

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

Par Louis FRANÇOIS

La guerre qui vient de finir a été une guerre scientifique. Dans toutes les branches de la technique, de remarquables progrès ont été faits. Mais l'art de l'ingénieur n'a nulle part obtenu de résultats plus brillants qu'en matière de télégraphie sans fil.

On peut dire, sans fausse modestie aucune, que la France a été, en radiotélégraphie et pendant toute la guerre, à la tête du mouvement. Chaque fois que l'on mettait en service une innovation nouvelle (T. S. F. sur avion, télégraphie par le sol, postes de campagne à ondes entretenues, etc.), c'était l'armée française qui en faisait le premier essai. Nos alliés nous empruntaient alors notre matériel ou nos idées, puis nos ennemis s'empres- saient de les copier.

Avant de passer en revue les progrès réalisés en radiotélégraphie pendant la guerre, progrès qui n'intéressaient pas que le matériel des armées, on peut se demander quelles sont les raisons qui ont permis ce remarquable pas en avant.

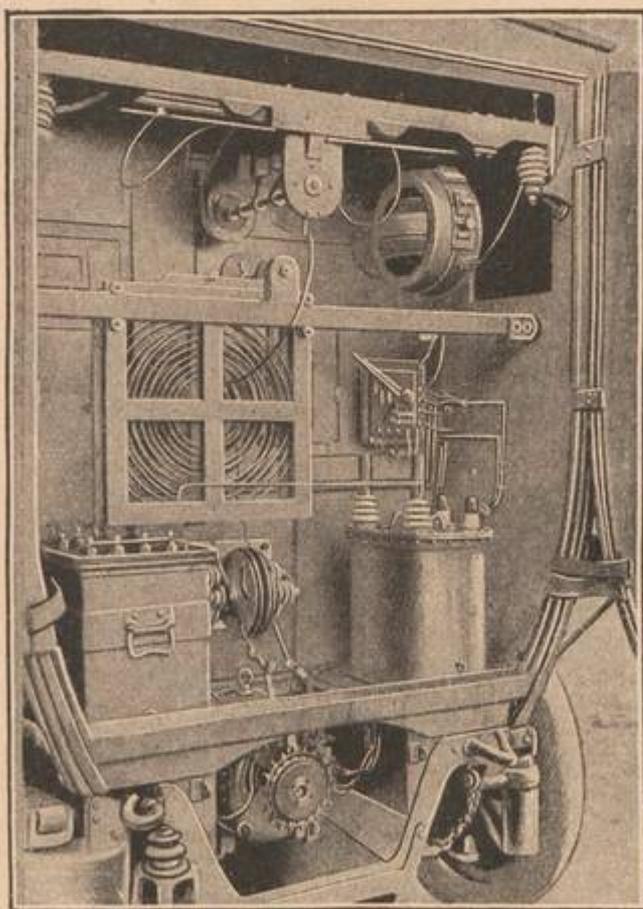
Nous en trouvons au moins trois. Le pays

a pu profiter, tout d'abord, des remarquables travaux de toute une pléiade de savants éminents qui, sous la direction éclairée et habile du général Ferrié, ont mis à la disposition de la radiotélégraphie militaire toutes

les ressources de la science française. En second lieu, pendant la guerre, la question d'argent ne se posait pas et aucune expérience ne paraissait, et avec raison, trop coûteuse. En fin, l'expérimentation du matériel pouvait se faire en grand et la mise en œuvre immédiate de tout matériel nouveau en révélait, sans délai, les qualités ou les défauts.

Quels sont donc ces progrès qui nous ont mis ainsi à la tête du mouvement ? On peut dire qu'ils dérivent tous, à l'exception des perfectionnements apportés à l'émission des grands postes, de la mise au point de la lampe à trois électrodes, de l'audion, devenue la « lampe française »

et dont *La Science et la Vie* a déjà parlé (Octobre-Novembre 1918, N° 41, page 411). La lampe est génératrice d'ondes, elle peut servir de détecteur en remplacement



POSTE MOBILE ÉMETTEUR, A ÉTINCELLE

L'étincelle éclate à la roue dentée que l'on aperçoit en bas de la photographie ; cette roue est montée sur l'arbre de l'alternateur (mû par le moteur de la voiture) qui fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement du poste.

de la galène; enfin, elle amplifie les faibles courants qu'on fait agir sur elle.

Ces trois fonctions ont conduit à réaliser plusieurs séries d'appareils qui ont littéralement révolutionné la technique de la radiotélégraphie.

La lampe génératrice a permis la réalisation de postes émetteurs qui, pour un faible encombrement, ont une portée relativement importante.

Elle a permis aussi une réception nouvelle et pratique des ondes entretenues. Le numéro de *La Science et la Vie* déjà cité fait comprendre clairement ce que c'est qu'une onde entretenue. Nous aurons, d'ailleurs, à y revenir plus loin.

La lampe amplificatrice a servi à mettre au point toute une série d'appareils amplificateurs, qui ont révolutionné tout ce qu'on savait sur la réception des ondes. Les portées ont été augmentées dans des proportions inespérées. La télégraphie par le sol, la réception en avion et en sous-marin ont pu être réalisées de façon pratique et intéressante. On a pu aussi, et bien plus commodément qu'autrefois, déterminer la direction d'un correspondant et faire de la radiogoniométrie de façon tout à la fois simple et pratique.

La lampe détectrice, dont le principe avait été donné par Fleming, a remplacé avantageusement la galène.

Nous pouvons classer autrement les résultats obtenus, ainsi que les améliorations qui ont été acquises pendant les hostilités.

Il y a eu des applications de la télégraphie sans fil ou de ses côtés entièrement nouvelles, au moins dans leur réalisation pratique. Nous citerons :

La télégraphie par le sol, la télégraphie par la mer et la télégraphie par l'air ;
La radiogoniométrie (Voir *S. et V.*, n° 23).

La radiotélégraphie sur aéroplane ;
La radiotélégraphie en sous-marin ;
La téléphonie sans fil, tant à portée faible qu'à portée moyenne.

Il y a eu aussi, simultanément, des améliorations importantes apportées à l'émission et à la réception radiotélégraphiques.

Nous citerons, à l'émission :

Améliorations des arcs ;

Réalisation des alternateurs puissants à haute fréquence ;

Création de postes émetteurs à lampes.

Et, à la réception :

Réalisation des amplificateurs à lampes ;

Nouvelle méthode de réception des ondes dites entretenues ;

Lutte efficace contre les courants parasites qui troublent la réception ;

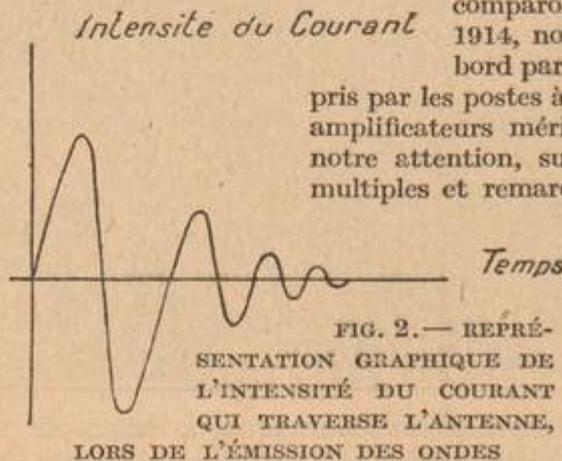
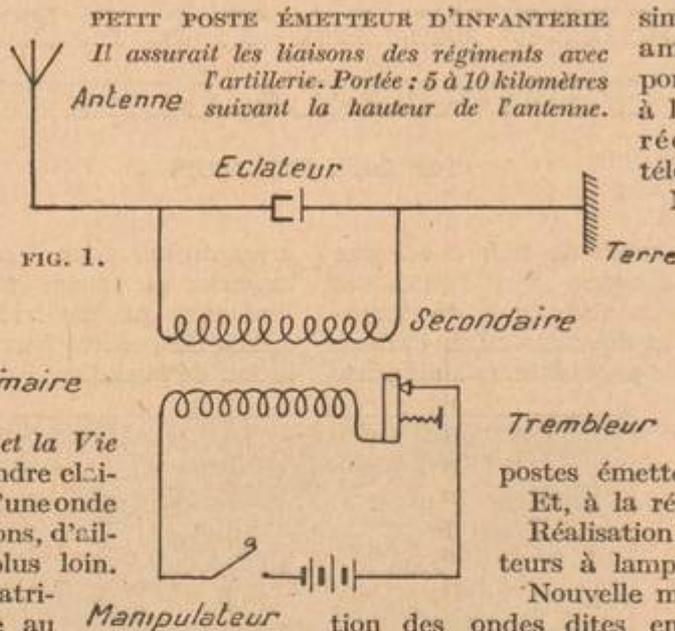
Réception sur cadre, qui permet le travail en duplex : le poste réserve son antenne pour l'émission et reçoit sur un cadre, dans le même temps qu'il émet, grâce à un dispositif que nous expliquerons plus loin.

