déjà absorbées par l'atmosphère : la bande des ondes voisines de 1 cm 8, par exemple, ne passe plus. Il est heureusement probable que, comme en optique, ces absorptions ne toucheront pas toutes les longueurs d'onde, et on pourra peut-être trouver des ondes utilisables : c'est néanmoins une difficulté importante et de nombreuses recherches sont en cours sur la question.

Ce phénomène ouvre d'ailleurs au radar un nouveau domaine d'applications, la détection des masses responsables de l'absorption, telles que les nuages, les brouillards, etc. Les zones orageuses, par exemple, sont très nettement détectées par les ondes de trois centimètres.

Enfin, il est certain que les développements des appareils eux-mêmes tendront à une plus grande sécurité de fonctionnement.

Il ne faut pas oublier que tous ces appareils sont nés des nécessités de la guerre ; il importait d'aller vite et, en guerre, les facteurs sécurité et prix peuvent être quelque peu négligés. Il n'en est plus de même en temps de paix. Beaucoup d'entre nous ont observé que, même en ce temps de radar, les avions commerciaux restent au sol par temps bouché. Il y a encore beaucoup de travail à fournir pour que les radars, complétés par un équipement approprié au sol, permettent une navigation aérienne ou même maritime entièrement sûre.

Ce sont là quelques exemples de développements modernes en matière de radar, mais cette apparence de maturité, ce développement lent et majestueux d'une technique déjà sûre, ne doivent pas faire oublier l'existence de recherches plus romantiques où de nombreux savants et ingénieurs

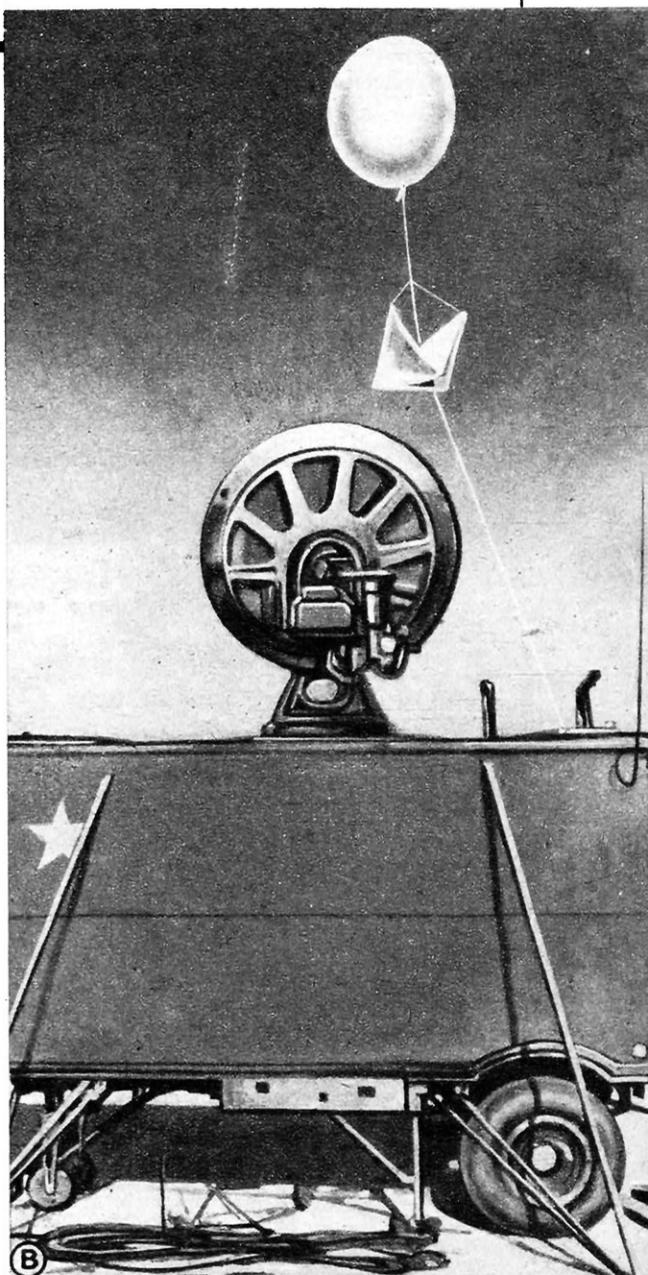


A. L'élément de base d'un réflecteur à cornets « un tétraèdre rectangle renvoie dans sa direction d'origine toute radiation émanant d'un point à l'intérieur de l'angle. Plusieurs éléments semblables peuvent être groupés pour recevoir et renvoyer les ondes provenant de toutes les directions. De tels dispositifs peuvent être montés sur des bouées qui peuvent ainsi être repérées au radar.

B. Le radar et la météorologie. Ce radar mobile sur 11 cm de longueur d'onde peut relever la trajectoire d'un ballon sonde à travers les nuages ou dans l'obscurité jusqu'à près de 100 km de distance. On remarquera le réflecteur à cornets tétraédriques emporté par le ballon-sonde et qui renvoie les échos dans la direction de l'émetteur, augmentant ainsi grandement la portée du radar.

s'efforcent à entrevoir la forme du radar de demain. Alors, bateaux et avions seront peut-être relégués, comme aujourd'hui les majestueux carrosses de nos aïeux, et les voyages pacifiques comme les raids destructeurs ne dureront que quelques minutes grâce à l'emploi des fusées. Ces engins, dont la première réalisation industrielle fut la V-2 allemande de sinistre mémoire, sont d'une rapidité si grande que les radars les plus modernes sont de peu de secours contre eux : 10 minutes seulement séparaient le départ du coup de l'arrivée du projectile en Angleterre, et il n'était possible que de détecter la menace dès l'origine sans pouvoir y remédier ; un si court délai ne donnait aucun moyen de parer le coup.

Dans l'avenir, les fusées iront plus vite et plus loin, et lorsqu'elles franchiront les océans, ou les continents, ou les distances interplanétaires, le radar ne pourra permettre d'en contrôler la marche ou d'en combattre les effets que si l'on décuple sa portée et sa vitesse de réaction : ce sera peut-être l'une des premières applications des nouvelles machines à calculer électroniques, de servir de « cerveau électronique » ultrarapide aux radars de l'avenir et de leur permettre d'asservir la marche et la vie des fusées à la volonté humaine.



CHAUFFAGE ÉLECTRONIQUE

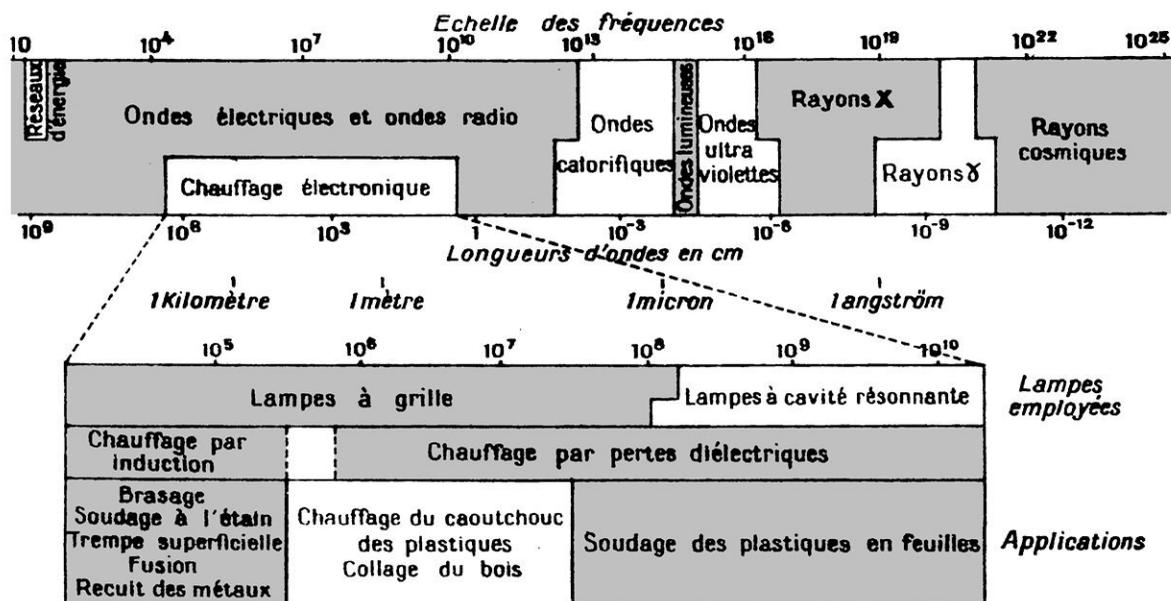
On désigne sous le nom de « chauffage électronique » le mode de production de la chaleur qui utilise les propriétés du courant alternatif de haute fréquence parcourant des circuits oscillants. Il n'y a aucune différence de principe entre un émetteur de radiodiffusion et un générateur de chauffage électronique, qui n'est qu'un émetteur simplifié, réduit à la partie haute fréquence. La diffusion de l'énergie ne se fait plus par une antenne mais par un organe de chauffage. Le chauffage électronique, qui s'oriente vers l'utilisation de fréquences de plus en plus élevées, allant jusqu'à mille millions de cycles, trouve des applications extrêmement variées, en métallurgie, dans l'industrie des plastiques et des isolants et jusque pour la cuisson des aliments. Son extraordinaire souplesse lui permet de remplir les tâches les plus diverses avec une rapidité extrême et une précision inégalée.

CHACUN connaît les procédés classiques de chauffage par convection, par conduction, par rayonnement : dans tous ces procédés, la chaleur se propage de l'extérieur vers l'intérieur des corps à travers leur surface. L'utilisation, relativement récente, des courants de haute fréquence, a donné naissance à un nouveau procédé dans lequel la chaleur est engendrée dans la masse même des corps.

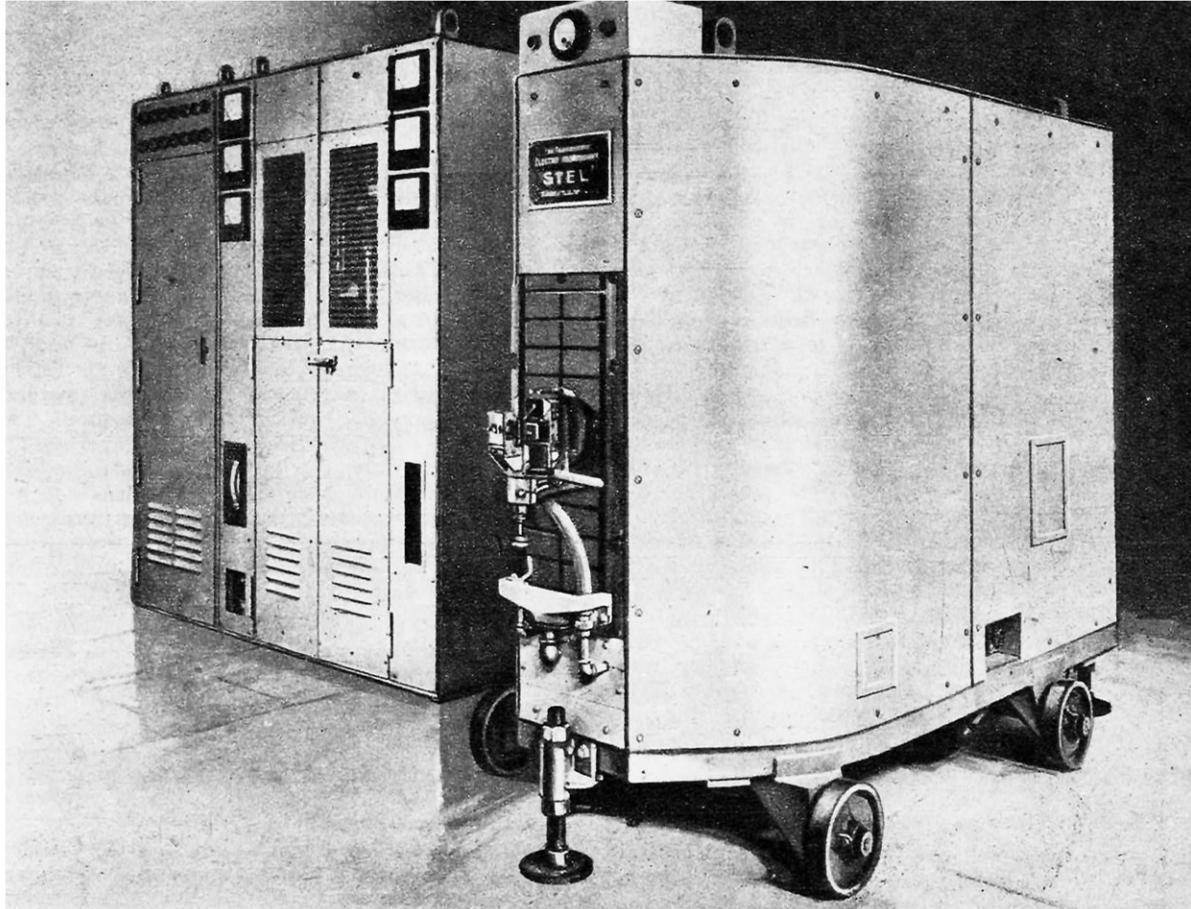
Ce procédé s'applique d'une part aux corps conducteurs, qu'on chauffe par induction en les plaçant dans un champ magnétique variable, d'autre part aux corps non conduc-

teurs, qu'on chauffe par pertes diélectriques en les plaçant dans un champ électrique variable.

