

LES INVENTIONS RÉALISÉES POUR LA DÉFENSE NATIONALE

LES PROGRÈS DE LA T. S. F. EN FRANCE PENDANT LA GUERRE

(Voir le premier article dans le N° 50 de La Science et la Vie)

Par Louis FRANÇOIS

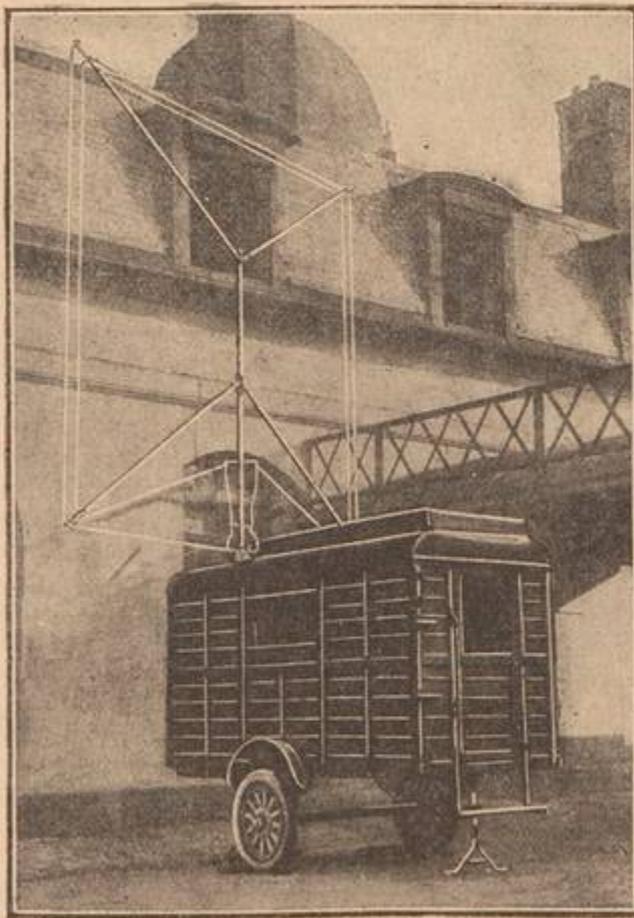
Nous avons, dans un précédent article, parlé des propriétés de la lampe à trois électrodes. Nous avons montré que cette lampe pouvait servir d'émetteur et engendrait des ondes entretenues ; nous avons fait voir qu'à la réception, la lampe pouvait servir de détecteur et amplifier en même temps les faibles courants qui parcouraient les circuits récepteurs, soit qu'il s'agisse du courant même qui parcourt l'antenne réceptrice, soit qu'il s'agisse du courant téléphonique qui rend accessible à nos sens le phénomène de la réception.

Nous nous proposons maintenant d'étudier, avec quelque détail, d'abord le rôle de la lampe comme amplificatrice et ensuite de passer en revue les perfectionnements les plus importants réalisés pendant la guerre en ce qui concerne la réception.

Rappelons sommairement, pour commencer, le principe même de l'amplification. Reprenons notre lampe à trois électrodes (fig. 1). Le filament de tungstène est porté à l'incandescence grâce à une batterie d'accumulateurs de 4 ou

6 volts. Il émet dans l'ampoule, où le vide a été extrêmement poussé, des électrons chargés d'électricité négative qui sont énergiquement attirés par une plaque de nickel ou de molybdène portée, grâce à une batterie

d'accumulateurs de 40 ou 80 volts, à un niveau électrique nettement supérieur à celui du filament. Entre le filament et la plaque se trouve disposée la troisième électrode : la grille. Si nous disposons d'un moyen de faire varier son niveau électrique par rapport à celui du filament (par exemple en intercalant entre la grille et le filament une source électrique dont on peut faire varier le voltage), nous constatons les deux phénomènes suivants, qui étaient faciles à prévoir. La grille est-elle positive par rapport au filament (niveau électrique plus élevé), elle attire les électrons et superpose son action à celle de la plaque. La quantité d'électricité négative qui arrive sur la plaque dans un temps donné est plus grande. Le courant débité par l'accumulateur de plaque, pour neutraliser cette électricité négative, est plus intense.



REMORQUE GONIOMÉTRIQUE DE L'ARMÉE

Le cadre est supporté par un X très léger que l'on démonte très facilement pour les transports.

Le fait que la grille est positive par rapport au filament renforce le courant de plaque. La grille est-elle négative, au contraire, elle repousse les électrons et, par un phénomène inverse de celui que nous venons de décrire, le courant plaque se trouve diminué.

Si, d'une façon plus générale, la grille passe par des niveaux électriques variables, tantôt positifs, tantôt négatifs par rapport au filament, les variations de ces niveaux sont fidèlement suivies par le courant plaque qui diminue ou augmente d'intensité en même temps que la grille change de niveau électrique par rapport au filament. Et alors, deux faits de la plus haute importance sont

à noter, qui donnent à eux seuls toute la théorie de l'amplification et de l'emploi des lampes électroniques à la réception :

1° Pour une disposition convenable des divers éléments de la lampe, à de très petites variations du niveau électrique de la grille correspondent des variations très importantes de l'intensité du courant plaque. C'est en cela que la lampe est amplificatrice. Faisons, par exemple, agir directement sur la grille le faible courant (les ondes captées) qui parcourt une antenne de réception et qui, comme on le sait, est essentiellement variable. La grille, par rapport à son niveau électrique de repos, qui est celui du filament, sera tantôt positive et tantôt négative, mais ces variations seront très faibles si le courant qui parcourt l'antenne est lui-même très faible. A ces faibles variations du niveau électrique de grille correspondront,

par contre, des variations importantes du courant de plaque. La lampe a donc fonctionné comme amplificateur à haute fréquence. Nous expliquerons et montrerons plus loin tout le détail de ce montage ;

2° Le temps qui s'écoule entre le moment où la grille change de niveau électrique et celui où le courant plaque change d'intensité comme conséquence de ce changement électrique de la grille, c'est le temps mis par les électrons pour aller de la grille à la plaque. Or, la vitesse des électrons est de l'ordre de plusieurs dizaines de milliers de kilomètres à la seconde; ils vont donc de la grille à la plaque (moins d'un centimètre de distance) en un temps pratiquement négligeable. De plus, ils sont impondérables.

Le relais constitué par la lampe à trois électrodes est, par suite, d'un fonctionnement instantané. C'est un relais sans inertie qui peut suivre les variations les plus rapides que subit le niveau électrique de la grille. En parti-

culier, les fréquences de l'ordre du million, qui sont celles de l'onde hertzienne correspondant aux postes de petite longueur d'onde, peuvent parfaitement être suivies par la lampe à trois électrodes qui amplifiera sans difficulté les courants alternatifs de réception radiotélégraphique ayant cette énorme fréquence. Aucun relais mécanique, si minime que soit son inertie, ne pourrait suivre d'aussi rapides variations.

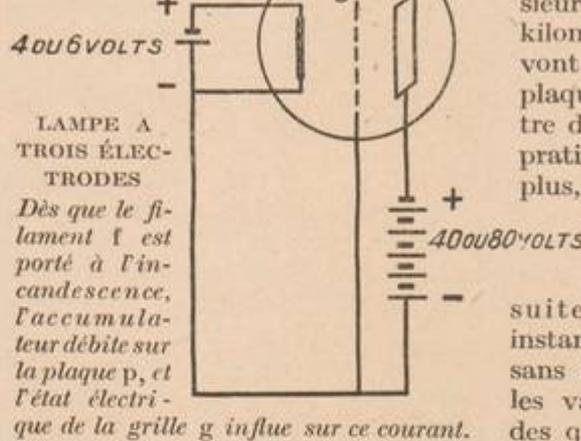
Ces principes étant rappelés, il nous reste à parler des amplificateurs eux-mêmes et de leurs principales applications.

Nous distinguerons trois types principaux d'amplificateurs : les amplificateurs à basse fréquence, destinés à amplifier les courants téléphoniques et dont l'une des plus intéressantes applications a été la T. P. S. (télégraphie par le sol); les amplificateurs à haute fréquence, qui ont permis une amélioration considérable de la réception

radiotélégraphique et l'emploi pratique de la goniométrie aux armées. Les amplificateurs à très basse fréquence qui ont permis de faire utilement de la télémechanique.

Amplificateurs à basse fréquence. — La

FIG. 1.



LAMPE A TROIS ÉLECTRODES

Dès que le filament f est porté à l'incandescence, l'accumulateur débite sur la plaque p, et l'état électrique de la grille g influe sur ce courant.

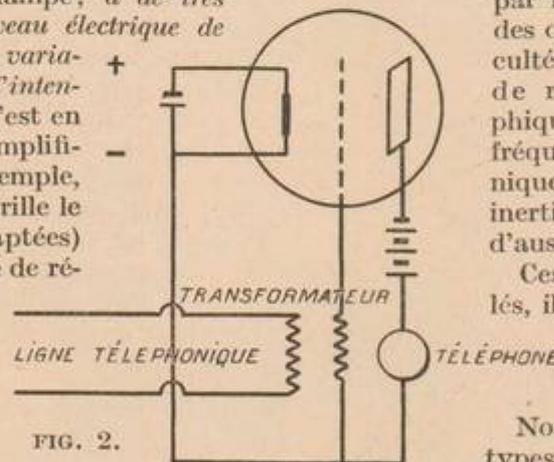


FIG. 2.

