

C. GUTTON

**TÉLÉGRAPHIE  
ET TÉLÉPHONIE**  
= SANS FIL =



COLLECTION ARMAND COLIN

*Télégraphie*

*et*

*Téléphonie*

*sans fil*

N° 6.

COLLECTION ARMAND COLIN  
(Section de Physique)

---

*Télégraphie*  
et  
*Téléphonie*  
*sans fil*

par

**C. GUTTON**

Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy

128 figures.

*4<sup>e</sup> édition mise à jour*



LIBRAIRIE ARMAND COLIN  
103, Boulevard Saint-Michel, PARIS  
1924

Tous droits réservés.

**Tous droits de reproduction,  
de traduction et d'adaptation  
réservés pour tous pays.**

**Copyright 1921, by Max Leclerc  
et H. Bourrelier.**

# TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE

## SANS FIL

---

### INTRODUCTION

---

Depuis quelques années, la télégraphie sans fil a fait de considérables progrès. D'importants perfectionnements des méthodes anciennes, l'emploi de nouveaux procédés, tant de transmission que de réception, la création d'amplificateurs téléphoniques ont permis d'atteindre les plus grandes portées; aujourd'hui, des radiotélégrammes sont reçus jusqu'aux antipodes.

La radiotélégraphie n'est plus un mode de liaison exceptionnel ou incertain. Elle double ou remplace utilement les câbles sous-marins, elle assure les communications dans tous les cas nombreux où une ligne ne peut être établie; relations avec les navires en mer, les ballons, les avions et échange de télégrammes entre ceux-ci, liaisons entre les éléments des armées en campagne, correspondance avec les explorateurs et les corps d'expédition coloniaux, transmission de l'heure et des renseignements météorologiques aux navires. Nous

montrerons comment elle peut aussi faire connaître aux marins leur position et les guider vers le port.

La téléphonie sans fil, qui était, il y a peu de temps encore, une curiosité, est entrée dans la pratique courante.

Nous nous sommes proposé de décrire, à la fois, les procédés anciens restés en usage et ceux qui, venus depuis peu, ont puissamment contribué au développement rapide des transmissions électriques sans fil.

De nombreuses pages de ce livre sont la reproduction d'une notice écrite, en juin 1916, pour les militaires de toutes armes qui ont été appelés à utiliser la T. S. F.

L'exposé complet des théories, leur développement mathématique ou les détails de construction des appareils entraîneraient bien au delà des limites de cet ouvrage. On en a donc exclu tout calcul ou toute formule algébrique, sauf dans les quelques cas où calculs ou formules nous ont paru indispensables à la clarté des développements.

Le lecteur trouvera l'exposé des lois générales de l'électricité dans le livre de M. Fabry, *Éléments d'Électricité*, n° 11 de la Collection Armand Colin.

Nous rappellerons cependant d'abord, aussi brièvement que possible, les phénomènes électriques qu'utilise la télégraphie sans fil.

## CHAPITRE PREMIER

### DÉCHARGE OSCILLANTE. — PROPAGATION PAR ONDES. — ANTENNES

---

1. **Courants d'induction.** — Sur un circuit  $C_1$  (fig. 1) en fil métallique, intercalons une pile  $P$  et un fil fin ou *rhéostat*  $R$ . Ce rhéostat oppose une résistance au passage du courant électrique, de sorte qu'en manœuvrant une curseur  $A$  qui modifie sa longueur utile, nous pourrons faire varier l'intensité du courant.

A quelque distance, disposons un second circuit  $C_2$  sur lequel est intercalé un ampèremètre  $G$ , c'est-à-dire un appareil qui, par la déviation d'une aiguille, indique le passage d'un courant.

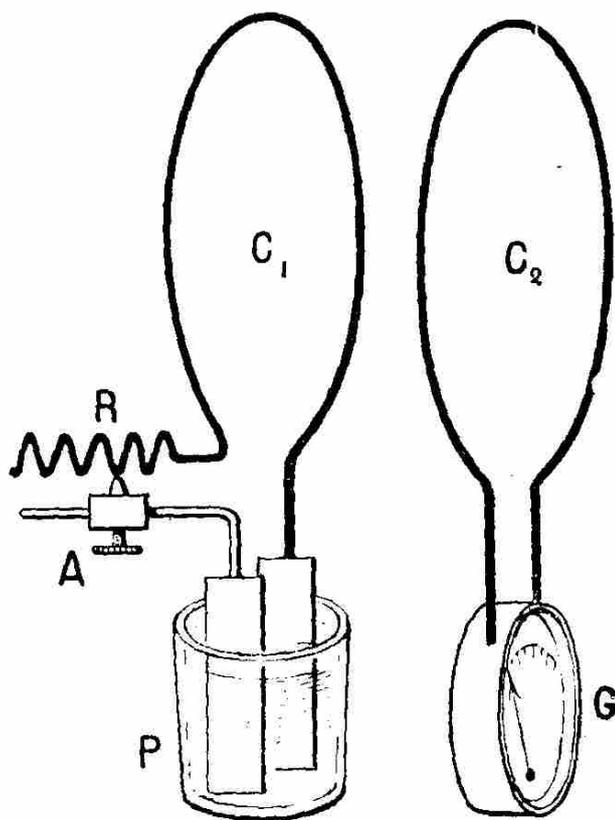


Fig. 1.

L'observation de l'ampèremètre nous montre que tout changement d'intensité du courant dans le circuit  $C_1$  fait naître un courant dans le circuit  $C_2$ .

Nous devons en déduire qu'une variation d'intensité du courant  $C_1$ , appelé *courant inducteur*, produit le long du circuit  $C_2$ , une force électromotrice qui provoque la circulation d'un *courant induit*.

Les phénomènes d'induction électrique ont été découverts, en 1831, par le célèbre physicien anglais Faraday.

Ils permettent de transmettre des courants électriques d'un premier circuit  $C_1$  à un second  $C_2$ , sans qu'il y ait aucune liaison métallique

entre ces circuits. Ce sont eux qu'utilise la T. S. F.

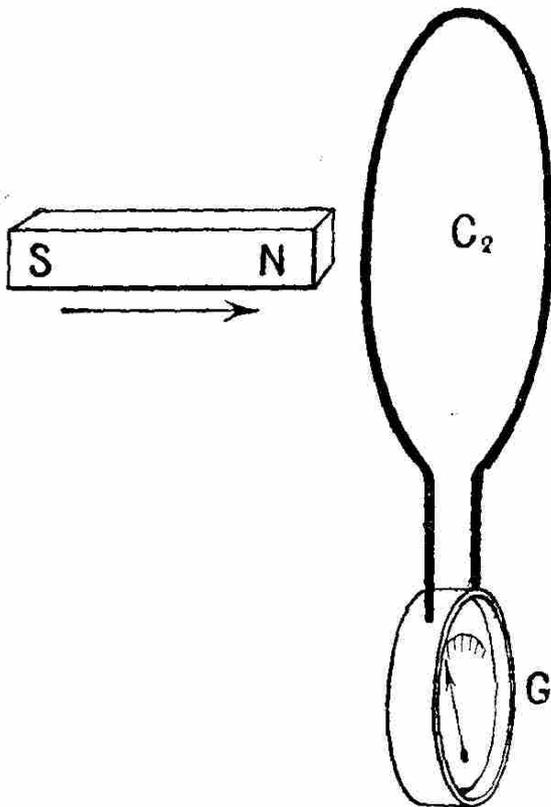


Fig. 2.

On engendre aussi des courants d'induction dans un circuit  $C_2$  (fig. 2) en déplaçant au voisinage de celui-ci un aimant NS. Le courant induit, lorsque l'aimant s'approche, a le sens inverse de celui qu'on observe lorsque l'aimant s'éloigne.

Nous rappellerons les lois expérimentales qui définissent d'une manière générale les conditions

dans lesquelles on obtient, le long d'un circuit fermé, un courant d'induction

Au voisinage d'un aimant une aiguille de boussole est déviée de la direction nord-sud. Sur les pôles magnétiques de cette aiguille, l'aimant exerce donc des forces. On appelle *champ magnétique* tout l'espace, autour de l'aimant, dans lequel s'exerce de telles forces et on entend par *force magnétique* ou *intensité du champ* en un point  $O$  (fig. 3) la force  $F$  qui s'exercerait sur un pôle nord d'aimant, dont la quantité de magnétisme serait choisie comme unité de quantité de magnétisme, si on le plaçait au point  $O$ .

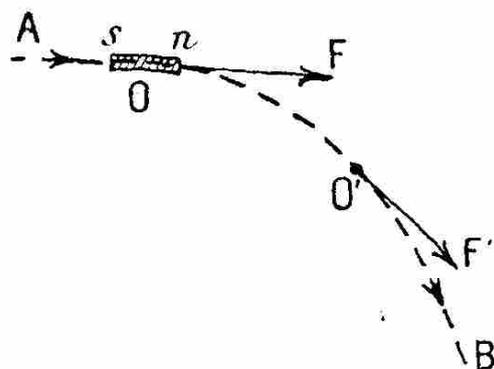


Fig. 3.

Lorsqu'on passe du point  $O$  à un autre point  $O'$  du champ, la force magnétique change de grandeur et de direction. Faraday a appelé *ligne de force* une ligne telle que  $AB$  qui, en tous ses points, a la même direction que la force magnétique. Une petite aiguille de boussole  $ns$  s'oriente dans la direction des forces égales et opposées qui agissent sur ses pôles, elle prend donc en un point d'un champ la direction de la ligne de force qui passe par ce point. En déplaçant cette aiguille dans la direction même qu'elle nous indique, nous pourrions suivre de proche en proche le tracé d'une ligne de force.

C'est aussi le tracé des lignes de force que l'on obtient plus facilement par l'expérience bien connue du *spectre magnétique*. Sur un aimant  $NS$  (fig. 4) posons une feuille de carton et laissons tomber sur ce carton, à travers les mailles d'un tamis, de la limaille de fer. Tous les grains de limaille s'aimantent dans le champ

magnétique, s'y orientent comme de petites aiguilles

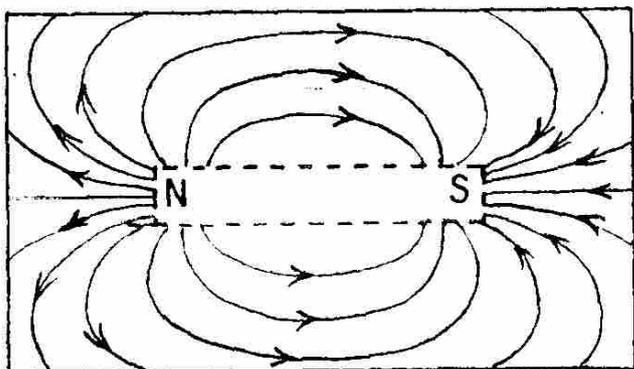


Fig. 4.

de boussoles, s'attirent entre eux et forment des filets dirigés suivant les lignes de force. Celles-ci nous apparaissent dessinées sur le carton par les filets de limaille.

Nous constatons que les lignes de force forment un faisceau de courbes qui,

issues de la région polaire Nord de l'aimant, vont finir à sa surface dans la région polaire Sud.

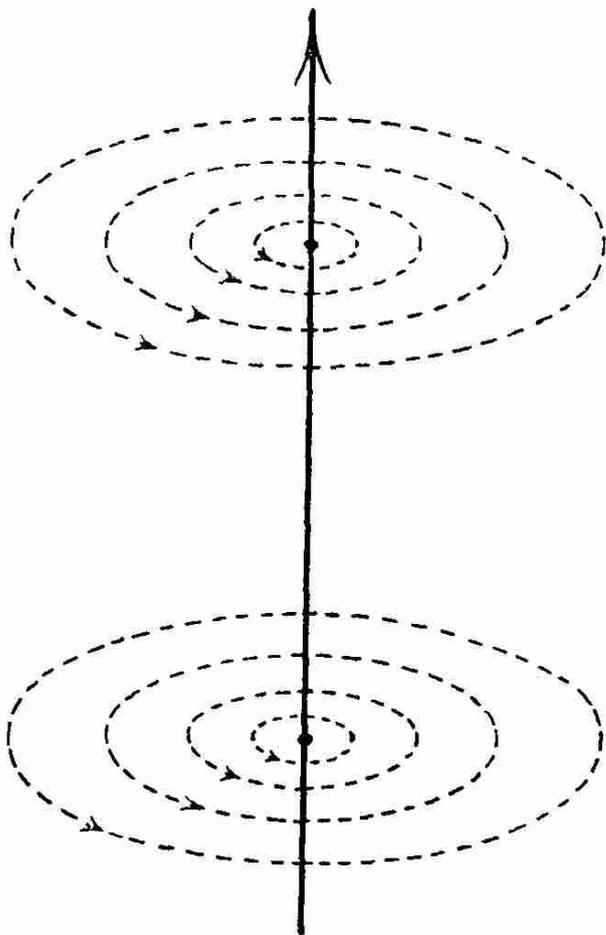


Fig. 5.

Le physicien danois Oersted a montré en 1820 que, comme un aimant, un fil parcouru par un courant faisait dévier une aiguille de boussole. On doit en conclure que le courant produit autour de lui un champ magnétique.

L'étude de la forme des lignes de force dans le champ d'un courant a montré, qu'au-

tour d'un long fil rectiligne (fig. 5), les lignes de force étaient des cercles dont les centres étaient sur

le fil et dont les plans étaient perpendiculaires à ce fil.

Un circuit fermé (fig. 6) produit des lignes de force fermées sur elles-mêmes qui enlacent le fil, comme s'enlacent deux anneaux consécutifs d'une chaîne.

Un fil bobiné sur un cylindre produit, lorsqu'il est parcouru par un courant, un champ dont les lignes de force entrent par une extrémité de la bobine, sortent par l'autre et se referment à l'extérieur (fig. 7).

Le sens des lignes de force qui enlacent un fil parcouru par un courant est celui dans lequel il faudrait tourner un tire-bouchon pour le faire progresser dans le sens du cou-

rant. Ce dernier sens est, le long du circuit, celui

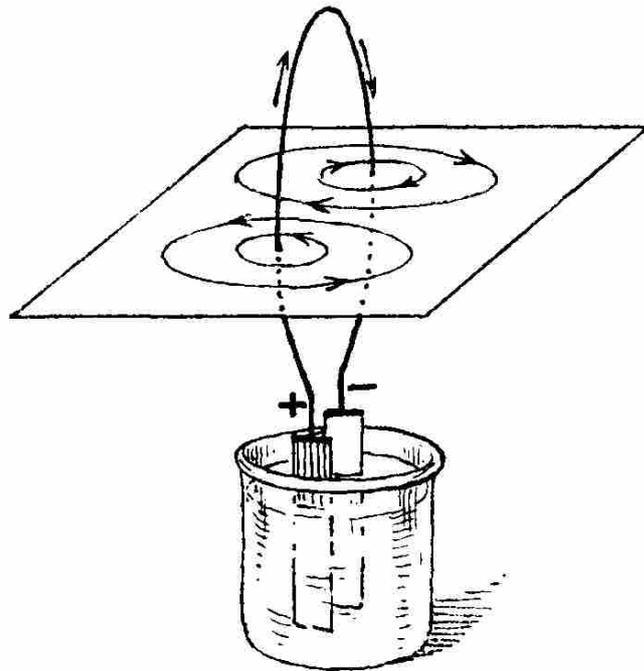


Fig. 6.

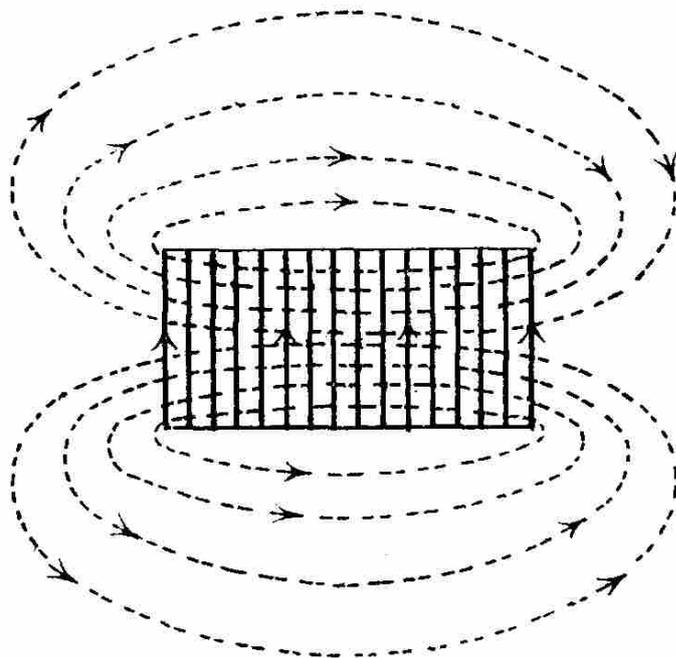


Fig. 7.

qui va du pôle positif au pôle négatif de la pile.

Inversement, les lignes de force traversent un circuit fermé ou une bobine dans le sens où progresse un tire-bouchon qui tourne dans le sens du courant.

L'expérience a montré que, le long d'un circuit fermé constitué par un fil métallique, un courant induit prend naissance toutes les fois que le nombre de lignes de force qui traversent le circuit augmente ou diminue.

Dans le cas de la figure 2, une variation du nombre de lignes de force envoyées par l'aimant à travers le circuit est produite par le mouvement de l'aimant NS.

Le courant induit dure aussi longtemps que ce mouvement et cesse avec lui.

On remarquera que, durant la variation du nombre des lignes de force qui traverse le circuit induit  $C_2$ , un certain nombre de lignes de force entraînées par le mouvement de l'aimant coupent nécessairement le fil métallique qui constitue ce circuit.

Dans le cas de la figure 1, une augmentation ou une diminution de l'intensité du courant le long du circuit inducteur  $C_1$  provoque une variation du nombre des lignes de force qu'il envoie à travers le circuit induit  $C_2$ . C'est encore pendant cette variation qu'on observe la production d'un courant le long de ce circuit.

Le courant induit produit lui-même un champ magnétique et des lignes de force qui traversent son circuit dans le sens indiqué par la règle du tire-bouchon. Le courant induit a toujours un sens tel que ces lignes de force tendent à gêner la variation du

nombre des lignes envoyées par l'aimant ou le courant inducteur.