Chauffage par induction et chauffage par pertes diélectriques sont dits « électroniques » quand la puissance oscillante nécessaire à l'entretien du champ variable, magnétique ou électrique, est fournie par un générateur à tubes à vide, analogue aux générateurs classiques de T.S.F. ou de radar. Toutefois, ici, l'énergie à haute fréquence produite, au lieu d'être rayonnée dans l'espace par une antenne, est transmise au corps à chauffer (ou charge) par un organe d'utilisation, inducteur ou électrodes.



Spectre électromagnétique, montrant la position des ondes utilisées dans le chauffage électronique par rapport aux autres formes d'énergie radiante. (La partie inférieure de la figure est l'agrandissement du secteur « chauffage électronique » et montre la répartition schématique de ses différentes applications en fonction de la fréquence.)

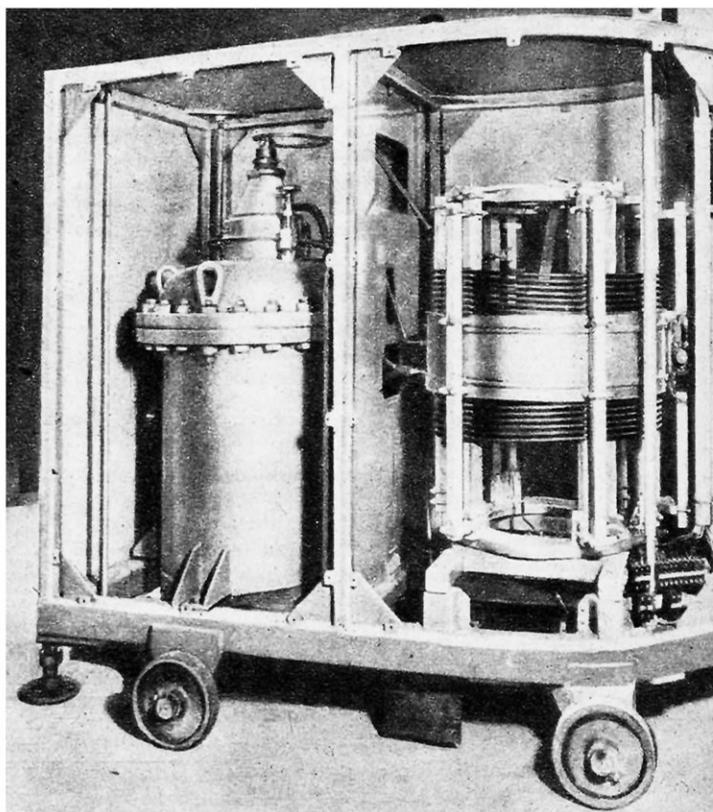


GÉNÉRATEUR DE CHAUFFAGE PAR INDUCTION, HAUTE FRÉQUENCE, PUISSANCE 100 KW

Ce générateur, utilisé principalement pour la trempe superficielle, débite un courant de fréquence 350 000 cycles dont l'intensité peut atteindre 2 000 ampères. A gauche, le meuble contenant les lampes, alimenté en courant continu par un redresseur à vapeur de mercure; il fournit les impulsions haute fréquence nécessaires à l'entretien du courant oscillant dans le circuit oscillant du meuble de trempe, que l'on voit ici à droite. Sur la face avant du meuble de trempe, sont disposées les bornes de fixation de l'inducteur (STEL).

MEUBLE DE TREMPÉ DU GÉNÉRATEUR PRÉCÉDENT DE 100 KW (VUE INTÉRIEURE)

Dans ce meuble sont groupés, sur la gauche, le condensateur, et sur la droite la self à spires multiples constituant les éléments du circuit oscillant principal du générateur de chauffage. Cette self forme le primaire d'un transformateur dont le secondaire, possédant une spire unique, est constitué par la bande de tôle de cuivre visible autour de la self, au milieu de cette dernière. Le circuit du secondaire de ce transformateur se ferme sur l'enroulement inducteur servant au chauffage des pièces métalliques (STEL).



Dans le *chauffage par induction*, l'inducteur, généralement constitué par quelques spires métalliques reliées aux bornes du générateur, est placé au voisinage immédiat du corps conducteur à chauffer. Celui-ci devient le siège de courants induits qui engendrent de la chaleur par effet Joule. Ces courants sont localisés dans la couche superficielle de la charge, à une profondeur d'autant plus faible que leur fréquence est plus élevée.

Dans le *chauffage par pertes diélectriques*, le corps isolant à chauffer est placé entre deux électrodes, constituées par des plaques métalliques reliées aux bornes de sortie du générateur. La charge constitue ainsi le diélectrique d'un condensateur. Ce diélectrique n'étant pas parfait, tout se passe comme s'il était traversé par un courant qui dégagerait de la chaleur au sein de la masse.

L'intensité de ce courant dépend de la nature de la charge, (caractérisée par un facteur de perte) et de ses dimensions, de la tension entre électrodes et de la fréquence. C'est en jouant sur cette dernière que l'on augmentera le plus aisément la puissance absorbée.

DONNÉES HISTORIQUES

Le chauffage par induction. — Le chauffage par induction est antérieur à l'apparition des générateurs à lampes. Les principes sur lesquels il est fondé sont connus depuis longtemps. Les premiers brevets qui s'y rapportent datent de 1885. Les fréquences prévues étaient alors très faibles.

Dès juillet 1905 cependant, les Etablissements Schneider prennent un brevet prévoyant l'emploi de courants de fréquence 100 000 cycles (périodes par seconde) sans d'ailleurs indiquer la nature du générateur.

En août 1916, dans un laboratoire de l'Université de Princeton, aux Etats-Unis, le professeur Northrup obtient la fusion par induction à haute fréquence d'un lingot métallique.

Les recherches sont reprises en France aussitôt la paix revenue. En 1923, le professeur Ribaud, alors à la Faculté des Sciences de Strasbourg, publie une théorie des phénomènes, confirmée par l'expérience, alors que celle du professeur Northrup, ébauchée vers la même époque, se révèle inexacte.

Dans les premières applications, on utilise des fréquences de 1 000 à 50 000 cycles, engendrées par des alternateurs ou des éclateurs ; ceux-ci, constamment améliorés pour satisfaire aux besoins des postes émetteurs de T.S.F., deviennent vers 1926 assez robustes pour que le chauffage par induction soit appliqué industriellement à la fusion et à l'élaboration des aciers de qualité. Lorsque la seconde guerre mondiale éclate, la plupart des producteurs français d'acier à outils ont remplacé leurs fours à creuset par des fours haute fréquence. Aux Etats-Unis, dès 1936, les applications du chauffage par

courants de haute fréquence s'étendent à la trempe superficielle et au brasage. La théorie et l'expérience mettent en évidence l'intérêt des fréquences élevées et des fortes puissances que seuls peuvent fournir les *générateurs électroniques*, également mis au point pour l'émission de T.S.F. A partir de 1940, l'effort de guerre fait connaître à ces procédés nouveaux un développement prodigieux, tant aux Etats-Unis qu'en Angleterre. La France envahie ne peut en apparence suivre le progrès. Néanmoins, malgré le danger, les recherches continuent en secret si bien que, dès la Libération, apparaît sur le marché un générateur à lampes de 100 kW (Stel). Aujourd'hui, l'industrie française, malgré les difficultés dues aux restrictions d'énergie et de matières premières, est en mesure de satisfaire la totalité des besoins nationaux.

Le chauffage par pertes diélectriques.

— Le phénomène qui est à la base du chauffage par pertes diélectriques, l'échauffement des isolants placés dans un champ électrique à variations rapides, a été décelé par Siemens dès 1864 ; il n'a pas été plus tard sans gêner beaucoup les constructeurs d'appareils de T.S.F., par les pertes d'énergie qu'il provoque.

Ce sont deux Français, MM. Henri Leduc et René Dufour, qui, en 1935, utilisent les premiers les pertes diélectriques pour le chauffage du caoutchouc et des plastiques. Bientôt, suit le chauffage du verre, aux fins de soudage des lampes de T.S.F. et des oscillographes cathodiques (Mazda, Thomson).

Ces nouvelles techniques se développent dans les fabrications de guerre aux Etats-Unis, où les brevets français trouvent de nombreuses applications : moulage des plastiques et collage du bois (avions de Havilland « Mosquito », avions écoles), par exemple.

En France, la progression est ici aussi arrêtée pendant les années d'occupation mais, comme pour les générateurs de chauffage par induction, de construction d'ailleurs très voisine, la fabrication des générateurs de chauffage par pertes diélectriques est entreprise dès la Libération.

PROPRIÉTÉS DU CHAUFFAGE ÉLECTRONIQUE

Les propriétés communes au chauffage par pertes diélectriques et au chauffage par induction sont les suivantes :

L'énergie électrique étant transformée en chaleur *au sein même de la charge*, la température que peut atteindre celle-ci n'est limitée que par la puissance mise en œuvre et l'importance des pertes.

Le rendement énergétique (rapport de l'énergie absorbée par la charge à l'énergie prélevée à la source extérieure, ici le secteur électrique) est de l'ordre de 0,5 ; l'énergie



ASSEMBLAGE DE RADIATEURS PAR SOUDURE A L'AIDE DE GÉNÉRATEURS DE 20 KW, 9 600 CYCLES

On voit ici une batterie de six générateurs, réglés par groupes de deux pour la fabrication de trois types de radiateurs. Dans chaque groupe, le premier soude la partie inférieure et le second la partie supérieure. L'opérateur se borne à disposer les pièces détachées dans l'appareil et à appuyer sur la pédale qui met en marche l'appareil. Le cycle de chauffage dure 30 secondes et le courant est alors coupé automatiquement. La qualité de la soudure est considérablement améliorée par rapport aux résultats obtenus par les procédés habituels, et surtout constante. Le gain de temps réalisé est considérable : 28 radiateurs complets par heure et par opérateur, contre 10 avec l'assemblage à la main (International Harvester).

basse fréquence du secteur est en effet transformée dans le générateur en énergie haute fréquence avec un rendement de 0,6, l'énergie haute fréquence en chaleur avec un rendement d'environ 0,9, indépendant de la température de la charge.

Les vitesses d'échauffement obtenues sont largement supérieures à celles des autres procédés.

Il n'y a pas de contact entre la charge et l'organe d'application de l'énergie, électrode ou inducteur. Il est donc possible de chauffer « au défilé » des pièces en mouvement.

Ces deux dernières propriétés constituent d'importants *facteurs d'économies* parce qu'elles permettent de réduire la quantité de main-d'œuvre et la durée d'immobilisation des pièces en cours de fabrication.

Les opérations de chauffage peuvent être étroitement contrôlées : en jouant sur la puissance mise en œuvre, la fréquence, le temps de chauffage, la forme de l'organe d'utilisation et la position par rapport à la charge, il est possible de donner à la zone chauffée et à la répartition des températures telle forme que l'on désire.