Si nous jetons un coup d'œil d'ensemble sur la T. S. F. d'après guerre, et si nous la comparons à ce qui existait avant 1914, nous sommes frappés d'abord par le grand développement

pris par les postes à ondes entretenues ; les amplificateurs méritent ensuite de retenir notre attention, surtout à cause de leurs multiples et remarquables applications (T. P. S., gonios, etc...);

l'étude des amplificateurs nous conduit ensuite, tout naturellement, à passer en revue les grands progrès qui ont amélioré la réception (dispositif antiparasite, réception sur cadre). Enfin, cette revue d'ensemble des réalisations de l'heure présente

ne peut mieux se terminer que par un coup d'œil jeté sur les postes modernes puissants, et sur les postes d'aéronefs qui sont appelés à jouer un si grand rôle dans la navigation aérienne de demain.



Ce courant, qui change très rapidement de sens, est amorti après une dizaine d'oscillations.

Postes émetteurs d'ondes entretenues. Réception de ces ondes. — Nous allons être obligé de reprendre, pour donner une idée de ce que c'est que l'onde entretenue, les notions qui ont été exposées dans le n° 41 de *La Science et la Vie*. Nous nous excusons auprès du lecteur si l'exposé que nous allons faire peut lui paraître aride ; nous le réduirons autant qu'il sera compatible avec la compréhension du sujet.

Le plus simple des postes de T. S. F. émetteurs, le premier en date, se compose essentiellement d'une bobine d'induction (genre bobine de Ruhmkorff). Ces bobines ont deux enroulements (fig. 1). L'un, appelé primaire, est alimenté par du courant continu qu'un interrupteur, du type des trembleurs de sonneries, établit et rompt un certain nombre de fois par seconde (dix à vingt). L'autre, qui est appelé secondaire, a ses deux extrémités reliées, d'une part, à l'antenne et à la terre, et, d'autre part, à deux parties métalliques entre lesquelles une étincelle peut jaillir. Dans le circuit pri-

maire, un manipulateur est intercalé. Appuyons sur ce manipulateur. Le courant passe dans le primaire. A chaque interruption ou rétablissement du courant, le secondaire est par-

couru (phénomène d'induction) par un courant à haute tension et une étincelle jaillit. Si nous

Antenne

avons maintenu le manipulateur abaissé une demi-seconde, ce qui correspond à un point Morse, la palette de l'interrupteur se sera déplacée pendant ce temps, par exemple, dix fois, et dix étincelles

Détecteur

élémentaires auront jailli ; notre œil les aura prises pour une étincelle unique durant tout le temps que le manipulateur n'aura pas été relevé.

Téléphone

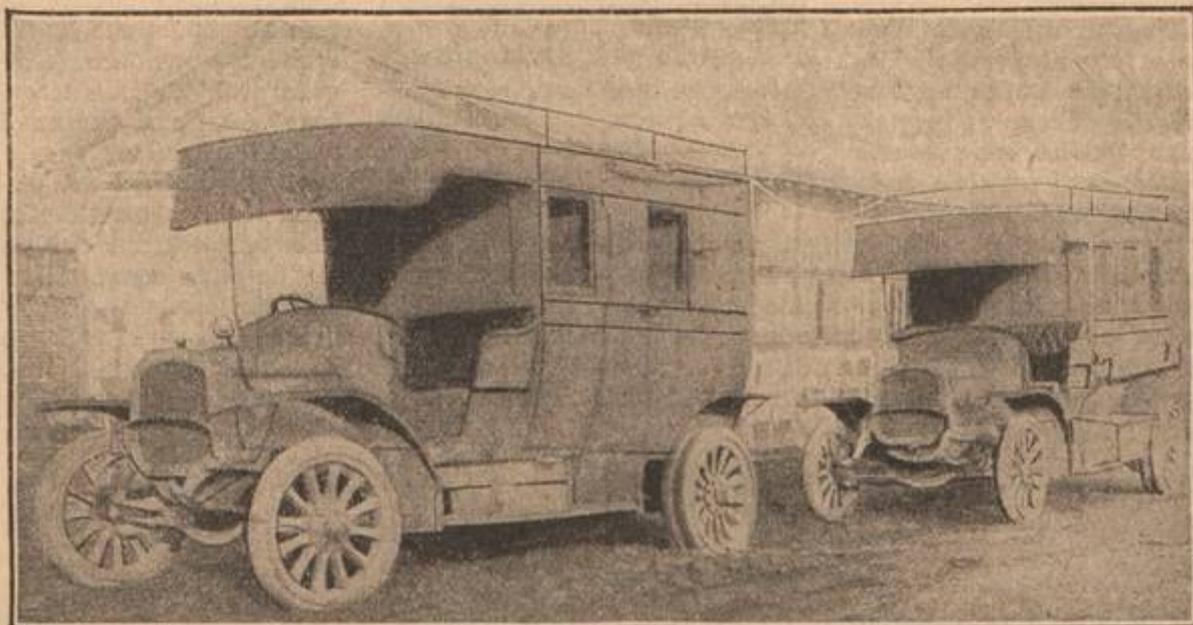
L'étincelle élémentaire, qui se reproduit autant de fois que le courant primaire est interrompu ou rétabli, offre un passage à un courant électrique qui traverse l'enroulement secondaire. Au moment où cette étincelle va jaillir, les deux extrémités de l'enroulement secondaire sont à des niveaux électriques différents, comme peuvent être à des niveaux hydrauliques différents deux vases remplis de liquide et qui sont mis en communication par

un tube fermé par un robinet. Le

passage de l'étincelle est assimilable à l'ouverture brusque du robinet. Le liquide, si le tube de jonction a une section suffisante, ne reprend son équilibre qu'après plusieurs oscillations qui

FIG. 3. — PRINCIPE DE LA RÉCEPTION

Le détecteur se laisse traverser par le courant beaucoup plus facilement dans un sens que dans l'autre. Dans la pratique, le détecteur n'est jamais placé en série avec l'antenne ; il est intercalé dans un circuit spécial sur lequel agit le circuit antenne-terre.



POSTE DE T. S. F. A ÉTINCELLE, CONSTITUÉ PAR DEUX AUTOMOBILES ACCOUPLES

Côté, 100.000 francs ; personnel, neuf hommes ; portée, 150 km. avec un mât de 24 mètres de hauteur. Avec la même antenne, le poste à lampes portait à 250 km., n'exigeait que six hommes et ne coûtait que 30.000 francs.

vont s'amortissant. De même, l'équilibre électrique ne se rétablit qu'après plusieurs oscillations qui donnent lieu à des courants dont le sens change avec une très grande vitesse. Ces courants ont une intensité qui baisse rapidement. Ils tombent à 0 au bout de quelques alternances. Si l'on représente leur intensité en fonction du temps, on a une courbe représentée figure 2.

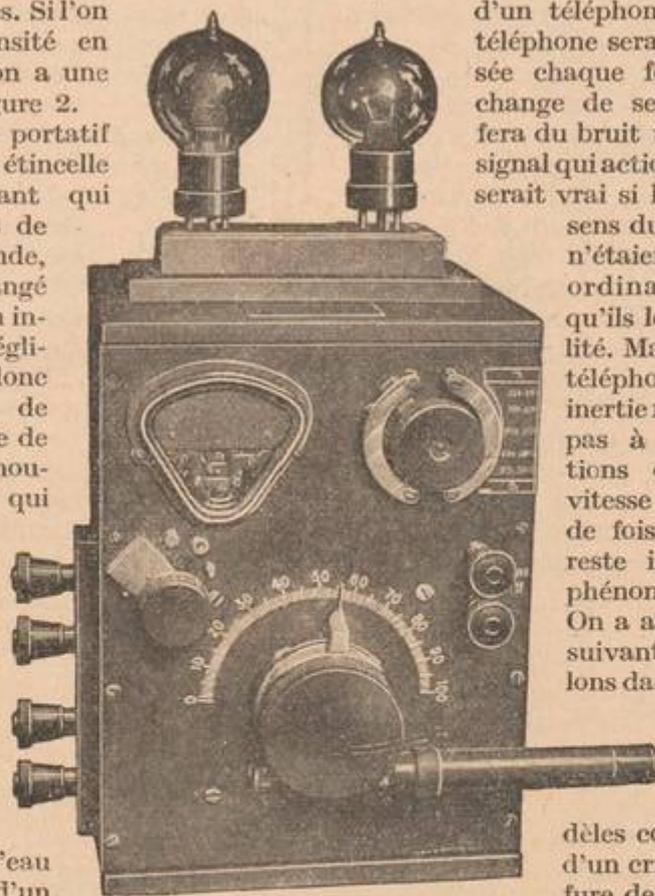
Dans un petit poste portatif d'infanterie, à chaque étincelle correspond un courant qui change deux millions de fois de sens par seconde, mais, quand il a changé vingt fois de sens, son intensité est devenue négligeable. Il ne dure donc qu'un cent millième de seconde. Un vingtième de seconde après, une nouvelle étincelle jaillit, qui donne lieu au même phénomène, et ainsi de suite, tant que le manipulateur est baissé. (Voir fig. 4.)