Il résulte de l'application de cette loi expérimentale que les courants induits provoqués par deux déplacements inverses de l'aimant inducteur NS (fig. 2) sont de sens contraire. On en conclut aussi qu'une augmentation et une diminution de l'intensité du courant inducteur  $C_1$  (fig. 1) produisent le long du circuit induit  $C_2$  des courants en sens inverses.

Les effets d'induction sont d'autant plus intenses que la variation du courant inducteur est plus rapide. Puisqu'en radiotélégraphie nous voulons obtenir ces effets à de très grandes distances, nous devons employer des courants dont l'intensité varie très rapidement. On utilise des courants alternatifs dont le sens s'inverse un très grand nombre de fois par seconde.

**2. Courant alternatif.** — Pour concevoir la nature d'un courant alternatif, imaginons qu'on déplace l'aimant de la figure 2 alternativement dans un sens puis dans l'autre. Le courant induit change périodiquement de sens et l'intensité est, à chaque instant, représentée par une courbe sinueuse (fig. 8). Un tel courant est appelé *courant alternatif*.

On nomme *période* la durée OA d'une ondulation double. A deux instants quelconques  $t$  et  $t'$  séparés par un intervalle de temps égal à une période, le courant reprend la même intensité et le même sens.

A deux instants  $t$  et  $t''$  séparés par un intervalle de temps d'une demi-période, le courant a la même intensité, mais des sens inverses.

On appelle *fréquence* le nombre de périodes par seconde.

Nous nommerons *alternance* une ondulation simple OB du courant.

Ainsi qu'il résulte des faits d'expérience rappelés au précédent paragraphe, un courant

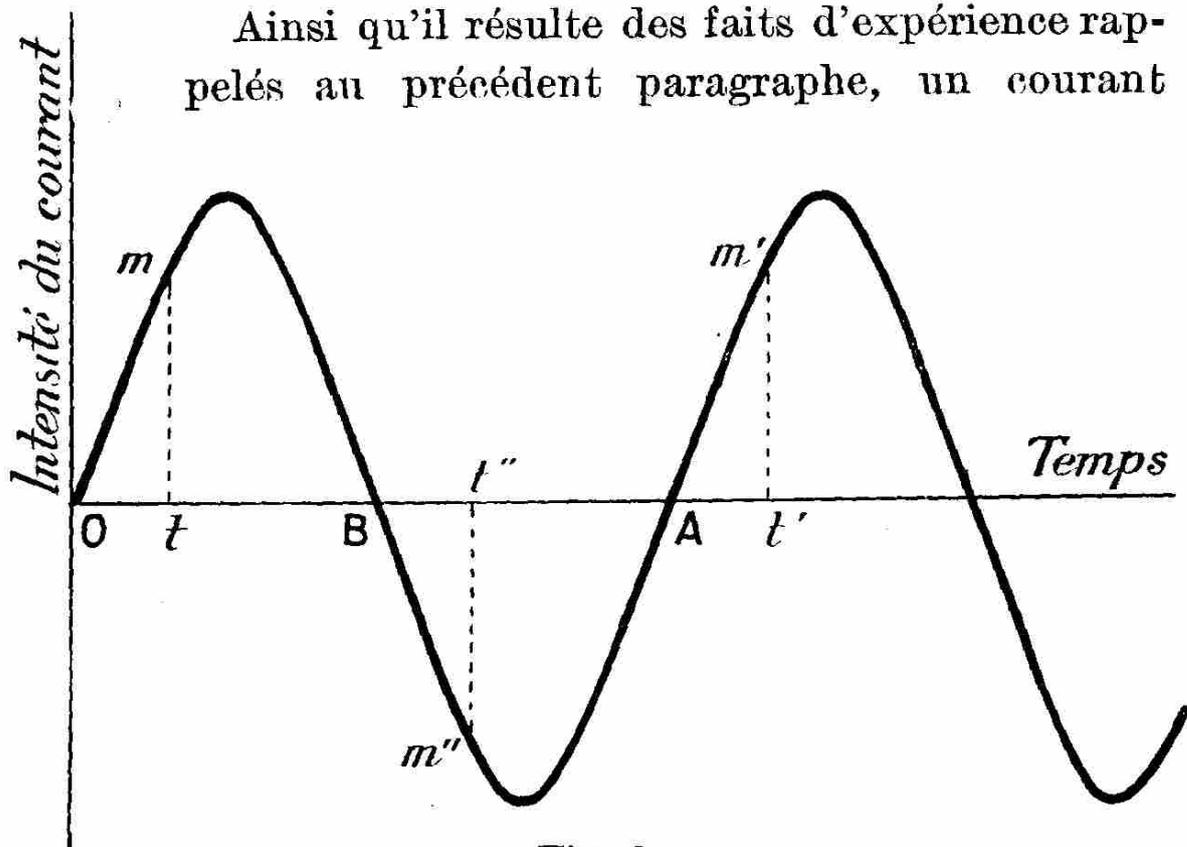


Fig. 8.

alternatif circulant dans un circuit  $C_1$  (fig. 1) induit, par ses variations d'intensité, un autre courant alternatif dans un second circuit  $C_2$ .

**3. Induction du courant sur lui-même ou self-induction.** — Un courant d'intensité variable n'agit pas seulement, par induction, sur un circuit voisin; les différentes parties d'un même circuit agissent aussi les unes sur les autres. Les effets d'induction du courant sur lui-même ou de *self-induction* deviennent plus marqués lorsque le fil est enroulé en bobine (fig. 9); chacune des spires induit alors des forces électromotrices dans les spires voisines.

Après la fermeture de l'interrupteur I, l'intensité du courant augmente. La force électromotrice de self-induction, d'après que la loi que nous avons énoncée, tend à produire un courant qui enverrait à travers le circuit des lignes de force en sens inverse de celles du courant qui s'établit; cette force électromotrice a donc aussi le sens inverse du courant et l'empêche de s'établir instantanément. A l'ouverture de l'interrupteur, le courant cesse et la force électromotrice de self-induction a le sens du courant; elle le prolonge donc et provoque entre les contacts de l'interrupteur une étincelle à travers laquelle le courant continue à passer.

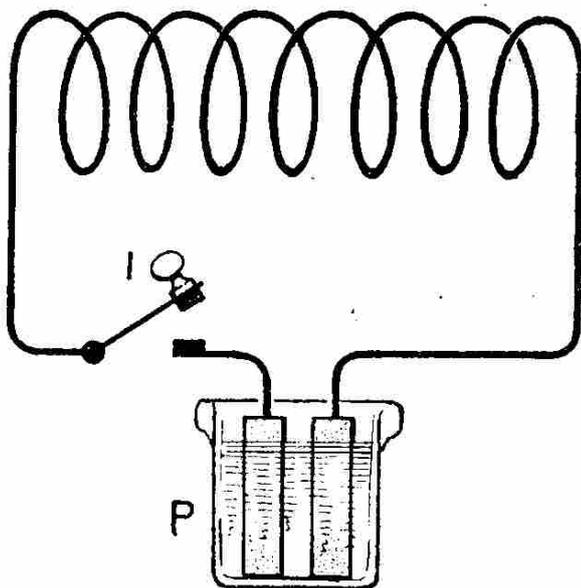


Fig. 9.

On observe des effets tout à fait analogues lorsqu'on met en mouvement une masse matérielle ou qu'on cherche à l'arrêter. Un corps, à cause de son inertie, ne peut, en effet, être mis en mouvement instantanément; si on fait agir sur lui une force, sa vitesse croît progressivement. Lorsqu'il est en mouvement, il est impossible de l'arrêter instantanément.

Un courant électrique ne cesse ni ne commence instantanément et la force électromotrice de self-induction produit des effets du genre de ceux qui sont dus à l'inertie de la matière.

Puisque la force électromotrice de self-induction tend toujours à gêner les variations d'intensité du

courant, il en résulte que la self-induction gêne le passage d'un courant alternatif.

4. **Condensateur.** — Nous décrirons et étudierons maintenant les divers appareils par lesquels il a été

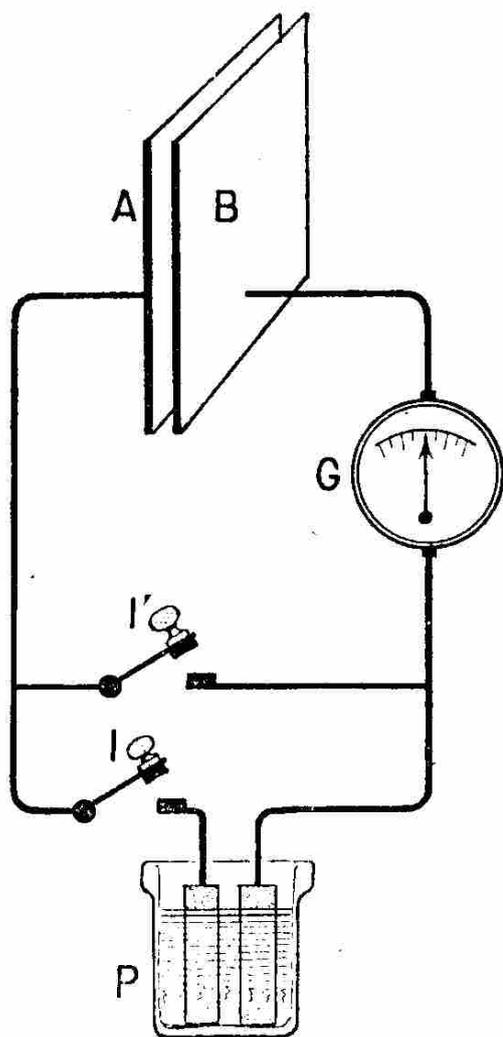


Fig. 10.

possible d'obtenir les courants alternatifs à fréquence très élevée nécessaires à la transmission par induction lointaine des signaux radio-télégraphiques.

Disposons l'une devant l'autre, à faible distance, deux plaques métalliques A et B (fig. 10). Relions-les aux deux pôles d'une pile P, en intercalant sur les fils de jonction un interrupteur I et un ampèremètre G. Au moment où nous fermons l'interrupteur I, l'aiguille de l'ampèremètre est lancée, puis revient aussitôt indiquant le passage d'un courant de faible durée.

Ouvrons maintenant l'interrupteur I, ce qui supprime la pile, puis fermons un second interrupteur I', ce qui relie l'une à l'autre les lames A et B. L'ampèremètre nous indique de nouveau le passage d'un courant de faible durée; son sens est inverse de celui du premier.

Comparons ces phénomènes à ceux qu'on observe dans la disposition hydraulique suivante : deux résér-

voirs A' et B' (fig. 11) sont réunis par une conduite sur laquelle se trouve une pompe P' et un robinet R. Les deux réservoirs communiquent en outre directement par une conduite sur laquelle se trouve un robinet R' d'abord fermé.

Lorsque le robinet R est ouvert, la pompe refoule de l'eau de B' dans A' jusqu'à ce que la différence de niveau dans les deux réservoirs ait atteint la plus grande hauteur à laquelle la pompe peut refouler l'eau.

Si on ferme alors R et qu'on ouvre R' l'égalité des niveaux se rétablit et l'eau circule en sens inverse, c'est-à-dire de A' vers B', dans le tube de communication.

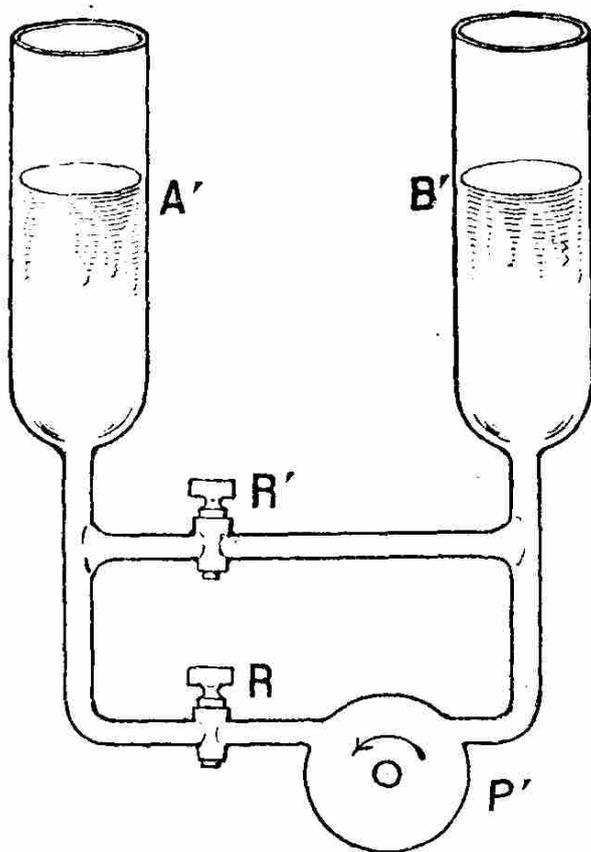


Fig. 11.

L'ensemble des deux lames, A et B (fig. 10), analogue aux deux réservoirs A' et B' (fig. 11), est un *condensateur* dont les lames s'appellent *armatures*. La pile P (fig. 10), analogue de la pompe P' (fig. 11), fait passer de l'électricité d'une lame sur l'autre et crée entre celles-ci une *différence de niveau électrique* qu'on appelle aussi *différence de potentiel*. On dit que cette différence de potentiel entre les lames A et B (fig. 10), mesure la *force électromotrice* de la pile P, comme on aurait pu dire que la

différence de niveau hydraulique entre les réservoirs A' et B' (fig. 11) mesurait la *force hydromotrice* de la pompe P'.

Établir une différence de potentiel entre les armatures d'un condensateur s'appelle *charger* le condensateur. Rétablir l'égalité de potentiel des armatures en les reliant par un fil, s'appelle *décharger* le condensateur.

L'ampèremètre G (fig. 10) indique la quantité d'électricité mise en jeu lors de la charge ou de la décharge.

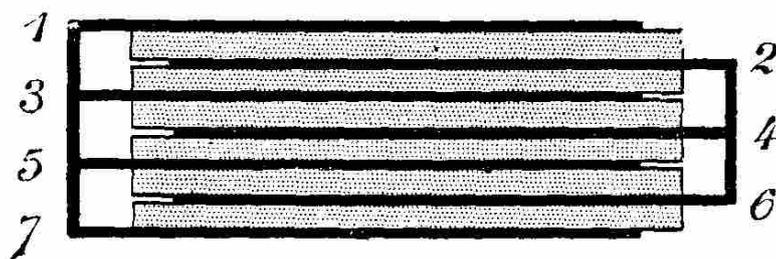


Fig. 12.

On constate que cette quantité est d'autant plus grande que les armatures ont une plus grande surface

et sont plus près l'une de l'autre. La *capacité* du condensateur, comparable à la *section* des vases A' et B' supposés cylindriques (fig. 11), est donc d'autant plus grande que les armatures sont plus étendues et plus voisines.

On construit des condensateurs de grande capacité en empilant des feuilles métalliques séparées par des lames isolantes en verre ou en mica (fig. 12). On relie les lames d'ordre pair, d'une part, et les lames d'ordre impair, d'autre part. Lorsque la différence de potentiel entre les armatures est très élevée, on obtient un bon isolement en immergeant le condensateur dans du pétrole.

On se sert souvent, en radiotélégraphie, de condensateurs dont on peut varier à volonté la capacité. Une

série de lames métalliques demi-circulaires (fig. 13) sont disposées parallèlement les unes aux autres et réunies par des tiges métalliques. Cet ensemble constitue l'une des armatures. L'autre est formée par une série de demi-cercles métalliques, fixés par leur centre à un axe de rotation. En faisant pivoter l'axe, on fait pénétrer plus ou moins les lames mobiles entre les lames fixes et l'on peut ainsi changer d'une manière continue la capacité du condensateur.

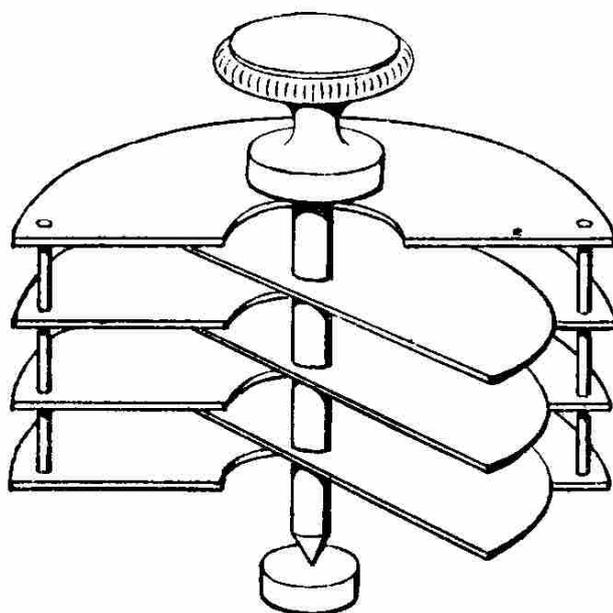


Fig. 13.

**5. Bobine d'induction.** — La bobine d'induction est destinée à obtenir de grandes forces électromotrices. On s'en sert pour charger des condensateurs et établir entre les armatures la grande différence de potentiel nécessaire à la production d'étincelles électriques.

La bobine d'induction est constituée par un noyau en fil de fer  $NN'$  (fig. 14) qui porte deux enroulements : l'un  $A_1B_1$ , dit *primaire* ou *inducteur*, a un petit nombre de spires de gros fil; l'autre  $A_2B_2$ , dit *secondaire* ou *induit*, a un très grand nombre de spires de fil fin.

Le primaire est intercalé dans le circuit d'une pile  $P$ . Un interrupteur  $I$  sert à établir ou à rompre le courant de la pile en fermant ou en ouvrant le circuit.

Lors de la fermeture du circuit de la pile, le courant

croît dans le primaire et induit une force électromotrice d'induction dans le secondaire (§ 1). Le noyau de fer s'aimante et son aimantation croissante, qui produit le même effet que l'approche d'un aimant, contribue pour une large part à la production de la force électromotrice d'induction.