Par ailleurs, la charge peut être placée dans une enveloppe isolante dans laquelle

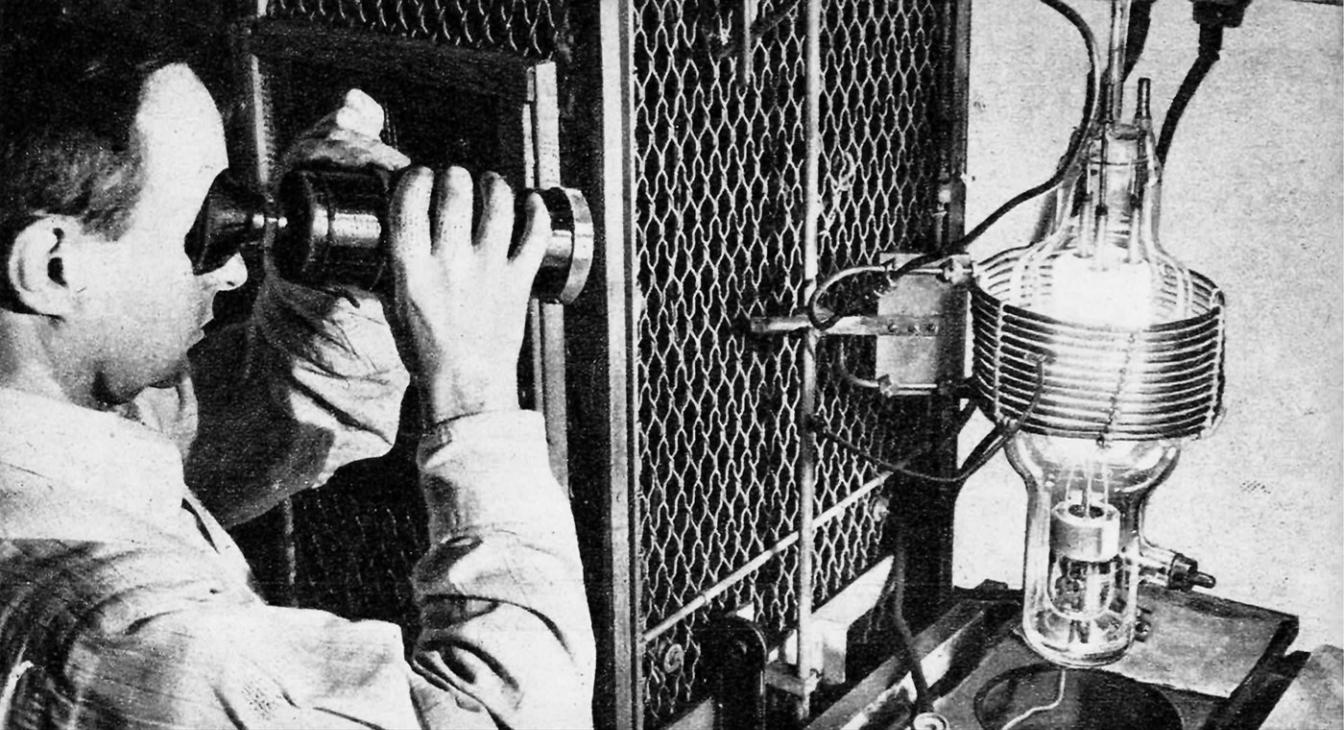
on a fait le vide, ou introduit une atmosphère artificielle.

CARACTÉRISTIQUES DU CHAUFFAGE PAR INDUCTION

Les principales caractéristiques propres au chauffage par induction sont les suivantes :

— Le dégagement de la chaleur n'intervient qu'au droit de l'inducteur (localisation en surface) et peut ne s'effectuer que dans une couche d'épaisseur donnée (*effet de peau*) localisation en profondeur ; le chauffage par induction permet seul — en jouant sur la fréquence, la puissance et la durée du chauffage, — de chauffer à volonté à cœur ou en surface ;

— Les densités de puissance réalisées sont importantes : elles atteignent, suivant les applications, de 200 à 2 500 watts/cm² ; et peuvent être poussées à 20 000 watts/cm² — (à titre de comparaison la densité de puissance maximum donnée par un four à rayonnement n'atteint pas 150 watts/cm² ; la plus puissante source de chaleur par combustion connue, le chalumeau oxyacétylénique, donne 2 000 watts/cm², mais seulement dans les quelques millimètres carrés de la pointe du dard) ;



EXEMPLE D'APPLICATION DU PROCÉDÉ DE CHAUFFAGE ÉLECTRONIQUE DANS LA FABRICATION DES TUBES DE RADIO

Les courants de haute fréquence parcourant l'enroulement solénoïdal inducteur portent l'anode du tube placé dans l'axe à haute température et provoquent l'expulsion des gaz qui sont occlus dans le métal. L'opérateur surveille la température atteinte à l'aide d'un pyromètre optique (Amperex).

— La fréquence mise en œuvre peut varier entre 15 000 et un million de cycles, généralement entre 200 000 et 500 000, ce qui correspond à des longueurs d'onde comprises entre 1 500 et 600 mètres.

APPLICATIONS DU CHAUFFAGE PAR INDUCTION

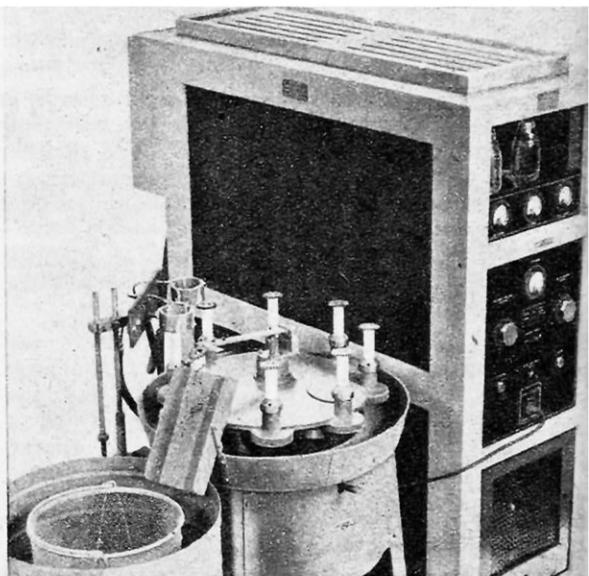
Certaines applications de chauffage par induction, telles que le chauffage de masses

importantes en vue du forgeage ou de la fusion, ne ressortissent pas généralement du chauffage électronique. Par contre, le chauffage électronique est adopté chaque fois que l'on recherche un effet à la fois puissant et localisé.

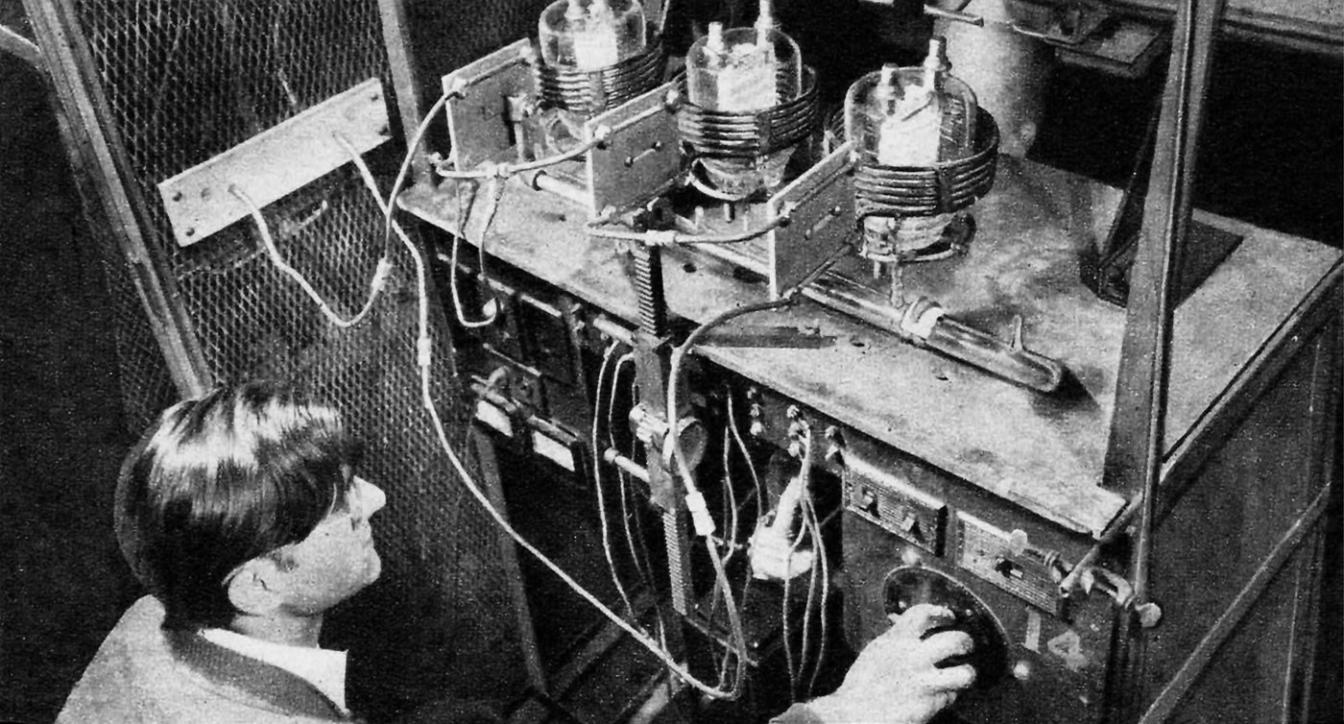
Trempe superficielle. — Une proportion de 70 à 80 % de la puissance installée en générateurs à lampes dans l'industrie française est utilisée à la trempe superficielle ; c'est-à-dire que celle-ci constitue l'une



Face avant d'un générateur à induction de 20 kilowatts pour la trempe superficielle (STEL).



Générateur à haute fréquence de 18 kW pour trempe superficielle (« S » Corr. Q. Gap Co.)



DÉGAGEMENT DES ÉLECTRODES DE TUBES DE RADIO PAR CHAUFFAGE PAR COURANTS DE HAUTE FRÉQUENCE

Les pièces métalliques logées dans le tube sont portées à haute température lorsque le courant à fréquence élevée parcourt l'enroulement inducteur qui entoure le tube. Les gaz occlus dans le métal se dégagent et sont évacués au cours de l'opération par une pompe à diffusion d'huile (Amperex).

des principales applications du chauffage électronique par induction.

Le matériel nécessaire comprend le générateur, d'une puissance comprise entre 10 kW et 200 kW (1) et un inducteur spécial pour chaque type de pièces. L'inducteur est constitué par un tube de cuivre rouge

(1) Rappelons que la puissance indiquée pour un générateur électronique est la puissance haute fréquence qu'il est susceptible de fournir aux bornes de l'organe d'utilisation.

d'une forme appropriée à la pièce à traiter — enroulé en hélice de quelques spires, si la pièce est d'allure générale cylindrique — et refroidi par circulation d'eau.

Le mode opératoire est le suivant : le générateur débite pendant une durée rigoureusement contrôlée, comprise entre quelques centièmes de seconde et quelques secondes. L'échauffement résultant permet d'atteindre une température précise qui affecte une zone d'épaisseur déterminée. Le refroidissement



Générateur à induction de 20 kW pour traitement superficiel des pignons (Allis Chalmers).

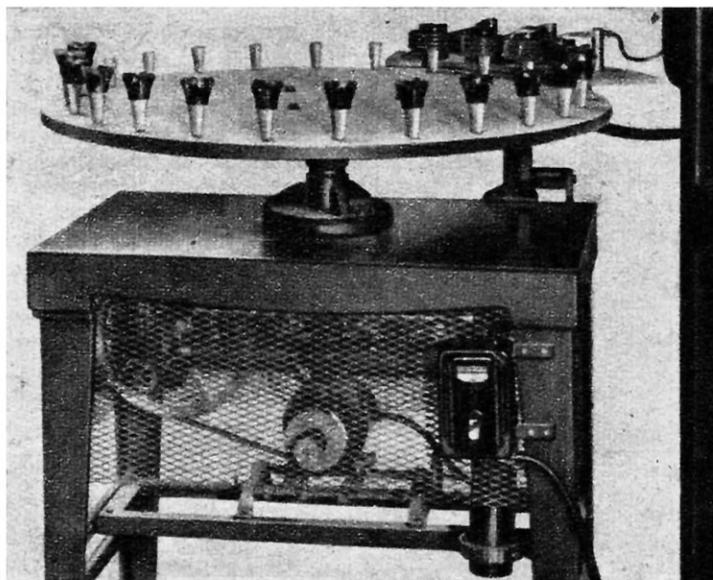
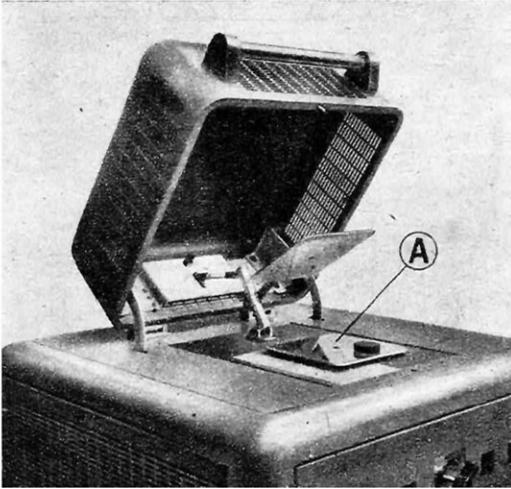


Table tournante pour durcissement superficiel par haute fréquence. (« S » Corr. Q. Gap. Co.).