Les courants amortis qui traversent ainsi l'antenne ébranlent le milieu environnant à la manière d'un bâton qu'on plongerait dans l'eau et qu'on animerait d'un mouvement alternatif. Des rides, des ondes se forment; elles se propagent dans tous les sens avec une vitesse qui est celle de la lumière (300.000 kilomètres par seconde); elles atteignent l'antenne du poste récepteur. Par un phénomène inverse de celui qui leur a donné naissance, elles engendrent dans cette antenne un courant alternatif changeant de sens un très grand nombre de fois par seconde. Il ne

s'agit plus que de rendre ce courant, dont l'énergie est très faible, accessible à nos sens. Une idée simple vient tout de suite à l'esprit : puisque le courant qui traverse l'antenne de réception est variable, pourquoi ne pas lui faire traverser l'électro-aimant d'un téléphone ? La plaque du téléphone sera attirée ou repoussée chaque fois que le courant change de sens et le téléphone fera du bruit tant que durera le signal qui actionne l'antenne. Ceci serait vrai si les changements de

sens du courant récepteur n'étaient pas aussi extraordinairement rapides qu'ils le sont dans la réalité. Mais la membrane du téléphone, à cause de son inertie mécanique, n'arrive pas à suivre des variations qui se font à la vitesse de deux millions de fois par seconde; elle reste immobile et aucun phénomène ne se produit. On a alors usé de l'artifice suivant (fig. 3) : intercalons dans l'antenne un dispositif qu'on a appelé le détecteur et qui, dans les postes de modèles courant, se compose d'un cristal de galène (sulfure de plomb) sur lequel appuie une pointe fine (Gravure page 417). Ce détecteur possède la propriété de laisser passer le courant qui va dans un certain sens et d'arrêter à

peu près complètement le courant qui va en sens inverse. Tout se passe comme si on supprimait (fig. 4) la partie négative de la courbe qui représente le courant d'émission et aussi de réception en fonction du temps. Le téléphone, qui reçoit des impulsions toutes



APPAREIL APPELÉ « HÉTÉRODYNE »
C'est un générateur local d'ondes entretenues qui permet de recevoir les ondes, également entretenues, transmises, grâce au phénomène des battements.

Intensité du Courant qui parcourt l'antenne de réception

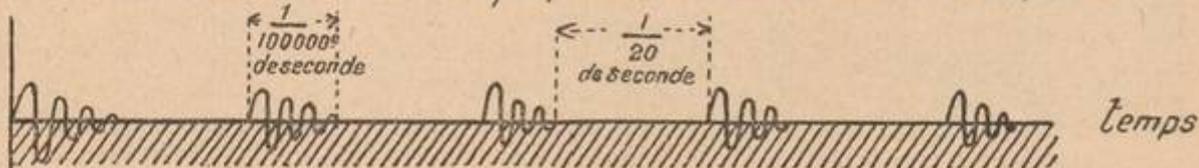
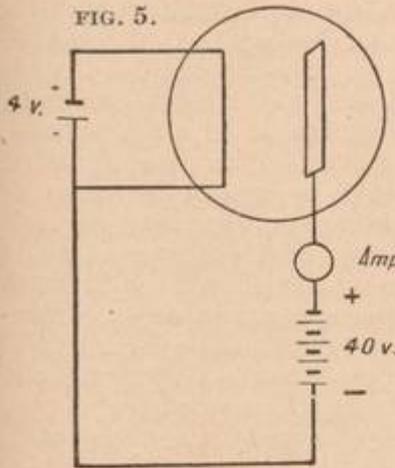


FIG. 4. — LE DÉTECTEUR SUPPRIMANT LA PARTIE NÉGATIVE (HACHURÉE) DES OSCILLATIONS, LE TÉLÉPHONE EST ACTIONNÉ COMME PAR DES ÉMISSIONS DE COURANT CONTINU

FIG. 5.



LAMPE A DEUX ÉLECTRODES

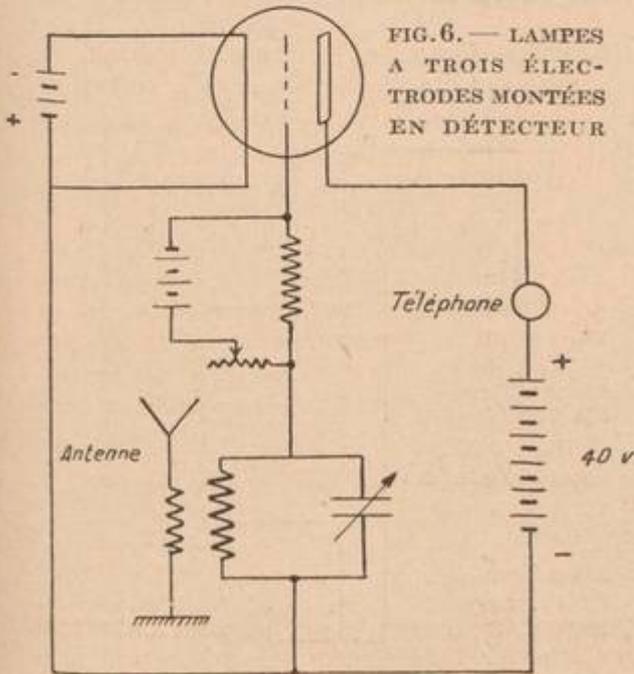
Un courant passe dès qu'on allume la lampe et va de la plaque vers le filament à travers le vide de l'ampoule.

de même sens, reçoit, en définitive, une sorte de choc correspondant à chaque étincelle. Il vibre avec un nombre égal au nombre des étincelles émises au poste de départ. L'on entendra un son qui sera directement fonction du nombre d'étincelles produites à l'émission.

Voilà, résumés aussi simplement et aussi brièvement que possible, les principes de l'émission et de la réception en ondes amorties.

Ce qui frappe, quand on regarde la courbe de la figure 4, c'est que, pour une émission qui dure une demi-seconde, nous avons dix étincelles ayant duré chacune un cent millièbre de seconde, c'est-à-dire que, dans la demi-seconde considérée, il y a eu un dix millièbre de seconde pendant lequel de l'énergie a été expédiée dans l'espace et

FIG. 6. — LAMPES A TROIS ÉLECTRODES MONTÉES EN DÉTECTEUR

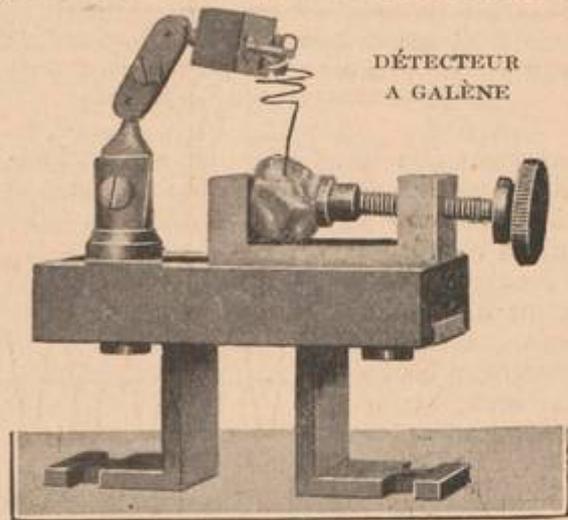


La grille est rendue négative ; les ondes captées par l'antenne influencent son circuit, et, après redressement, sont reçues dans le téléphone.

quatre mille neuf cent quatre-vingt-dix-neuf dix millièmes de la même fraction de temps où l'antenne émettrice était au repos.

Il semble plus logique de faire travailler cette antenne pendant tout le temps que le manipulateur sera baissé, autrement dit de la faire parcourir par une onde entretenue. Nous allons voir comment peut naître une telle onde, et comment on peut la recevoir.

Avant la guerre, on connaissait deux procédés pour produire du courant alternatif non amorti à haute fréquence. C'était l'arc chantant, dont nous rappellerons le principe quand nous parlerons des grands postes, (voir le numéro déjà cité de *La Science et*



DÉTECTEUR A GALÈNE

Ce détecteur pour ondes amorties ne permet pas de recevoir les ondes dites entretenues.

la Vie) et l'alternateur à haute fréquence, dont certains types, notamment celui qui est en service au grand poste militaire de Lyon, ne diffèrent pas essentiellement dans leur principe des alternateurs industriels ordinaires. Cependant, alors que ces derniers ont des fréquences de l'ordre de 40, c'est-à-dire que leur courant change quatre-vingts fois de sens par seconde, l'alternateur à haute fréquence donne un courant qui change de sens de trente à soixante mille fois par seconde, suivant les modèles, ceci étant simplement réalisé par la multiplication du nombre des pôles de la machine et par la grande vitesse de rotation de la partie mobile c'est-à-dire du rotor (6.000 tours minute pour les alternateurs de moyenne puissance, 2.500 pour les plus puissants).