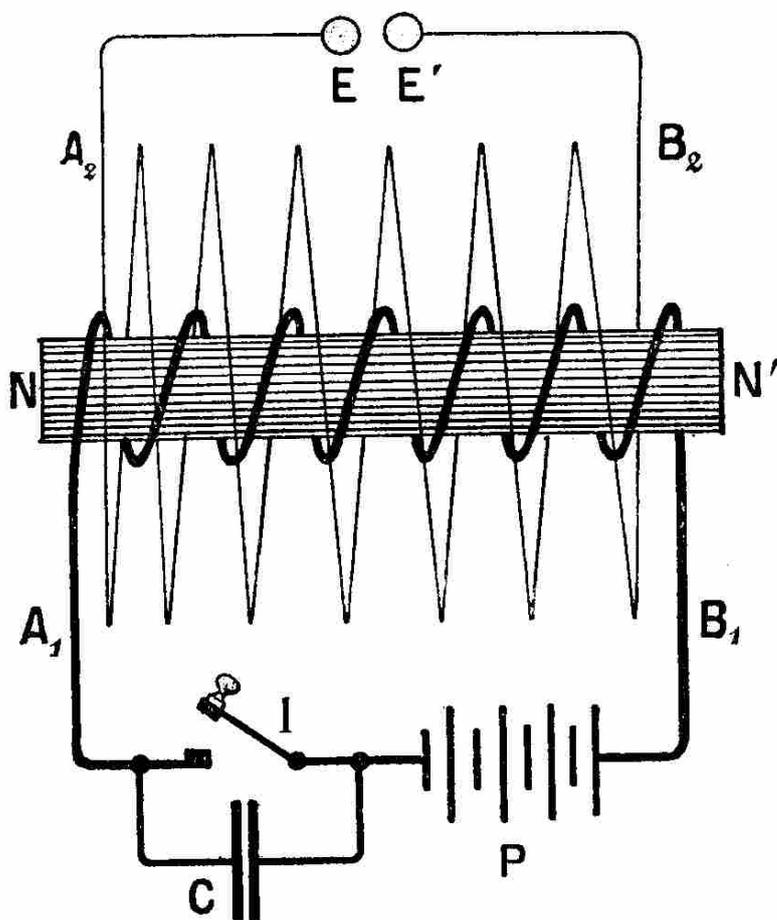


Fig. 14.

Cette force électromotrice disparaît lorsque le courant a atteint une intensité constante. Elle réapparaît en sens inverse lorsqu'en ouvrant l'interrupteur, on supprime, à la fois, le courant primaire et l'aimantation du fer.

Des fermetures et des ruptures successives du courant produisent donc le long du secondaire une force électromotrice alternative. Celle-ci atteint de très grandes valeurs si le nombre de spires du secondaire est considérable.

A cause de la grande self-induction du primaire, le courant, lors de la fermeture du circuit, ne s'établit pas instantanément et, à la rupture, le courant se prolonge par une étincelle entre les contacts de l'inter-

rupteur (§ 3). Cette étincelle détériore ces contacts. En prolongeant, d'autre part, le courant inducteur, elle diminue sa vitesse de variation et, par là même, la force électromotrice d'induction qu'il produit dans l'enroulement secondaire. Fizeau a indiqué comment

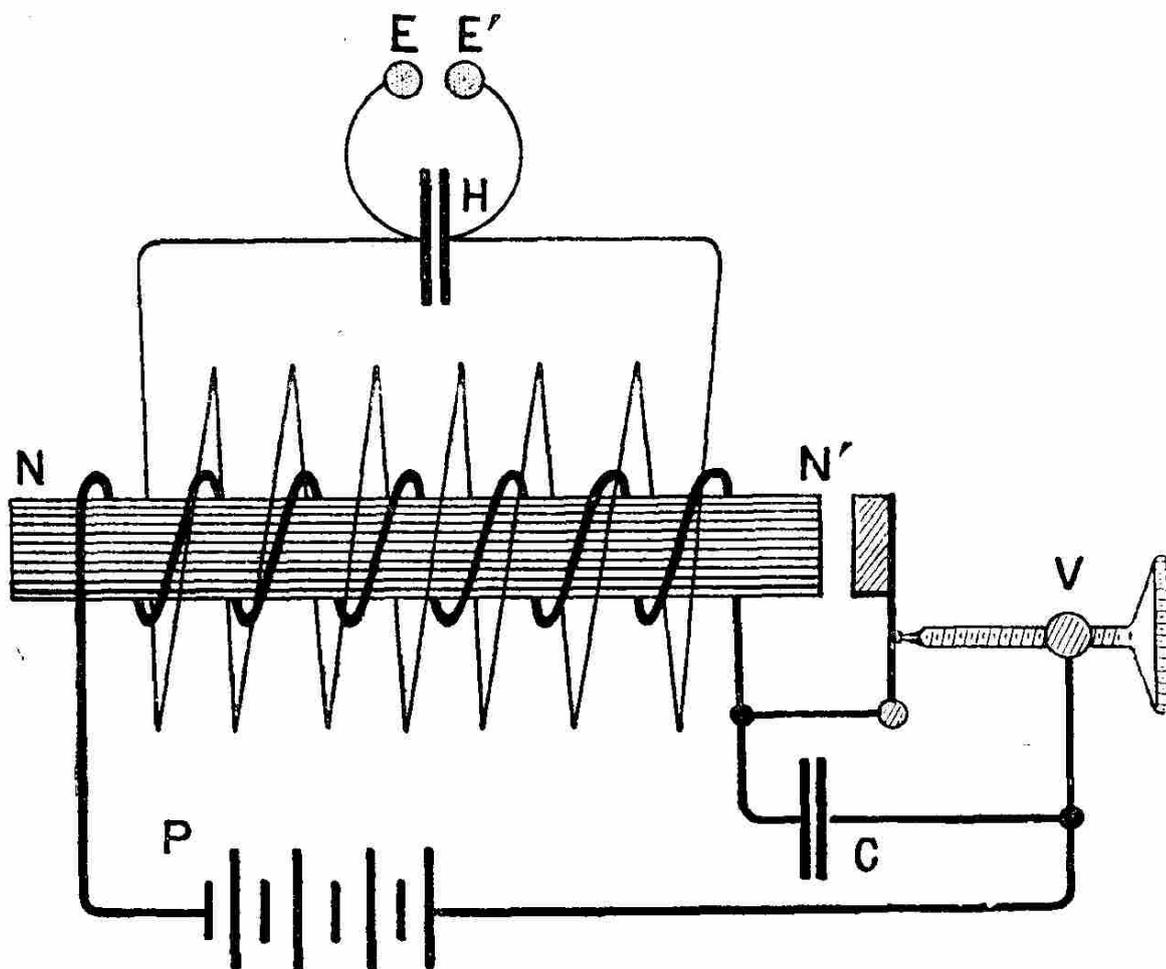


Fig. 15.

on pouvait beaucoup réduire l'étincelle à la rupture du circuit primaire : on dispose, en dérivation sur l'interrupteur  $I$ , un condensateur  $C$ . La quantité d'électricité mise en jeu par la self-induction charge ce condensateur et ne passe pas par l'étincelle qui s'éteint plus vite.

Dans ces conditions, la rupture est très rapide et la force électromotrice induite au secondaire crée entre

les extrémités E et E' de l'enroulement une différence de potentiel suffisante pour qu'une longue étincelle jaillisse entre celles-ci.

Des ruptures successives du courant primaire peuvent être produites automatiquement par un *vibrateur*. Un petit morceau de fer (fig. 15) est fixé à l'extrémité d'un ressort qui s'appuie contre une vis V. Le courant produit par la pile P passe du ressort à la vis et aimante le noyau de la bobine NN', qui attire le morceau de fer; le contact de la vis et du ressort cesse et le courant est rompu. Après la rupture, le noyau NN' est désaimanté, le ressort reprend le contact avec la vis; de nouveau le courant passe et la même succession de phénomènes se reproduit.

Pour charger un condensateur H, on réunit ses armatures au secondaire. La force électromotrice d'induction charge ces armatures et crée entre elles une différence de potentiel assez grande pour que la décharge par étincelle du condensateur se produise entre les pôles E et E' d'un *éclateur*. Lorsque le vibreur fonctionne, on obtient donc en EE' une série d'étincelles de décharge du condensateur. Le nombre d'étincelles par seconde est égal au nombre des oscillations du vibreur.

6. **Alternateur et transformateur.** — Lorsqu'il s'agit de mettre en jeu de grandes puissances, les étincelles de self-induction entre les contacts du vibreur deviennent très chaudes, détériorent rapidement ceux-ci et le fonctionnement devient irrégulier; on préfère alors utiliser pour la charge d'un condensateur le *transformateur*. C'est une bobine d'induction

sans vibreur, dans le primaire de laquelle on envoie un courant alternatif (§ 2) dont la fréquence d'oscillation assez basse est de l'ordre de grandeur de celle des ressorts de vibreur.

Ces courants alternatifs sont produits par des machines ou *alternateurs*, tout à fait

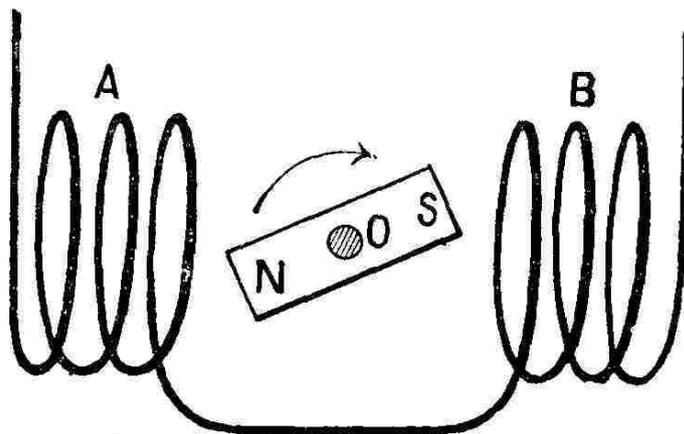


Fig. 16.

semblables à celles qui fournissent l'énergie aux distributions de lumière et de force motrice. Voici quel en est le principe.

Entre deux bobines A et B (fig. 16) reliées en série, on fait tourner un aimant NS autour d'un arbre O. Les pôles de l'aimant s'approchent ou s'éloignent périodiquement des bobines et y induisent une force électromotrice alternative. La période est égale à la durée d'un tour.

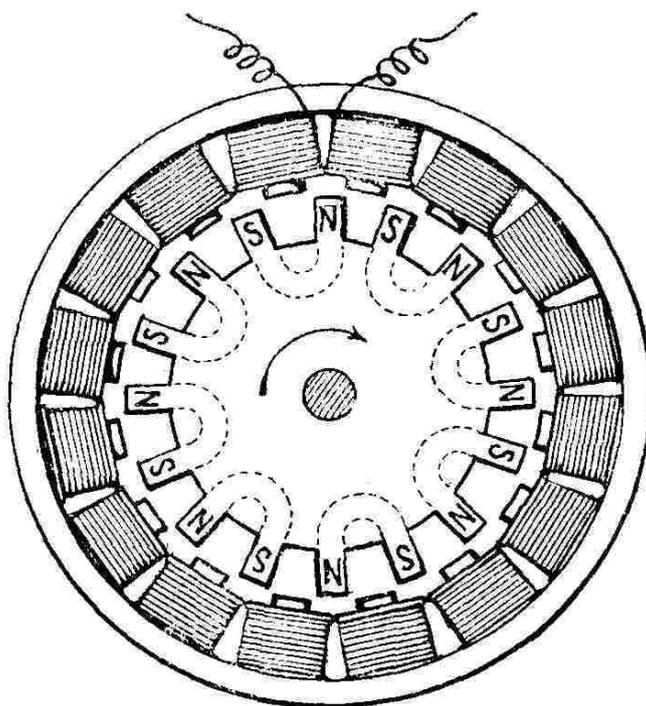


Fig. 17.

On se propose d'obtenir des fréquences qui, sans être très élevées, atteignent cependant quelques centaines de périodes par seconde; l'obtention de ces fréquences

exigerait une vitesse exagérée de l'aimant, aussi emploie-t-on toujours des alternateurs à plusieurs aimants NS (fig. 17) dont les pôles sont disposés en couronne sur un noyau fixé à l'arbre de la machine. Des bobines à noyau de fer, en nombre égal à celui des pôles,

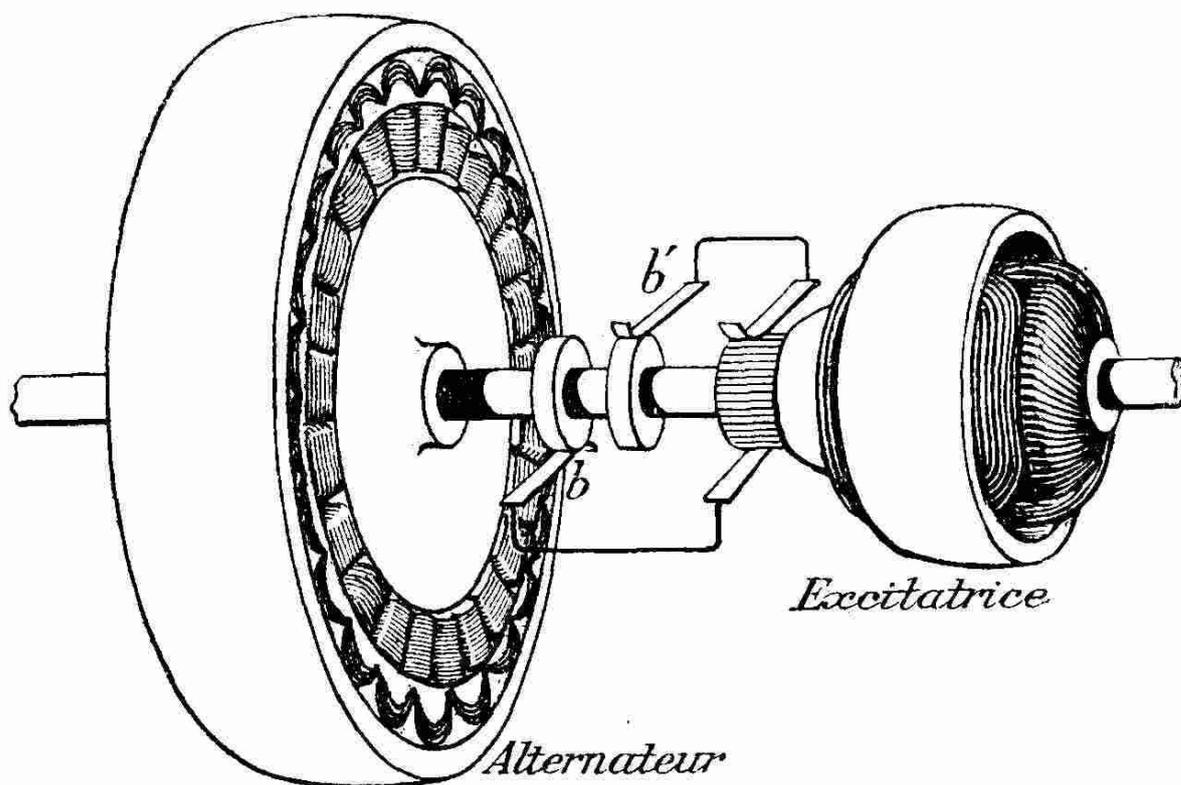


Fig. 18.

sont disposées autour de ce noyau et sont toutes reliées en série.

La force électromotrice induite dans l'enroulement est la somme des forces électromotrices induites dans chacune des bobines. Elle reprend la même valeur et le même sens après que la machine a tourné de la distance angulaire qui sépare deux pôles nord consécutifs. Si, par exemple, la machine a 16 pôles, la durée de la période est celle de  $1/8$  de tour et, pour une vitesse admissible de 25 tours par seconde, la fréquence de la force électromotrice atteint 200.

Au lieu d'aimants en acier, on se sert en général comme inducteur d'électro-aimants dans le circuit desquels on fait circuler le courant d'une petite machine à courant continu appelée *excitatrice*. Le courant est amené à l'inducteur par deux balais  $b$  et  $b'$ , qui frottent sur des bagues fixées sur l'arbre (fig. 18).

La force électromotrice d'un alternateur n'est pas suffisante pour obtenir des étincelles; on envoie le

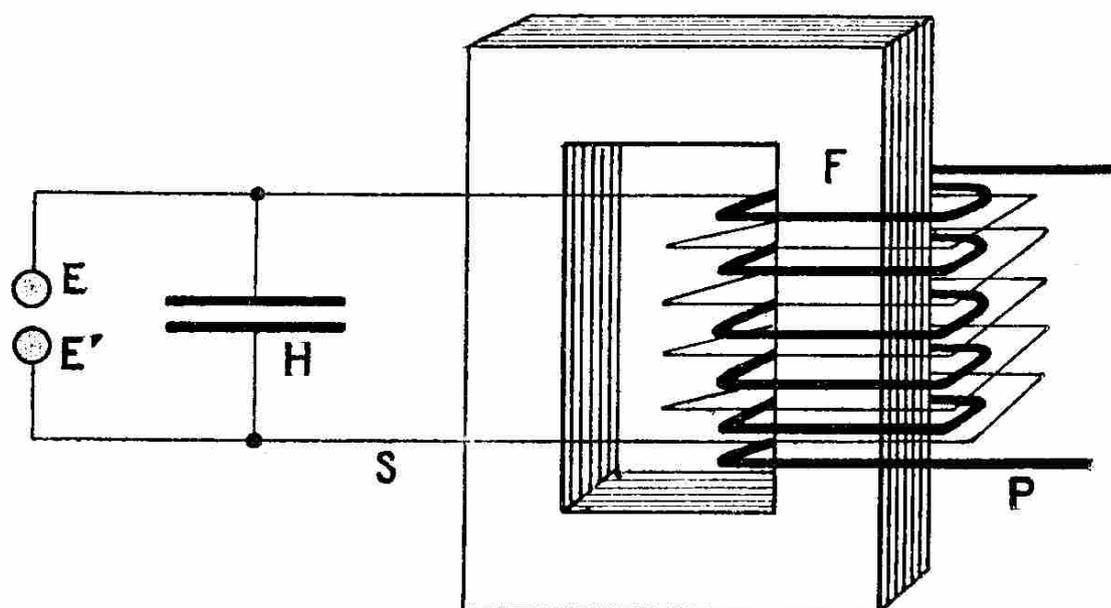


Fig. 19.

courant alternatif qu'il produit dans un *transformateur* (fig. 19).