GENERATEUR DE CHAUFFAGE PAR PERTES DIÉLECTRIQUES DE 2 500 WATTS (PARTIE SUPÉRIEURE)

Ce générateur est destiné au chauffage des préformes. Le bloc de poudre à mouler est placé sur la plaque A qui, reliée à la masse, constitue l'une des électrodes. L'autre électrode, reliée à la borne haute tension du circuit oscillant est mobile; son mouvement est commandé par le couvercle dont la fermeture provoque l'application de la haute fréquence au bloc à chauffer. Le chauffage commence. Un relai à temps coupe automatiquement le courant lorsque le chauffage est terminé. La manette fixée sur la face avant du meuble sert à commander le démarrage du générateur (STEL).

intervient aussitôt : la pièce peut être projetée dans un bain de trempe, eau ou huile, mais elle est le plus souvent soumise à une douche d'eau pulvérisée. (Si l'appareil à douche est combiné avec l'inducteur et arrose la pièce en position de chauffage, on dit qu'il y a *trempe en place* ; si, pendant le chauffage, la pièce se déplace d'un mouvement continu à travers l'inducteur et passe ensuite à travers l'appareil à douche, on dit qu'il y a *trempe au défilé*). On obtient ainsi, à la surface de la pièce, une couche durcie mince, bien homogène et bien accrochée à l'« âme » par une couche de transition régulière ; plus n'est besoin de la cémentation lente, malpropre, beaucoup plus coûteuse et qui nécessite l'emploi d'aciers spéciaux. La trempe superficielle électronique se contente d'aciers ordinaires à 0,4-0,5 % de carbone.

Le durcissement superficiel de dentures d'engrenages ou de roues à chaînes, de portées d'arbres ou de vilebrequins, d'axes de piston, de filets de vis sans fin, de tarauds, est couramment obtenu par la trempe électronique.

Brasage par induction. — Le brasage est un procédé d'assemblage des métaux déjà ancien. L'emploi de plus en plus répandu des brasures à l'argent, fondant vers 600°, et dont la résistance à la traction dans le joint

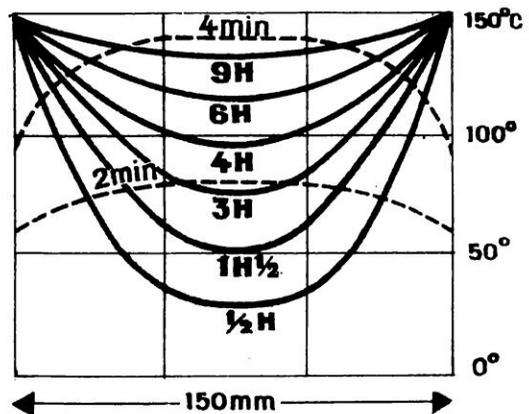
atteint 90 kg/mm² (dépassant ainsi celle des pièces à unir) lui a conféré une importance croissante. C'est ainsi que l'ingénieur peut remplacer des pièces complexes, prises dans la masse et laborieusement usinées, par des assemblages d'éléments simples et peu coûteux. Le chauffage par induction permet de profiter pleinement des avantages du brasage à l'argent et de réaliser l'opération dans des conditions de précision et de rapidité exceptionnelles.

Le mode opératoire est le suivant : les pièces à unir ayant été soigneusement nettoyées, on place dans le joint, préalablement enduit d'un flux décapant, ou à son voisinage immédiat, une rondelle de brasure qui est toujours de poids minimum (0,05 g/cm²). Puis l'ensemble est approché d'un inducteur de forme appropriée, à travers lequel on fait passer un courant haute fréquence, pendant le temps convenable (cinq à vingt secondes en général). La brasure entre alors en fusion et remplit par capillarité les interstices du joint. Les parties adjacentes ne sont pas chauffées, donc elles ne peuvent se déformer ni s'oxyder et leurs propriétés mécaniques ne sont pas altérées.

La production peut être considérable. Ainsi, un générateur de 3 kW peut souder, à l'heure, 3 000 boîtiers de condensateurs défilant sur un petit transporteur à courroie, desservi par une ouvrière : il faudrait dix ouvrières pour assurer la même production par les méthodes classiques.

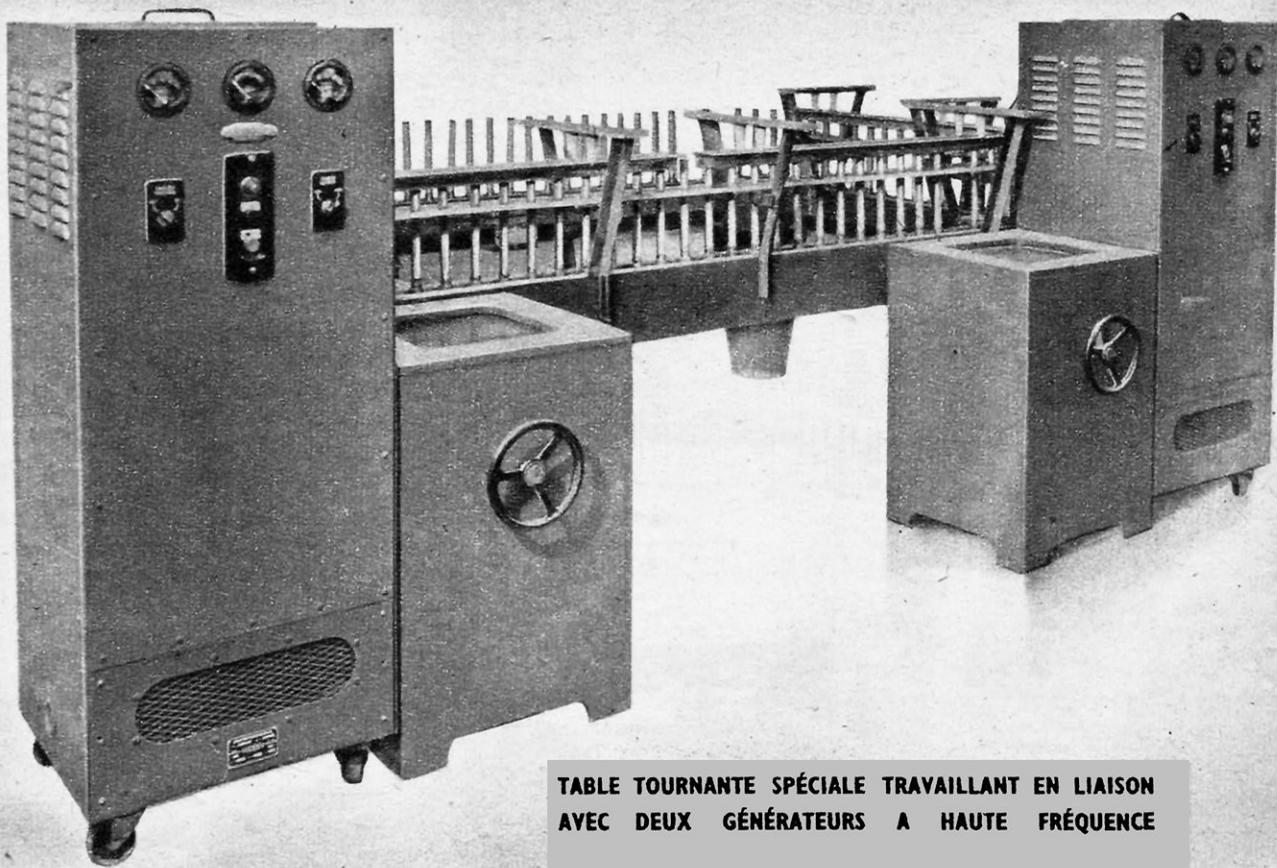
AUTRES APPLICATIONS DU CHAUFFAGE PAR INDUCTION

Le chauffage électronique par induction a reçu bien d'autres applications. Enumérons seulement quelques-unes d'entre elles :



ISOTHERMES TRACÉS, A DIFFÉRENTS INSTANTS, DANS UNE PLAQUE DE SAPIN DE 150 MM D'ÉPAISSEUR

En traits continus : Chauffage entre deux plateaux chauffants maintenus à 150°; en pointillé : chauffage par pertes diélectriques. La température de 140° à cœur, atteinte dans le premier cas en 9 heures, l'est dans le second en 4 minutes.



**TABLE TOURNANTE SPÉCIALE TRAVAILLANT EN LIAISON
AVEC DEUX GÉNÉRATEURS A HAUTE FRÉQUENCE**

Elle est utilisée ici pour l'imprégnation par des résines synthétiques de bobines de papier destinées à l'industrie textile. Les deux générateurs assurent successivement, par pertes diélectriques, le chauffage et le séchage des bobines qui sont amenées par le transporteur (« S » Corrugated Quenched Gap Co.).

- agglomération des métaux en poudre, des carbures durs frittés ;
- dégazage des lampes de radio ;
- soudure métal sur verre ou métal sur céramique ;
- chauffage de laboratoire ;
- fusion en petite quantité de métaux réfractaires dans des creusets isolants, ou de matières non conductrices dans des creusets conducteurs, etc., etc.

CARACTÉRISTIQUES DU CHAUFFAGE PAR PERTES DIÉLECTRIQUES

Les caractéristiques propres au chauffage par pertes diélectriques sont les suivantes :

- le courant, uniforme si l'épaisseur est uniforme, provoque un dégagement de chaleur uniformément dans toute la masse de la charge supposée homogène. Tous les points de celle-ci se trouvent portés en même temps à la même température ;
- les densités de puissance pratiquement réalisées sont de l'ordre de 1 à 7 watts/cm² et permettent d'obtenir des échauffements de 0,5° à 5° par seconde, plus grands qu'avec tout autre procédé ;
- le dégagement de chaleur peut être étroitement localisé, ou bien s'effectuer de

manière sélective pour des objets hétérogènes comportant des zones de caractéristiques diélectriques variées ;

- les fréquences mises en œuvre varient entre 5 et 30 millions de cycles (longueur d'onde de 50 à 10 m) et atteignent parfois 200 millions de cycles (longueur d'onde 1,5 m).

En France, 17 % de la puissance installée en générateurs électroniques est utilisée au chauffage par pertes diélectriques.

APPLICATIONS DU CHAUFFAGE PAR PERTES DIÉLECTRIQUES

Moulage des matières plastiques. — Le chauffage des matières plastiques avant moulage a pour objet de :

- donner aux matières plastiques une plasticité suffisante pour leur permettre d'épouser tous les détails des moules sous l'effet d'une pression modérée ;
- provoquer en outre, dans les matières thermodurcissables, le durcissement irréversible de la matière.

Les procédés classiques de chauffage, agissant par conduction, ne permettent de traiter que des pièces de formes simples et d'épaisseurs réduites. Appliqués à des masses épaisses, ils provoquent l'altération de la surface, par décomposition ou par



FOUR ÉLECTRONIQUE POUR LE CHAUFFAGE DE PLATS CUITS À L'AVANCE ET CONSERVÉS AU FRIGORIFIQUE

En 75 secondes, ils sont portés à 70°. La puissance du four est la même que celle d'une cuisinière électrique domestique. La durée du chauffage est réglée par une aiguille que l'on amène sur le chiffre voulu. L'opérateur place un repas dans la fente à la partie supérieure et appuie sur une pédale qui met en marche l'oscillateur. Au bout du temps fixé au préalable, celui-ci s'arrête automatiquement et la fente s'ouvre.

pour beaucoup d'applications, on s'orientera pour d'autres vers l'utilisation de fréquences de l'ordre de 1 000 millions de cycles, engendrées par les nouveaux tubes créés pour le radar : magnétron, resnatron, klystron. Ces tubes sont au point, mais l'augmentation de la fréquence pose de nouveaux problèmes : il est nécessaire de remplacer pour la *transmission de l'énergie*, les câbles ordinaires employés au-dessous du million de cycles, et les câbles coaxiaux employés jusqu'à 600 millions de cycles par des tubes creux conducteurs, à l'intérieur desquels se propagent les ondes électromagnétiques.

L'*organe d'application* n'est plus constitué par deux plaques parallèles, mais par une chambre close où la matière à chauffer subit l'action des ondes, ou par un diffuseur placé à l'extrémité d'une canalisation souple

qui permet d'introduire l'énergie dans la matière au point voulu.

Les « cuisinières-radar » mises récemment en service dans les avions et wagons-restaurants américains pour le réchauffage des plats congelés, sont un premier exemple de réalisation dans ce domaine : ces cuisinières utilisent des fréquences de 600 millions de cycles (longueur d'onde 50 cm).