Pendant la guerre, on a mis au point des postes à ondes entretenues d'une réalisation plus simple que les alternateurs, d'une exploitation plus facile que les arcs. Ce sont les postes à lampes, dont nous allons

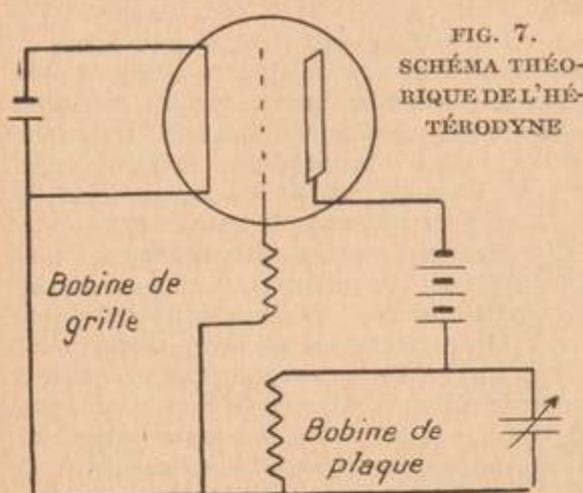


FIG. 7.
SCHÉMA THÉORIQUE DEL'HÉTÉRODYNE

Dans le circuit de la plaque il naît, quand la lampe est allumée, des ondes entretenues dont on peut faire varier à volonté la période.

parler maintenant. La lampe a déjà été décrite dans *La Science et la Vie*. Résumons sommairement ce qui en a été dit :

Prenons une lampe à incandescence ordinaire, extrêmement bien vidée d'air et dont le filament est rectiligne. Ce filament est en pleine incandescence pour une tension de 4 à 6 volts. En face de

ce filament et à une certaine distance, plaçons une surface métallique qui, dans la lampe française, est un cylindre dont le filament occupe l'axe. Ce cylindre, que nous appelons la plaque, est relié au pôle positif d'un accumulateur de 40 volts dont le pôle négatif est relié au pôle négatif de l'accumulateur qui chauffe le filament (fig. 5). Si dans le circuit filament, plaque, accumulateur de 40 volts, circuit qui présente une solution de continuité, entre filament et plaque, nous introduisons un instrument de mesure, nous constatons, à l'allumage de la lampe et tant que celle-ci brûle, une déviation de l'instrument de mesure. Il passe un courant dans ce circuit, qui est ouvert. On admet, pour expliquer ce phénomène, que le filament incandescent émet des particules chargées d'électricité négative que l'on appelle des électrons. La plaque étant positive par rapport au filament, puisqu'elle est reliée au pôle positif de la batterie à haut voltage, attire ces électrons, se charge négativement et cette

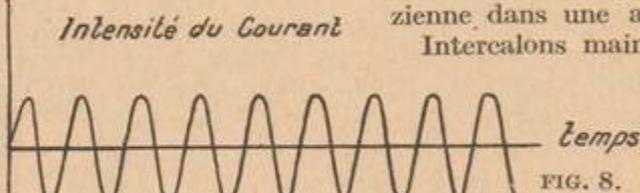
charge est neutralisée par l'électricité positive débitée par la batterie de 40 volts, d'où un courant qui dure tant que des électrons sont émis, c'est-à-dire tant que le filament reste incandescent. Il est à noter que si la plaque était reliée au pôle négatif de l'accumulateur, il ne se passerait rien. Il faut, pour que le courant de plaque passe, que la plaque soit positive par rapport au filament. Si donc on remplace la batterie d'accumulateurs par une source de courant alternatif, seule une alternance passera, celle qui rend la plaque positive (fig. 14, page 425).

Nous n'avons, jusqu'ici, envisagé qu'un dispositif à deux électrodes. Ce dispositif constitue, d'ailleurs, la valve de Fleming, connue bien avant la guerre et qui servait déjà de détecteur radiotélégraphique, puisque, de même que la galène, dont nous avons parlé plus haut, elle ne laisse passer qu'une moitié du courant alternatif qu'on applique à la plaque et qui peut être le courant alternatif engendré par l'onde hertzienne dans une antenne de réception.

Intercalons maintenant une troisième

électrode entre le filament et la plaque. Cette électrode s'appelle la grille, parce que dans certaines lampes elle avait réellement la forme d'une petite grille métallique. Dans

la lampe française, c'est un fil enroulé en spirale qui entoure le filament à l'intérieur



REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DE L'INTENSITÉ DU COURANT TRAVERSANT L'ANTENNE D'ÉMISSION DANS UN POSTE A ONDES ENTRETENUES. L'AMPLITUDE DU COURANT RESTE CONSTANTE

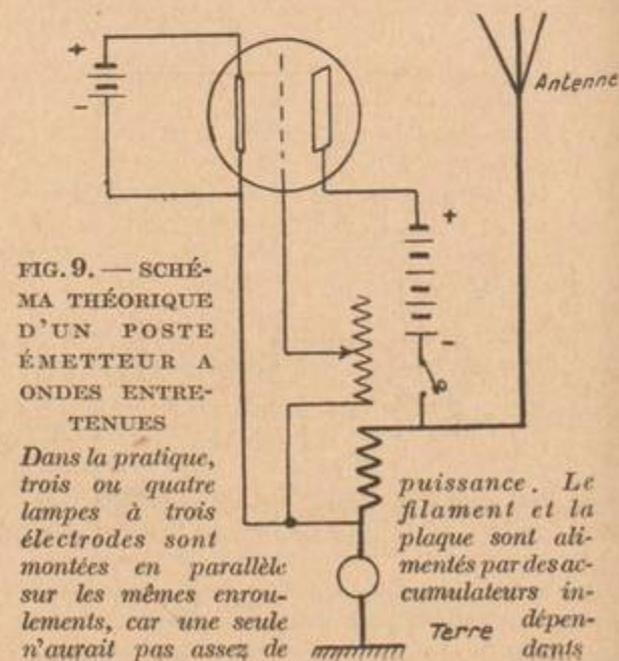


FIG. 9. — SCHÉMA THÉORIQUE D'UN POSTE ÉMETTEUR A ONDES ENTRETENUES

Dans la pratique, trois ou quatre lampes à trois électrodes sont montées en parallèle sur les mêmes enroulements, car une seule n'aurait pas assez de

puissance. Le filament et la plaque sont alimentés par des accumulateurs indépendants

du cylindre-plaque. Si nous relions cette grille au filament et à la plaque, il ne se passe rien de particulier. Mais, intercalons dans la grille un troisième accumulateur. Si c'est le pôle positif de ce dernier qui est relié à la grille, celle-ci, devenue positive par rapport au filament, attire les électrons et augmente le courant-plaque. Si c'est le pôle négatif, au contraire, qu'on a raccordé à la grille, cette dernière devient négative, repousse les électrons, et le courant-plaque en est diminué d'autant. En d'autres termes, les variations de niveau électrique de la grille se reproduisent fidèlement dans le circuit de la plaque. On a constitué une sorte de relais, mais un relais très particulier, sans aucune pièce matérielle, par conséquent sans aucune inertie, et qui suit fidèlement des variations d'une énorme rapidité, comme le sont celles de la T. S. F.

Et, en effet, si on applique à la grille le courant alternatif à haute fréquence qui traverse une antenne de réception, par exemple en intercalant dans la grille un circuit sur lequel agit cette antenne (fig. 6), on obtient dans le circuit-plaque une série de courants tous du même sens et qui peuvent agir sur un téléphone. La lampe forme ainsi détecteur. De plus, on constate qu'à de petites variations du niveau électrique de la grille corres-

pondent, par une disposition convenable des éléments de l'appareil, de grandes variations du courant-plaque. Autrement dit, si l'on applique de faibles énergies à la grille, on réalise, sur la plaque, un phénomène beaucoup plus important : la lampe est donc, en même temps, amplificatrice.

Cette action si importante de la grille sur la plaque va nous permettre aussi de nous rendre compte comment la lampe peut engendrer des ondes entretenues. Si l'onde, dans un poste à étincelle, s'amortit rapidement, c'est que le courant alternatif qui

lui donne naissance perd rapidement son énergie à échauffer les conducteurs. Il faudrait, pour entretenir ce courant, et, par suite, l'onde dont il est la cause, lui fournir une énergie nouvelle au fur et à mesure qu'il consomme celle qui lui a été fournie à l'origine. Nous allons voir que ceci peut être réalisé dans une

lampe. Prenons, en effet, une lampe à trois électrodes (fig. 7). Dans le circuit de la grille, intercalons une bobine. Dans celui de la plaque, fermé sur lui-même, introdui-

sons une capacité que nous rendrons variable et une bobine agissant par induction sur celle de la grille. Supposons que le circuit de la plaque soit le siège d'un courant alternatif à très haute fréquence. Nous allons voir que ce courant peut s'entretenir automatiquement en empruntant de l'énergie à l'accumulateur de la plaque. Faisons, en effet, les deux remarques suivantes : 1° l'accumulateur en question, comme toute source de courant continu, débite