AMPLIFICATION D'UN COURANT TÉLÉPHONIQUE

Les variations du courant téléphonique engendrent par induction des variations analogues dans le circuit de la grille. Le circuit de la plaque est alors, lui aussi, le siège de variations identiques mais beaucoup plus énergiques; on entend donc plus fort dans le téléphone.

figure 2 donne le schéma de principe du fonctionnement de cet amplificateur ; remarquons, cependant, qu'au lieu d'intercaler le téléphone dans le circuit de plaque de la lampe, rien n'empêche de faire agir cette plaque sur la grille d'une deuxième lampe à l'aide d'un deuxième transformateur.

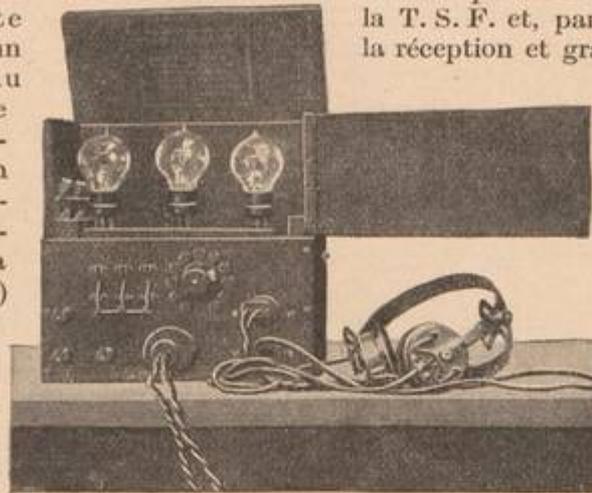
On obtient alors, dans la plaque de cette deuxième lampe, un courant amplifié au deuxième degré. Cette opération peut se répéter à l'aide d'un troisième transformateur, et d'une troisième lampe et le schéma ainsi réalisé (fig. 3) est exactement celui de l'amplificateur de basse fréquence du modèle courant. Le téléphone, intercalé dans la plaque de la troisième lampe, est actionné de façon infiniment plus énergique que si on s'était contenté de le laisser dans la ligne téléphonique originelle.

On peut se demander s'il n'y aurait pas avantage à poursuivre indéfiniment cette progression dans l'amplification, en employant un nombre très grand de lampes. Il n'en est malheureusement pas ainsi, car, en multipliant les lampes, on amplifie ou l'on crée toutes sortes de bruits parasites qui finissent par couvrir la réception intéressante. Celle-ci ne reste claire que pour un nombre de lampes que l'expérience a fixé à trois.

L'amplificateur qui vient d'être décrit et

dont la gravure ci-dessous donne l'image, a été répandu par milliers d'exemplaires dans les armées. Il se prête admirablement à l'amplification des courants téléphoniques de fréquence dite musicale (800 à 1.000 périodes à la seconde). Ses trois grandes applications ont été les suivantes : 1° amplification du courant détecté par les appareils récepteurs de la T. S. F. et, par suite, amélioration de la réception et grande augmentation des

portées pour une même énergie au départ ; 2° possibilité de faire de la télégraphie par le sol ; 3° possibilité de surprendre les conversations téléphoniques ennemies. Nous n'insisterons pas autrement sur le premier de ces points car nous y reviendrons quand nous parlerons des progrès de la réception ; pour le moment nous allons donner quelques détails sur la télégraphie par le



AMPLIFICATEUR A BASSE FRÉQUENCE UTILISÉ POUR LA T. P. S. (TÉLÉGRAPHIE PAR LE SOL) ET POUR RENFORCER LES RÉCEPTIONS DE T. S. F.

sol ainsi que sur les conversations interceptées, lesquelles dérivent du même principe.

Télégraphie par le sol. — Le principe de la télégraphie par le sol est infiniment simple. Dans une ligne isolée que nous poserons sur le sol, (fig. 4), que nous pourrions même enterrer et dont les deux extrémités, dénudées, seront mises à la terre, faisons passer un courant variable. Ce sera, par exemple, le courant d'un alternateur ou celui d'un petit vibreur quelconque. Installons à distance convenable de cette première ligne ou base

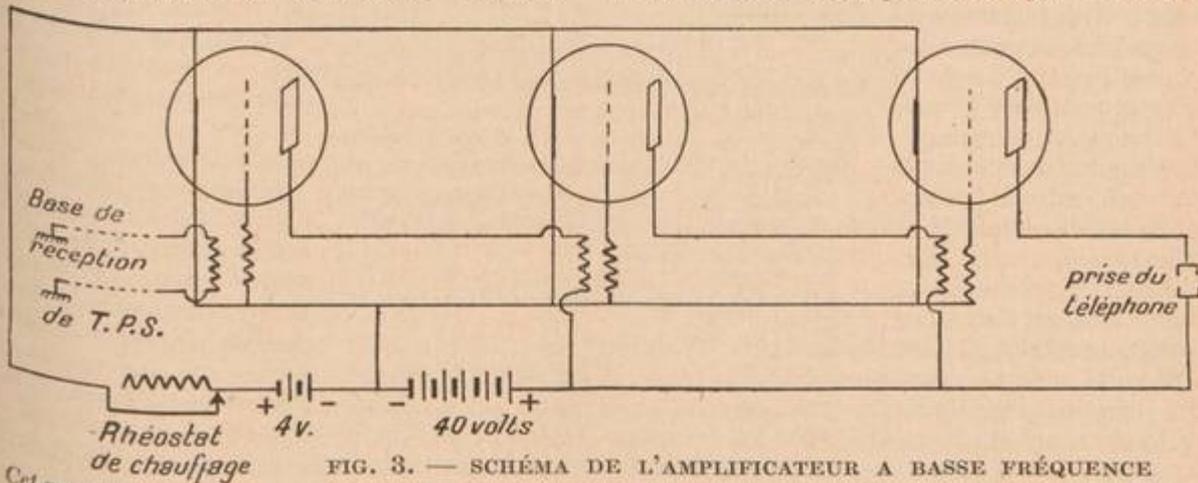


FIG. 3. — SCHÉMA DE L'AMPLIFICATEUR A BASSE FRÉQUENCE

Cet amplificateur se compose de trois lampes en cascade, alimentées par les mêmes accumulateurs et reliées entre elles par des transformateurs. Le montage ci-dessus est celui de la télégraphie par le sol.

d'émission, une ligne analogue, dans laquelle nous intercalerons un téléphone. Par induction d'une ligne sur l'autre et aussi par conduction (certains des courants dérivés, qui vont d'un bout à l'autre de la ligne d'émission, peuvent se fermer, grâce aux prises de terre, à travers la ligne de réception) la base réceptrice sera parcourue par un courant variable analogue au courant émetteur. Ce courant actionnera le téléphone et, si l'on dispose sur la base émettrice un manipulateur qui découpe le courant de départ en traits et en points, on lira au son ces signaux Morse dans le téléphone récepteur. On aura ainsi constitué un système de télégraphie par le sol. Ce dispositif, qui dérive d'une idée très simple, avait été expérimenté bien avant la guerre et, notamment, sous la direction du général Ferrié, alors commandant, mais les portées réalisées étaient trop réduites avec un simple téléphone à la réception pour qu'on pût employer le dispositif de façon intéressante. Le jour où l'on put remplacer le téléphone par un amplificateur dont la grille de la première lampe était soumise au courant variable de réception et dont la plaque de la troisième donnait un courant amplifié susceptible d'actionner le téléphone avec une énergie incomparablement supérieure à celle de la ligne elle-même, le procédé de transmission par T. P. S. devint intéressant. Avec un vibreur actionné par 30 watts au départ

(10 volts, 3 ampères) et pesant 10 kilos (voir les deux gravures de la page 251), on obtient, grâce à l'amplificateur, 2 km. 500 à 3 kilomètres de portée. Avec un simple téléphone, on n'eût pas dépassé quelques centaines de mètres, distance véritablement trop courte

pour avoir le moindre intérêt militaire. Trois kilomètres, au contraire, surtout dans la période de stabilisation, c'était, la plupart du temps, plus qu'il n'en fallait pour relier les bataillons au régiment d'infanterie, les observatoires aux batteries ou aux groupes d'artillerie. On voit tout de suite les immenses avantages de ce genre de transmission : sécurité presque absolue, puisque le fil sur lequel on transmet n'est pas aérien comme l'antenne de T. S. F. et peut même être enterré ; simplicité très grande d'emploi.

Mais, comme toute médaille a son revers, la T. P. S. avait aussi des inconvénients : portée un peu faible qui rendait le système en général peu intéressant dans la guerre de mouvement ; grande indiscrétion, car la ligne émettrice de T. P. S. n'induisait pas seulement la ligne réceptrice, disposée exprès pour cela, mais toutes les lignes téléphoniques voisines, qui percevaient malgré elles toutes les émissions faites à proximité. Les lignes téléphoniques ennemies, dans un rayon de deux à trois kilomètres, entendaient naturellement ces émissions aussi, d'où nécessité absolue de ne rien passer en clair par ce mode de liaison, pas plus, d'ailleurs, que par la T. S. F. Mais la T. P. S. était plus

dangereuse encore, car, pour recevoir la T. S. F., il faut un appareil spécial, si simple soit-il ; pour la réception fortuite de la T. P. S., un simple téléphone suffit.