Deux enroulements, un primaire P en gros fil ayant peu de spires et un secondaire S en fil fin à grand nombre de spires, sont bobinés sur un noyau de fer F. On envoie le courant de l'alternateur dans le primaire où il remplace le courant périodiquement interrompu puis rétabli de la bobine d'induction. On obtient par induction, au secondaire, une force électromotrice alternative (§ 2) assez grande pour charger un conden-

sateur H et obtenir lors de ses décharges successives un flux d'étincelles entre les pôles E et E' d'un éclateur.

Le noyau de fer F d'un transformateur est, en général, fermé; il est constitué par des tôles minces, vernies pour les isoler l'une de l'autre. L'emploi de tôles isolées ou de fil de fer est nécessaire dans la construction des noyaux des bobines d'induction, des transformateurs ou des alternateurs afin d'éviter les courants induits qui circuleraient dans un morceau de fer massif. Ces courants échaufferaient beaucoup le fer et une grande partie de la puissance y serait perdue en chaleur.

7. **Décharge oscillante.** — Ayant le moyen de produire entre les pôles d'un éclateur un flux d'étin-

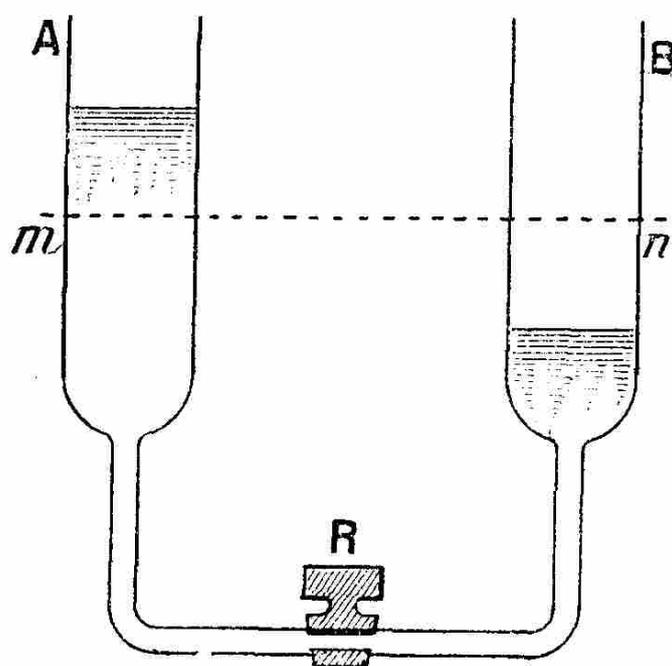


Fig. 20.

celles de décharge d'un condensateur, nous allons montrer comment ces décharges permettent d'obtenir les courants alternatifs, qui servent en T. S. F. à la transmission des signaux; leur fréquence très élevée est comprise entre 3 000 000 et 10 000 périodes par seconde.

Pour nous représenter en détail ce qui se passe lors de la décharge par étincelle d'un condensateur, comparons à nouveau les deux armatures d'un condensateur chargé à deux réservoirs A et B (fig. 20) remplis d'eau à des

niveaux différents. Les deux réservoirs communiquent par une conduite sur laquelle est un gros robinet R. Ouvrons ce robinet : l'eau s'écoule de A vers B et l'égalité des niveaux tend à se rétablir; mais, à l'instant où le niveau d'équilibre  $mn$  est atteint, l'eau est animée d'une grande vitesse et, à cause de son inertie, ne s'arrête pas brusquement. Le mouvement continue et l'eau monte dans le réservoir B plus haut que dans le réservoir A. Lorsque le mouvement s'arrête, la différence de niveau est inversée; l'eau s'écoule alors de B vers A, dépasse encore le niveau d'équilibre et les mêmes phénomènes se reproduisent. Les niveaux de l'eau dans les réservoirs oscillent périodiquement et la conduite est parcourue par un courant d'eau alternatif. Les oscillations s'amortissent peu à peu à cause des frottements.

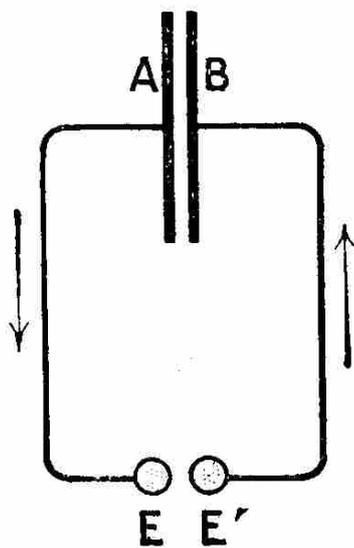


Fig. 21.

Si le tuyau de communication est très fin, ces frottements deviennent très grands et l'égalité des niveaux se rétablit lentement sans oscillations. Pour que des oscillations se produisent, il faut donc un tuyau large, peu résistant. Il faut aussi que le robinet soit largement ouvert dans un temps très court; si l'on tourne, en effet, lentement le robinet, l'eau s'écoule d'abord par une ouverture étroite, n'acquiert pas une grande vitesse et l'égalité des niveaux se rétablit encore sans oscillations.

Une disposition électrique analogue est réalisée par un condensateur chargé dont les armatures A et B sont reliées aux pôles E et E' (fig. 21) d'un éclateur à

étincelles. Lorsque l'étincelle jaillit, les deux armatures sont brusquement mises en communication. Un courant passe, dans le circuit, de l'armature au potentiel le plus élevé vers l'armature au potentiel le plus bas.

Nous avons indiqué (§ 3) que la force électromotrice de self-induction produit des effets analogues à l'inertie et empêche le courant de cesser brusquement; à cause de la self-induction du circuit, le courant ne s'arrête donc pas lorsque les armatures sont revenues au même potentiel. La différence de potentiel s'inverse, puis une nou-

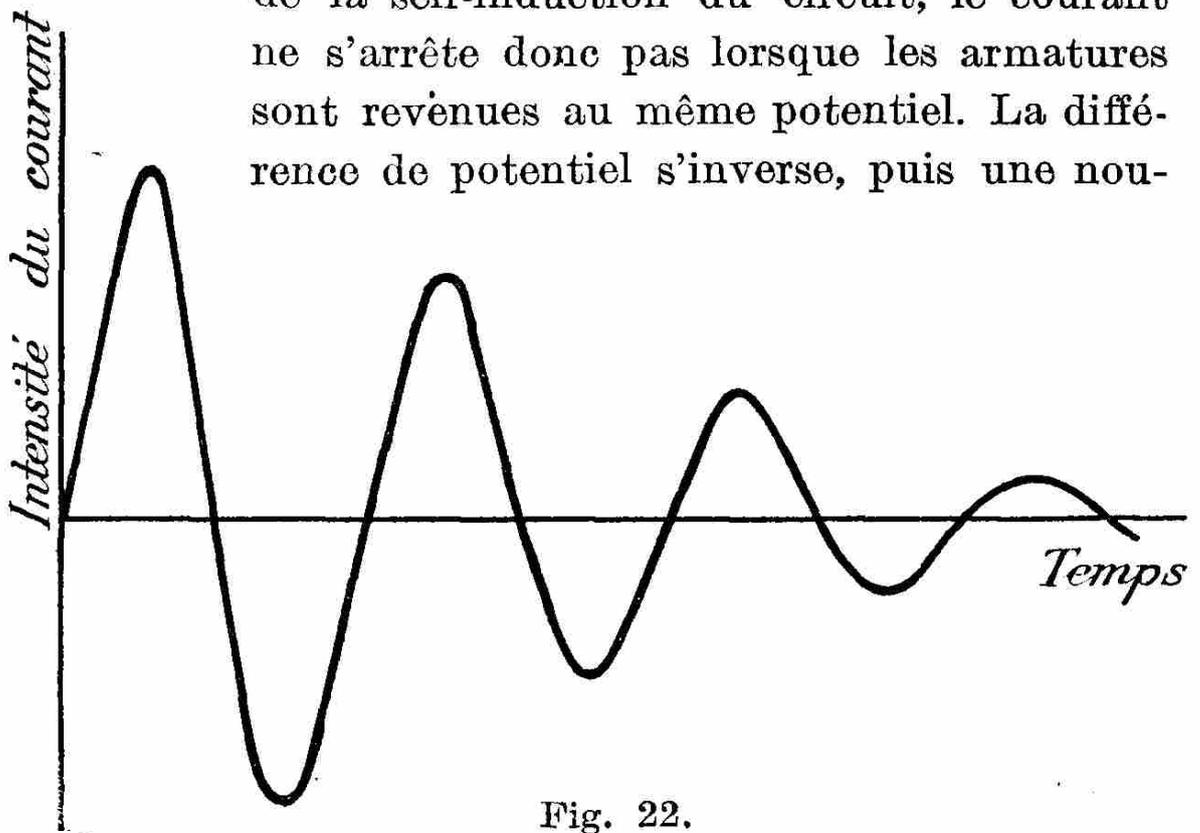


Fig. 22.

velle décharge se produit en sens inverse de la première et des oscillations électriques se succèdent un certain nombre de fois. Elles s'amortissent d'autant plus vite que la résistance électrique du circuit est plus grande, c'est-à-dire le fil plus fin.

Pendant la durée très courte de l'étincelle, le circuit est parcouru par un courant alternatif amorti, dont l'intensité est représentée par la courbe de la figure 22.

La fréquence des oscillations, lorsqu'un condensateur

se décharge, est extrêmement grande; en radiotélégraphie, on utilise des fréquences comprises entre 10 000 et 3 000 000 qui correspondent à des périodes comprises entre  $1/10\ 000$  et  $1/3\ 000\ 000$  de seconde.

Lorsque le condensateur est chargé par une bobine d'induction ou par un transformateur, la durée de toutes les oscillations d'une étincelle de décharge est beaucoup plus petite que le temps qui sépare deux étincelles consécutives. Supposons, par exemple, que la fréquence des oscillations soit 1 000 000 et que les oscillations soient au nombre de 10; la durée totale des 10 oscilla-



Fig. 23.

tions n'est que  $1/100\ 000$  de seconde; si la bobine d'induction produit 200 étincelles par seconde, le temps qui s'écoule entre deux étincelles est 500 fois plus grand que la durée totale des oscillations de chacune d'elles. Le courant alternatif dans le circuit se compose donc d'une série de trains d'oscillations amorties, séparés par un temps de repos très long. Ce courant serait représenté par une courbe du genre de celle de la figure 23.

De même qu'il faut, pour obtenir des oscillations hydrauliques, ouvrir dans un temps très court le robinet qui fait communiquer deux réservoirs, de même il faut, pour obtenir des oscillations électriques, que l'étincelle devienne conductrice dans un temps extrêmement petit vis-à-vis de la durée déjà très faible de la période.

Une étincelle blanche, rectiligne et bruyante oscille bien; une étincelle rose entourée d'une gaine lumineuse

et dont le bruit est peu intense, n'oscille pas. De l'eau, des aspérités aiguës sur l'éclateur empêchent les oscillations. En réglant la distance des pôles d'un éclateur dont les surfaces métalliques sont propres, on arrive facilement à obtenir des étincelles oscillantes. Lorsqu'on le peut, il est bon d'envoyer sur l'étincelle un courant d'air.

**8. Influence de la capacité et de la self-induction sur la fréquence des oscillations.** — Les oscillations hydrauliques sont d'autant plus fréquentes que la section des réservoirs est plus petite. De même, la fréquence des oscillations électriques augmente lorsqu'on diminue la capacité du condensateur.

De la grandeur de la self-induction du circuit oscillant, dépend aussi la fréquence de ses oscillations. Les oscillations électriques sont d'autant plus fréquentes que la self-induction du circuit de décharge est plus faible. Nous augmenterons la fréquence en diminuant la longueur du fil qui constitue le circuit ou, si ce fil est enroulé en bobine, en écartant l'une de l'autre les spires de l'enroulement.

Un circuit donné, comprenant une capacité et une bobine, a donc une période d'oscillation d'autant plus courte que la capacité et la self-induction sont plus petites.

La théorie de la décharge oscillante d'un condensateur a été établie par lord Kelvin en 1853; il en a déduit pour la valeur de la période T

$$T = 2\pi \sqrt{LC}$$

L et C étant respectivement les grandeurs que l'on appelle *coefficient de self-induction* du circuit et *capacité* du condensateur.

De nombreuses expériences de mesure de la période d'oscillation ont démontré expérimentalement la valeur de cette formule, dans le cas, supposé par Lord Kelvin, où la capacité du circuit n'est pas trop petite et la résistance faible. C'est seulement pour de tels circuits, souvent utilisés en radiotélégraphie, que l'on est en droit d'appliquer avec une suffisante précision la formule de Lord Kelvin.

Dans le système d'unités pratiques le plus souvent employé, l'unité de coefficient de self-induction est le *henry*, l'unité de capacité est le *farad*. Si  $L$  et  $C$  sont exprimés dans ce système d'unités, la formule précédente donne en *secondes* la durée de  $T$ .

**9. Résonance.** — La fréquence des oscillations de décharge d'un condensateur est considérable, de sorte que les variations très rapides d'intensité du courant

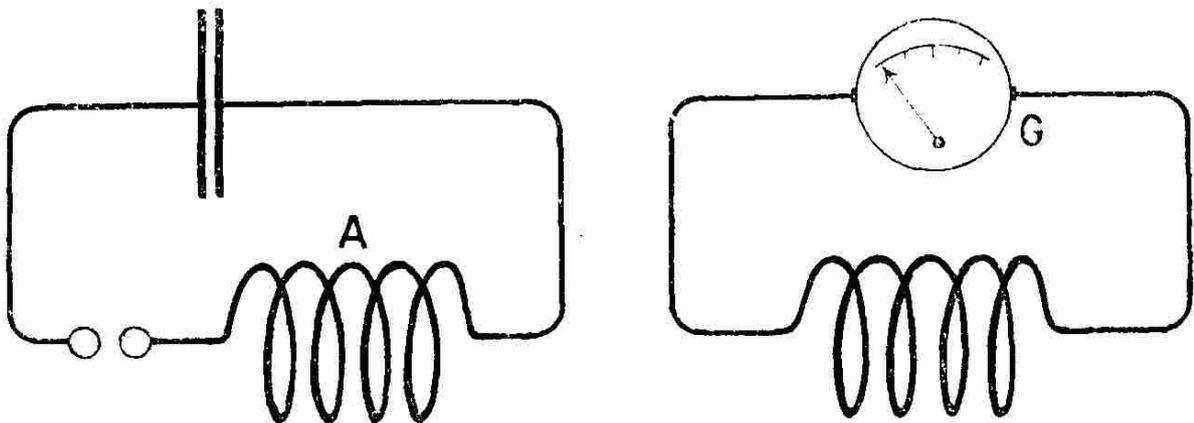


Fig. 24.

produisent de très grandes forces électromotrices dans des circuits voisins.

Si on place à côté d'une bobine  $A$  (fig. 24), intercalée sur un circuit oscillant une seconde bobine reliée à un ampèremètre à courant alternatif  $G$ , on constate l'existence d'un courant induit (§ 2).

Lorsque le circuit induit n'a pas de condensateur et, par suite, n'a pas de période d'oscillation propre, le courant induit suit les oscillations de l'inducteur quelle que soit leur période. Un circuit fermé sans condensateur est dit *apériodique*.

Des phénomènes du plus haut intérêt en T. S. F. se produisent lorsque le circuit induit est constitué, comme le circuit inducteur, par un condensateur et une self-induction. On observe alors des phénomènes de résonance identiques à ceux que présentent les oscillations mécaniques ou les vibrations acoustiques

Imaginons un pendule constitué par une balle de plomb suspendue à un fil. Donnons un très léger choc au pendule : il oscille. Lorsqu'il revient à sa position d'équilibre et y passe, dans le sens où il a été poussé, après avoir effectué une double oscillation, frappons-le à nouveau : nous augmentons l'amplitude de l'oscillation. Si nous recommençons un grand nombre de fois à lui donner des chocs rythmés, cette amplitude devient très grande, même sous l'influence de chocs répétés très faibles.

Si, au contraire, la fréquence des chocs est un peu différente de la fréquence des oscillations du pendule, le mouvement de ce dernier ne peut acquérir une bien grande amplitude. Le second choc étant par exemple en retard, le suivant retarde encore plus et il finit par se produire un choc en sens inverse du mouvement du pendule, ce qui commence à l'arrêter.

On dit qu'un système capable d'osciller *résonne*, toutes les fois que, sous l'influence d'une oscillation de même période que la sienne, il prend un mouvement de grande amplitude.

Les vibrations acoustiques provoquent des phénomènes de résonance. Une corde de violon, un diapason résonnent lorsqu'on produit, dans leur voisinage, un son ayant exactement la hauteur de celui qu'ils pourraient eux-mêmes donner. Cela tient à ce que les vibrations de l'air, quoique très faibles, finissent, à cause de leur répétition rythmée, par mettre en mouvement la corde ou le diapason. Ces explications suffisent pour concevoir que si l'on place à côté d'un circuit oscillant

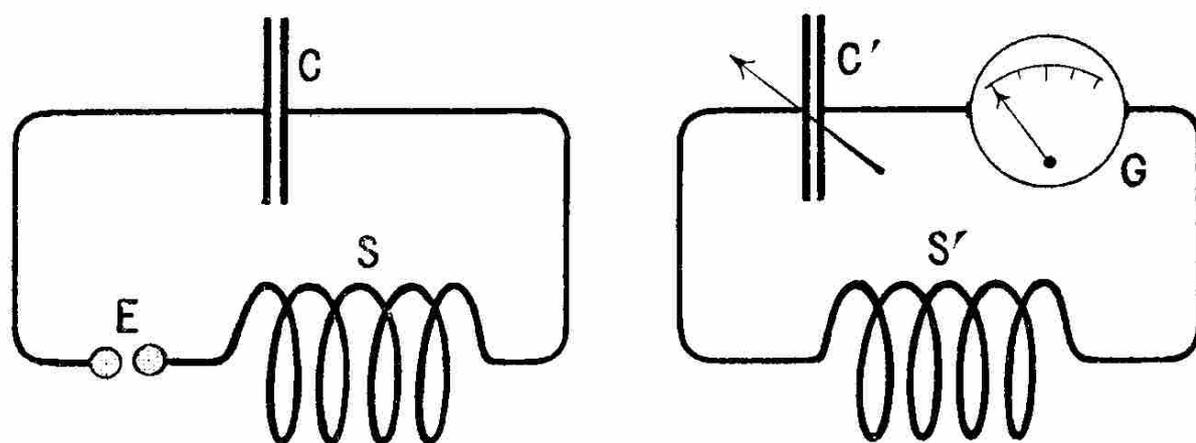


Fig. 25.