L'utilisation des ondes décimétriques permet d'envisager l'application du chauffage électronique à de nouveaux domaines tels que la fabrication du papier et le textile ; les recherches se poursuivent activement en France dans cette direction, et l'on peut espérer que notre pays, qui a apporté une inestimable contribution à la mise au point de ce mode de chauffage, sera également parmi les premiers à en promouvoir les perfectionnements.

durcissement, avant que l'intérieur soit suffisamment chaud. Le chauffage électronique permet d'amener rapidement et de façon homogène à la température et à la plasticité convenant au moulage toute la masse de matière à mouler.

L'accroissement du rendement des presses et l'amélioration de la qualité des produits qui en résultent sont tels qu'à l'heure actuelle, la plupart des mouleurs de plastiques emploient les générateurs électroniques.

Soudage des plastiques en feuilles.

— De nombreux objets en matières thermostables de formes complexes peuvent être économiquement fabriqués par assemblage d'éléments découpés dans des feuilles. Le collage de ces feuilles ne permet pas d'assurer la continuité de la matière, et la résistance du joint reste faible. Leur soudure autogène à chaud, effectuée par conduction, est lente et s'accompagne de surchauffes provoquant des déformations et des dépolymérisations qui affaiblissent et déparent les pièces.

Le chauffage électronique, utilisant des fréquences de 50 à 100 millions de cycles, permet de chauffer rapidement les surfaces à assembler et elles seules. En réglant convenablement la puissance utilisée, le temps de chauffage (quelques secondes) et la pression des électrodes, on obtient d'une façon quasi-automatique des soudures parfaites d'aspect et de résistance. C'est ainsi que sont fabriqués nombre d'objets tels que blagues à tabac, bonnets de bain, étuis à cigarettes, bouteilles à acide, etc.

Collage du bois. — Dans le collage du bois, on joue sur la différence entre la constante diélectrique du bois et celle de la colle, toujours plus élevée, pour chauffer sélectivement et directement celle-ci. L'opération est très rapide, elle dure quelques minutes, alors que les plaques chauffantes classiques, qui agissent sur la colle par convection à travers le bois, n'opèrent qu'en des temps se comptant par heures. On peut multiplier ainsi par dix le rendement des presses de collage, qu'elles soient utilisées à la fabrication de contreplaqués ou de panneaux massifs.

Soudage du verre. — Comme nous l'avons vu, c'est une des plus anciennes applications du chauffage électronique. A la température ambiante, le verre a un facteur de pertes très faible et chauffe mal par pertes diélectriques. On commence donc par un préchauffage par rayonnement ou par flamme, qui l'amène à la température de 200° ou 300° où le facteur de perte devient suffisant, et on chauffe alors par pertes diélectriques.

Ce procédé permet d'éviter les perturbations que les modes de chauffage classiques apportent à l'action des forces capillaires utilisées dans le soudage du verre. On obtient ainsi rapidement des soudures parfaites dans des ensembles com-

plexes tels que lampes de radio, oscillographes cathodiques, appareils de chimie... et sans porter à température élevée les appareillages métalliques qui y sont logés.

Cuisine électronique. — Les aliments contiennent une proportion d'eau élevée et ont par suite un grand facteur de perte qui permet leur échauffement rapide par pertes diélectriques. On peut mettre à profit cette propriété pour les cuire. Mais ce mode de cuisson bouleverse les recettes culinaires classiques, et ce n'est pas dans cette voie que s'engagent les « cuisiniers électroniques ».

On préfère, en effet, utiliser le procédé par pertes diélectriques au réchauffage de plats préalablement préparés par les méthodes classiques et congelés en vue de leur conservation. Au moment de servir, on place la portion entre deux électrodes. En un temps variant entre 30 et 120 secondes, elle est réchauffée uniformément, sans recuisson et sans altération du goût, effet que seul le chauffage électronique permet d'obtenir.

Les restaurants y trouvent l'avantage de pouvoir répartir le travail de préparation sur toute la journée, et d'éviter toutes pertes d'aliments non consommés ; la clientèle, celui de pouvoir choisir son menu, non sur une carte parfois trompeuse, mais dans une vitrine frigorifique où sont exposées les portions préparées, et d'être servi quasi-instantanément.

Autres applications du chauffage par pertes diélectriques. — Parmi les applications extrêmement variées de ce mode de chauffage, citons encore :

- vulcanisation du caoutchouc ;
- coagulation du latex, en particulier pour le filage des fils élastiques ;
- préparation des bois améliorés et densifiés ;
- stérilisation et désinsectisation des produits alimentaires, etc., etc.

AVENIR DU CHAUFFAGE ÉLECTRONIQUE

L'amélioration de la qualité des produits, la diminution du prix de revient auxquelles conduit l'emploi rationnel du chauffage électronique, expliquent le développement de ce procédé dans de nombreux domaines. Il est permis de penser que les recherches actuellement en cours et les perfectionnements qu'on peut atteindre dans la conception des générateurs permettront d'élargir encore le champ des applications où il se substituera peu à peu aux procédés anciens.

Dans le chauffage par induction, nous verrons probablement croître les puissances, ce qui permettra de mettre en œuvre des densités de puissance très élevées et de réduire à l'extrême la durée du chauffage.

Dans le chauffage par pertes diélectriques, tout en conservant les fréquences actuelles

LES ONDES COURTES EN MÉDECINE

par le Docteur SAUVEGRAIN

Alors que les Anciens ne connaissaient guère que le froid et la chaleur comme agents physiques capables d'une action thérapeutique, le médecin moderne possède un arsenal très varié de ces agents : rayons gamma, rayons X, ultraviolets, infrarouges, etc., et commence à connaître assez bien leurs effets sur l'organisme et les limites de leur pouvoir curatif. Le courant électrique, expérimenté il y a cent cinquante ans par Galvani et Faraday, peut être employé à faible intensité en courant continu pour provoquer certaines excitations neuro-musculaires. A très haute fréquence (d'Arsonvalisation), il semble établi qu'il n'agit que comme un moyen de chauffage développant une chaleur égale dans tous les organes. Cette technique a évolué vers l'emploi de fréquences de plus en plus élevées, et les appareils de haute fréquence médicale sont actuellement des générateurs d'ondes courtes d'environ six mètres, d'un emploi plus facile et moins dangereux que les appareils classiques de diathermie produisant des ondes moyennes (trois cents mètres)

C'EST vers 1800, à une époque où les phénomènes électriques étaient encore extrêmement mystérieux, que l'on commença à étudier les effets du courant électrique sur la matière vivante. Suivant que l'on employait du courant continu ou du courant alternatif, on parlait de *galvanisation* ou de *faradisation*.

Les effets physiologiques du courant continu ou du courant alternatif de fréquence peu élevée sont maintenant bien connus. Les courants exercent sur les nerfs et les muscles une action spécifique, une excitation, dont les effets sont parfois salutaires pour certaines affections nerveuses.

Cependant, si l'intensité que l'on envoie à travers l'organisme prend des valeurs trop élevées, il en résulte des accidents qui peuvent être mortels. Si nous soumettons un membre à l'action du courant continu, pour une intensité convenablement choisie, compte tenu de la disposition et de la forme des électrodes, et qui ne doit pas dépasser quelques dizaines de milliampères, nous obtenons une excitation des nerfs et des muscles qui se traduit par la contraction de ces derniers à chaque ouverture ou fermeture brusque du courant. Si nous augmentons l'intensité, la contraction persiste pendant le passage du courant, mais cette manœuvre est déjà douloureuse et ne peut être prolongée. Si, par accident, l'organisme vient à être parcouru par un courant continu d'intensité forte, indépendamment des accidents généraux, on observe localement une véritable crampe musculaire qui dure tant que dure le passage du courant et qui tend par exemple à refermer la main du sujet sur le conduc-

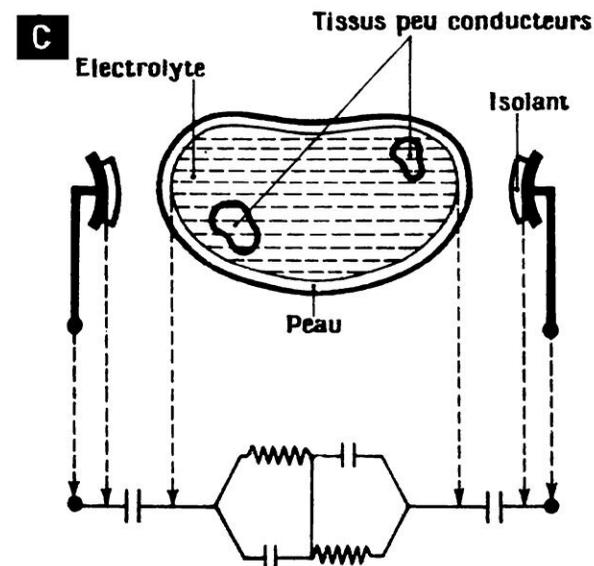
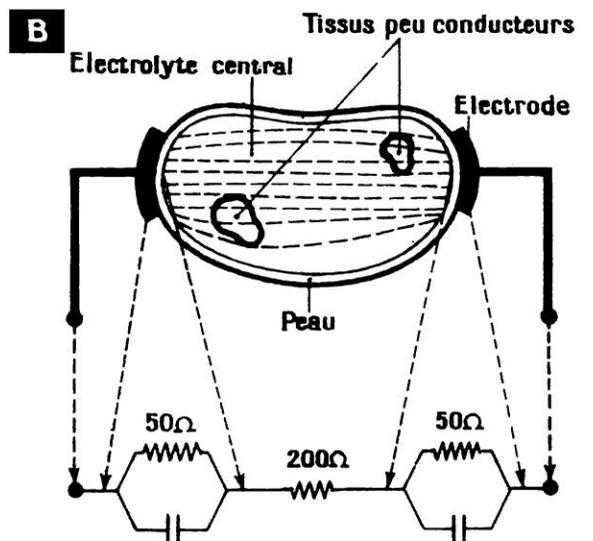
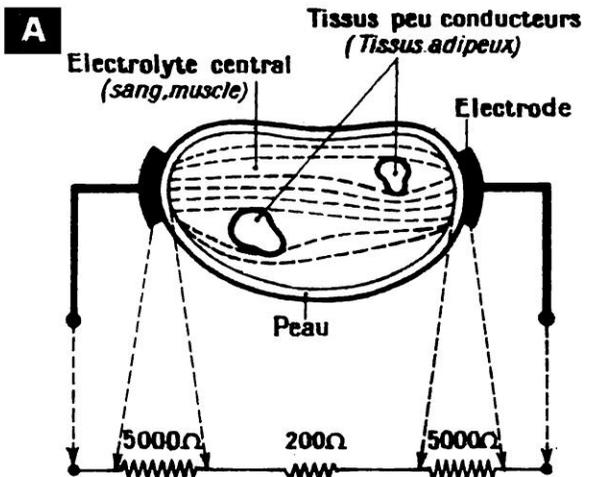
teur et à prolonger ainsi le contact accidentel. L'atteinte des muscles respiratoires et du muscle cardiaque est très probablement responsable de la mort par électrocution. Pour des intensités qui ne sont pas très petites, les phénomènes d'électrolyse des tissus prennent en outre une importance que l'on ne peut plus négliger.

Le courant alternatif du secteur (50 périodes par seconde) détermine, à intensité faible, une série d'excitations à chaque changement de pente du courant qui aboutit à une tétanisation des muscles. Si nous augmentons l'intensité, l'effet de crampe apparaît plus rapidement qu'avec le courant continu. Ici encore les phénomènes d'électrolyse interviennent pour limiter l'intensité des courants que l'on peut impunément envoyer dans l'organisme.

LA D'ARSONVALISATION

Vers 1890, le Français d'Arsonval étudia systématiquement les effets sur l'organisme des courants de fréquence croissante et d'intensité faible. Il constata que l'excitation neuromusculaire s'accroît jusqu'à une fréquence de 10 000 cycles, puis, au delà de cette fréquence, cesse d'augmenter puis diminue pour s'annuler complètement pour des fréquences de l'ordre de 100 000 cycles.

A partir de cette valeur, les nerfs et les muscles ne sont plus excitables et il ne se produira plus d'électrolyse. La haute fréquence permet donc d'introduire sans accident dans l'organisme un courant d'intensité (allant jusqu'à plusieurs ampères) et de ten-



En (a) on envoie du courant continu ou du courant alternatif de fréquence peu élevée. Il traverse deux fois la peau (5000 ohms) et le milieu intérieur (200 ohms). Les lignes de courant évitent les tissus peu conducteurs (os, graisses). En (b) on emploie un courant diathermique (1 million de cycles). La peau est franchie à la fois par conduction et capacité. Dans l'organisme, le courant suit les zones de moindre résistance ohmique. En (c) un courant de haute fréquence (ondes courtes) traverse par capacité l'isolant de l'électrode, l'air et la peau. Il traverse les organes à la fois par conduction et par capacité et les lignes de courant tendent vers une répartition égale.