Malgré ces inconvénients, la T. P. S. a rendu d'immenses services aux armées. Quand l'attaque était déclenchée, que le bombardement faisait rage, que toutes les lignes téléphoniques étaient coupées et que les antennes de la T. S. F. elles-mêmes, ne pouvaient plus tenir, les émissions de T. P. S. maintenaient les liaisons entre le bataillon et le régiment. Ce mode de liaison se montra,

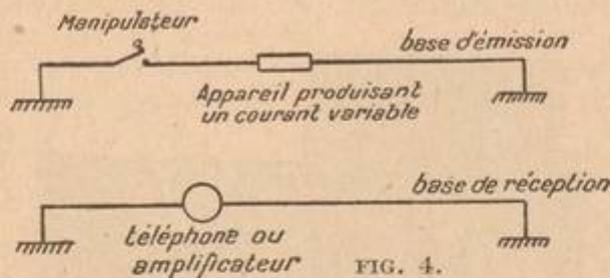


FIG. 4.

PRINCIPE DE LA TÉLÉGRAPHIE PAR LE SOL

Un courant variable découpé en points et traits Morse est produit dans une base d'émission et reçu, à travers le sol, dans un téléphone, soit directement, soit après amplification. Les deux bases sont des fils posés sur le sol et mis à la terre à chaque bout. Portée : 2.500 à 3.000 m.

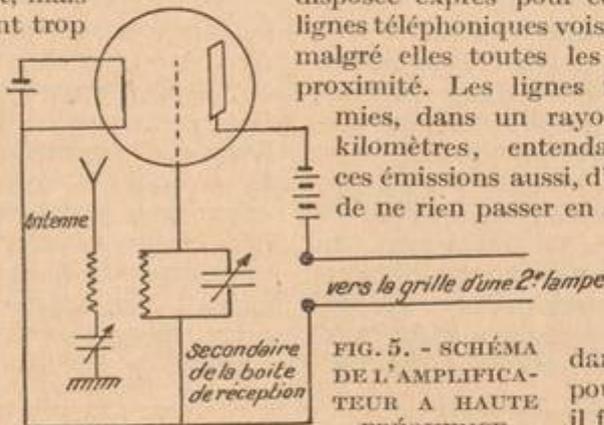


FIG. 5. - SCHEMA DE L'AMPLIFICATEUR A HAUTE FREQUENCE

L'antenne agit par induction sur le circuit secondaire d'une boîte de réception qui est intercalée dans le circuit de grille d'une lampe à 3 électrodes. On recueille sur la plaque un courant à haute fréquence analogue au courant de réception mais amplifié ; on le fait agir sur la grille de la lampe suivante pour recueillir sur la plaque de celle-ci un courant encore plus amplifié, et ainsi de suite pour les autres lampes.

en toutes circonstances, un précieux et efficace auxiliaire pour le combattant.

Il est intéressant de rapprocher de la T. P. S. deux autres moyens de communication moins connus et qui emploient comme elle des amplificateurs à basse fréquence; ce sont la télégraphie par la mer (T. P. M.) et la télégraphie par l'air (T. P. A.).

La T. P. M. est tout à fait analogue à la T. P. S. On a fait des expériences entre un cuirassé où se faisait l'émission et un canot à vapeur

qui portait la réception. A l'émission, on a, entre autres essais, envoyé du courant alternatif à fréquence musicale (800 à 1.000) dans une base constituée par deux électrodes plongeant

dans la mer et reliées à l'alternateur d'émission par des câbles que des tangons maintenaient à 15 mètres du navire. La base de réception se composait de deux câbles de longueur inégale plongeant dans la mer et venant se rattacher, dans le canot, à un amplificateur de basse fréquence. En résumé,

dispositif analogue en tous points à la T. P. S., mais avec des bases immergées au lieu d'être à la terre. Les résultats ont été bien inférieurs à ceux de la T. P. S., comme il fallait s'y attendre. Le milieu est, en effet, bien plus conducteur et l'effet d'induction, notamment, est presque inexistant. Le courant qui traverse la base émettrice se ferme immédiatement d'une électrode à l'autre à travers la mer;

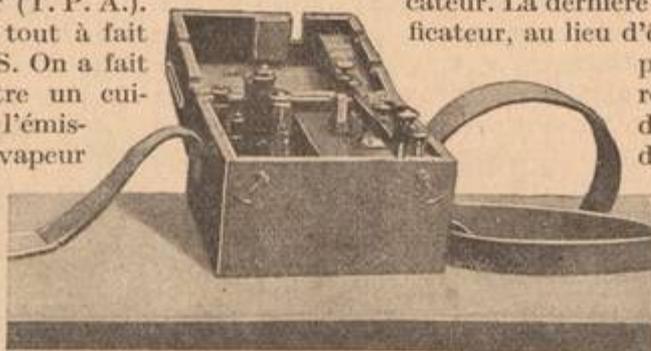
aucun courant n'est induit dans la base de réception. Avec huit ampères dans la base d'émission, on a obtenu trois kilomètres de portée seulement, ce qui est réalisé en T. P. S. avec une fraction d'ampère à l'émission.

La T. P. A. (télégraphie par l'air) est un simple phénomène d'induction qui a permis, par temps de brume, à un bateau-pilote de faire connaître à un deuxième bateau

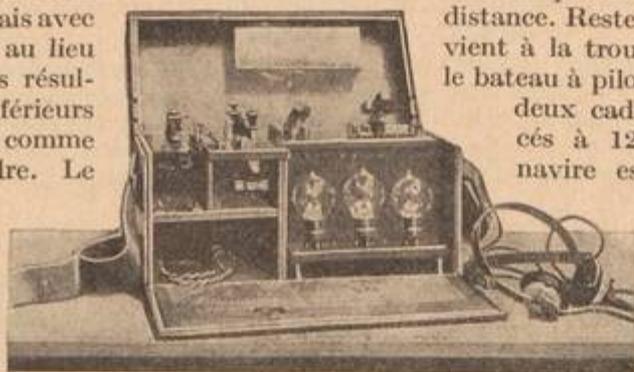
marchant derrière lui : 1° sa direction; 2° sa distance au bateau-pilote, de façon à éviter tout abordage. Le bateau-pilote envoie dans un cadre émetteur le courant à 1.000 périodes d'un alternateur de T. S. F. Le bateau-piloté reçoit par induction dans un cadre analogue fermé sur un amplificateur. La dernière plaque de cet amplificateur, au lieu d'être munie d'un téléphone, contient l'enroulement primaire d'un transformateur dont le secondaire est

fermé sur un circuit qui contient un détecteur et un microampèremètre très sensible. Cet appareil de mesure donne l'intensité du courant de réception. Les bateaux sont-ils très près, l'appareil donne une très grande déviation. Sont-ils plus éloignés, la déviation est moindre. Elle tombe à zéro dans les expériences qui ont été faites pour une distance de l'ordre de 1.200 mètres. On conçoit très bien que si l'émission est très régulière — ce qui peut être réalisé aisément — la seule lecture du microampèremètre puisse donner la distance. Reste la direction. On parvient à la trouver en disposant sur le bateau à piloter, non pas un, mais deux cadres de réception placés à 120° et dont l'axe du navire est la bissectrice. Ces deux cadres sont successivement fermés par le jeu d'un commutateur sur l'appareil de réception. Nous verrons plus loin, à propos de la goniométrie, que, lorsqu'on reçoit sur un cadre, le maximum de réception est atteint

quand le plan du cadre passe par le poste émetteur; au contraire, quand le plan du cadre est perpendiculaire à la position précédente, l'intensité de la réception est à son minimum. Si, maintenant, l'axe du bateau piloté passe par le bateau-pilote, c'est-à-dire si le bateau piloté est dans la bonne direction, les deux cadres, également inclinés sur la direction procurant le maxi-



VIBRATEUR BOUCHEROT POUR LA T. P. S.
Sa bobine d'induction débite des courants variables de fréquence comprise entre 500 et 1.000 périodes.



LE MÊME APPAREIL, COMBINÉ AVEC UN AMPLIFICATEUR A BASSE FRÉQUENCE PEU ENCOMBRANT
La réunion des deux instruments dans la même boîte constitue un appareil émetteur et récepteur de T. P. S.

quand le plan du cadre passe par le poste émetteur; au contraire, quand le plan du cadre est perpendiculaire à la position précédente, l'intensité de la réception est à son minimum. Si, maintenant, l'axe du bateau piloté passe par le bateau-pilote, c'est-à-dire si le bateau piloté est dans la bonne direction, les deux cadres, également inclinés sur la direction procurant le maxi-

mum de réception, reçoivent également et le microampèremètre marque la même déviation quand on passe d'un cadre à l'autre. Si, au contraire, le bateau n'est pas dans le bon cap, les deux déviations sont inégales et il faut virer du côté où la déviation est la plus grande. Quand les deux déviations sont redevenues égales, le bateau est à nouveau dans la bonne direction et la lecture de la déviation commune aux deux cadres donne de plus la distance au bateau-pilote, comme nous l'avons dit plus haut. Pour que le bateau qui vient d'être ainsi piloté puisse à son tour servir de pilote sans avoir besoin d'un troisième cadre émetteur, un dispositif convenable de commutateurs permet de mettre les deux cadres de réception en série et de les faire fonctionner pour l'émission comme un cadre unique. Telles sont la T. P. M. et la T. P. A., sœurs de la T. P. S. et qui sont destinées spécialement à la marine.