CSE (fig. 25), mis en oscillation par une étincelle, un second circuit oscillant  $C'S'G$ , le courant induit acquiert une intensité beaucoup plus grande lorsque les deux circuits ont la même période d'oscillation.

Pour le constater, servons-nous en  $C'$  d'un condensateur de capacité variable (voir fig. 13); en modifiant progressivement sa capacité nous voyons l'aiguille de l'ampèremètre  $G$  indiquer un courant beaucoup plus intense lorsque la valeur de cette capacité est celle pour laquelle la période est égale à celle du circuit inducteur. On dit que la résonance est très *aiguë* lorsqu'un très petit changement de période du circuit induit, à partir

de l'accord, fait disparaître presque complètement le courant.

Puisque la résonance est due à la répétition périodique des effets d'induction, elle est d'autant plus aiguë et d'autant plus intense que les oscillations du circuit inducteur sont moins amorties.

L'acuité de la résonance dépend naturellement aussi de l'amortissement du circuit induit; elle ne peut, en effet, se produire que si l'oscillation provoquée par un premier choc peut continuer durant un grand nombre de périodes.

Les oscillations électriques des étincelles sont bien plus amorties que les vibrations acoustiques; les résonances électriques pour des circuits à étincelles, seront donc moins marquées. Elles sont cependant assez intenses pour avoir en T. S. F. une importance capitale.

Nous verrons des moyens d'entretenir sans arrêt et sans amortissement, des oscillations électriques, c'est-à-dire de produire un courant alternatif de très haute fréquence et d'amplitude d'oscillation constante. De tels courants produisent, au contraire, des résonances très aiguës.

**10. Propagation d'une perturbation.** — La transmission des signaux radiotélégraphiques s'obtient en produisant des oscillations à fréquence très élevée qui induisent, à très grande distance, des oscillations le long d'un circuit récepteur accordé.

Le transmetteur n'est pas, en général, un circuit oscillant constitué par une bobine reliée aux armatures d'un condensateur. On ne peut pas espérer obtenir, en effet, des inductions lointaines avec un tel circuit; la raison en est facile à concevoir.

Supposons que l'on emploie comme transmetteur une bobine enroulée sur un cadre carré et un condensateur; on trouvera plus loin à la figure 106 le dessin d'un tel circuit. A chaque instant deux côtés opposés du cadre sont parcourus en sens inverse par des courants égaux. Leurs effets sur un second circuit peu éloigné ne se compensent pas parce que les deux côtés ne sont pas à la même distance des éléments de ce second circuit et des courants d'intensité notable y sont induits. Mais si les deux circuits sont très loin l'un de l'autre, des

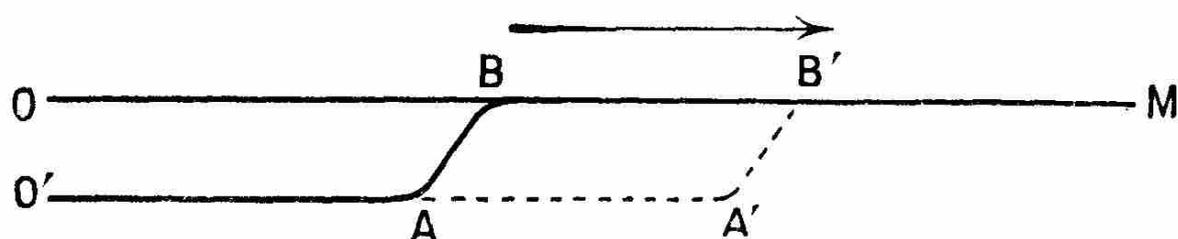


Fig. 26.

différences de distance aussi petites que celle qui sépare deux côtés opposés du cadre n'interviennent plus que très peu et il y a compensation presque complète entre leurs effets à grande distance.

Le physicien russe Popoff, l'ingénieur italien Marconi ont alors eu l'idée d'utiliser, au lieu de circuits fermés, de longs fils isolés à une extrémité et reliés à la terre par l'autre que l'on appelle *antennes*.

Pour comprendre le mode d'oscillation de ces antennes et pour nous rendre compte aussi de la propagation des effets d'induction entre deux postes de T. S. F., nous étudierons d'abord le mode de propagation des oscillations que l'on appelle propagation par ondes.

Imaginons que l'on tienne à la main l'une des extrémités O (fig. 26) d'une très longue corde OM. Abais-

sons la main de  $O$  en  $O'$ ; la corde ne s'abaisse pas instantanément sur toute sa longueur. Le mouvement se propage de proche en proche, les différents points de la corde s'abaissant successivement, de sorte que, au bout d'un certain temps, la corde a la forme  $O'ABM$ , puis, un instant après, la forme  $O'A'B'M$ . La déformation  $AB$  s'éloigne avec une vitesse constante en conservant toujours la même forme.

Après avoir abaissé l'extrémité de la corde en  $O'$ , ramenons-la en  $O$ . Les différents points de la corde



Fig. 27.

s'élèvent successivement et, au bout d'un certain temps, la corde a la forme  $ODCABM$  (fig. 27). La déformation se propage et les mouvements vers le bas, puis vers le haut, du point  $O$  se reproduisent successivement en tous les points de la corde.

**11. Propagation par ondes progressives.** — Imprimons maintenant à l'extrémité  $O$  de la corde un mouvement d'oscillation périodique. Tous les points de la corde prennent successivement ce même mouvement. A un instant quelconque, la corde a une forme sinueuse  $OABCD\dots$  (fig. 28), aux instants suivants, les formes successives  $O'A'B'C'D'\dots$  puis  $O''A''B''C''D''\dots$

On voit progresser le long de la corde une série de vagues ou d'ondes. La distance  $AC$  de deux vagues ou

ondes consécutives s'appelle *longueur d'onde*. C'est la distance dont s'est propagé le mouvement pendant la période d'oscillation du point O, car cette période est le temps durant lequel ce point a été abaissé, puis relevé et ramené enfin à sa position initiale.

Si, par exemple, on donne à l'extrémité de la corde un mouvement oscillatoire à 5 périodes par seconde et si la vitesse de propagation d'une perturbation le long

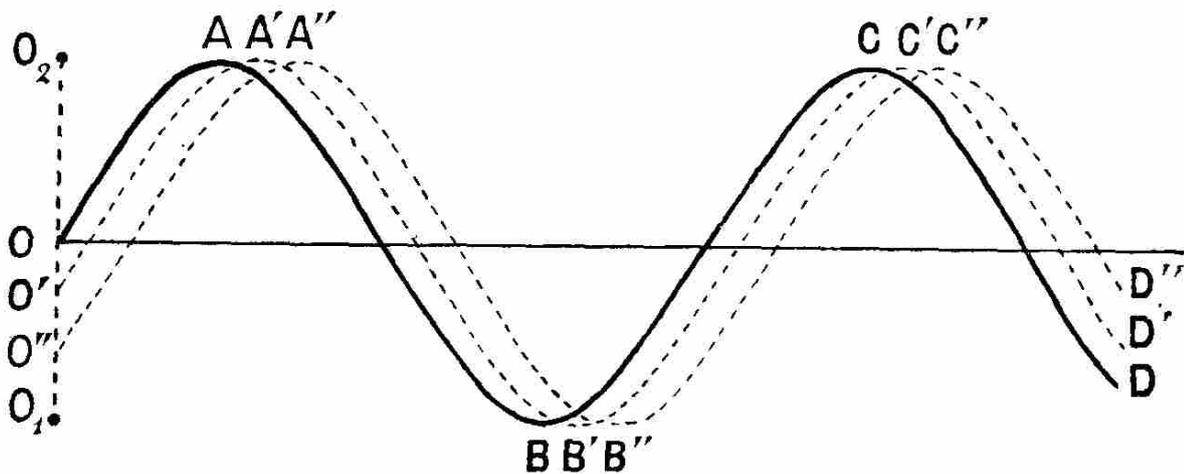


Fig. 28.

de cette corde est 50 mètres par seconde, la longueur d'onde est 10 mètres.

Appelons  $\lambda$  la longueur d'onde,  $V$  la vitesse de propagation des ondes,  $T$  la période d'oscillation de l'extrémité de la corde, qui est aussi celle de l'un quelconque de ces points. La longueur d'onde est le produit de la vitesse par la période,

$$\lambda = VT.$$

Deux points de la corde distants d'une longueur d'onde sont, au même moment, dans la même phase de leur mouvement.

Deux points distants d'une demi-longueur d'onde ont, au même moment, des mouvements inverses.

12. **Ondes stationnaires.** — Au lieu de supposer la corde extrêmement longue, imaginons qu'on l'attache par son extrémité P (fig. 29). En abaissant puis en relevant l'autre extrémité O, nous envoyons le long de la corde une déformation ABCD. Celle-ci se propage, atteint l'extrémité fixe P et revient en arrière; mais

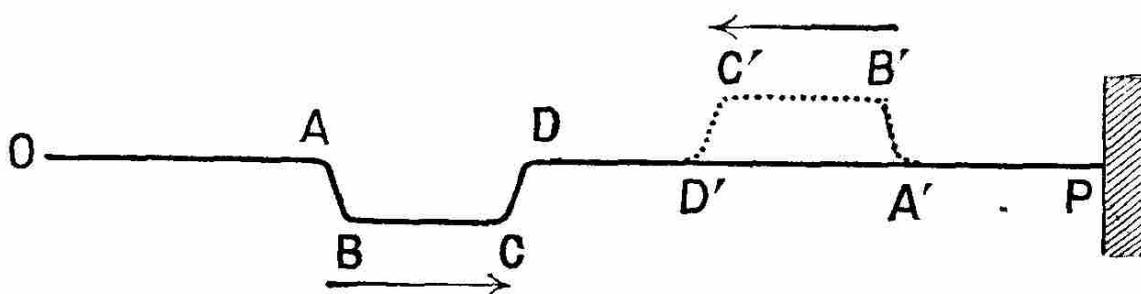


Fig. 29.

cette réflexion change son sens et la perturbation de retour a la forme A'B'C'D'.

Donnons maintenant au point O un mouvement d'oscillation périodique entre  $O_1$  et  $O_2$  (fig. 30); des ondes progressives se propagent vers P, se réfléchissent en changeant de sens et reviennent en arrière. Lors de ce retour, elles se superposent aux ondes qui arrivent et les formes successives de la corde s'obtiennent en superposant en chaque point les déplacements produits par les ondes incidentes et réfléchies.

En un point N, distant de P d'une demi-longueur d'onde, le mouvement réfléchi revient après avoir parcouru une longueur d'onde entière; il coïnciderait donc constamment avec le mouvement incident, si ce dernier n'avait été inversé à la réflexion. A cause de

cette inversion de sens, les deux mouvements incidents et réfléchis tendent à donner au point N des déplacements constamment égaux et contraires; ce point, sollicité également dans les deux sens, reste toujours immobile.

Au point V, à  $\frac{1}{4}$  de longueur d'onde de P, le mouvement réfléchi revient après avoir parcouru une  $\frac{1}{2}$  longueur d'onde; il serait constamment en sens inverse

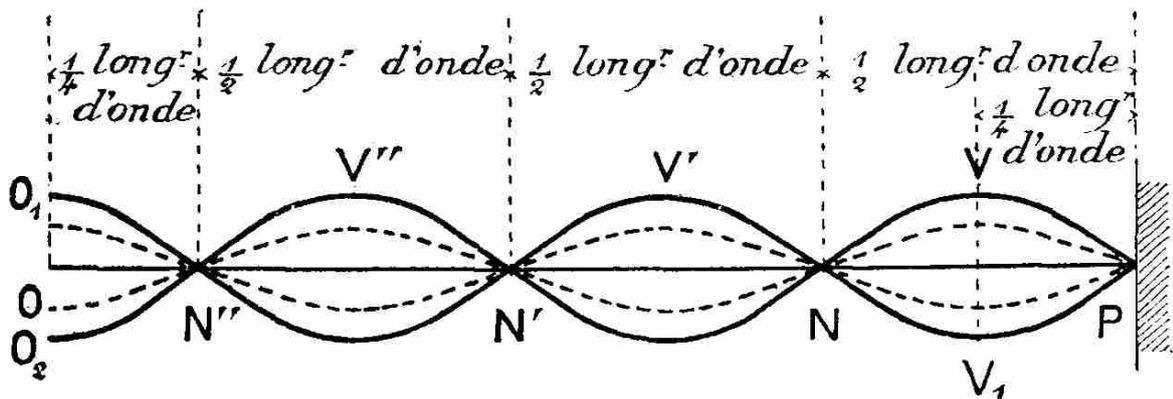


Fig. 30.

du mouvement incident si la réflexion n'avait changé le sens de celui-ci. A cause de ce changement, les deux mouvements sont constamment de même sens et s'ajoutent. Le point V oscille donc autour de sa position d'équilibre entre V et V<sub>1</sub> et le segment de corde NP prend successivement les différentes formes indiquées par la figure 30.

Pour le point N', à deux demi-longueurs d'onde de P, et pour le point V', au milieu de NN', on peut répéter ce qui a été dit pour N et V.

On arrive à cette conclusion que, sur la corde, des points équidistants N, N', N''... restent constamment immobiles; on les appelle *nœuds*. Entre deux nœuds,

la corde oscille et les points V, V', V''... de plus grande amplitude d'oscillation s'appellent *ventres*. On dit qu'une corde animée de telles oscillations est le siège d'*ondes stationnaires*.

Si l'on s'arrange de telle sorte que l'extrémité O de la corde soit un ventre, cette corde, attachée en P peut prendre l'un des divers modes d'oscillations indiqués par la figure 31. La longueur de la corde est un nombre impair de quarts de longueur d'onde.

Lorsqu'on tient à la main l'extrémité O d'une corde élastique, il est difficile d'obtenir un ventre en O, car la main, guidée par les réactions de la corde, produit en O des variations, non d'amplitude, mais de tension; on obtient alors un nœud près de la main.

En attachant un fil de coton à une branche d'un diapason entretenu électriquement et en tendant ce fil dans le prolongement de cette branche, on peut obtenir les systèmes d'ondes, stationnaires de la figure 31. Il suffit, pour cela, de régler la tension de la corde aux valeurs convenables.

Le  $\frac{1}{4}$  de la longueur d'onde est la longueur de la corde ou  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{5}$ ,  $\frac{1}{7}$  de cette longueur. La corde peut ainsi vibrer, soit à la fréquence qui correspond à son oscillation en quart d'onde (c'est le cas de la corde du haut de la figure), soit aux fréquences triples, quintuples... de celle-ci.

Si l'on donne à une corde, qui doit avoir un ventre à une extrémité et un nœud à l'autre, des vibrations de fréquences différentes de celles-ci, elle ne peut vibrer et prend un mouvement irrégulier de très petite amplitude.

L'étude précédente nous fournit un exemple de réso-

nance (§ 9). Une corde n'acquiert, en effet, un mouvement de grande amplitude sous l'influence d'une vibration périodique que si la période est justement celle

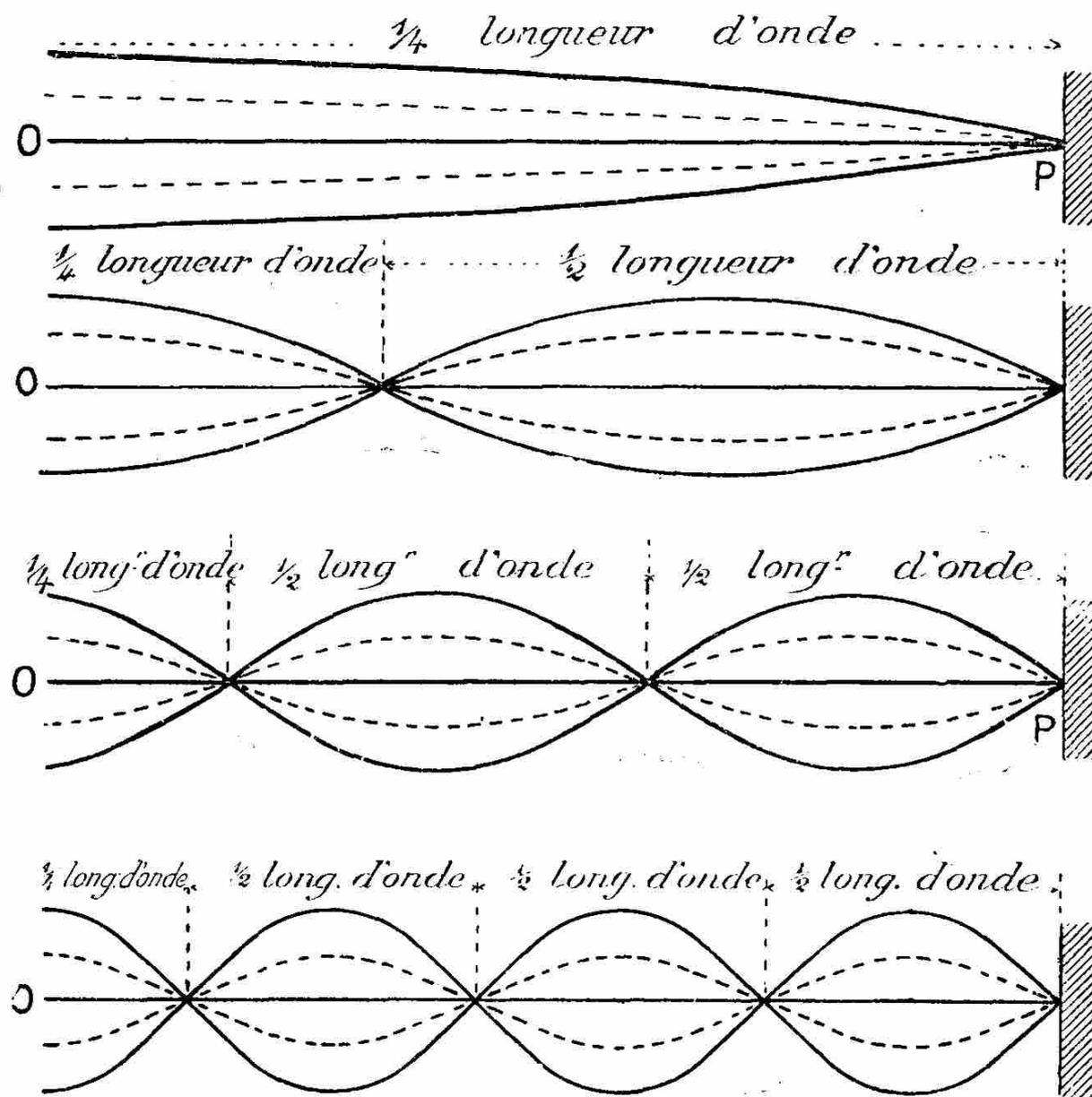


Fig. 31.

d'une des oscillations possibles de la corde. Nous venons de voir que les fréquences de ces oscillations sont les multiples impairs de la fréquence la plus petite; on les appelle *vibrations harmoniques* de cette dernière.