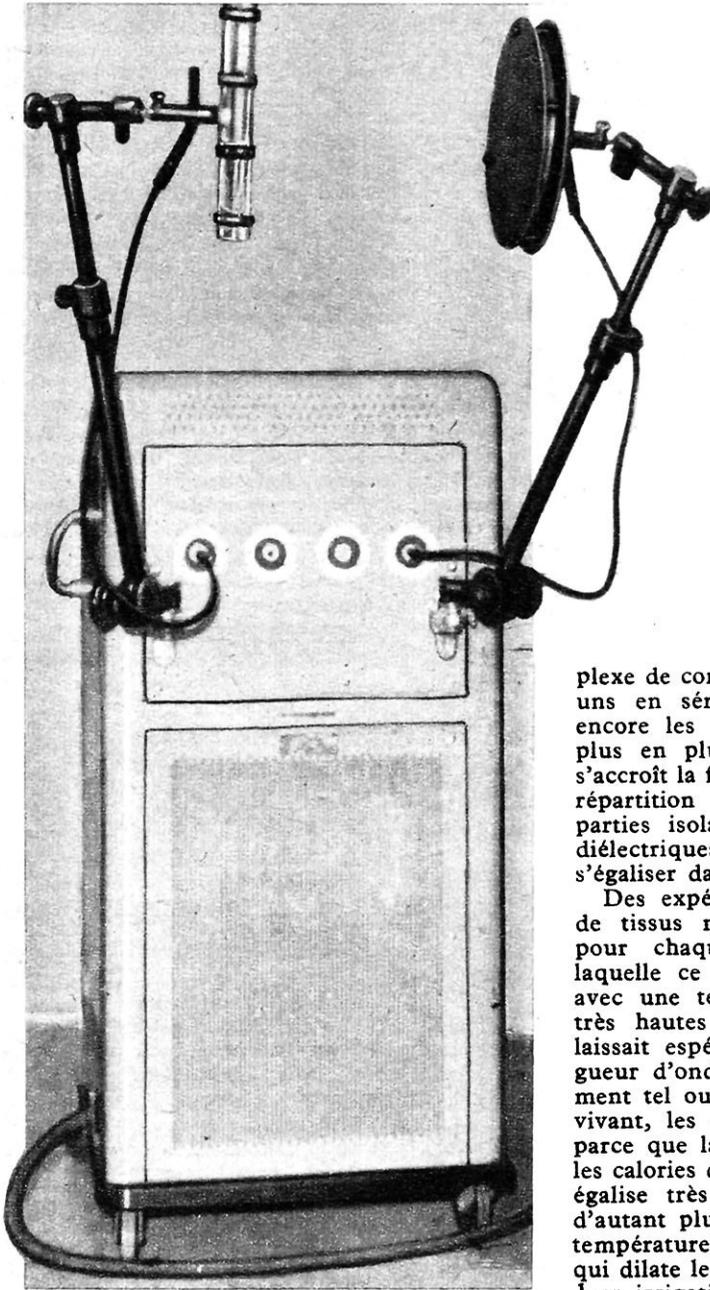
sion plus élevée que tout autre mode d'électrisation. L'effet le plus apparent de l'application de courant de haute fréquence ou d'Arsonvalisation, comme on l'a appelé en hommage à d'Arsonval, est un échauffement des tissus. Cet échauffement dépend dans une certaine mesure de la fréquence du courant employé parce que l'allure des phénomènes électriques qui se produisent dans ce conducteur extrêmement complexe qu'est le corps humain change suivant les fréquences utilisées.

LA PÉNÉTRATION DES COURANTS DE HAUTE FRÉQUENCE DANS L'ORGANISME

Vis-à-vis du courant continu, l'organisme peut être schématisé d'une manière très simple : le sang, les muscles, les viscères sont bons conducteurs et peuvent être assimilés à une solution saline à 7 % que le courant traverse facilement. La peau, au contraire, est extrêmement résistante. Tandis que le revêtement cutané a une résistance de 5000 à 6000 ohms, la résistance de l'électrolyte central n'est guère que de 200 ohms. Le courant continu doit donc traverser deux fois la peau et rencontre donc une résistance de $5000 + 200 + 5000 = 10200$ ohms. Les choses se passent tout autrement avec les courants de haute fréquence.

La résistance cutanée diminue considérablement, et déjà pour 300 000 cycles elle tombe à 50 ohms. Pour comprendre ce phénomène, il faut faire appel aux propriétés physiques des courants de haute fréquence, à savoir leur propriété de franchir par capacité un isolant diélectrique comme la peau. La peau tient lieu dans une certaine mesure du diélectrique d'un condensateur dont les armatures seraient d'une part l'électrode, d'autre part l'électrolyte central. On peut schématiser la peau comme une résistance shuntée par un condensateur.

Le courant passe, partie par capacité, partie par conduction, et l'importance de l'effet de capacité est d'autant plus grande que la fréquence est plus grande.



Le générateur Thermax 400 à ondes courtes pour les applications thérapeutiques (longueur d'onde : 6 m, puissance 300 W) (Dufлот).

Pour 300 000 périodes par seconde, fréquence des courants dits diathermiques, le passage s'effectue surtout par conduction, la peau s'échauffe, et si l'on écarte les électrodes du plan cutané l'intensité devient très faible. Pour une fréquence de 100 millions qui est celle des ondes courtes utilisées en thérapeutique, le passage s'effectue uniquement par capacité. Les électrodes n'ont même plus besoin d'être au contact des

téguments, le courant peut passer par capacité à travers la peau, à travers les couches d'air et d'isolant qui la sépare des électrodes.

L'électrolyte central, se comporte lui aussi de manière différente suivant les fréquences utilisées. Pour les fréquences peu élevées, les lignes de courant empruntent de préférence des trajets de moindre résistance, s'écartant des tissus gras et des os peu conducteurs. La chaleur apparaît principalement dans les tissus richement vascularisés et non enveloppés de graisse. Ceci est encore vrai dans une large mesure pour les fréquences utilisées en diathermie. Au contraire, pour les ondes courtes, les tissus isolants se comportent comme des diélectriques de condensateurs et la partie centrale de l'organisme se comporte comme un ensemble complexe de condensateurs et de résistances, les uns en série, les autres en parallèle. Ici encore les effets de capacité prennent de plus en plus d'importance à mesure que s'accroît la fréquence et tendent à opérer une répartition plus égale du courant. Les parties isolantes sont chauffées par pertes diélectriques, et la chaleur produite tend à s'égaliser dans toute la masse.

Des expériences effectuées sur des blocs de tissus morts ont prouvé qu'il existait pour chaque tissu une fréquence pour laquelle ce tissu s'échauffait au maximum, avec une tendance à l'égalisation pour les très hautes fréquences. Cette constatation laissait espérer qu'en faisant varier la longueur d'onde on pourrait chauffer électivement tel ou tel tissu. Mais, sur l'organisme vivant, les choses se passent différemment parce que la circulation sanguine transporte les calories d'un point du corps à un autre et égalise très vite les températures, et cela d'autant plus rapidement que l'élévation de température du tissu provoque un réflexe qui dilate les vaisseaux sanguins et augmente leur irrigation.

leur irrigation.

LES GÉNÉRATEURS DE HAUTE FRÉQUENCE POUR LES APPLICATIONS MÉDICALES

Les générateurs de haute fréquence en médecine peuvent se ramener à deux types : les appareils de diathermie qui fournissent des courants de fréquence de un million de cycles (longueur d'onde de 300 mètres), et les appareils à ondes courtes qui fournissent des courants de fréquence de l'ordre de 100 millions de cycles (longueur d'onde

6 à 7 mètres). Sans entrer dans le détail de leur construction, disons seulement que les appareils de diathermie peuvent être soit des appareils à éclateur, soit des appareils à lampes. Les appareils à éclateur donnent dans le circuit oscillant des trains d'ondes successifs à chaque étincelle qui jaillit dans l'éclateur. Pour un circuit d'utilisation adéquat on peut, par le simple réglage de cet éclateur, obtenir soit des trains d'ondes très amortis et espacés, soit des trains d'ondes peu amortis et se succédant d'une manière ininterrompue.

Les appareils à lampes permettent d'obtenir des ondes rigoureusement entretenues.

Pour l'un quelconque de ces appareils il faut noter que la fréquence est fixe et ne peut être modifiée; la tension est également fixe (1 000 volts environ), et on fait varier la puissance développée par l'appareil en modifiant l'intensité (entre 0 et 5 ampères) ou, dans le cas des ondes amorties, en modifiant le réglage de l'éclateur. Toutefois, les appareils modernes possèdent deux ou trois bornes d'utilisation correspondant à des tensions quelque peu différentes et que l'on choisit suivant la résistance du segment de l'organisme à traiter. La plupart des appareils offrent en outre la possibilité de brancher un résonateur sur l'extrémité de la self du circuit d'utilisation. Ce résonateur de Oudin fournit un courant d'intensité extrêmement faible, mais sous une tension qui peut atteindre 80 000 à 90 000 volts.

Tous les appareils médicaux sont construits de telle manière que la sécurité du malade et de l'opérateur vis-à-vis du courant haute-tension basse-fréquence soit absolue. Il n'en va pas de même des petits appareils à prix réduit que l'on propose dans le commerce et dont l'usage doit être formellement proscrire.

En diathermie médicale, les électrodes doivent être rigoureusement appliquées contre le plan cutané et maintenues telles pendant toute application sous peine de brûlures graves. Toute irrégularité, tout mauvais contact peut donner lieu à une étincelle chaude entre l'électrode et la peau et entraîner une brûlure. On relie ces électrodes par des conducteurs bien isolés aux bornes de sortie de l'appareil, choisies en fonction de la tension dont on veut disposer. Le courant est alors établi et on augmente lentement l'intensité en se basant, non sur la lecture de l'ampèremètre, mais sur les sensations subjectives du malade qui doit ressentir une chaleur douce et agréable dans la région traitée.

Les applications de tension se font en monopolaire. On relie l'électrode choisie en fonction du traitement à effectuer, étincelage ou effluviation, à l'extrémité du résonateur de Oudin. En raison du potentiel élevé utilisé dans ce montage il n'est pas nécessaire d'employer une électrode indifférente.

Les appareils à ondes courtes sont des appareils à lampes fournissant des ondes

de 6 à 7 mètres régulièrement entretenues. La fréquence de ces courants est telle qu'il n'est pas besoin que les électrodes se trouvent au contact des téguments, ce qui élimine le danger de brûlure par étincelle et permet d'appliquer le traitement même si la peau présente des plaies.

Les électrodes consistent en des plateaux métalliques de taille variable. La plupart comportent un plateau en bakélite qui peut être appliqué sur les téguments et qui maintient la peau à une distance minimum de 2 centimètres du plateau métallique. Les électrodes supportées par des bras articulés en matière isolante sont d'un maniement extrêmement commode.

On peut aussi, pour le traitement des membres, utiliser un conducteur souple, bien isolé, enroulé en solénoïde autour du membre à traiter dans lequel sont induits les courants de haute fréquence. Pour le réglage de l'intensité, il faut, là encore, se baser sur les sensations subjectives éprouvées par le patient, beaucoup plus que sur les indications des appareils de mesure.

L'ACTION THÉRAPEUTIQUE DES COURANTS DE HAUTE FRÉQUENCE

Comme toutes les thérapeutiques nouvelles, la haute fréquence souleva lors de son apparition un enthousiasme quelque peu exagéré. On signalait alors des améliorations, voire des guérisons, dans les maladies les plus diverses. Les rhumatismes, les sciaticques, les névralgies de tous ordres, les paralysies de diverses origines, le diabète, la cirrhose, les fibromes, l'artérite, le cancer lui-même guérissaient par ce traitement.

Certains chercheurs qui annonçaient de telles guérisons les attribuaient à une action spécifique que des fréquences convenablement choisies étaient censées exercer sur les cellules vivantes, en modifiant la structure de certaines molécules.

Une enquête a été menée par deux médecins anglais, Curtiss et Dickens sur des cas de guérison du cancer par la haute fréquence. Cette enquête extrêmement sérieuse tourna à la confusion des auteurs de ces prétendues guérisons. Aujourd'hui, les prétentions de la d'Arsonvalisation médicale sont donc beaucoup plus modestes qu'à son origine. Il est actuellement établi que la haute fréquence n'a aucune action sur le cancer, et de plus en plus on tend à admettre que l'élévation de température est la seule action qu'elle exerce sur les tissus. Cette élévation de température peut d'ailleurs avoir une action thérapeutique considérable. Elle provoque une vaso-dilatation intense de la région chauffée. L'augmentation de la circulation sanguine amène à son tour un accroissement des échanges de la cellule, modifie la vascularisation des glandes endocrines, stimule les

défenses naturelles de l'organisme contre l'infection.