La surprise des communications téléphoniques ennemies, qui a donné au front des résultats d'un si grand intérêt, est basée sur le principe même de la télégraphie par le sol. A

l'émission, nous avons une ligne téléphonique avec prises de terre ou encore un circuit mal entretenu, dont les pertes constituent des terres accidentelles. Ce circuit, parcouru par le courant téléphonique variable qu'il s'agit de capter, est en tout point assimilable à une base d'émission de T. P. S. Nous disposerons en face, soit une véritable base de réception avec ses deux extrémités à la terre et un amplificateur intercalé dans la ligne, soit un cadre de grande dimension à une ou plusieurs spires, fermé sur l'amplificateur. Nous recueillerons ainsi, par induction et conduction, dans le premier cas, par induction seulement, dans le second, par parole ennemie. Nous la recueillerons d'autant mieux que les mises ou pertes à la terre seront plus franches du côté de l'émission, que les lignes téléphoniques seront plus mal entretenues. En fait, au début, quand

l'ennemi était sans méfiance, on entendait même sans amplificateur et dans un simple téléphone, les choses les plus intéressantes. Plus tard, ce fut plus difficile, car l'Allemand soignait ses lignes et l'on n'entendait souvent que nos propres conversations, ce qui permettait, d'ailleurs, d'exercer sur les téléphonistes amis une surveillance qui n'était pas toujours inutile ; mais, néanmoins, on continua d'obtenir jusqu'à la fin, avec un succès qui dépendait des circonstances locales, des renseignements toujours exploitables et souvent même d'un très grand intérêt (relèves, projets d'attaques, etc.).

Amplificateurs à haute fréquence. — Nous en avons donné le principe plus haut. On fait agir sur la grille d'une première lampe le courant même qui traverse l'antenne de réception (fig. 7). Ce courant, qui est à très haute fréquence de (1.000.000 à 15.000 quand la longueur d'onde est comprise entre 300 mètres et 20.000 mètres, cas extrêmes actuels) produit des variations de ni-

veau électrique extrêmement rapides de la grille. A ces variations du niveau électrique de la grille correspondent fidèlement

des variations beaucoup plus considérables, des variations *amplifiées* du courant plaque. Il ne reste plus qu'à faire agir ce courant variable de plaque, dont la fréquence est la même que celle du courant de réception, sur la grille d'une deuxième lampe, celui de la plaque de cette deuxième lampe sur la grille d'une troisième, et ainsi de suite.

On a réalisé de cette manière un grand nombre de types d'amplificateurs à haute fréquence (voir les deux gravures de la page 253), ayant jusqu'à huit et neuf lampes en cascade et qui ne diffèrent que par la façon dont la plaque de chaque lampe est reliée à la grille de la suivante, la première grille étant toujours directement soumise au courant de réception T. S. F. et la dernière plaque fournissant directement, ou par l'intermédiaire d'un transformateur, le courant qui actionne le téléphone de réception.

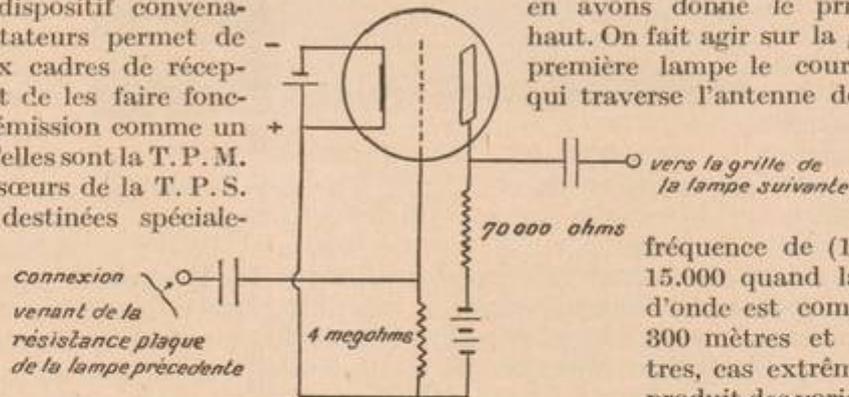


FIG. 6

Les deux accumulateurs représentés dans le schéma sont communs à toutes les lampes.

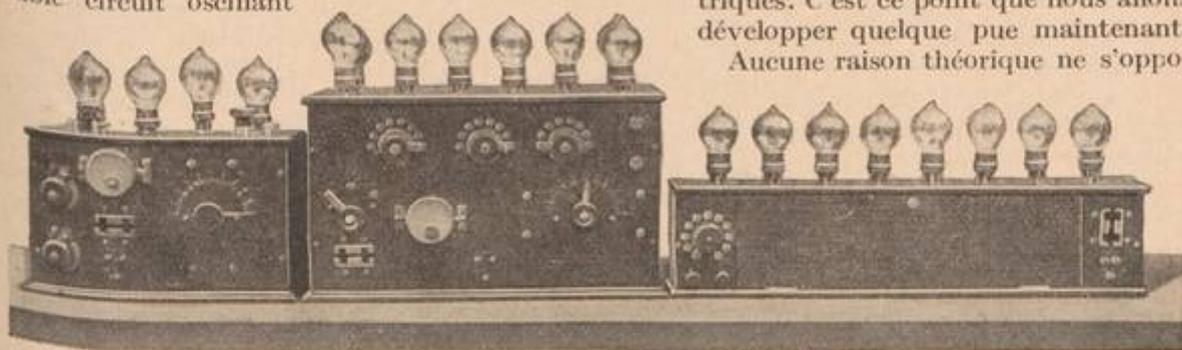
SCHÉMA DU MONTAGE DES AMPLIFICATEURS A HAUTE FRÉQUENCE DITS A RÉISTANCES

Une résistance de 70.000 ohms est intercalée dans la plaque et reliée par une de ses extrémités, au travers d'une capacité, à la grille de la lampe suivante. Cette même grille est reliée au filament de sa propre lampe par une résistance de 4 mégohms, qui a pour but de maintenir la grille à un niveau électrique convenable par rapport au filament.

Pour relier la plaque de chaque lampe à la grille de la suivante, on peut, soit employer un transformateur, comme dans le cas de l'amplificateur à basse fréquence, soit intercaler dans le circuit plaque une résistance que l'on relie à la grille (schéma de la fig. 6), soit passer par l'intermédiaire d'une bobine de self induction ou d'un véritable circuit oscillant

Ces amplificateurs à haute fréquence, qui peuvent servir en même temps de détecteurs et qui reçoivent, quand ils sont montés à cet effet, aussi bien l'onde entretenue que l'onde amortie, ont fait faire de grands progrès à la réception T. S. F. Ils ont surtout permis la réception sur petit cadre et ont rendu pratique les mesures radiogoniométriques. C'est ce point que nous allons développer quelque peu maintenant.

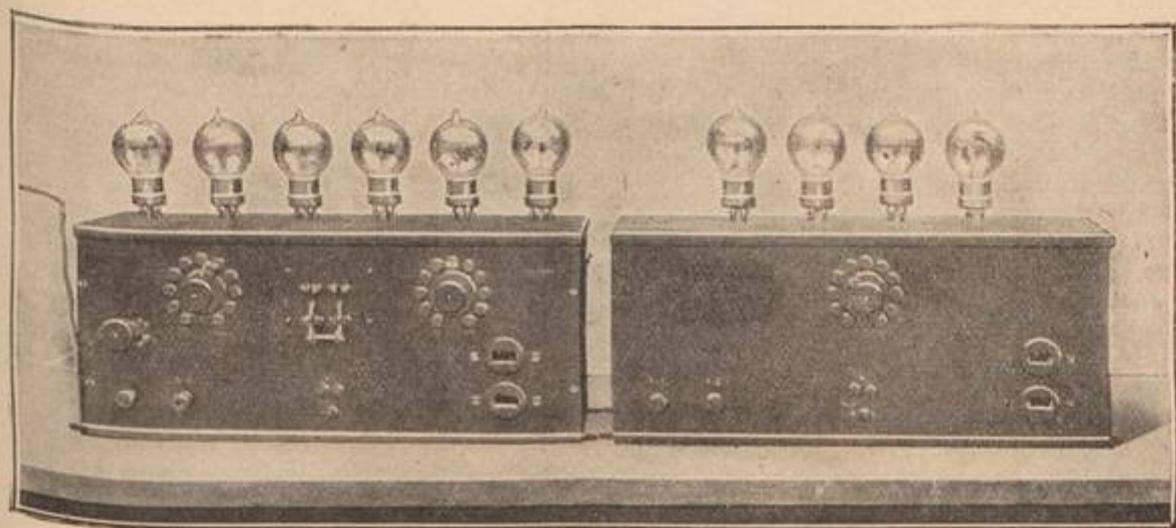
Aucune raison théorique ne s'oppo-



DIFFÉRENTS MODÈLES D'AMPLIFICATEURS HAUTE FRÉQUENCE A RÉSISTANCES

à capacité variable (amplificateurs à résonance). Nous n'insisterons pas davantage sur les détails de construction de tous ces amplificateurs; nous signalerons simplement que l'organe de liaison des lampes a des constantes électriques (self, capacité) qui correspondent à une période propre, à une longueur d'onde déterminée et que cette longueur d'onde est celle pour laquelle l'amplificateur donne le meilleur résultat. En d'autres termes, chaque type d'amplificateur à haute fréquence a une gamme, heureusement assez étendue, pour laquelle il donne de bons résultats. Pour une fréquence déterminée, il faut donc employer un amplificateur d'un certain type et pas un autre.