Aux nœuds, la corde éprouve des variations de direc-

tion; aux ventres, au contraire, la direction de la corde ne change pas : la corde se déplace parallèlement à sa direction primitive. Les ventres de vibrations pour l'amplitude sont donc des nœuds pour les variations de direction et inversement.

**13. Ondes électriques stationnaires le long d'un fil isolé à son extrémité.** — Changeons le potentiel électrique à l'une des extrémités d'un fil conducteur très long; un courant se produit, vers cette extrémité si on a abaissé son potentiel, en sens inverse si on l'a élevé. Ce courant ne s'étend pas instantanément le long de la totalité du fil; il se propage le long de celui-ci comme une perturbation le long d'une corde.

Les charges électriques arrivant à l'extrémité isolée ne s'y accumulent pas mais reviennent en arrière. Les courants d'aller et de retour se superposent, de sorte que, si les variations de l'état électrique, à l'origine du fil sont périodiques, ce fil devient le siège d'ondes stationnaires. En imaginant que, sur la figure 30 (p. 35), les écarts de la corde à sa position d'équilibre représentent en chaque point l'intensité du courant, on a une image exacte de la répartition du courant le long du fil.

Il y a des points ou *nœuds de courant* où celui-ci reste constamment nul et des *ventres* où l'intensité du courant alternatif atteint la plus grande amplitude de variation.

De même que, dans deux internœuds consécutifs, les déplacements d'une corde sont à chaque instant en sens inverses, les courants sont aussi inverses de part et d'autre d'un nœud. Ces courants, qui convergent vers le nœud ou s'en écartent aux mêmes instants,

y produisent des augmentations périodiques de la charge électrique et du niveau électrique ou potentiel. Les nœuds de courant sont donc des *ventres de potentiel* ou, comme on dit quelquefois, des ventres de *tension*. Les ventres de courant sont, au contraire, des points de potentiel constant ou *nœuds de tension*.

14. **Antenne.** — Réunissons un fil vertical, dont l'extrémité supérieure P est isolée (fig. 32), à l'un des pôles d'un éclateur à étincelles, E. Relions l'autre pôle à la terre par un fil court. Avec une bobine d'induction (§ 5) ou avec un alternateur et un transformateur (§ 6), faisons jaillir des étincelles entre les pôles de l'éclateur. Une perturbation électrique prend naissance à l'étincelle, elle se propage le long du fil, se réfléchit à l'extrémité et des ondes électriques stationnaires se forment le long de ce fil.

Le potentiel du point relié à la terre est invariable, puisque, à cause de l'immense capacité de celle-ci, les quantités d'électricité que nous pouvons lui prendre ne changent pas sensiblement son niveau électrique; au voisinage immédiat du sol, nous aurons par suite un nœud de tension, ce sera aussi un ventre de courant.

Au contraire, l'extrémité isolée P est nécessairement un nœud de courant, c'est aussi un ventre de tension. Le

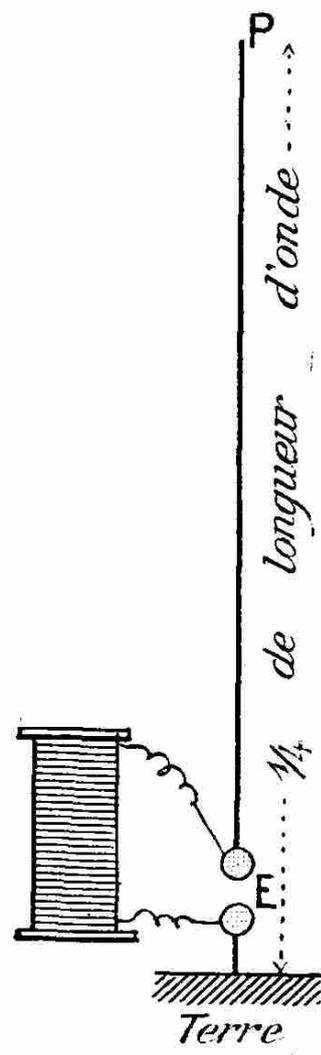


Fig. 32.

long du fil s'établit donc une oscillation dont le quart de longueur d'onde est la longueur du fil (voir fig. 31).

Il s'établit aussi des oscillations harmoniques de fréquence 3, 5, 7 fois plus élevées qui correspondraient aux autres distributions du courant représentées par la figure 31; mais l'expérience a montré que, dans le cas considéré, l'oscillation en quart d'onde a une ampli-

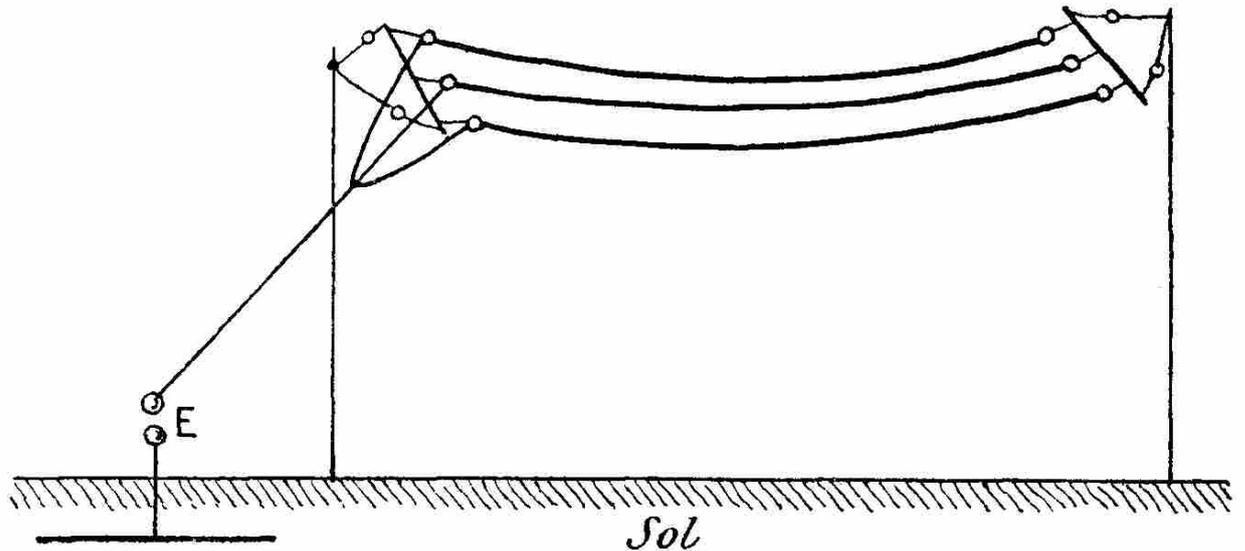


Fig. 33.

tude beaucoup plus considérable que ces oscillations harmoniques.

En radiotélégraphie, on donne le nom d'*antenne* au fil EP. L'antenne vibrant en quart d'onde est parcourue par un courant alternatif dont l'intensité maximum décroît de la terre jusqu'au sommet. A la base de l'antenne, le potentiel reste constant et égal à celui de la terre; au sommet, au contraire, les variations de potentiel atteignent la plus grande amplitude.

La longueur d'onde est égale à 4 fois la longueur du fil.

Lorsqu'une antenne oscille en quart d'onde, un courant alternatif circule à la base de l'antenne, son amplitude décroît lorsqu'on s'élève le long de l'antenne et s'annule

à l'extrémité. Ce courant part du sol, charge l'antenne, revient au sol lors de la décharge, puis change de sens, produit une charge nouvelle. La période de ces oscillations électriques est égale à 4 fois la durée de parcours de l'antenne par les oscillations électriques.

L'antenne est souvent constituée, non par un fil unique, mais par une nappe de fils soutenus au-dessus du sol par des pylônes, dont elle est isolée électriquement. Un fil attaché, soit à l'une des extrémités de la nappe, soit en son milieu la réunit au sol (fig. 33).

On peut alors regarder l'antenne comme un condensateur dont l'une des armatures est la nappe de fils, l'autre le sol. Ce condensateur se décharge par une étincelle oscillante entre les pôles de l'éclateur E et l'ensemble constitué par l'antenne et le sol se comporte comme un circuit oscillant.

**15. Antenne à contrepoids.** — Lorsqu'on ne peut mettre l'un des pôles de l'éclateur à la terre, soit parce que le terrain est formé de roches isolantes, soit parce que l'antenne est installée sous un avion ou un ballon, il est cependant encore possible de produire le long de cette antenne des oscillations électriques.

Imaginons, en effet, qu'au lieu de relier l'un des pôles de l'éclateur à la terre, nous le réunissions à un second fil (fig. 34) égal à l'antenne. Les extrémités isolées P et P' sont des nœuds de courant et l'ensemble oscille comme une corde fixée par ses deux extrémités, une corde de violon par exemple. La longueur de la corde est alors l'intervalle entre deux nœuds, c'est-à-dire la demi-longueur d'onde.

Nous concevons facilement que le second fil, qui est

d'installation difficile, puisse être remplacé (fig. 35) par une masse métallique suffisante, qu'on appelle *contre-poids d'antenne*. On emploie soit du treillage métallique installé un peu au-dessus du sol, soit, dans le cas de l'avion, toutes les parties métalliques de celui-ci.

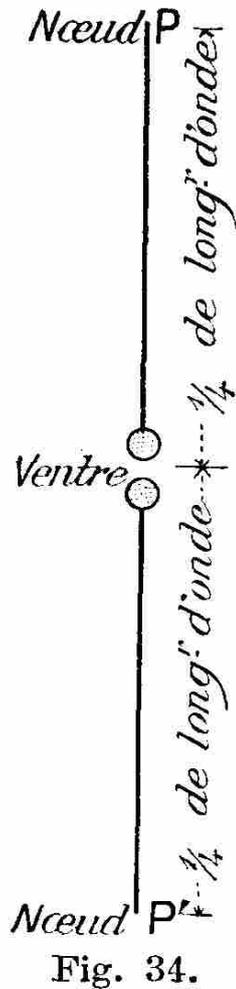


Fig. 34.

Si la grandeur du contre-poids est suffisante, l'antenne vibre encore en quart d'onde. Si le contre-poids est insuffisant, on se trouve dans les mêmes conditions que si l'étincelle n'était pas au milieu du fil. Il en résulte que, pour un contre-poids insuffisant, ce qui est le cas des antennes d'avion de plus de 50 mètres de longueur environ, le quart de la longueur d'onde est plus petit que la longueur de l'antenne (fig. 35).

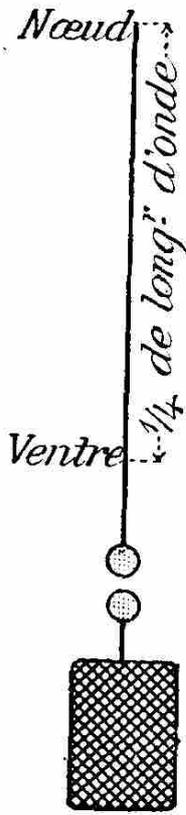


Fig. 35.

Quand l'antenne est petite, les oscillations ont une haute fréquence et, par

suite, une longueur d'onde courte; le contre-poids est peu important et il y a intérêt, même si une prise de terre est facile, à employer un contre-poids formé de fils horizontaux isolés et soutenus à faible distance au-dessus du sol. On évite ainsi le passage de courants dans le sol; le sol étant beaucoup moins conducteur que les fils du contre-poids, la dépense d'énergie le long de ceux-ci est plus petite qu'elle ne le serait dans le sol et l'amplitude des oscillations acquiert une plus grande valeur.

16. **Moyens de modifier la longueur d'onde d'une antenne.** — En intercalant à la base d'une antenne (fig. 36) une bobine qu'on appelle *self d'antenne*, on augmente la self-induction du circuit oscillant constitué par l'antenne et la terre. Nous avons vu qu'on augmentait aussi la période d'oscillation et, par suite, la longueur d'onde (§ 8).

Pour diminuer la longueur d'onde d'une antenne, on intercale à sa base un *condensateur d'antenne* (fig. 37). Cela revient à mettre un condensateur en série avec celui dont l'antenne et la terre seraient les armatures. On produit ainsi une

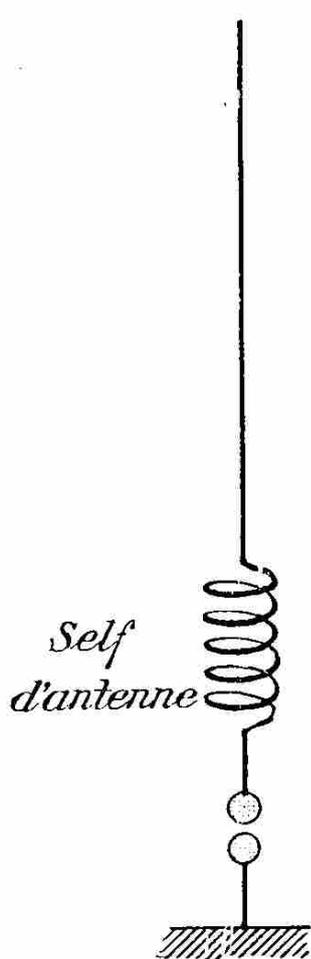


Fig. 36.

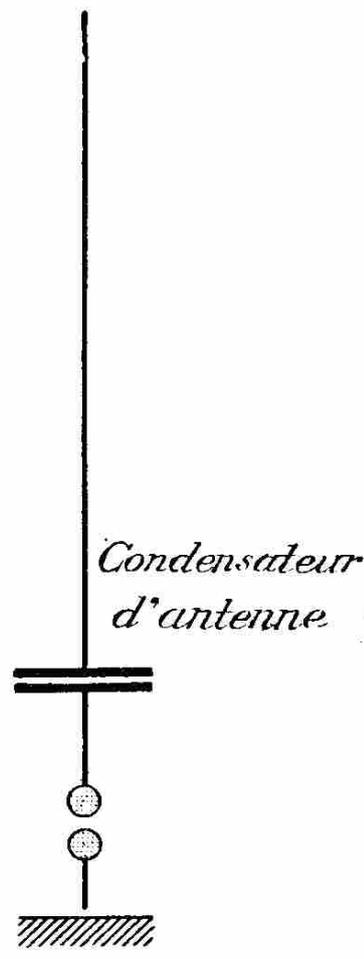


Fig. 37.

diminution de la capacité de l'antenne et, par suite, de sa longueur d'onde.

Nous pouvons nous en rendre compte de la manière suivante : ajouter un condensateur  $C_2$  (fig. 38) en série avec un condensateur  $C_1$  produit le même effet qu'une augmentation de distance entre les armatures, c'est-à-dire une diminution de capacité.

La longueur d'onde d'une antenne oscillant en

$\frac{1}{4}$  d'onde ne peut être diminuée de plus de la moitié de sa longueur d'onde. Employer, en effet, un condensateur d'antenne de capacité nulle, reviendrait à couper et isoler l'antenne à sa base; on aurait alors des nœuds

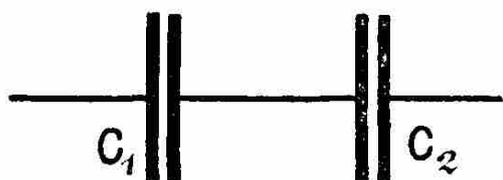


Fig. 38.

de courant aux deux extrémités isolées et l'antenne oscillerait en  $\frac{1}{2}$  onde. La période d'oscillation serait la moitié de ce qu'elle était pour la vibration en quart d'onde. Une antenne dont née ne peut osciller avec une plus grande fréquence, si ce n'est en donnant des oscillations harmoniques d'ordre 3, 5 ou 7 (§ 12).

**17. Propagation des ondes électromagnétiques. — Vitesse de propagation des ondes.** — Lorsqu'une antenne oscille, elle crée autour d'elle un champ de force magnétique. Le courant changeant de sens périodiquement, la force magnétique en un point change également de sens. Elle croît puis décroît, s'annule et augmente ensuite en sens contraire, comme l'intensité du courant dans l'antenne.

Autour d'une antenne verticale, les lignes de force magnétique sont, comme nous l'avons indiqué (§ 1), des cercles dont les centres sont sur l'antenne et dont les plans lui sont perpendiculaires; les plans de ces cercles sont donc horizontaux et parallèles à la surface du sol.

Le champ magnétique créé par l'antenne atteint une seconde antenne au poste de réception et y induit

un courant. C'est ce courant dont on décèle l'existence au poste récepteur.

Si l'antenne n'est pas une antenne dont toutes les parties sont verticales, les lignes de force du champ magnétique à une distance grande vis-à-vis des dimensions même de l'antenne sont encore des courbes fermées presque circulaires et horizontales dont le centre est à la station où se trouve l'antenne.

Une importante question se pose. Au moment où le courant s'établit le long de l'antenne, le champ magnétique qu'il produit s'étend-il instantanément infiniment loin, ou bien n'atteint-il un point éloigné qu'après un certain temps, qui peut être très court, mais non nul?

Dans ce dernier cas, il y aurait une propagation des lignes de force magnétique autour de l'antenne, analogue à la propagation d'une déformation le long d'une corde tendue.