On utilise la haute fréquence comme moyen de réchauffement, comme modificateur de la circulation dans certaines paralysies, en particulier dans la poliomyélite ; elle fait partie alors de toute une série de moyens de réchauffement que l'on utilise concurremment.

Elle est utilisée dans le traitement des névralgies sciatiques cervico-brachiales, crurales, sous réserve que le patient soit soulagé par la chaleur. Elle donne alors des résultats remarquables et ce sont là ses indications essentielles. Certaines formes de rhumatismes sont améliorées dans les mêmes conditions. En gynécologie, si elle est sans action sur le fibrome, elle influence favorablement métrites et salpingites.

D'autres indications plus discutables demeurent : haute fréquence abdominale pour lutter contre les adhérences qui suivent les interventions chirurgicales sur l'abdomen ; diathermie des membres pour lutter contre le spasme artériel des artérites ; applications sur la thyroïde et l'hypophyse pour stimuler la sécrétion de ces glandes endocrines.

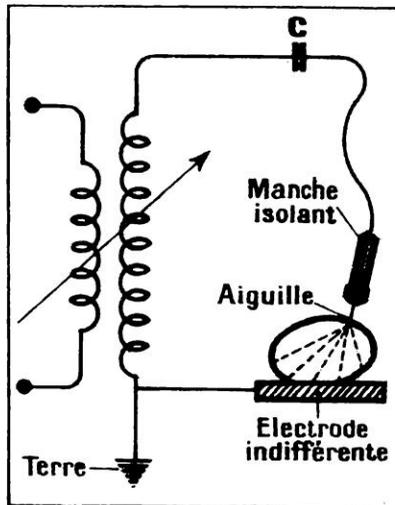
Dans le domaine des applications de tension, il faut signaler l'intérêt de l'étincelage dans le lumbago, les résultats remarquables de l'effluation dans la fissure anale.

Enfin, avec certains appareillages puissants, on peut provoquer une véritable fièvre artificielle qui est utilisée comme thérapeutique de choc dans certains rhumatismes et qui remplace l'impaludation dans la paralysie générale.

LES APPLICATIONS CHIRURGICALES DES COURANTS DE HAUTE FRÉQUENCE

Lors d'une application de haute fréquence faite avec deux électrodes de taille différente, la densité de courant, et partant l'échauffement des tissus, est plus considérable au dessous de l'électrode de plus petite surface.

Si nous augmentons la disproportion entre les deux électrodes et que nous réduisons l'une d'elle à la pointe d'une aiguille, la densité du courant au niveau de la pointe sera si élevée, l'échauffement si important que nous aurons une destruction des tissus



Le malade à opérer repose sur une électrode indifférente de large surface, au contact de laquelle le courant ne produit aucun effet thermique appréciable. La deuxième électrode est constituée par une aiguille au contact de laquelle se produisent des effets thermiques intenses, amenant selon l'intensité la section ou la coagulation du tissu.

sous-jacents. Tel est le principe de l'électro-chirurgie. Deux effets sont recherchés en pratique : un effet de coagulation et un effet de section.

Dans la coagulation, il y a formation au contact de l'électrode d'une zone d'abord blanchâtre puis noirâtre, formant un bloc de tissus carbonisés, coagulés, immobilisant l'électrode ; la zone de destruction peut s'étendre jusqu'à 20 millimètres autour de l'électrode. Dans la section, les tissus sont très peu touchés autour de l'électrode supposée fine qui progresse comme un bistouri ordinaire entre les deux bords blanchâtres de la plaie opératoire qui ne saigne pas ou peu. On obtient l'un des deux effets en faisant varier la vitesse à laquelle on chauffe le tissu : dans la coagulation, on fait agir un apport de chaleur modéré pendant une durée

qui permet à cette chaleur de pénétrer le tissu par conduction. Dans le second cas on détruit instantanément une couche superficielle du tissu sans que la chaleur ait le temps de se propager par conduction thermique.

Pour passer de l'un à l'autre des modes d'action du courant, on fait varier l'intensité efficace. Avec les appareils à éclateurs, ce résultat est obtenu simplement en réglant l'éclateur pour passer des ondes très amorties aux ondes moins amorties.

En électrochirurgie, on opère de la façon suivante : une électrode métallique indifférente de large surface est appliquée sur la peau nue et reliée au générateur par un fil souple bien isolé. L'électrode active, une aiguille le plus souvent, insérée dans un manche isolant, est reliée à l'autre borne de sortie. Elle est enfoncée dans le tissu que l'on veut détruire, ou maintenue à petite distance de lui s'il s'agit d'une lésion superficielle. Le chirurgien commande par une pédale le passage du courant et peut à volonté obtenir l'effet coagulant ou l'effet de section. Par ce dernier il dispose d'un véritable bistouri électrique qui sectionne les tissus aussi nettement que le bistouri ordinaire, mais plus lentement. Est-il obligé de sectionner un petit vaisseau qui se met à saigner ? Au lieu de mettre une pince hémostatique sur ce vaisseau et de le lier, il commande le passage sur la même électrode du courant de coagulation qui obture le vaisseau par coagulation, d'où un gain de temps appréciable puisque

pour toute intervention, l'opération se renouvelle un grand nombre de fois.

En réalité, l'utilisation de l'électro-chirurgie comporte quelques inconvénients, quelques difficultés. Elle ne possède pas de supériorité manifeste sur la chirurgie orthodoxe dans la plupart des cas, aussi son application à la chirurgie générale est-elle affaire de convenance personnelle pour le chirurgien.

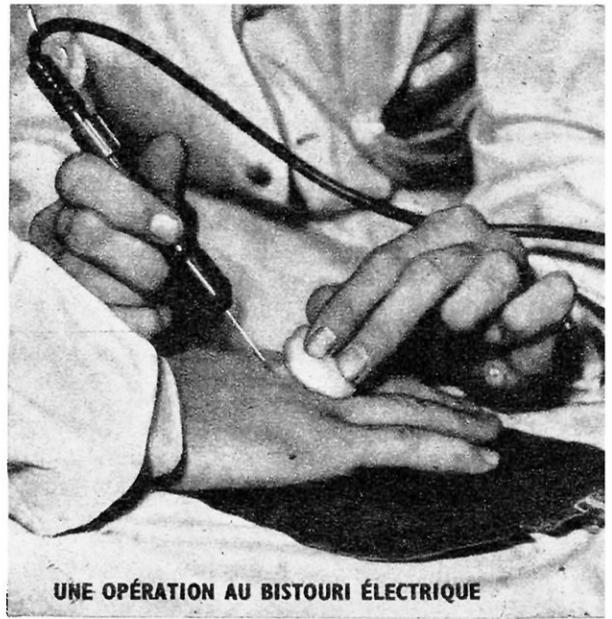
Il existe cependant un certain nombre de cas dans lesquels elle s'impose. En chirurgie générale elle doit être utilisée chaque fois qu'un malade présente des troubles de la coagulation sanguine qui rendraient l'hémostase par ligature longue, difficile et souvent insuffisante.

Dans la chirurgie du foie, du poumon, du cerveau, des glandes endocrines, elle est susceptible d'assurer l'hémostase de ces tissus qui saignent en nappe. En matière de cancer la section passant au large de la tumeur, avec coagulation immédiate des vaisseaux qui en partent, est une technique qui diminue le risque d'essaimage par voie sanguine ou lymphatique que comporte toute intervention pour cancer. La tumeur elle-même peut être ou extirpée s'il s'agit d'un cancer volumineux, ou détruite par coagulation si elle est petite. Par cette dernière technique on guérit de très nombreux cancers de la peau.

PERSPECTIVES D'AVENIR

Il ne semble pas, dans l'état actuel de l'appareillage médical, qu'il soit possible de découvrir de nouvelles applications de la haute fréquence dont les limites d'action et les possibilités semblent définitivement établies.

Cependant la technique radioélectrique a fait de tels progrès ces dernières années qu'il serait étonnant que ces progrès ne se répercutent pas dans les applications médicales. Il semble que ces progrès ne puissent



UNE OPÉRATION AU BISTOURI ÉLECTRIQUE

venir que de l'utilisation de très hautes fréquences, les ondes décimétriques et centimétriques se comportant d'une façon un peu analogue à des radiations infrarouges capables de pénétrer plus profondément dans les tissus que l'infrarouge ordinaire. A partir du moment où l'on peut diriger les ondes ultracourtes dans l'espace et les concentrer à l'aide de miroirs concaves, par exemple, il y a lieu de se demander si on n'arrivera pas à obtenir des effets en profondeur absolument localisés, et des physiologistes viennois auraient d'ores et déjà obtenu des effets de coagulation profonde d'une racine nerveuse tout en gardant intacts les téguments de la grenouille de l'expérience. Il est encore trop tôt pour prévoir toutes les applications que pourrait offrir une telle thérapeutique, mais il est permis de penser qu'elle se révélerait extrêmement efficace dans un grand nombre de cas.

SCIENCE ET VIE

Magazine mensuel des Sciences et de leurs applications à la vie moderne

Lire chaque mois "SCIENCE ET VIE", c'est se tenir au courant des dernières découvertes dans tous les domaines de la science et des plus récentes réalisations de la technique industrielle dans le monde entier : automobile, aviation, métallurgie, industries chimiques, biologie, médecine... Ces mises au point, à la portée de tous, sont indispensables pour suivre l'évolution de la vie moderne sans cesse transformée par les conquêtes des savants et des ingénieurs.

ABONNEMENTS

AFFRANCHISSEMENT SIMPLE :

France et Colonies..... 500 fr.
Étranger..... 750 fr.

RECOMMANDÉ :

France et Colonies 700 fr.
Étranger..... 1000 fr.

Règlements par chèque postal ou bancaire

●
Compte Chèques Postaux : PARIS 91-07

ADMINISTRATION, RÉDACTION : 5, Rue de la Baume, PARIS (VIII^e). Tél. : ELY. 26-69



*La valeur d'une École se juge
par les résultats obtenus aux
Examens Officiels.*

DES CHIFFRES, PRÉCIS, DES RÉFÉRENCES INDISCUTABLES

La Direction de l'Ecole Centrale de T. S. F., dont le siège, est à Paris rue de la Lune, n° 12 quittant sa réserve habituelle, tient à exposer **des résultats officiels, contrôlables et indiscutables.**

Certaines écoles n'ayant d'autre mérite que celui de savoir présenter avantageusement des notices où l'imagination constitue la plus grande part de leurs références, il est apparu nécessaire de **mettre en garde les jeunes gens et leurs familles trop souvent abusés par une propagande tapageuse.**

Les quelques lignes qui suivent démontreront que l'Ecole Centrale de T. S. F. est la **Pépinière des Radios français** et la **première des écoles françaises de Radio-Électricité.**

Son palmarès, relatant les noms des lauréats, et les **chiffres officiels** des résultats aux examens, constitue un argument devant lequel doivent s'incliner tous autres moyens de propagande.

De 1919 à 1944, **il est prouvé** que, parmi les candidats de toutes les écoles de France reçus aux examens d'Opérateurs-Radios du Ministère des P. T. T., à Paris, 72 % étaient des élèves de l'Ecole Centrale de T. S. F. (résultats contrôlables au Ministère des P. T. T. et à l'Ecole Centrale de T. S. F.).

Or, les examens d'Opérateurs-Radios du Ministère des P. T. T. sont **les seuls** qui soient **officiels** en France.

Ils constituent donc la seule référence utile et un excellent critérium pour juger l'enseignement dispensé dans une Ecole de Radio-Électricité.

Interdits par les Allemands, les cours d'enseignement de la Radio ont été repris, dès octobre 1944. L'Ecole Centrale de T. S. F. va pouvoir maintenir, à nouveau, et de loin, sa place à la tête des écoles similaires et prouver que, malgré le nombre croissant de ces dernières, **elle demeure la seule à préparer rationnellement aux carrières de la Radio.**

Les résultats enregistrés à la session d'Avril 1946 aux examens d'Opérateurs-Radios du Ministère des P. T. T., ont été les suivants pour Paris :

Opérateurs-Radios de 1 ^{re} classe	Opérateurs-Radios de 2 ^e classe	Opérateurs-Radios de classe spéciale
Sur 11 candidats, reçus au total : 10 élèves de l'É.C.T.S.F. (soit plus de 90 %)	Sur 32 candidats, reçus au total : 28 élèves de l'É.C.T.S.F. (soit plus de 87 %)	Sur 13 candidats, reçus au total : 11 élèves de l'É.C.T.S.F. (soit plus de 84 %)

C'est la preuve indiscutable de la supériorité des méthodes d'enseignement de l'**Ecole Centrale de T. S. F.** et il est **impossible** à une autre Ecole technique de présenter une aussi belle référence

Nous donnerons aux hésitants un conseil qui leur permettra d'apprécier exactement la valeur propre de l'enseignement d'une école et de prendre une décision en toute connaissance de cause.