sait à ce qu'on remplaçât, pour la réception en T. S. F., le circuit ouvert constitué par l'antenne et la terre par un circuit fermé dans lequel induisait l'onde électromagnétique que l'émetteur rayonnait dans l'espace. Mais le cadre, de dimensions nécessairement inférieures à celles qu'il était toujours possible de donner à l'antenne, ne pouvait recevoir à des distances intéressantes que le jour où on le ferma sur un amplificateur. On constata, dès que le cadre put être pratiquement employé, un phénomène extrêmement intéressant que la théorie explique très simplement et qui est le suivant: quand le plan du cadre récepteur supposé vertical passe par l'antenne émettrice, la réception



DEUX MODÈLES D'AMPLIFICATEURS HAUTE FRÉQUENCE A TRANSFORMATEURS

a le maximum d'énergie; elle est, au contraire, la plus faible ou même nulle, quand ce plan est perpendiculaire au plan vertical qui contient l'émetteur. Si l'on veut se faire une idée de la cause de ce phénomène, il suffit de se souvenir du fait suivant : un courant électrique traversant un fil produit dans un plan perpendiculaire des lignes de force magnétique (lignes suivant lesquelles se disposeraient d'eux-mêmes des grains de limaille de fer placés sur ce plan, fig. 7) disposées suivant des cercles dont le centre est situé sur le fil que le courant électrique parcourt. Quand le courant électrique est variable, ce qui est le cas pour le courant d'émission d'une antenne de T. S. F., ces lignes de force magnétique, tout en conservant la même forme, changent constamment de sens et d'intensité. Si nous prenons alors un circuit fermé (cadre) auquel ces

lignes sont perpendiculaires (cadre passant par l'émetteur, fig. 8), les variations d'intensité et de sens desdites lignes se traduiront dans ce cadre par un courant induit intense (forte réception en T. S. F. si le cadre est fermé sur des appareils récepteurs convenables). Le cadre est-il, au contraire, tangent au cercle des lignes de force, l'induction produite est très faible et la réception peu intense. Ceci tient à ce qu'un courant électrique fermé engendre des lignes de force magnétique perpendiculaires à son plan et qu'inversement, des lignes de force magnétique variables induisent un courant électrique dans un circuit fermé situé dans un plan perpendiculaire à la direction des lignes en question. On voit que ce sont les phénomènes les plus généraux et les plus simples de l'induction électrique qui entrent ici en jeu.

On avait ainsi un moyen infiniment simple de faire de la radiogoniométrie par cadre mobile. Le principe du dispositif avait été

donné par M. Blondel dès 1901. Au lieu du double cadre fixe de grandes dimensions, employé par MM. Bellini et Tosi et que *La Science et la Vie* a décrit dans tous ses détails (n° 23, novembre 1915), il suffisait, en effet, d'installer un cadre unique, orientable et permettant d'effectuer, en recherchant le maximum ou le minimum d'audition, les mesures goniométriques propres à faire connaître la direction du poste dont on voulait relever la position. Le rôle de l'amplificateur a été de

permettre une sérieuse réduction des dimensions du cadre mobile, ce qui l'a rendu maniable. Sans amplificateur, il eût fallu, pour avoir des réceptions d'une intensité raisonnable, disposer de cadres mobiles de dimensions telles que leur mise en service eût été pratiquement impossible. Avec les amplificateurs puissants de la radiotélégraphie mi-

litaire, de petits cadres de 1 m. 50 à 2 mètres de côté permettaient de recevoir les postes les plus lointains, et, notamment, l'Amérique. Le problème de la radiogoniométrie se trouvait résolu de la plus élégante manière et le dispositif goniométrique d'une armée se présentait alors de la façon suivante : trois postes au moins, et, dans la pratique, quatre ou cinq ou davantage étaient répartis sur le front de l'armée à des distances de 5 à 6 kilomètres les uns des autres et en des points soigneusement repérés sur la carte. Chacun disposait d'un cadre tournant autour d'un axe vertical fermé sur des amplificateurs de réception et qui entraînait dans

son mouvement de rotation un disque gradué en degrés et orienté, une fois pour toutes, à l'aide de la boussole de façon qu'au moment où l'on réalisait l'extinction d'un poste ennemi

(plan du cadre perpendiculaire à la ligne qui joint le poste qui écoute à celui qui émet), on lisait, en face d'un index fixe, devant lequel les graduations du disque se déplaçaient, l'angle fait par la direction du poste

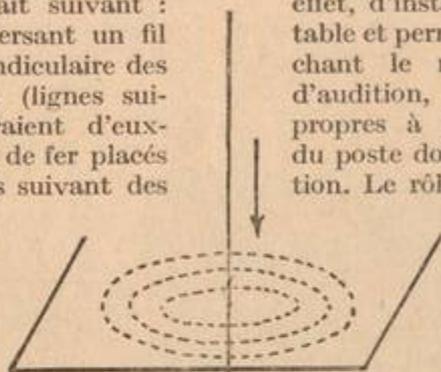


FIG. 7. LIGNES ENGENDRÉES PAR UN COURANT RECTILIGNE

Ce sont des cercles concentriques au courant et disposés dans un plan perpendiculaire à sa direction.

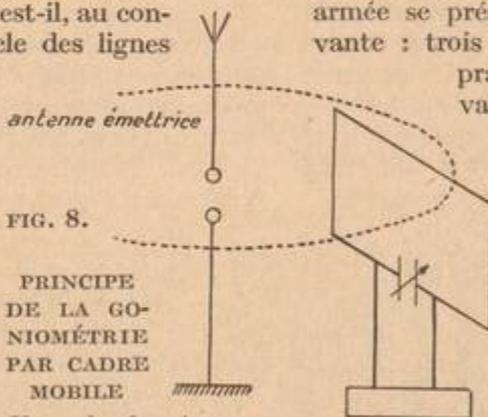


FIG. 8.

PRINCIPE DE LA GONIOMÉTRIE PAR CADRE MOBILE

Un cadre fermé sur une capacité variable, destinée à l'accorder sur l'onde qui arrive, et aux bornes de laquelle est branché un amplificateur-détecteur, reçoit au maximum quand les lignes de force magnétiques engendrées par l'antenne émettrice sont perpendiculaires au plan du cadre, c'est-à-dire quand ce dernier est orienté sur l'antenne d'émission.

émetteur avec le Nord magnétique. Le poste goniométrique disposait, en outre, d'un poste émetteur ordinaire de T. S. F. à ondes entretenues avec lequel il envoyait ses mesures à un poste centralisateur installé à l'arrière. Tout ce matériel de réception et d'émission était contenu soit dans une remorque, soit dans une cabane au-dessus de laquelle le cadre se déplaçait.

Le repérage d'un poste ennemi se faisait alors le plus simplement et le plus rapidement du monde. Supposons que le poste allemand dont l'indicateur était 3b se mit au travail à 15 h. 25 ; supposons (schéma de la fig. 9) que l'armée en face de laquelle se trouvait ce poste ennemi disposât de

cinq postes gonios à cadre tournant. Chacun de ces postes se réglait immédiatement pour recevoir 3b, s'assurait que c'était bien 3b qui travaillait, puis faisait tourner son cadre jusqu'à obtenir la réception la plus faible ou l'extinction. Quand l'extinction était obtenue, chaque poste lisait en face de son index fixe un nombre qui mesurait l'angle de la droite qui le joignait à 3b avec le Nord magnétique. C'était, par exemple, si les angles étaient comptés dans le sens des aiguilles d'une montre : 45° pour le poste 1, 15° pour 2, 5° pour 3, 350° pour 4, 315° pour 5. Il ne restait plus à chacun de nos cinq gonios, qu'à expédier à l'arrière la courte dépêche suivante : « 1525 3 b 45 » ce qui signifiait :

« J'ai entendu à 15 h. 25 le poste 3 b qui

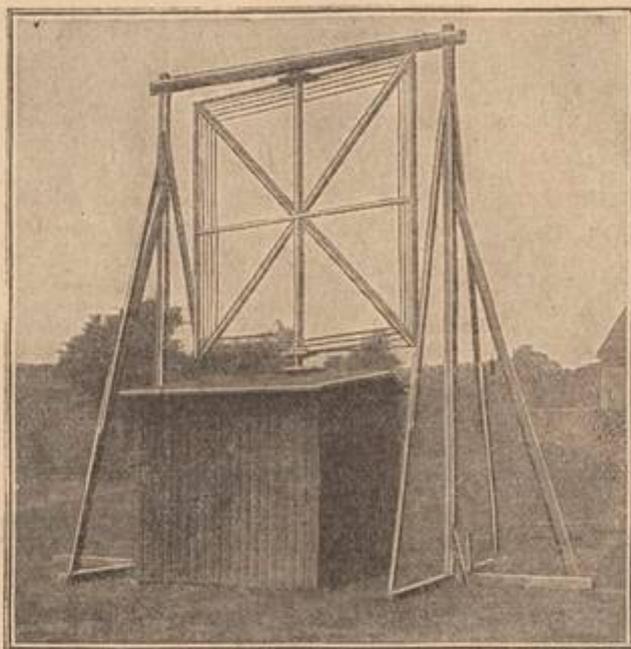
faisait avec le Nord un angle de 45°. Le poste centralisateur arrière reportait les cinq angles sur sa carte et si les mesures étaient bien faites, il obtenait cinq droites qui conver-

geaient en un même point. L'emplacement du dénommé 3b était ainsi parfaitement déterminé. On arrivait, par ce procédé, à ne pas avoir plus de 2° et même 1° d'erreur et à localiser les postes ennemis à quelques centaines de mètres près. Si l'on songe que *Poste de T. S. F.* signifie presque toujours état-major ou quartier général important, on voit combien la connaissance de ces emplacements peut renseigner sur le dispositif ennemi, sur les renforcements, sur les dépôts d'unités.