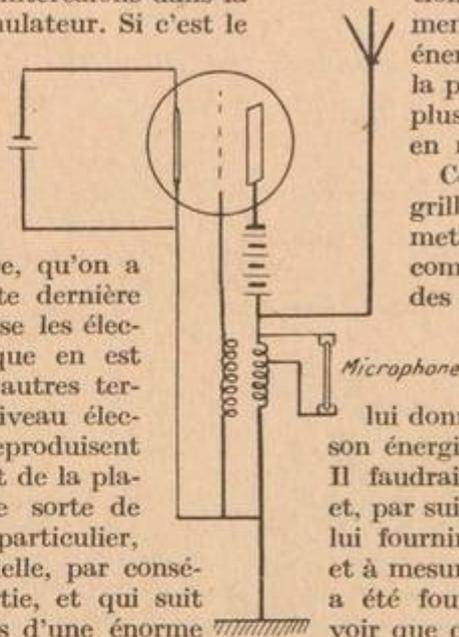
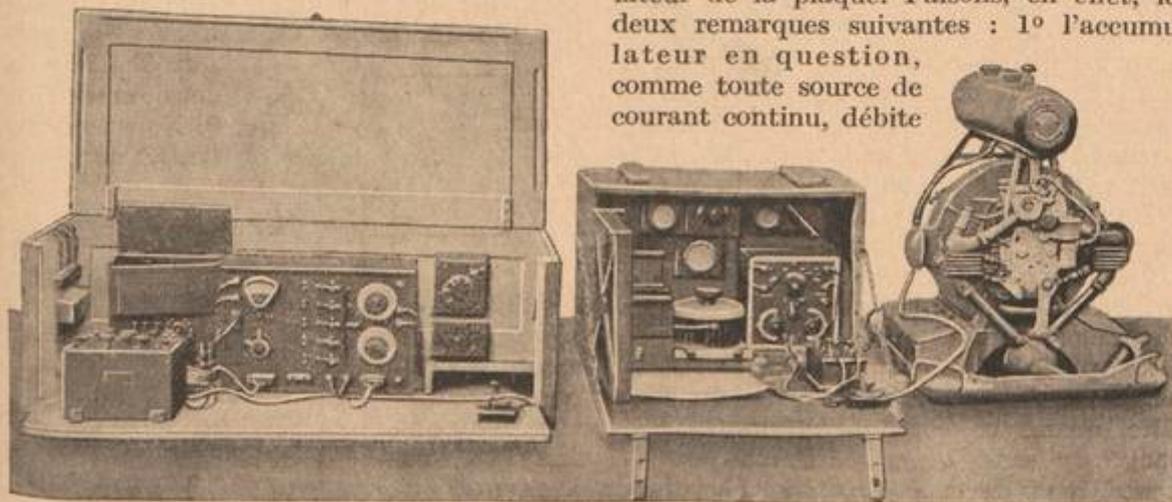


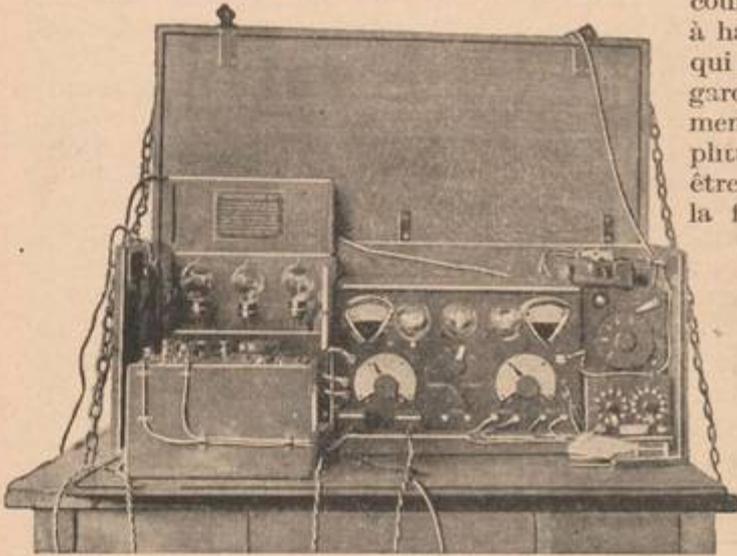
FIG. 10. — SCHÉMA D'UN POSTE ÉMETTEUR DE TÉLÉPHONIE SANS FIL

L'onde entretenue est émise en permanence. On la module au rythme de la voix en parlant devant le microphone.



NOUS VOYONS, A GAUCHE, UN POSTE ÉMETTEUR A ONDES ENTRETENUES A CÔTÉ D'UN POSTE A ÉTINCELLES BEAUCOUP PLUS ENCOMBRANT BIEN QUE D'UNE PORTÉE INFÉRIEURE

toujours dans le même sens. Ce courant, s'il passait en permanence, favoriserait donc la moitié des alternances du courant alternatif à très haute fréquence dont nous avons parlé plus haut, mais s'opposerait au passage de l'autre moitié des alternances de ce courant ; 2° le courant continu fourni par l'accumulateur de plaque ne peut prendre naissance quand la grille est suffisamment négative, par rapport au filament et repousse tous les électrons. Ce courant passe, au contraire, quand la grille est positive. Nous touchons, à présent, au but. Disposons la bo-



ENSEMBLE DU POSTE ÉMETTEUR ET RÉCEPTEUR TRANSPORTÉ EN CAMIONNETTE AUTOMOBILE

Ce poste, actionné par des accumulateurs, pèse dix fois moins qu'un poste à étincelles de même puissance.

bine-grille et la bobine-plaque de façon que l'induction de la plaque sur la grille rende cette dernière positive pendant la période de temps où les alternances du courant à haute fréquence du circuit intercalé dans la plaque ont un sens tel que le courant de l'accumulateur-plaque les favorise. La grille étant positive, l'accumulateur de la plaque débitera pendant toute cette période et le courant alternatif à haute fréquence qui traverse le circuit intercalé dans la plaque récupérera l'énergie qu'il aura pu perdre par échauffement des conducteurs depuis l'alternance précédente, en empruntant cette énergie au courant de la batterie. Au contraire, quand ce courant alternatif aura changé de sens, la grille, comme conséquence, sera devenue négative, l'accumulateur de la plaque ne pourra rien débitier et son courant, toujours de même sens, ne pourra donc pas s'opposer au courant alter-

natif qui est de sens opposé à ce qu'il était tout à l'heure.

L'accumulateur de la plaque restituant à chaque demi-alternance l'énergie perdue pendant la demi-alternance précédente, le courant alternatif à haute fréquence qui nous intéresse gardera constamment même amplitude. Il pourra être représenté par la figure 8, et si nous remplaçons le circuit fermé de

la figure 7 par un circuit ouvert constitué par une antenne et la terre, nous aurons constitué un poste à ondes entretenues. Rien n'empêche, d'ailleurs, pour augmenter l'énergie d'émission, de coupler plusieurs lampes en parallèle sur les mêmes bobines grille et plaque.

De plus, pour envoyer dans l'espace des signaux avec ce dispositif, nous disposons de deux méthodes, également intéressantes. Nous pouvons, sur une des connexions de la lampe, par exemple celle qui va à la

plaque, intercaler un manipulateur, couper et rétablir le circuit et envoyer dans l'espace des signaux Morse. Ce sera la télégraphie

sans fil par ondes entretenues (fig. 9). Nous pouvons aussi, une fois la

FIG. 12. — CE SCHÉMA D'UNE ÉMISSION A ONDES ENTRETENUES CORRESPOND AUX APPAREILS REPRÉSENTÉS AUX DEUX PAGES 421 ET 424

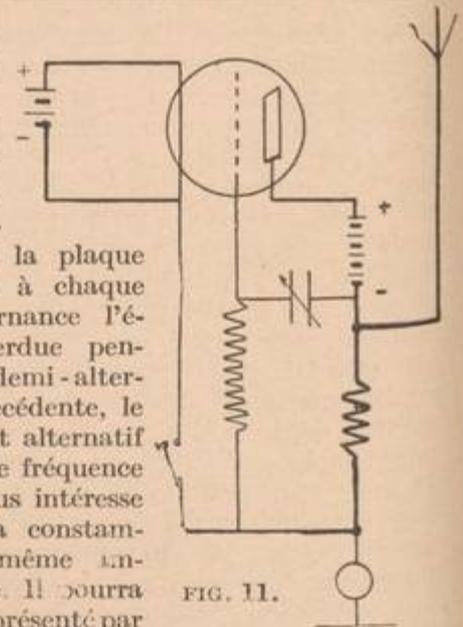
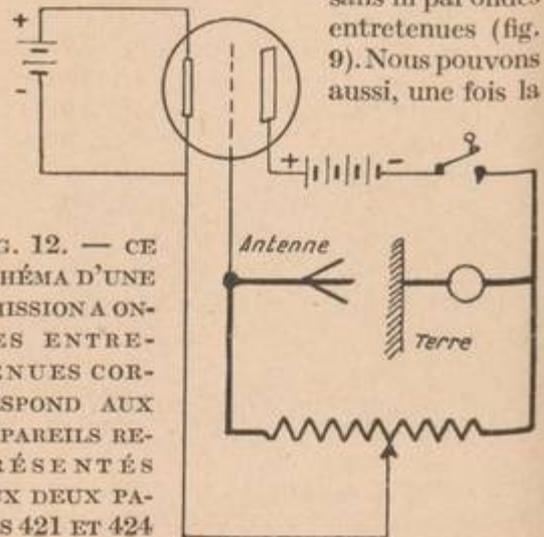


FIG. 11.