Il leur suffira de poser les questions suivantes :

- 1° Quels sont les résultats précis obtenus par votre école, depuis sa création, **aux examens officiels des P. T. T. ?**
- 2° Quels sont les noms de vos élèves reçus aux examens de Paris, depuis janvier 1946 ?

LES EXAMENS D'OPÉRATEURS-RADIOS DU MINISTÈRE DES P. T. T.

Comme nous vous l'avons déjà dit, ce sont les seuls examens qui soient officiels en France.

Pour devenir Officiers-Radios de la Marine Marchande et Opérateurs-Radios-Volants de l'Aéronautique civile, les candidats doivent être titulaires du **Certificat d'Opérateur-Radio de première ou de deuxième classe, délivré par le Ministère des P. T. T.**

D'autre part, tous les Ministères et les Administrations, qui recrutent du personnel Opérateur-Radio, font subir aux candidats un concours dont les épreuves techniques et pratiques sont calquées sur celles de l'examen du Ministère des P. T. T.

C'est dire que la préparation aux Certificats d'Opérateurs-Radios des P. T. T. constitue la préparation type des Radiotélégraphistes.

C'est dire encore que l'Ecole Centrale de T. S. F. est celle qui, de loin, est la plus indiquée pour cette préparation.

QUELQUES FAITS PRÉCIS

1° **Le Ministère de l'Air** avait à former rapidement au moment de la Libération de la France, plusieurs centaines de Radiotélégraphistes :

C'est à l'Ecole Centrale de T. S. F. qu'il a confié cette mission.

2° **Le Ministère de la Marine Nationale** a chargé, en août 1945, l'**Ecole Centrale de T. S. F.** de la formation de Matelots-Radiotélégraphistes.

3° **Le Ministère du Travail**, en accord avec le **Ministère des Prisonniers et la Fédération nationale des Prisonniers de Guerre**, a confié à l'**Ecole Centrale de T. S. F.** la mission de réadapter les Prisonniers rapatriés et les Déportés (réadaptation professionnelle : section Opérateurs-Radios et section Techniciens de l'Industrie).

Depuis octobre 1945, des centaines de rapatriés ont été réadaptés par l'**Ecole Centrale de T. S. F.**

4° **La grande Compagnie de Navigation Aérienne Air-France**, étendant son réseau aérien, a, le 16 Décembre 1945, chargé l'**Ecole Centrale de T. S. F.** de préparer une centaine d'Opérateurs Radios-Volants.

Ces 4 références démontrent en quelle estime l'enseignement donné à l'Ecole Centrale de T.S.F. est tenu par les Pouvoirs publics.

Nous n'ajouterons aucun commentaire.

*On ne peut que féliciter cordialement
l'Ecole Centrale de T.S.F. de préparer
tant de jeunes gens à la profession
si courageuse et glorieuse des Radios
Télégraphistes*

Edouard Bromby

NOTA : Sur simple demande adressée à l'Ecole Centrale de T. S. F., 12, rue de la Lune, Paris, vous recevrez gracieusement le Guide des Carrières.

OUVRAGES DE RADIO

NOUS AVONS CONSTAMMENT EN STOCK TOUS LES OUVRAGES DE RADIO ET D'ÉLECTRICITÉ DISPONIBLES
VOICI QUELQUES TITRES SÉLECTIONNÉS REPRÉSENTATIFS DE 2 ÉDITIONS FRANÇAISES

MATHÉMATIQUES SIMPLIFIÉES POUR ABORDER L'ÉTUDE DE L'ÉLECTRICITÉ ET DE LA RADIO. Reproduction du cours donné aux candidats des services techniques des P. T. T. Indispensable à tous ceux qui veulent s'assimiler les bases de la Radio. 165.»

RADIO-FORMULAIRE. Le plus complet et le plus moderne. Contient tous les symboles, le rappel de toutes les lois fondamentales et d'une façon générale de toutes les notions essentielles de la Radio. Format poche 150.»

LES POSTES A GALENE ET RE-CEPTEURS A CRISTAUX MODERNES. Initiation à la radio par l'étude et la réalisation de postes à galène. 111.»

LA RADIO? MAIS C'EST TRÈS SIMPLE!... Tous les « pourquoi » et « parce que » de la radio: Le meilleur ouvrage de vulgarisation 200.»

FORMULES ET VALEURS. Tableau de service : formules usuelles, correspondances des longueurs d'ondes et des fréquences, code des couleurs, symboles divers 50.»

COURS COMPLETS POUR LA FORMATION TECHNIQUE DES RADIOS MILITAIRES ET CIVILS. Cours complet de technologie pour émission et réception, lecture au son, manipulation. 500 pages grand format. 360.»

LES BOBINAGES RADIO. Calcul, réalisation et étalonnage de tous les bobinages HF et MF 150.»

COMMENT INSTALLER LA T.S.F. DANS LES AUTOMOBILES. Description d'un récepteur moderne. Règles générales concernant l'installation rationnelle 99.»

THÉORIE ET PRATIQUE DE LA RADIOÉLECTRICITÉ. L'ouvrage de radio le plus complet et le plus moderne. Adopté par les meilleures écoles. Les 4 volumes. 1.460 pages. 1.280.»

ÉLECTROACOUSTIQUE. Tableau mural. Conversion des décibels en rapports. Acoustique physiologique. Calcul des salles 50.»

LA PRATIQUE RADIO ELECTRIQUE. Véritable code de l'étude et de la construction. Choix du mode d'alimentation et des tubes. Les 2 ouvrages : Conception et Réalisation 240.»

SCHEMAS DE RADIO - RE-CEPTEURS. 15 schémas modernes de 1 à 8 lampes pour alternatifs et tous courants, avec lampes à caractéristiques américaines 120.»

GUIDE PRATIQUE DE L'AUDI-TEUR RADIO. Choix et installation du poste. Le réglage. Quand et comment écouter. Pannes et parasites. Entretien. Haut-Parleur supplémentaire ... 60.»

SCHEMAS D'AMPLIFICATEURS B. F. 18 schémas d'amplis et préamplis de 2 à 120 watts 150.»

LA PRATIQUE DE L'AMPLIFICATION ET DE LA DISTRIBUTION DU SON. Notions d'acoustique. Calcul et réalisation d'amplis pour micros. P.-U. et cellules photo électriques H.P. Tonalité. Etude, réalisation, entretien et dépannage des installations sonores. 450.»

DEPANNAGE PRATIQUE DES POSTES RECEPTEURS RADIO par Géo-Mousseron. Edition 1948. Le livre de chevet du dépanneur..... 165.»

L'ART DU DEPANNAGE ET DE LA MISE AU POINT DES POSTES DE RADIO. 36^e édition revue et corrigée avec un tableau et une table synoptique de dépannage 240.»

AMELIORATION ET MODERNISATION DES RECEPTEURS. Alimentation sur secteur. Amélioration de la sensibilité, de la sélectivité et de la fidélité. Adjonction des O. C. de l'antifading, d'indicateur d'accord et de réglage automatique, d'antiparasitage, etc., etc. 75.»

L'ART DE LA VERIFICATION DES RECEPTEURS ET DES MESURES PRATIQUES EN T. S. F. Description, utilisation rationnelle et emploi pratique des appareils de mesure. ... 210.»

LABORATOIRE RADIO. Construction d'appareils de mesure réalisés et décrits par l'auteur et que le dépanneur pourra construire lui-même.. 300.»

SCHEMATEQUE 1940, 142 schémas de postes commerciaux avec description détaillée de leur dépannage. 200.»

SCHEMATEQUE DE TOUTE LA RADIO. 21 fascicules contenant 20 à 25 schémas différents (suite du précédent, détails dans notre catalogue). Chaque fascicule 60.»

LEXIQUE OFFICIEL DES LAMPES RADIO. Caractéristiques de service, culots et équivalences des lampes européennes et américaines. 120.»

VADE MECUM DES LAMPES DE T. S. F. Caractéristiques de la plupart des tubes mondiaux. Tableaux de comparaison. Tube de remplacement. Culottage, etc. 690.»

THEORIE ET PRATIQUE DES LAMPES DE T. S. F. Etude générale des lampes. Fonctionnement de leurs organes. Les différents modèles de lampes. 240.»

LES ANTENNES DE RECEPTION. Généralités sur antennes et prises de terre. Collecteurs antiparasites. Législation 75.»

LA GUERRE AUX PARASITES. Antiparasitage des moteurs, machines et installations industrielles. Antiparasitage à la réception, etc. 100.»

PRINCIPES DE L'OSCILLOGRAPHIE CATHODIQUE. Composition du tube. Balayage et synchronisation. Mise en route et réglage. Applications à la modulation de fréquence 120.»

EMETTEURS DE PETITE PUISSANCE SUR ONDES COURTES. Circuits oscillants. Lampes. Montages auto-oscillateurs. Montages oscillateurs à quartz. Etage doubleur de fréquence et étage intermédiaire. Etage amplificateur H. F. de puissance 330.»

LA RECEPTION PANORAMIQUE. Cet ouvrage vous permettra de vous familiariser avec cette technique nouvelle et de construire vous-même, selon les données de l'auteur, un récepteur à tube cathodique dont vous tirerez un profit immédiat et certain, car la réception panoramique offre de multiples applications (ouvrage recommandé aux amateurs d'émission et réception O. C. ainsi qu'aux dépanneurs, auxquels il rendra de grands services). ... 150.»

THEORIE ET PRATIQUE DE LA TELEVISION. Généralités. Alimentation des tubes à rayons cathodiques. Réalisation et essais d'un récepteur. Emission et télécinéma. Installation d'un récepteur. Formulaire 350.»

CE QU'IL FAUT SAVOIR DE LA CONTRE-REACTION OU REACTION NEGATIVE. Défauts des amplis. Dispositifs correcteurs. Description, calculs et réalisations d'amplis. 135.»

DICTIONNAIRE TECHNIQUE ANGLAIS-FRANÇAIS DE RADIO avec mémento anglais-français des codes des couleurs, des jauges, des tables de conversion des mesures, etc. 150.»

ENCYCLOPEDIE DE LA RADIO. Définition et explication de tous les termes et leur traduction en anglais et allemand. Relié 1.360.»

LES APPLICATIONS DE L'ELECTRONIQUE. Les appareils employés et leur utilisation au laboratoire et au problème de la protection. Médecine et électronique, navigation maritime et aérienne. Les diverses applications industrielles 200.»

LA MODULATION DE FREQUENCE ET SES APPLICATIONS. Généralités. Etude détaillée. Radiogoniométrie, méthodes de balisage, Téléométrie, Altimétrie, Télévision, etc. 150.»

ATTENTION !... Au total des ouvrages ajoutez les frais de port et d'emballage que vous calculerez comme suit :
Jusqu'à 100 : 30% (avec minimum de 25 fr.); de 100 à 200 25% ; de 200 à 400 ; 20% ; de 400 à 1000 : 15% ; de 1 000 à 3 000 : 10% . Au-dessus de 3 000. Prix uniforme 300. Franco.

CONTRE 15 FR\$ VOUS RECEVREZ NOTRE CATALOGUE GÉNÉRAL N° 12 contenant les sommaires de plus de 1200 ouvrages sélectionnés parmi les meilleurs.

SCIENCES & LOISIRS

EXPÉDITIONS IMMÉDIATES EN FRANCE, AUX COLONIES ET A L'ÉTRANGER contre mandat à la commande. Tous les prix indiqués sont sans engagement.

17, AVENUE DE LA RÉPUBLIQUE, PARIS (VI^e) métro République C.C.P. PARIS 3793-13

**POSTES RÉCEPTEURS
RADIO**

Pathé



LA VOIX DE SON MAITRE
TOURNE DISQUES - ÉLECTROPHONES - SONORISATION

**POSTES RÉCEPTEURS
RADIO**

G. Marconi

MUSICALITÉ...

MAZDA

RADIO

NOUVELLE SÉRIE
MAZDA-MEDIUM



KENDALL
Taylor

*Réception
Emission
Télévision*

COMPAGNIE DES LAMPES

29, Rue de Lisbonne
PARIS (8^e)

ÉCLAIRAGE

TÉL. LAB. 72.60

RADIO