La goniométrie n'est pas seulement une arme contre l'ennemi, elle a des applications du temps de paix dont les deux principales sont la possibilité pour les navires et les aéronefs de faire leur point, c'est-à-dire de rechercher leur position exacte.

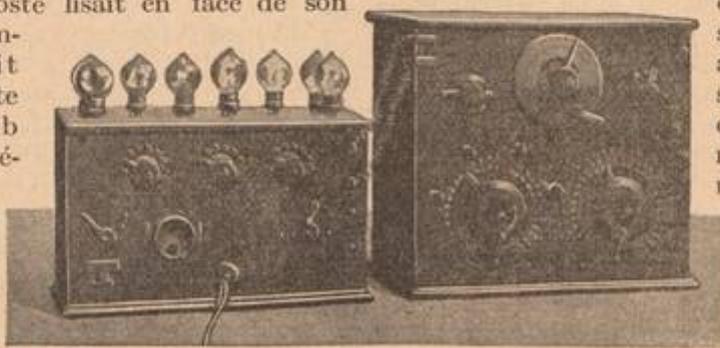
Pour les navires, deux procédés, tous deux devenus intéressants du fait des amplificateurs qui, seuls, permettent des portées raisonnables. Ou bien le navire émet avec un poste de T. S. F. ordinaire ; des postes goniométriques, qui peuvent être des Bellini-Tosi ou des postes à cadre unique tournant, mesurent, dans ce cas, l'angle

que fait avec le Nord la droite qui les joint au navire et lui font connaître cet angle par T. S. F. ; le navire se relève alors sur ces postes dont il connaît la position sur la carte. Ou



CABANE GONIOMÉTRIQUE A CADRE MOBILE

L'opérateur fait tourner son cadre jusqu'à ce qu'il n'entende plus le poste dont il concourt à découvrir la position.



AVEC CE PETIT POSTE, ON A REÇU L'AMÉRIQUE

Il se compose d'une bobine fermée sur une capacité variable (boîte de droite) et d'un amplificateur à résistance (à gauche).

bien le navire reçoit sur un cadre mobile les émissions d'un certain nombre de postes situés sur la côte et qu'on appelle des phares hertziens. Il détermine lui-même, grâce à son cadre, la direction par rapport à lui, de ces phares hertziens. Comme il connaît l'emplacement exact de ces derniers sur la carte, il peut encore se relever sur eux, mais, cette fois, il lui faut corriger l'erreur qui provient du fait qu'entre deux relevements faits sur deux phares hertziens, il a continué sa route et ne se trouve donc plus au même endroit. La correction peut se faire avec une précision suffisante pour que le procédé reste possible. C'est le dispositif que tendrait en ce moment à adopter notre marine marchande, la radiogoniométrie faite à terre semblant avoir beaucoup plus d'adeptes dans la marine de guerre française.

Les aéronefs (dirigeables ou grands avions) peuvent employer la goniométrie exactement comme les navires. Ou bien, ils transmettent simplement et se font envoyer leur point de la terre — c'est ce que faisaient les zeppelins (à noter que si les postes goniométriques allemands faisaient le point des zeppelins pour le leur envoyer, les postes goniométriques français le faisaient également pour aider à leur envoyer autre chose); — ou bien, ils reçoivent sur cadre des émissions spécialement faites pour eux. Nous parlerons plus en détail du dispositif à propos de la Radioaérienne.

Amplificateurs à très basse fréquence. — Nous avons dit plus haut qu'un amplificateur haute fréquence amplifiait au maximum pour une certaine gamme de longueurs d'ondes qui était fonction des constantes électriques des organes de liaison entre plaque et grille de deux lampes consécutives. En modifiant convenablement ces

constantes, MM. Abraham et Bloch ont réalisé des amplificateurs dits à très basse fréquence dont le principe de montage n'est pas essentiellement différent de celui des amplificateurs dits à résistance et qui sont particulièrement avantageux pour l'amplification des courants dont la variation est relativement très lente (10 à 50 périodes par seconde) ou bien des courants successivement coupés et rétablis à la cadence d'une émission Morse ordinaire. De tels amplificateurs mis à la suite d'un amplificateur haute fréquence, dont le courant téléphonique de sortie est lui-même déjà amplifié par un amplificateur basse fréquence, donnent une amplification supplémentaire à des signaux qui arrivent avec la cadence voulue et peuvent alors

actionner un relais qui ne sera pas actionné par toute autre réception, même aussi puissante ou davantage, qui ne serait pas faite à la même cadence et ne profiterait pas de l'amplification très basse fréquence dont nous venons de parler. Ces amplificateurs combinés avec des relais convenables ont permis de faire de la télémechanique et

d'actionner à distance, par des émissions de T. S. F., soit les organes de commande d'un avion, soit ceux d'une vedette. On a également réussi à actionner à bonne distance une sonnerie adjointe à un dispositif de téléphonie sans fil et à réaliser ainsi l'appel dont l'absence est si gênante pour la mise en

pratique de ce moderne procédé de liaison. On se rend compte que le problème le plus délicat de la télémechanique n'est pas tant d'actionner les organes à distance que de les empêcher d'être actionnés par une émission parasite. L'amplificateur à très basse fréquence, qui ne marche bien que pour une

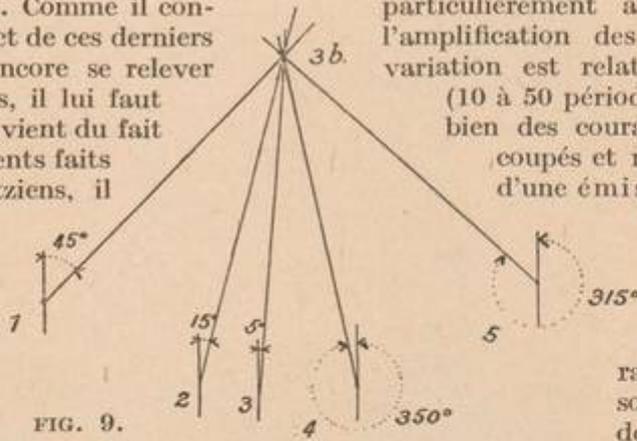


FIG. 9.

REPÉRAGE D'UN POSTE DE T. S. F. ENNEMI

Les cinq postes d'écoute mesurent au même instant, l'angle que fait avec le Nord magnétique la droite qui les joint respectivement au poste ennemi 3 b pour permettre à un poste centralisateur de relever sur la carte la position exacte dudit poste ennemi.

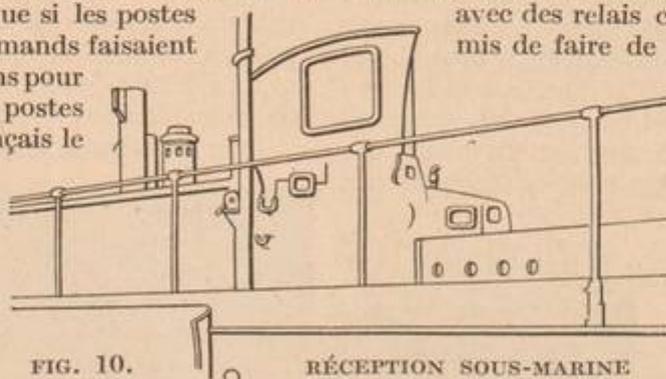
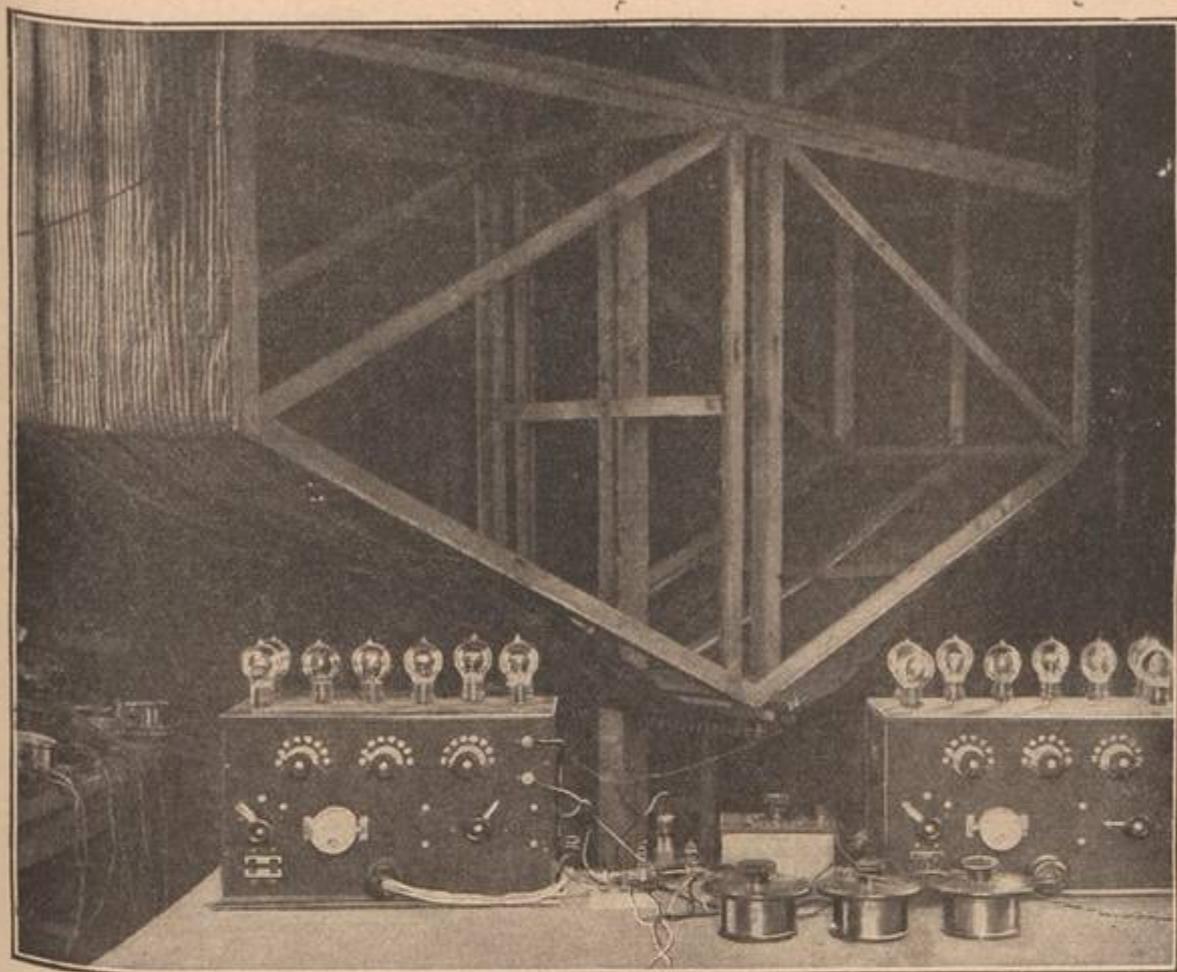