CE SCHÉMA CORRESPOND A L'APPAREIL CI-CONTRE



lampe allumée et des ondes entretenues rayonnant en permanence du dispositif, agir sur l'amplitude de ces ondes, comme il a déjà été dit dans le n° 41 de *La Science et la Vie*, à l'aide d'un microphone. Ce microphone, qui est tout simplement une résistance électrique susceptible de varier au rythme de la voix, est intercalé dans un circuit qui agit sur la bobine de plaque. Ce circuit ou bien est indépendant de cette bobine et agit sur elle par induction, ou bien est constitué à l'aide de deux ou trois spires de la bobine, reliées aux deux bornes du microphone (schéma figure 10). Si nous

parlons maintenant devant ce dernier, nous modifions sa résistance électrique. Le courant qui traverse la bobine-plaque se trouve modifié du fait que nous avons changé les constantes électriques du système; le courant déformé donne une onde hertzienne également influencée par la voix et que

reproduit dans l'antenne de réception un courant analogue au courant de l'antenne d'émission. Ce courant détecté et envoyé dans le téléphone récepteur, y engendre des modulations identiques à celles du microphone de départ et reproduit ainsi, avec toutes ses inflexions, la voix qui a actionné ce microphone dans le poste émetteur.

Voilà donc, pour les postes à lampes, un premier avantage précieux sur les postes à étincelles. Ils font indifféremment de la télégraphie et de la téléphonie.

Le schéma de l'émission à ondes entretenues réalisée par les postes à lampes et que représente la figure 9 peut subir des variantes. Au lieu d'accoupler grille et plaque uniquement par induction de deux bobines, on peut les coupler par l'intermédiaire d'une capacité. On peut aussi réunir les deux bobines grille et plaque en une seule et réaliser les deux schémas des figures 11 et 12. A

chacun de ces schémas, ou mieux à chacun de ces montages ont correspondu des appareils dont nous allons parler tout à l'heure.

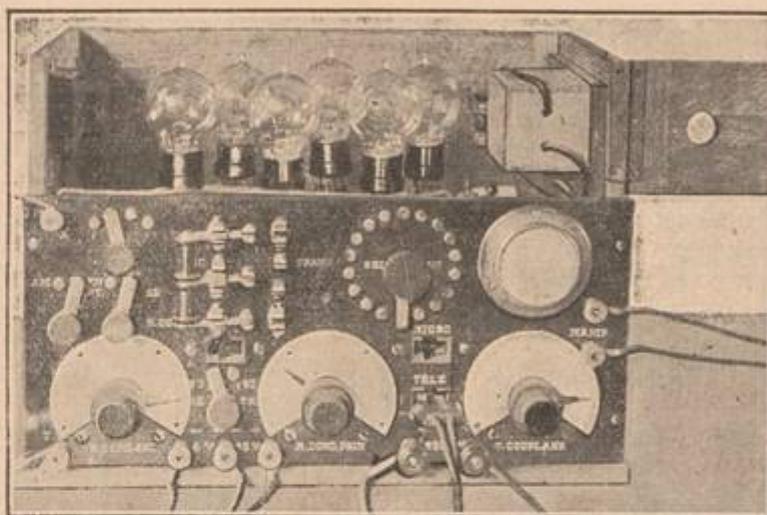
Nous savons maintenant comment les ondes entretenues sont émises, soit en télégraphie, soit en téléphonie. Comment les recevrons-nous? Si nous branchons l'antenne de réception sur un téléphone, nous aurons les mêmes difficultés qu'avec l'émission amortie. L'inertie de la plaque vibrante empêchera toute réception. Si nous intercalons un détecteur, nous entendrons la téléphonie. Le téléphone sera, en effet, actionné par des impulsions toutes de même sens et les

variations d'amplitude de l'onde entretenue, causées par le microphone au départ, se reproduiront dans le courant téléphonique de réception.

Il n'en est pas de même pour la télégraphie. En effet, quand nous émettons, à l'aide d'un poste à étincelles, la réception donne, après détection, une

série d'impulsions au téléphone dont chacune correspond à une étincelle du poste émetteur. Ici, tant que le manipulateur est baissé, nous recevons une onde dont l'amplitude ne change pas (fig. 8). Une fois cette onde détectée, elle ne se présente encore pas de façon à actionner le téléphone. La plaque de celui-ci pourra être attirée au début du signal, elle reviendra au repos à la fin, elle ne vibrera pas; par conséquent, on n'entendra rien.

Il y a plusieurs façons de vaincre la difficulté. Supposons qu'à l'aide d'une roue dentée tournant à la vitesse convenable, nous coupons et nous rétablissions, par exemple huit cent fois par seconde, le contact de l'antenne et des appareils de réception. Tant que l'antenne sera actionnée par le signal du correspondant (trait ou point Morse), l'effet de la roue dentée sera de découper l'onde entretenue en autant de morceaux séparés par des silences qu'il y aura eu de contacts



POSTE ÉMETTEUR ET RÉCEPTEUR EMPLOYÉ A TERRE, EN AVION ET SUR CHAR D'ASSAUT

Un poste analogue a fait de la téléphonie sans fil entre deux avions en vol, jusqu'à des distances atteignant 15 kilomètres.

entre l'antenne et le reste du circuit récepteur. On réalise ainsi artificiellement ce que donnait le régime à étincelles et l'on reçoit alors au téléphone un son qui est déterminé par le nombre de contacts par seconde réalisé par la roue tournante en question, que l'on appelle le *ticker*. Nous allons parler maintenant d'un dispositif dit à hétérodyne qui est très supérieur à ce dernier.

Considérons deux courants alternatifs correspondant à deux ondes entretenues et ayant des fréquences différentes mais voisines. L'un change, par exemple, de sens, un million de fois par seconde, l'autre, 999.200 fois. Faisons-les agir simultanément sur l'antenne de notre poste récepteur. Prenons comme origine des temps un moment où les deux courants sont maxima tous deux et de même sens. On dit qu'ils sont en phase. Leur effet dans l'antenne s'ajoute. Un instant après, les changements de sens des deux courants se faisant avec des vitesses différentes, quand celui qui change le plus vite a pris de nouveau sa valeur maximum, l'autre ne l'a pas atteinte encore et la somme des deux courants est moindre que tout à l'heure. Puis il vient un moment où, quand l'un des courants a son amplitude maximum, l'autre est maximum aussi mais de sens contraire, les deux courants se retranchent, alors qu'ils s'ajoutaient tout à l'heure : la résultante des deux est minimum. On conçoit que la somme de deux courants comme ceux dont nous

parlons soit un courant unique présentant des points hauts et des points bas, des maxima et des minima (fig. 13). Mais alors, si nous faisons passer ce courant complexe, produit par la juxtaposition des deux autres, dans un détecteur, nous aurons dans un téléphone un effet absolument

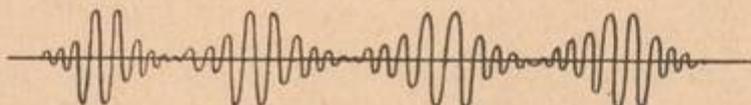
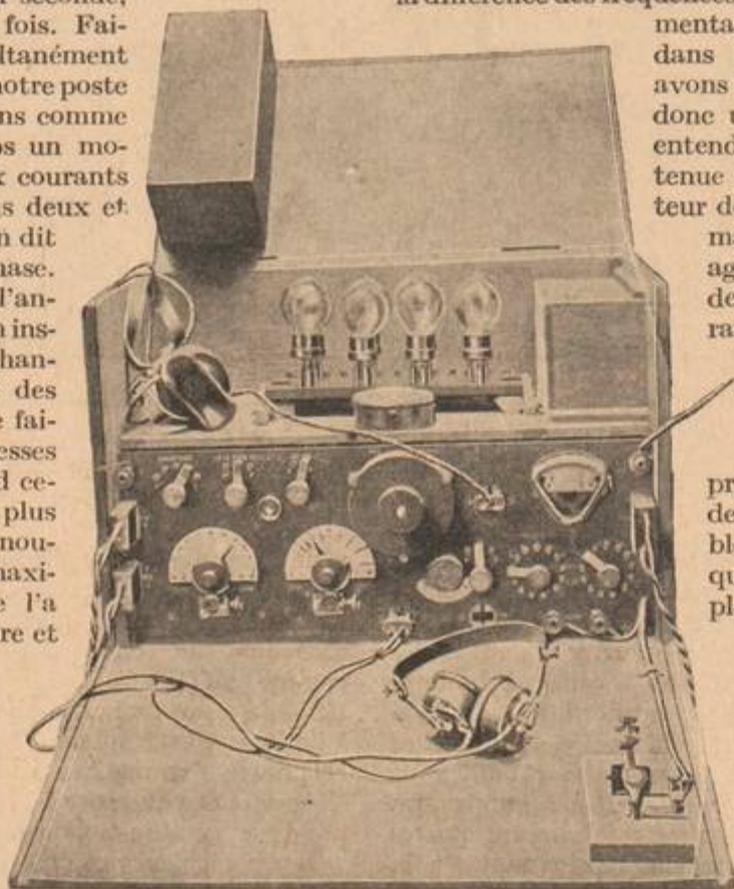


FIG. 13. — COURANT VARIABLE PRODUIT PAR LA SUPERPOSITION DE DEUX COURANTS ALTERNATIFS ENTRETENUS MAIS DONT LES FRÉQUENCES SONT DIFFÉRENTES

analogue à celui du courant de réception produit par un poste à étincelles. Chaque maximum du courant résultant correspondra à une étincelle de l'émission amortie.