Le courant dans l'antenne étant oscillant, il se propagerait autour de l'antenne des ondes de force magnétique, par un mécanisme analogue à celui qui provoque la propagation le long d'une corde des ondes produites par un mouvement périodique de l'une de ses extrémités, ou qui provoque, le long du fil d'antenne, la propagation d'une perturbation électrique produite à sa base.

Les ondes se propageraient dans toutes les directions autour de l'antenne, comme se propagent les ondes sonores produites par une source de vibrations acoustiques, ou encore comme se propagent à la surface de l'eau, les vagues circulaires produites par la chute d'une pierre qui, en frappant la surface

de l'eau, fait osciller celle-ci autour de son niveau d'équilibre.

C'est le physicien anglais Maxwell, qui, en 1872, bien avant la découverte de la télégraphie sans fil, a montré la possibilité d'une propagation avec une vitesse finie. Appliquant les lois expérimentales de l'électricité auxquelles il ajoute une ingénieuse hypothèse, Maxwell trouve que la propagation doit se faire avec une vitesse égale à 300 000 kilomètres par seconde. Cette vitesse est celle de la lumière.

Dans la théorie électromagnétique de la lumière, aujourd'hui définitivement établie, les ondes lumineuses sont des ondes électromagnétiques, de longueurs très courtes et qui, par suite, correspondent à des fréquences de vibration très élevées. Les ondes émises par une antenne sont de même nature mais de fréquence beaucoup plus basse.

La preuve expérimentale de l'existence d'ondes électromagnétiques a été faite en 1888, par le physicien allemand Hertz. Il a montré que ces ondes se réfléchissaient sur un miroir métallique comme la lumière et que l'interférence des ondes incidentes et des ondes réfléchies donnait naissance dans l'espace en avant du miroir à un système d'ondes stationnaires.

Nous avons dit (§ 7) que les périodes des oscillations employées en radiotélégraphie étaient comprises entre  $1/10\ 000$  et  $1/3\ 000\ 000$  de seconde. Pour une vitesse de propagation de 300 000 kilomètres, les longueurs d'ondes sont comprises entre 30 000 et 100 mètres.

L'internœud du système d'ondes stationnaires (§ 12) serait compris entre 15 000 et 50 m.; il est beaucoup trop grand pour les dimensions des plaques métal

liques qui peuvent être employées comme miroir et exigerait l'observation de courants induits à des distances trop grandes pour la sensibilité des moyens d'observation dont disposait Hertz avant l'invention de la télégraphie sans fil. L'expérience a été faite avec des ondes beaucoup plus courtes, 3 à 4 mètres de longueur d'onde; on les obtient par la décharge par étincelles de capacités très petites dans des fils très courts (§ 8). L'oscillateur de Hertz est constitué par deux grosses boules A et B (fig. 39), qui peuvent être regardées comme les armatures d'un condensateur de très faible capacité. Ce condensateur est chargé par une bobine d'induction I et

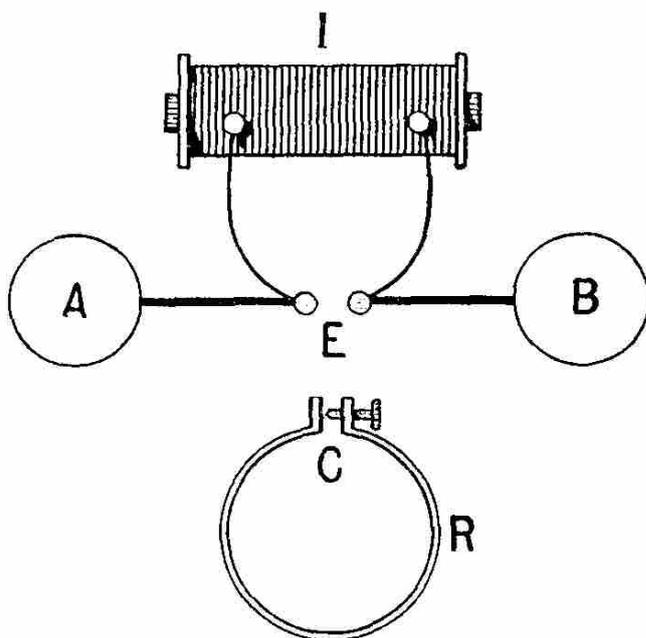


Fig. 39.

se décharge par étincelles entre les pôles d'un éclateur E. Les fils qui réunissent les boules à l'éclateur sont droits, gros et courts, leur self-induction est ainsi très faible. Dans ces conditions on obtient des oscillations très rapides.

Hertz disposait cet *oscillateur* à une dizaine de mètres d'un panneau de bois recouvert de feuilles de zinc, qui sert de miroir; il explorait l'espace entre l'oscillateur et le miroir avec un appareil très simple qu'il a appelé *résonateur* (fig. 39). C'est un cercle en fil métallique R. Il est coupé en C et on peut régler la largeur de la coupure

au moyen d'une vis à filet fin. Au voisinage de l'excitateur, on observe de petites étincelles entre les bords de la coupure.

La résonance électrique que nous avons décrite (§ 9) a été découverte par Hertz à l'occasion de ces expériences. Il a trouvé qu'un cercle de diamètre bien déterminé donnait de plus grandes étincelles parce qu'il était accordé sur l'oscillateur.

En déplaçant le résonateur accordé entre le miroir et l'oscillateur, l'étincelle à la coupure s'éteint pour une série de positions équidistantes et passe par un maximum de longueur pour les positions intermédiaires. L'existence de ces nœuds et de ces ventres révèle celle d'un système d'ondes stationnaires et, par suite, d'une propagation par ondes.

Par les mêmes moyens, on trouve l'existence des ondes stationnaires le long d'un fil (§ 13). Sarasin et de la Rive ont montré que, pour la même période d'oscillation, la longueur d'onde était la même que lors des expériences de Hertz; la vitesse de propagation est donc la même dans l'air et le long d'un fil.

Enfin M. Blondlot par des expériences faites à Nancy en 1891, a démontré définitivement l'exactitude des résultats prévus par Maxwell. Il a mesuré la vitesse de propagation des ondes électriques et trouvé qu'elle était égale à la vitesse de la lumière.

Nous nous représenterons donc la propagation du champ magnétique autour d'une antenne de la manière suivante.

Les lignes de force circulaires autour de l'antenne (fig. 40) augmentent de rayon, comme les vagues circulaires à la surface de l'eau autour du point de

chute d'une pierre; leur rayon s'accroît de 300 000 kilomètres par seconde.

A l'instant où le courant oscillant s'annule dans

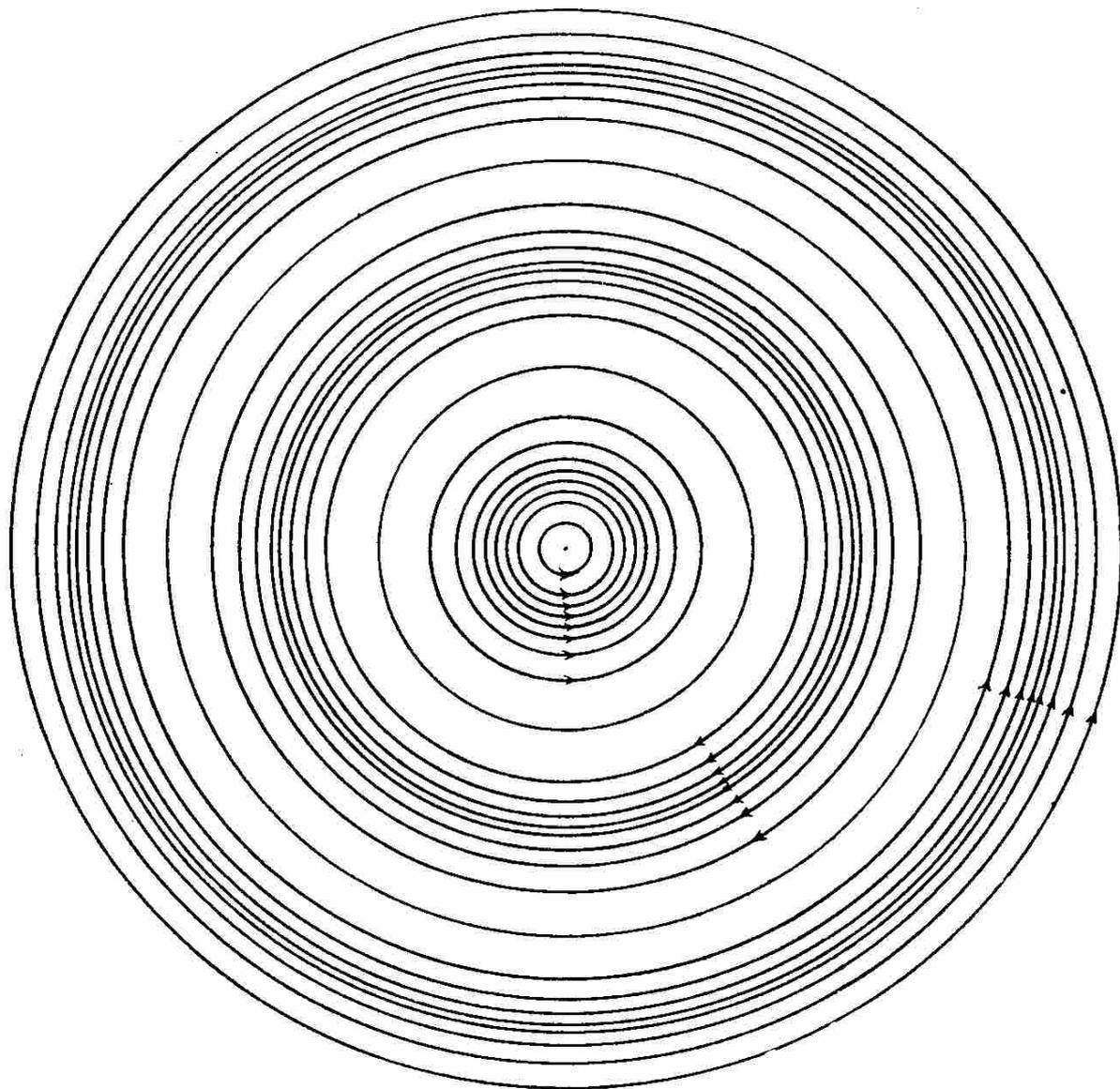


Fig. 40.

l'antenne puis s'inverse, le sens des lignes de force magnétique s'inverse également. L'antenne devient le centre d'un système d'ondes magnétiques progressives, alternativement dans un sens puis dans l'autre.

Entre les instants d'émission de deux ondes de même sens s'écoule un temps égal à la période d'oscillation  $T$ ,

les lignes de force correspondantes restent donc distantes, durant leur propagation d'une longueur.

$$\lambda = VT$$

V étant la vitesse de propagation

$\lambda$  s'appelle encore *longueur d'onde*. En radiotélégraphie, on a l'habitude de se servir de la valeur de la longueur d'onde pour fixer la valeur de la fréquence des oscillations employées.

Des ondes de 2 000 mètres de longueur correspondent, par exemple, à des oscillations dont la période est 1/150 000 de seconde, la fréquence 150 000 périodes par seconde; on dit aussi 150 kilo-cycles.

Comme, d'après les expériences de Sarasin et de la Rive la vitesse de propagation le long des fils est la même que dans l'air, lorsque aucun fil ne guide les ondes, les longueurs d'ondes d'oscillations de même fréquence, mesurées le long d'une antenne ou autour de l'antenne, sont égales.

Les lignes de force magnétique en se répandant autour de l'antenne d'émission arrivent à couper l'antenne de réception et comme nous l'avons vu (§ 1) y font naître un courant induit.

Tous ces travaux et la théorie de la décharge oscillante, développée par Lord Kelvin, ont précédé la télégraphie sans fil qui est devenue possible sitôt après une découverte de M. Branly.

**18. Radioconducteur de Branly.** — Les moyens employés par Hertz pour observer le passage des ondes émises par un oscillateur n'étaient pas assez sensibles pour les déceler à de très grandes distances. M. Branly

a trouvé qu'un tube rempli de limaille métallique, qui offre une résistance considérable au passage d'un courant devient beaucoup plus conducteur lorsqu'il est intercalé sur un circuit le long duquel se propagent des oscillations électriques de haute fréquence. Intercalons donc un tube à limaille à la fois dans le circuit d'une pile et dans une antenne; le courant, d'abord très faible, augmente considérablement d'intensité dès qu'oscille l'antenne. Le tube reprend sa grande résistance primitive par un léger choc.

A cause de sa grande sensibilité, ce récepteur d'ondes, appelé *radioconducteur*, décèle, même à très grande distance, les oscillations électriques d'un oscillateur de Hertz. Des essais de communication par ce moyen ont été tentés par M. Branly à faible distance, puis par M. Marconi, qui fit des expériences de communication à longue distance avec plein succès et démontra l'utilité pratique de la télégraphie sans fil. Les études de M. Blondel permirent de se rendre compte des conditions de propagation des ondes à la surface du sol. Le général Ferrié et le commandant Tissot adaptèrent aux besoins de l'armée et de la marine ce nouveau moyen de liaison, et chacun sait les services rendus à la défense nationale par leurs patients travaux.

Afin de pouvoir mettre en jeu plus d'énergie, on en vint à utiliser, non les ondes courtes de Hertz, mais les oscillations moins fréquentes de grandes antennes. La station radiotélégraphique militaire de la Tour Eiffel, créée par le général Ferrié, est le premier poste de très grande puissance qui ait été installé et exploité.

Dans la suite, le radioconducteur fut abandonné pour des moyens de réception plus faciles à mettre en

œuvre et plus sûrs; nous décrirons plus loin ceux qui sont universellement employés.

**19. Sur le rayonnement d'une antenne.** — Une antenne mise en oscillation par une étincelle envoie autour d'elle des ondes qui se propagent avec la vitesse de la lumière. Ces ondes emportent une partie de l'énergie qui a été fournie à l'antenne lorsqu'elle a été chargée. C'est une fraction de cette énergie qui, captée par les antennes qui reçoivent les signaux, y induit des courants.

L'énergie fournie à l'antenne est aussi en partie dissipée en chaleur dans l'étincelle elle-même et dans l'antenne que le passage du courant chauffe. Enfin, une importante partie de l'énergie est perdue dans la prise de terre et dans le sol lui-même.

Plus est grande la perte d'énergie, plus est grand aussi l'amortissement des oscillations et moins nombreuses sont les oscillations successives de l'étincelle.

Une partie de l'énergie rayonnée par l'antenne est, d'autre part, perdue durant la propagation. Le passage des ondes produit, en effet, des courants dans le sol et ceux-ci dissipent de l'énergie en chaleur. Les objets conducteurs à la surface du sol, les arbres, les parties métalliques des maisons absorbent aussi de l'énergie et il semble que, de ce fait, les ondes les plus courtes soient les plus absorbées.

Enfin, de l'énergie peut aussi être dissipée dans les couches élevées de l'atmosphère où la pression de l'air est très faible. Les phénomènes complexes qui s'y produisent sont en partie dus à la lumière du soleil et l'intensité des signaux radiotélégraphi-

ques reçus dans un poste est plus grande la nuit que le jour.

Le sol joue un rôle important dans la propagation. Lorsque des ondes le rencontrent, elles y produisent des courants, et suivent sa surface. Il leur sert de guide et ainsi peut s'expliquer ce fait que les signaux radiotélégraphiques d'un poste peuvent être reçus aux antipodes après que les ondes ont contourné le globe terrestre.

Les ondes peuvent d'autre part, être guidées par les couches très élevées de l'atmosphère et tout porte à croire qu'elles se propagent autour du globe entre la surface terrestre et les couches d'air très élevées et très raréfiées dans lesquelles les rayons solaires produisent les phénomènes électriques qu'on appelle *aurores boréales*. L'état électrique de la haute atmosphère étant déterminé par les rayons solaires, on s'expliquerait les importantes différences que l'on observe entre les portées diurne et nocturne d'un même poste radiotélégraphique.

On conçoit, l'état de l'atmosphère ayant une influence sur la réception des ondes radiotélégraphiques, quel secours la T. S. F., par des essais suivis à peine entrepris aujourd'hui, peut apporter aux études météorologiques.

## CHAPITRE II

### TÉLÉGRAPHIE SANS FIL PAR ONDES AMORTIES

---

#### 1<sup>o</sup> *POSTE DE TRANSMISSION*

20. **Postes à excitation directe.** — Le poste radiotélégraphique le plus simple comprend, pour la transmission des signaux, une antenne reliée à l'un des pôles d'un éclateur à étincelles E (fig. 41); une prise de terre reliée à l'autre pôle; une bobine d'induction B à vibreur V (§ 5), dans l'enroulement primaire de laquelle on envoie le courant d'une batterie d'accumulateurs P. Le courant peut être ouvert ou fermé à volonté à l'aide d'un manipulateur télégraphique M. L'enroulement secondaire de la bobine est réuni à l'éclateur.

Lorsqu'on appuie sur le manipulateur, le vibreur produit des ruptures successives du courant primaire, la force électromotrice induite au secondaire crée entre le sol et l'antenne une différence de potentiel suffisante pour qu'une étincelle jaillisse à l'éclateur. L'antenne se décharge par cette étincelle et oscille. Ces oscillations s'amortissent et, après un temps relativement long si on le compare à la durée totale de l'étincelle, une

étincelle suivante jaillit qui provoque à nouveau une série d'oscillations amorties.