FIG. 10.

RÉCEPTION SOUS-MARINE

La tôle de la passerelle de ce sous-marin est percée d'une fenêtre carrée dans laquelle on a encastré un caisson contenant un cadre relié à un amplificateur-détecteur placé, lui, dans l'intérieur du sous-marin. Immersé à plusieurs mètres, ce dernier entendait les postes de Lyon et de Nantes à plus de 1.000 kilomètres de distance.



CADRE HEXAGONAL PERMETTANT DE RECEVOIR, A PARIS, LES POSTES D'AMÉRIQUE
 On voit, à droite, sur la table, l'amplificateur-détecteur spécial qui constitue un élément du dispositif antiparasites. L'appareil de gauche est un amplificateur ordinaire à six lampes.

cadence donnée, résout suffisamment ce problème. On peut y arriver aussi par un dispositif de lames vibrantes synchrones, dont l'une découpe à l'émission une onde entretenue en un nombre donné d'émissions partielles, et l'autre, à la réception, entre en vibration à grande amplitude uniquement quand elle est soumise à l'action d'un courant amplifié dont la fréquence correspond à sa période propre qui est celle de la lame émettrice. Pour cette réception seulement, le relais qui doit déclencher la manœuvre voulue fonctionne ; toute autre réception laisse la lame réceptrice au repos ou la fait vibrer faiblement et la fausse manœuvre ne se produit pas. La télémechanique, qui commence à donner mieux que des résultats de laboratoire, permet les plus vastes espoirs. Déclencher à distance, à l'aide d'une onde hertzienne, les plus formidables énergies ou faire exécuter, dans les mêmes conditions, des mouvements de la plus minu-

tieuse précision, voilà à quoi on arrivera sans doute dans un avenir assez prochain, et le seul énoncé de ces deux résultats permet de se rendre compte des belles applications que l'on est en droit d'attendre de cette nouvelle branche de la technique radiotélégraphique.

Il nous reste, pour terminer cette étude, à parler des progrès récemment réalisés dans la réception de la T. S. F. On peut en signaler trois parfaitement distincts :

En premier lieu, les amplificateurs ont permis, pour une même émission, de recevoir à des distances beaucoup plus considérables qu'autrefois. Ils ont permis aussi de remplacer, pour la réception, les antennes ouvertes par des cadres. En second lieu, on a augmenté le rendement des postes en réalisant des réceptions automatiques permettant de recevoir trois ou quatre fois plus de mots à l'heure que dans le cas d'une réception ordinaire directement effectuée par un lecteur au son. On l'a augmenté aussi en sépa-



ENREGISTREMENT AU NOIR DE FUMÉE D'UN MESSAGE RADIOTÉLÉGRAPHIQUE ENVOYÉ D'ANGLETERRE ET REÇU SUR CADRE A PARIS

rant complètement l'émission de la réception.

Enfin, on a lutté efficacement contre les réceptions parasites qui, aux colonies surtout, empêchent tout travail pendant de nombreuses périodes et réduisent singulièrement de ce fait le rendement des postes. Nous allons donner quelques détails sur chacun de ces trois importants résultats.

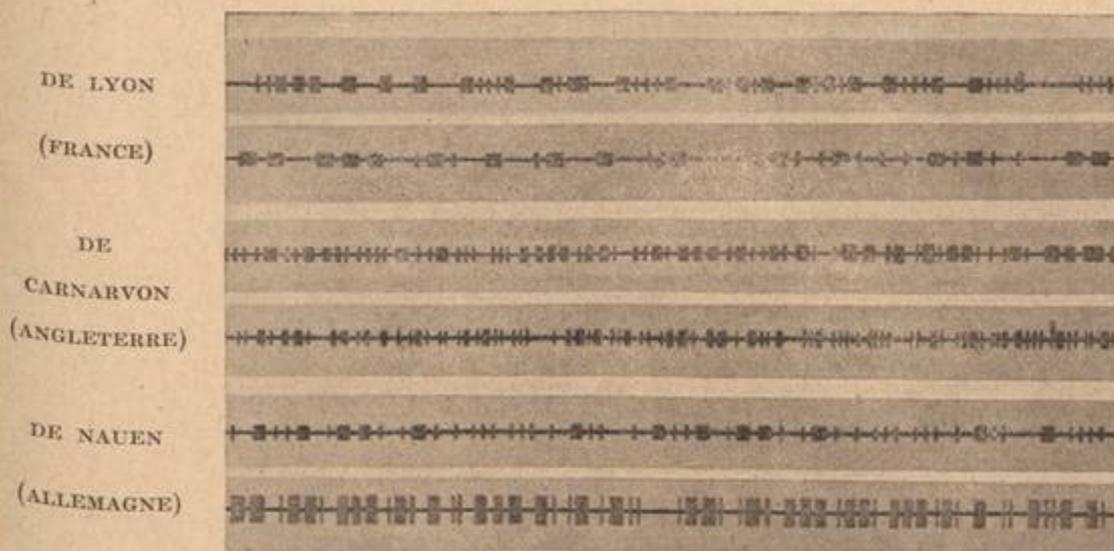
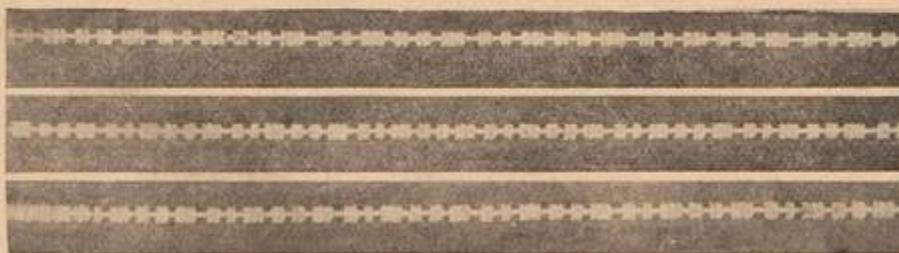
1° *Augmentation des portées à l'aide des amplificateurs. Possibilité de recevoir sur cadre.* Considérons deux postes, travaillant l'un et l'autre sur antenne et employant la même antenne pour émettre et pour recevoir ; si nous branchons cette dernière et la terre, à l'aide d'un commutateur, successivement sur le dispositif émetteur et sur le dispositif récepteur, l'emploi d'un amplificateur à la réception triplera au moins la portée. A noter que des amplificateurs à lampes convenablement disposés ont permis de renforcer, dans d'excellentes conditions, les courants téléphoniques qui parcourent les circuits normaux du réseau par fil et ont permis des conversations excellentes sur des lignes très longues ou très mal entretenues. Mais le résultat particulièrement intéressant que l'amplificateur a permis d'obtenir, c'est la réception sur cadre, remplaçant la réception sur antenne et permettant de multiplier à peu de frais les postes récepteurs puisqu'il n'est plus besoin de leur adjoindre l'importante et dispen-

dieuse antenne, qui reste nécessaire pour les émissions puissantes. C'est ainsi qu'on a réussi à réaliser des dispositifs d'amplification tellement puissants que le cadre pouvait être remplacé par une simple bobine dont les dimensions ne dépassaient pas celles d'un chapeau haute forme. On a reçu, de cette façon, les postes américains à Paris. Le dispositif de réception se composait de deux petites boîtes : l'une contenant la bobine et les capacités variables de réglage, l'autre constituant l'amplificateur ; le tout tenait sur un coin de table et était alimenté par deux petits accumulateurs (gravure du bas de la page 255). Recevoir clairement une transmission par-dessus l'Océan avec ce minimum d'encombrement, est un résultat assez saisissant pour qu'on y insiste.