On démontre assez simplement que la fréquence du courant résultant est égale à la différence des fréquences des courants élémentaires, soit à 400 dans le cas que nous avons considéré. Voilà donc un moyen de faire entendre une onde entretenue et avec une hauteur de son dont on sera maître, si l'on peut agir sur la fréquence de l'un des deux courants d'antenne dont nous venons de parler.

Comment réalise-t-on dans la pratique ce dispositif de réception, qui semble un peu compliqué ? Le plus simplement du monde. On laisse arriver sur l'antenne de réception, comme dans tout poste de T. S. F., l'onde entretenue qu'il s'agit de rendre perceptible à nos sens. Cette onde se traduit dans l'antenne réceptrice, par un courant alternatif à haute fréquence. A ce courant, qui vient du correspondant, on superpose un courant local, dont on peut régler la fréquence et qu'on produit à proximité de



POSTE ÉMETTEUR ET RÉCEPTEUR DONNANT 400 KILOMÈTRES DE PORTÉE AVEC UN MAT HAUT DE 24 MÈTRES

C'est un tel poste qui reliait le maréchal Foch aux quartiers généraux des diverses armées alliées. On le transportait en camionnette.

ternatif à haute fréquence. A ce courant, qui vient du correspondant, on superpose un courant local, dont on peut régler la fréquence et qu'on produit à proximité de

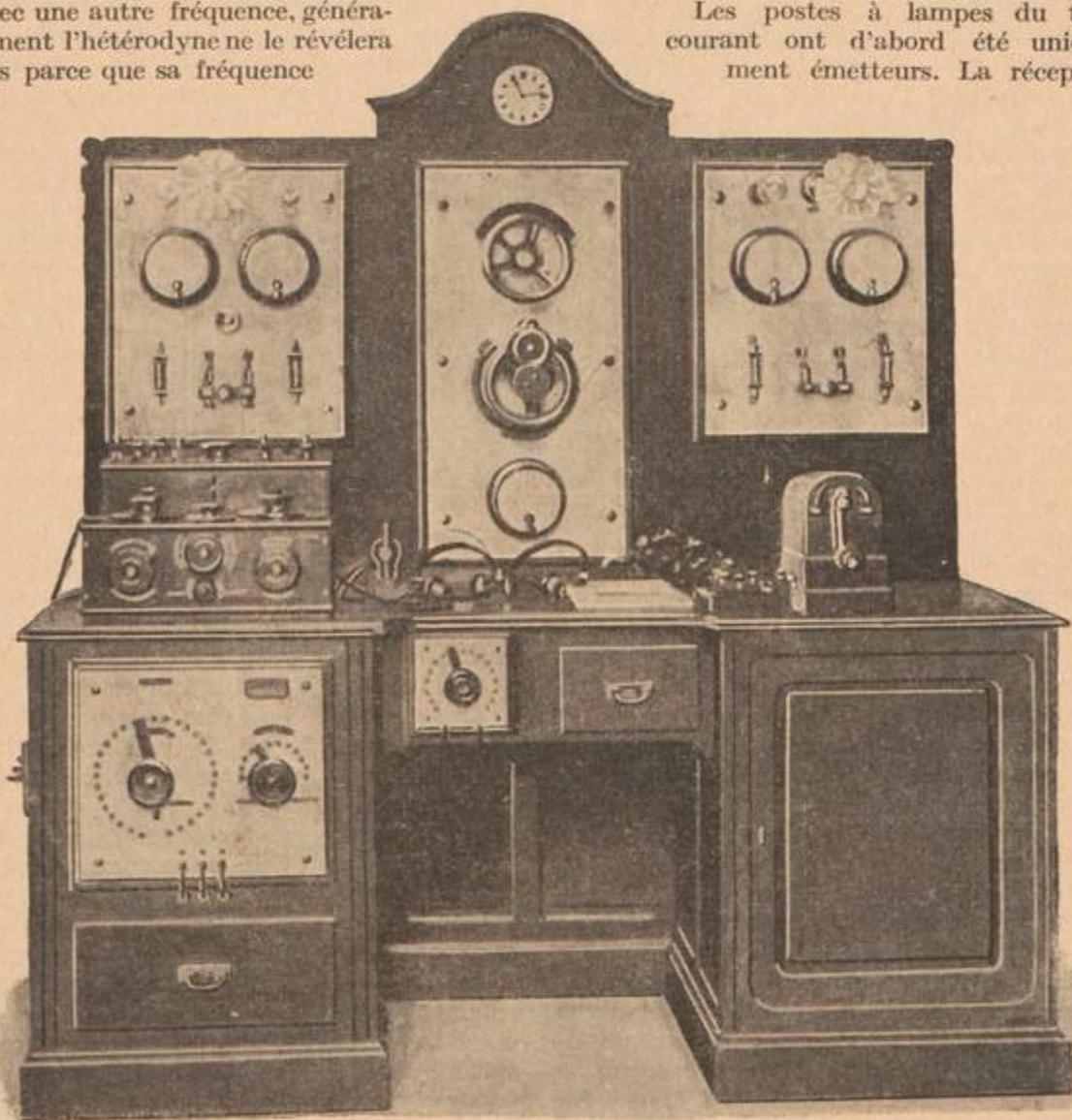
l'antenne réceptrice, à l'aide du dispositif générateur d'ondes entretenues que nous avons décrit plus haut et qui s'appelle une hétérodyne (page 416) ; sa fréquence peut se régler, si on intercale dans le circuit-plaque des bobinages et des capacités variables et si on agit sur ces éléments. Nous sommes, avec une telle hétérodyne, maîtres du son qu'aura notre réception, puisque la hauteur de ce son, ce qui revient à dire le nombre de ses vibrations par seconde, est la différence entre la fréquence invariable de l'onde de notre correspondant et celle, variable, que nous pouvons contrôler, de notre appareil hétérodyne.

Un autre correspondant émet-il simultanément sur une autre note électrique, avec une autre fréquence, généralement l'hétérodyne ne le révélera pas parce que sa fréquence

propre sera trop éloignée de celle de ce nouveau correspondant et que la différence des fréquences correspond à un nombre de vibrations que l'oreille ne peut percevoir. D'où une séparation beaucoup plus simple et également plus sûre des divers correspondants que s'ils émettaient en ondes amorties.

Parlons maintenant des postes à lampes réalisés pendant la guerre. Ces postes à lampes ont été de types très variés. Ceux que l'on a donnés aux armées employaient tous la lampe universellement connue : la « lampe française ». C'est de ceux-là que nous parlerons d'abord. Puis l'on créa des postes marchant avec des lampes plus puissantes ; nous en décrirons sommairement deux types qui ont donné d'excellents résultats.

Les postes à lampes du type courant ont d'abord été uniquement émetteurs. La réception



POSTE EXTRA-PUISSANT, A GROSSES LAMPES, POUR T. S. F. ET TÉLÉPHONIE SANS FIL

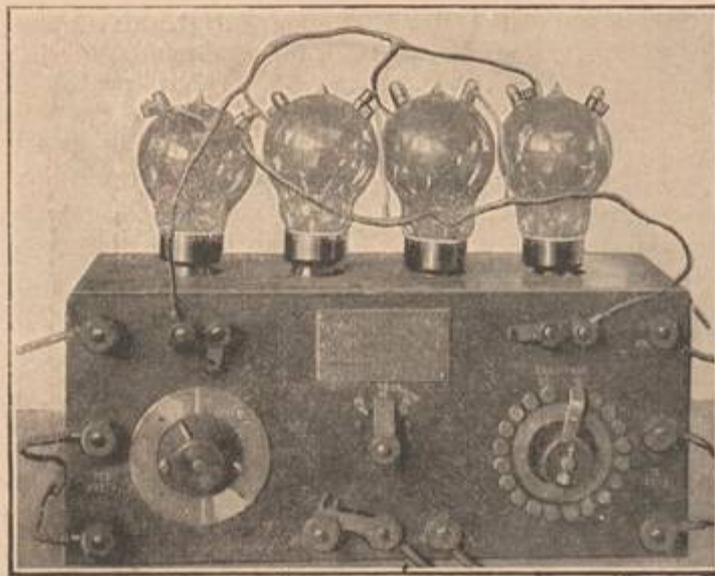
Les avions du camp retranché de Paris l'entendaient en téléphonie sans fil jusqu'à Amiens, quand il était installé au Champ de Mars. En T. S. F. sa portée était d'environ 1.000 kilomètres.

se faisait avec une boîte de réception ordinaire, un cristal de galène, un amplificateur de courant téléphonique. Les lampes émettrices, au nombre de quatre ou trois, s'éteignaient dans la position réception, sauf une, qui émettait des ondes entretenues locales et formait hétérodyne. Sur une antenne très simple, ayant comme support des perches en bambou, ce poste, que l'on transportait sur camionnette, débitait moins d'un ampère et réalisait néanmoins des portées de l'ordre de 100 kilomètres. Ce qui est tout à fait frappant dans des postes de ce type, c'est la faible énergie qu'ils consomment pour une portée que des postes à étincelles, consommant dix et vingt fois plus, arrivent à peine à égaler. Le poste représenté page 419 ne consomme pas 30 watts d'énergie. Nous l'avons photographié à côté d'un poste à étincelles de 500 watts, dont la portée, pour une antenne équivalente, est nettement inférieure. Le poste dont nous venons de parler a rendu aux armées des services de premier ordre. Robuste, facile à mettre en œuvre, d'une installation rapide, il a été, en toutes circonstances, le moyen de liaison idéal. Il a permis, dès 1917, de faire, au front, de l'onde entretenue, alors que les Allemands n'en ont jamais réalisé dans la zone des armées et en étaient à procéder à leurs premiers essais un peu avant l'armistice.