C'est avec de petits cadres également, d'environ 1 mètre de côté, installés sur la passerelle et dont les extrémités étaient fermées sur un amplificateur à huit lampes, que l'on a réussi à recevoir en sous-marin. On obtenait de bonnes réceptions des grands postes pour des profondeurs correspondant à une immersion complète du périscope. Par conséquent, le sous-marin, complètement invisible, pouvait rester en relation avec les grands postes côtiers ou non (Nantes, Lyon), qui pouvaient avoir des ordres à lui passer. Les cadres de réception étaient placés à l'intérieur d'une caisse qui les protégeait contre les énormes pressions auxquelles les soumettait la plongée. Ces cadres étaient au nombre de deux, faisant un angle d'environ 40°. Les boîtes qui les contenaient étaient encastrées dans des fenêtres percées dans la tôle de la passerelle (fig. 10). Le fait d'avoir deux cadres à 40° pouvant, à l'aide d'un commutateur, être successivement fermés sur l'amplificateur de réception, éliminait l'effet directif que possède tout cadre, ainsi que nous l'avons dit plus haut. Si l'un des deux cadres se trouvait à la position d'extinction pour le poste que l'on désirait recevoir, l'autre, placé à 40° de cette position, entendait encore très fort. L'amplificateur et le commutateur se trouvaient naturellement à l'intérieur du sous-marin. On a essayé d'émettre sur cadre immergé, mais sans succès. On a émis également en se servant d'antennes flottantes, mais il ne semble pas que l'émission en plongée ait pu être mise sérieusement au point jusqu'à ce jour.

2° Augmenter la portée d'un poste grâce aux amplificateurs, c'est déjà en augmenter le rendement puisqu'il touche des correspondants plus éloignés et, par conséquent, plus nombreux. On a cherché en même temps à

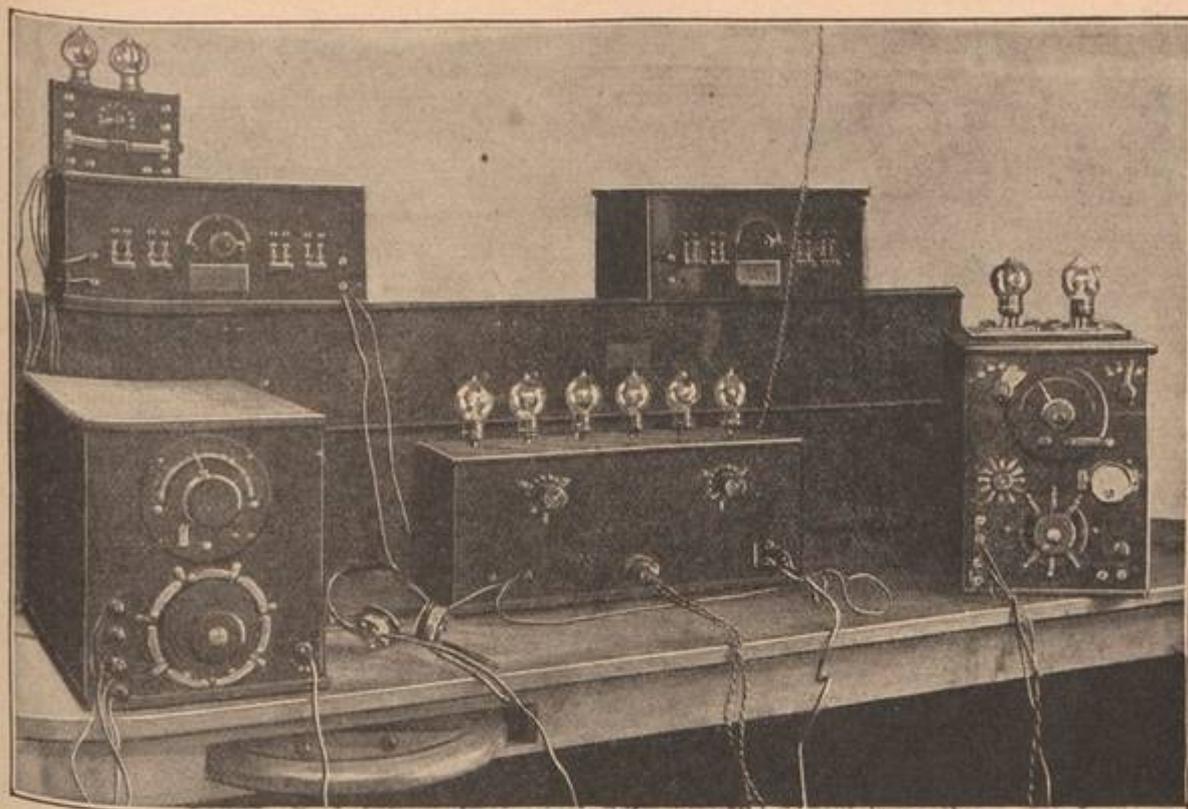
ENREGISTREMENT PHOTOGRAPHIQUE DE SIGNAUX DE T. S. F.

1^o RÉCEPTION TRANSATLANTIQUE*(Enregistrement du trafic régulier reçu par la station navale américaine de Otter Cliff.)*2^o ESSAIS DE GRANDES VITESSES EN LABORATOIRE300 MOTS
PAR MINUTE600 MOTS
PAR MINUTE400 MOTS
PAR MINUTE3^o RÉCEPTION MULTIPLE*(Enregistrement de deux messages émis simultanément par la même antenne.)*FRÉQUENCE
1.000
PÉRIODES

augmenter le nombre des mots échangés dans une même période de temps, entre deux correspondants donnés; premièrement, en organisant méthodiquement la réception sur cadre; deuxièmement, en faisant de l'émission et de la réception automatiques.

Le poste de T. S. F., ancien modèle, se servait alternativement de son antenne pour émettre et pour recevoir. Il transmettait, par exemple, un message, se mettait sur réception pour en recevoir l'accusé de réception ou la demande de répétition, repassait ensuite sur émission et ne pouvait, pendant ce temps, rien recevoir. Il lui arrivait ainsi

de transmettre un long message sans que son correspondant pût lui faire connaître qu'il avait une panne à sa réception. En résumé, beaucoup de temps perdu, faible rendement. Séparons, au contraire, l'émission de la réception. Gardons pour l'émission l'antenne à grande surface et à grand rayonnement. Recevons sur un cadre, que nous pourrions disposer (gravure de la page 257) comme on faisait au début, assez loin de l'émission, ce qui permet de ne pas prévoir de précautions spéciales pour le protéger contre sa propre émission (il suffira de mettre le plan du cadre perpendiculaire à la droite qui le joint



APPAREILS DE RÉCEPTION DOTÉS DE DISPOSITIFS ANTIPARASITES

L'onde à recevoir est d'abord détectée et amplifiée par un amplificateur (celui de droite sur la gravure de la page 257) qui donne une réception inaudible. Ce courant détecté est débarrassé de ses parasites dans les « filtres » que l'on voit au second plan, puis envoyé dans un deuxième amplificateur à six lampes, visible au premier plan, qui, lui, donne une réception audible dans les écouteurs.

Hughes, et que le poste de la Tour Eiffel a réussi à recevoir également au Hughes ce que les Allemands transmettaient.

Une dernière difficulté restait à vaincre pour permettre à la T. S. F. de donner son plein rendement. Il fallait pouvoir lutter efficacement contre les réceptions parasites qui, à certaines heures, et sous certains climats, empêchaient tout trafic pendant de longues périodes. Il semble qu'on touche au but. M. Latour se défend avec un réel succès contre les parasites, qui sont des décharges dans l'antenne de l'électricité atmosphérique locale, à l'aide d'amplificateurs d'un modèle spécial. M. Lévy, qui fut ingénieur à la Tour Eiffel, a breveté un dispositif tout à fait original et qui a déjà donné des résultats très appréciables. Voici quel est le principe de son appareil. L'onde à recevoir est détectée et amplifiée par un premier amplificateur détecteur (gravure ci-dessus) à proximité duquel se trouve une hétérodyne réglée de telle manière que la fréquence des battements résultant de l'interférence de l'onde à recevoir et de l'onde locale soit de l'ordre de 10.000, trop élevée, par conséquent, pour

donner un son perceptible. Ce courant détecté passe d'abord dans toute une série de circuits accordés et disposés de telle façon qu'un courant de fréquence 10.000 les traverse sans perte sensible, mais que les parasites que l'antenne a recueillis ne puissent passer. Le courant de réception ainsi filtré, est envoyé alors dans un deuxième amplificateur, détecteur à six lampes, dont les deux dernières forment hétérodyne et produisent, avec le courant 10.000 périodes, des battements qui sont, cette fois, au nombre de 800 à 1.000 par seconde. Cette deuxième détection donne donc un courant audible, débarrassé de ses parasites, et c'est ce courant filtré que l'on reçoit dans un téléphone.

Dans cette étude, consacrée à la réception, nous avons passé en revue les progrès considérables de ces dernières années : progrès techniques et progrès d'organisation.

Nous y reviendrons dans un prochain article qui traitera de la Radio aérienne, des grands postes modernes et de l'état actuel de la téléphonie sans fil, dont les perfectionnements nous réservent d'extraordinaires surprises.

LOUIS FRANÇOIS.