On réalisa, vers 1918, un deuxième type de poste à lampes qui contenait, dans un même coffret, l'émission et la réception. Cette dernière se composait essentiellement d'une lampe détectrice et de deux lampes amplificatrices. L'émission se faisait au moyen de trois lampes montées en parallèle sur les mêmes enroulements. Un simple commutateur permettait de relier l'antenne et la terre avec, soit les lampes émettrices, soit les lampes réceptrices. Il allumait en même

temps ou éteignait les lampes qui devaient ou non servir et faisait ainsi passer le plus simplement du monde le poste de la position transmission à la position réception.

Ce poste émetteur-récepteur (page 421), desservi comme le précédent, par des accumulateurs, fut employé pour les liaisons les plus variées. Partout, il donna satisfaction. On le mit dans des abris de l'avant avec, comme antenne, deux fils formant un V et soutenus par des perches de 4 mètres. Il réalisa ainsi des portées de 25 kilomètres. On le plaça sur les chars d'assaut. On le mit sur avions, pour régler, à des distances de la



POSTE PUISSANT DOTÉ DE LAMPES A CORNES

Sa portée est d'environ 500 kilomètres. Il met actuellement en relations télégraphiques l'armée du Rhin avec la tour Eiffel.

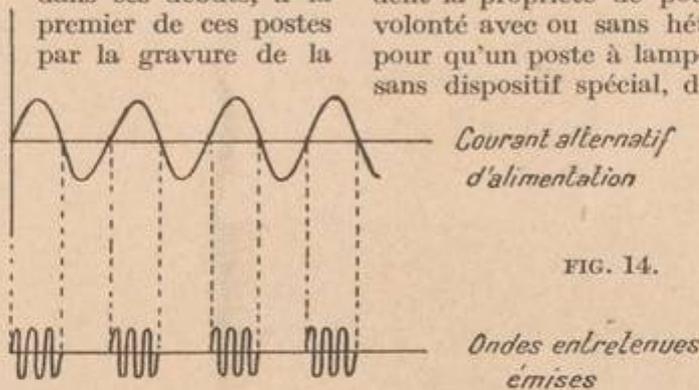
de la batterie qui atteignirent 40 kilomètres, le tir des grosses pièces de l'artillerie lourde à grande puissance. Un poste tout à fait analogue servit à faire de la téléphonie sans fil entre avions à des distances atteignant 15 kilomètres. Le même poste, placé à terre, entendait l'avion jusqu'à 25 kilomètres et l'avion l'entendait jusqu'à 40 kilomètres.

Enfin, toujours avec un poste du même type, mais ayant quatre lampes émettrices, quatre lampes réceptrices et une antenne portée par un mât métallique haut de 24 mètres, on réalisa, toujours avec des énergies au départ ne dépassant pas 50 watts, plus de 400 kilomètres de portée (photo page 422).

Tous ces postes de campagne ont rendu d'inappréciables services. Auprès de chaque état-major important, il existait toujours deux postes identiques. Faisait-on un mouvement (que le fil téléphonique avait bien souvent beaucoup de mal à suivre), l'un des deux se portait en avant, au nouvel emplacement choisi, l'autre restait sur écoute prêt à converser avec les correspondants éventuels. Quand le poste qui s'était porté en avant avait fini son installation, il prévenait son frère resté en arrière. Ce dernier, dorénavant sûr que l'écoute ne serait pas in-

terrompue, repliait son antenne et faisait à son tour l'étape. Ainsi, grâce à ce dédoublement des postes, on assurait la permanence rigoureuse du service, quelque rapides que pussent être les déplacements. Ce matériel se montra si bien adapté aux besoins, que tous nos alliés nous l'empruntèrent et que les Allemands cherchèrent, sans y trop réussir, d'ailleurs, à le copier.

Un matériel à lampes plus puissant fut créé en même temps, qui ne fut donné aux armées qu'à titre exceptionnel et dont il nous reste à parler maintenant. On réalisa un poste à lampes dites moyennes, et un poste à grosses lampes qui était surtout destiné, au moins dans ses débuts, à la téléphonie. Le premier de ces postes est représenté par la gravure de la page 424. Les lampes sont dites à cornes. Elles sont montées à raison de quatre en parallèle sur des enroulements disposés comme ceux du poste émetteur et récepteur, dont nous avons parlé plus haut. Ces lampes ont leur filament chauffé par des



DISPOSITIF D'ÉMISSION DIT A ONDES COUPÉES

La plaque des lampes d'émission étant alimentée par du courant alternatif, on reçoit l'onde entretenue pendant la moitié du temps seulement, d'où la possibilité de se passer de l'hétérodyne.

accumulateurs, mais la tension-plaque, qui atteint 1.000 volts, est fournie non plus par des accumulateurs, mais par une petite dynamo spéciale. Cette tension nécessaire aux plaques des lampes d'émission et qui dépasse 300 volts pour les plus petits postes, a, d'ailleurs, presque toujours été fournie aux armées soit par un convertisseur, alimenté à bas voltage et par accumulateurs, soit par une dynamo donnant directement le voltage nécessaire. (Cas des postes d'avions où la dynamo, fixée sur l'aile, était entraînée par une petite hélice placée dans le vent de l'avion).

Des postes de ce type, dont la portée atteint 500 kilomètres, ont été donnés à l'armée d'Orient et, récemment, à l'armée du Rhin, pour assurer ses liaisons directes avec l'intérieur. Le poste à lampes le plus puissant qui ait été réalisé pendant la guerre est représenté page 423. Il a tout d'abord servi à faire de la téléphonie; il absorbe environ un kilowatt d'énergie. Ce poste, placé à l'ancien emplacement de la galerie des machines, puis au Bourget, a conversé avec les avions du camp retranché de Paris. Ces

avions, munis d'une antenne pourtant peu propice aux records de portée et d'un poste de réception qui n'est pas, à cause des bruits et des trépidations du bord, dans des conditions excellentes, ont cependant entendu leur correspondant jusqu'à Amiens, soit à une distance dépassant 100 kilomètres. Employé ensuite en télégraphie, ce même poste a atteint des portées dépassant 1.000 kilomètres, le correspondant ayant une antenne identique à la sienne. En téléphonie, on a fait, sans difficulté, plusieurs centaines de kilomètres. Rien n'empêche d'aller plus loin dans la voie des gros postes à lampes. La marine anglaise en a en service qui possèdent la propriété de pouvoir être reçus à volonté avec ou sans hétérodyne. Il suffit, pour qu'un poste à lampes puisse être reçu sans dispositif spécial, d'alimenter les pla-

ques des lampes émettrices avec du courant alternatif. Quand la plaque est négative, aucun courant ne traverse la lampe; l'onde entretenue n'est envoyée dans l'espace que pendant que la plaque est soumise aux alternances positives du cou-

rant qui l'alimente (fig. 14). Résultat: le téléphone récepteur reçoit, après détection, autant d'impulsions par seconde que le courant alternatif du poste émetteur a eu d'alternances positives. On y entend donc, et sans hétérodyne, un son dont la hauteur est directement liée à la fréquence du courant d'alimentation des plaques.

La mise au point de la lampe émettrice, brillamment réalisée par les techniciens français et aussi par leurs collègues américains et anglais, a mis l'onde entretenue à la portée de tout le monde. Ni l'arc, qui se prête mal aux très petites puissances, ni l'alternateur à haute fréquence, dont l'emploi n'était pas encore généralisé, n'auraient permis de créer les postes à ondes entretenues dont les armées disposaient dès 1917, postes qui s'accommodaient des circonstances les plus défavorables et étaient d'une facilité d'emploi absolument incroyable, qualités essentielles pour une armée en campagne. Il resterait à étudier ces postes comme récepteurs et comme amplificateurs; cette étude fera l'objet d'un article ultérieur.

L. FRANÇOIS.