Un ampèremètre à courants alternatifs G, intercalé sur la prise de terre, permet de mesurer l'intensité du courant oscillant et de régler au mieux la distance des pôles de l'éclateur; afin d'éviter que sa résistance inutile reste en circuit, on peut le mettre en court-

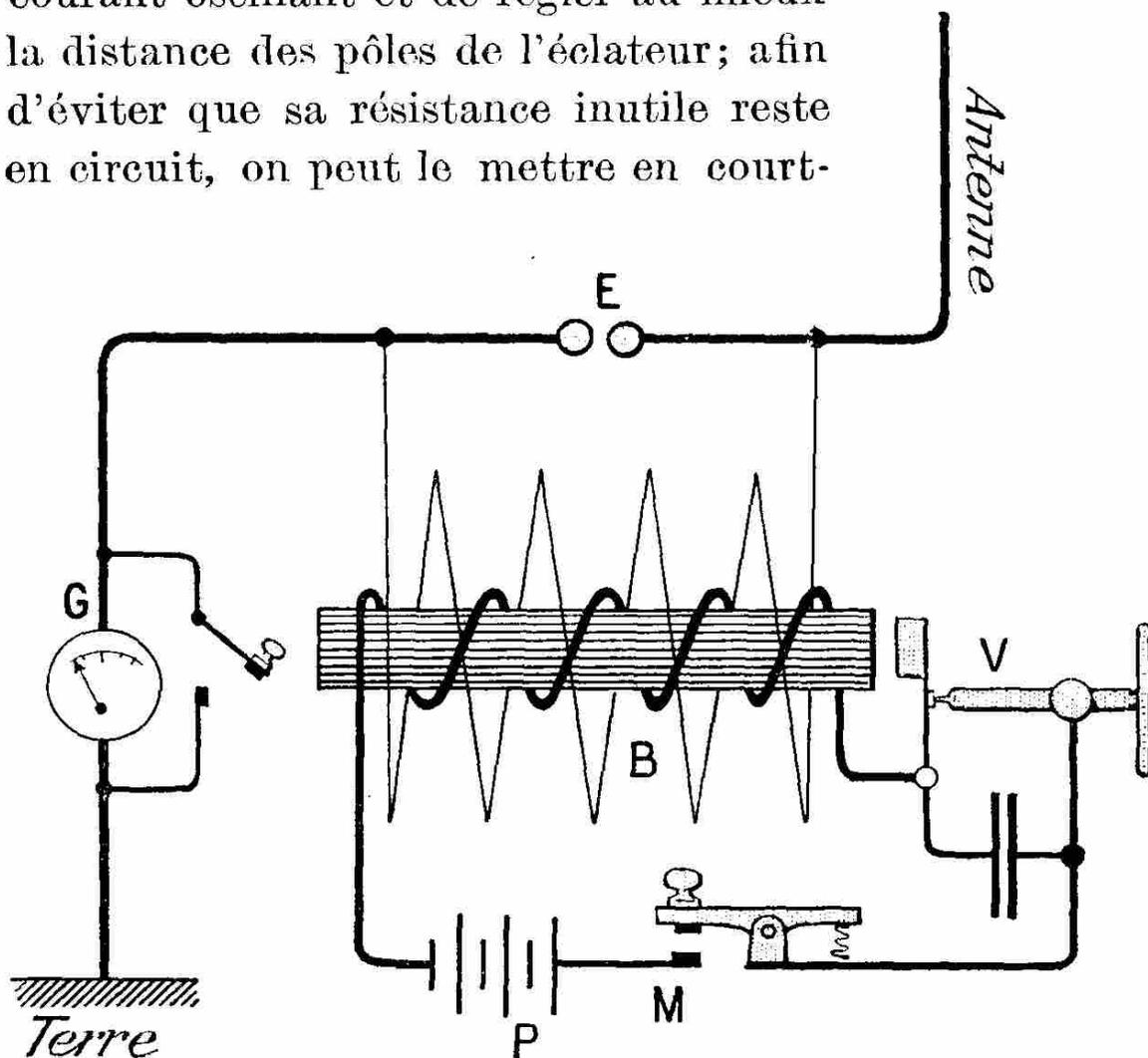


Fig. 41.

circuit par une clef, lorsque ce réglage est terminée.

Pour transmettre un radiotélégramme, on se sert de l'alphabet Morse, dans lequel les lettres sont représentées par des combinaisons de signaux longs ou *traits* et de signaux courts ou *points*. A l'aide du manipulateur, on fait correspondre à ces signaux des émissions de séries d'étincelles courtes ou longues. Nous

verrons dans la suite qu'au poste de réception, les courants induits dans l'antenne font entendre dans un récepteur téléphonique des sons longs ou brefs. Une

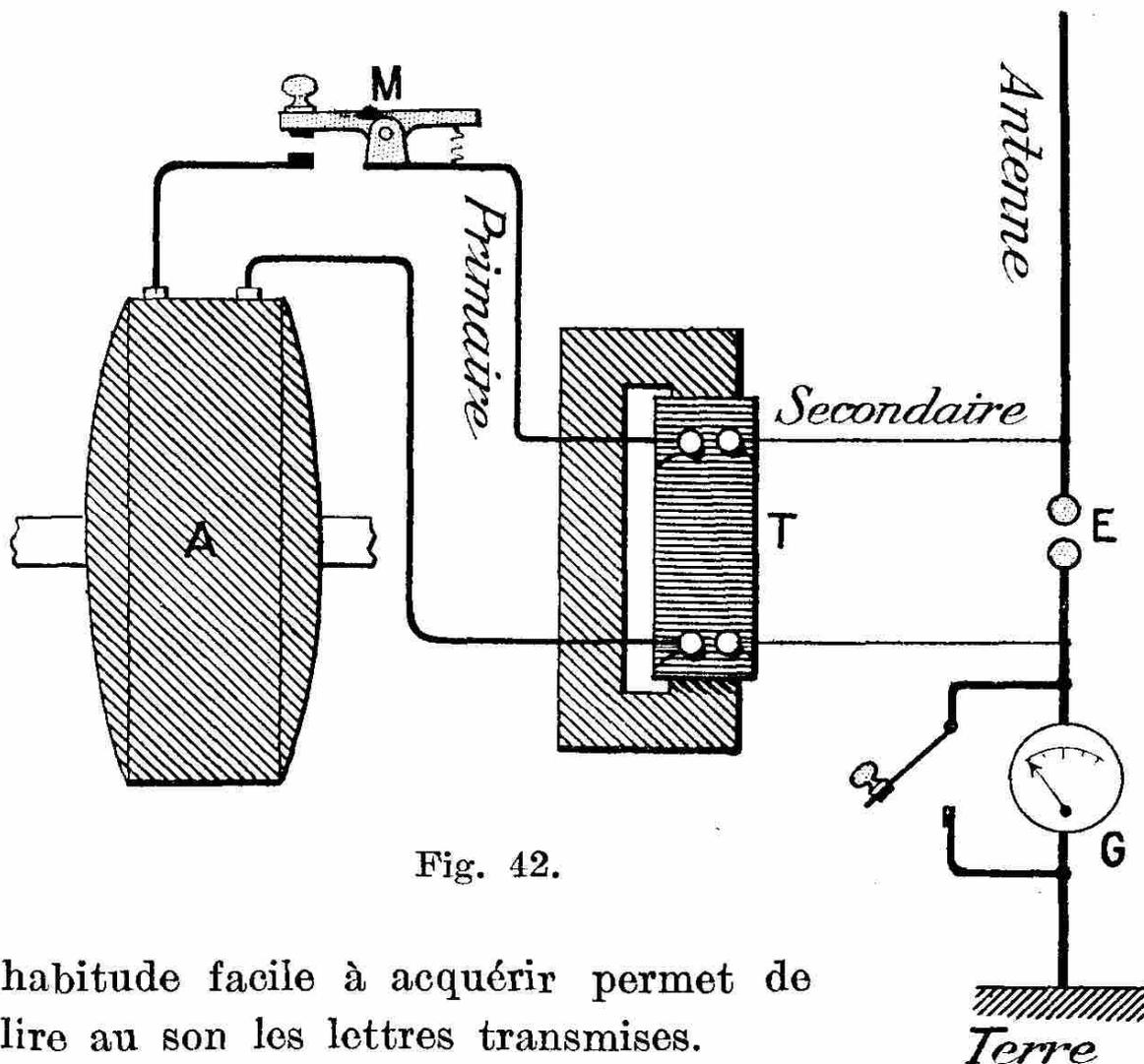


Fig. 42.

habitude facile à acquérir permet de lire au son les lettres transmises.

Au lieu d'une bobine d'induction, on emploie le plus souvent pour produire les étincelles un alternateur A et un transformateur T (fig. 42). On dispose le manipulateur M sur le circuit primaire du transformateur. Comme la hauteur du son perçu au poste récepteur correspond au nombre d'étincelles par seconde, on se sert d'alternateurs dont la fréquence du courant est de l'ordre des fréquences des sons musicaux, c'est-à-dire de plusieurs centaines de périodes par seconde.

Un poste de transmission utilise ainsi des courants alternatifs de deux fréquences bien différentes. Des courants de *basse fréquence*, dont le nombre de périodes par seconde est de quelques centaines : ce sont les courants de la bobine d'induction ou de l'alternateur qui charge l'antenne; des courants de *haute fréquence*, dont le nombre de périodes par seconde est compris entre 10 000 et 3 000 000 : ce sont les courants oscillants qui parcourent l'antenne lors de la décharge par étincelle.

**21. Éclateur.** — Nous avons déjà indiqué (§ 7) qu'il est nécessaire que l'étincelle devienne conductrice dans un temps très court. Pour les petites puissances, on peut employer seulement deux boules polies et propres; mais ces boules s'altèrent et s'échauffent trop pour les puissances plus grandes.

Il est bon d'envoyer sur l'étincelle un courant d'air : on chasse ainsi la flamme qui entoure la véritable étincelle et celle-ci oscille beaucoup plus facilement.

On se sert, par exemple, d'un éclateur dont l'un des pôles est un tube de cuivre T (fig. 43), à l'intérieur duquel un ventilateur souffle de l'air. L'autre pôle est un plateau P disposé en face de la sortie du tube. L'étincelle jaillit entre le bord de celui-ci et le plateau.

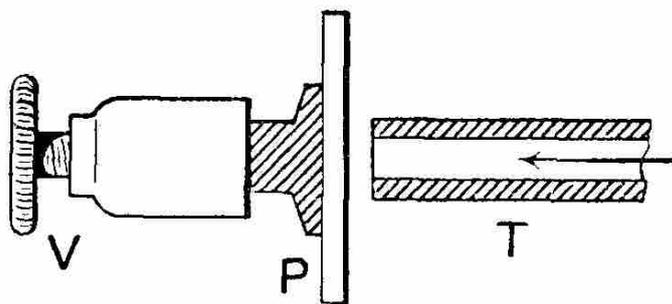


Fig. 43.

Pour les très grandes puissances, afin d'éviter d'échauffer l'éclateur toujours au même point, on s'arrange de façon à faire tourner l'étincelle d'un mouvement régu-

lier autour du bord du tube. On peut, par exemple, employer au lieu du plateau un bouton de métal à surface arrondie, qu'un moteur fait tourner le long du bord du tube.

Une autre disposition qui donne d'excellents résultats consiste à employer l'éclateur tournant. Sur l'arbre de l'alternateur, on monte un disque D (fig. 44) sur le bord

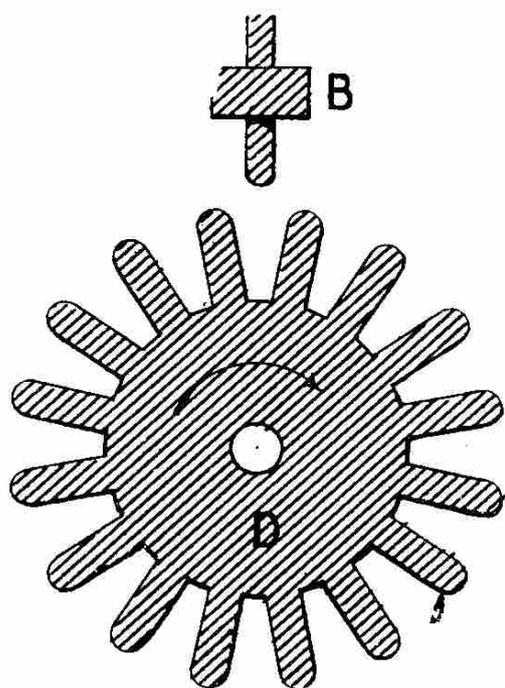


Fig. 44.

duquel est taillé une denture à dents très saillantes, dont les dents sont en nombre égal à celui des alternances de la force électromotrice pendant la durée d'un tour. Ces dents constituent l'un des pôles de l'éclateur; elles passent successivement devant un bouton B qui est l'autre pôle. On règle la position de celui-ci de telle sorte que la force électromotrice périodique de l'alter-

nateur augmente en même temps qu'une dent s'approche. L'étincelle jaillit entre cette dent et le bouton, aussitôt que l'intervalle qui les sépare devient assez petit.

On peut aussi employer des disques portant des dents dont le nombre est 2, 3 fois plus petit que celui des alternances de la force électromotrice pendant la durée d'un tour; alors l'étincelle ne jaillit plus que toutes les deux ou trois alternances de la force électromotrice de l'alternateur. La hauteur du son au récepteur est diminuée.

L'amplitude du courant de l'alternateur, après chaque

étincelle, augmente durant quelques alternances. En ne faisant pas jaillir une étincelle à chaque alternance, on laisse le courant augmenter d'amplitude et on obtient des étincelles plus longues.

**22. Impossibilité de mettre en jeu de grandes puissances par l'excitation directe de l'antenne.** — L'excitation de l'antenne par une étincelle jaillissant entre la prise de terre et l'antenne ou *excitation directe*, a l'avantage d'être très simple, de n'exiger d'autre réglage que celui de l'éclateur, mais elle ne permet pas de mettre en jeu une grande puissance.

La capacité électrique du condensateur formé par l'antenne et le sol est faible : de sorte que, pour fournir à l'antenne une forte charge électrique, il est nécessaire d'établir entre cette antenne et la terre une grande différence de potentiel, c'est-à-dire de se servir d'étincelles longues. Or on ne peut pas allonger autant qu'on le veut ces étincelles, même en augmentant la puissance de l'alternateur, car une trop longue étincelle est aussi trop résistante et la décharge n'oscille plus (§ 7).

Pour obtenir de grandes puissances, on a recours à l'*excitation indirecte*.

**23. Poste à excitation indirecte.** — Les étincelles font osciller un circuit oscillant (fig. 45) comprenant une bobine de self S, un condensateur C et un éclateur E. On donne à la self et à la capacité des grandeurs pour lesquelles la période d'oscillation correspond à la longueur d'onde que l'on veut émettre. En utilisant un condensateur C de capacité beaucoup plus grande que celle de l'antenne et, par suite, une self beaucoup plus

petite (§ 8), la charge du condensateur pour une longueur d'étincelle donnée est plus grande que celle de l'antenne excitée directement et le circuit oscillant est susceptible de prendre plus d'énergie que n'en prendrait l'antenne en excitation directe. On fournit naturellement cette énergie avec un transformateur T

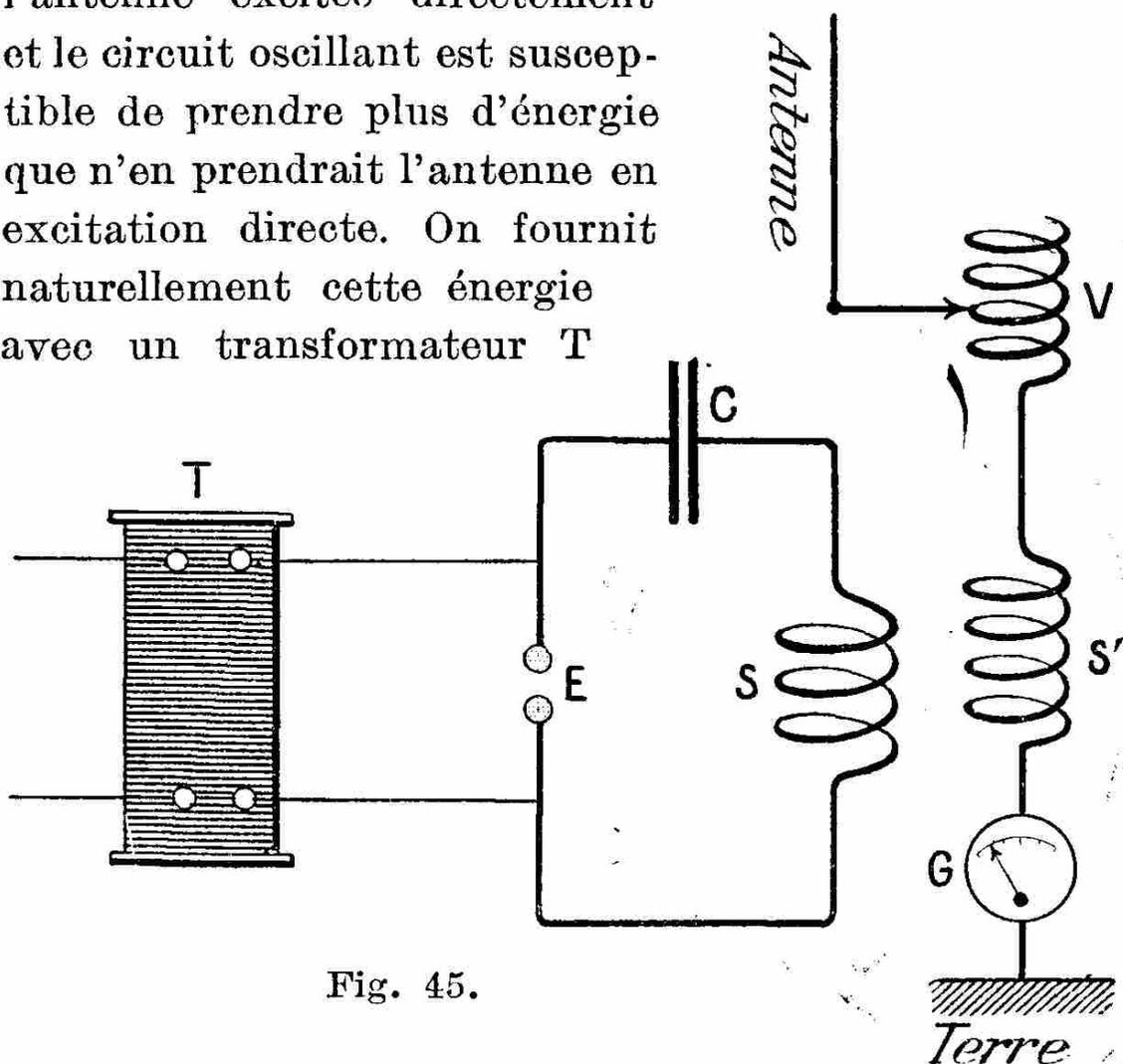


Fig. 45.

et un alternateur plus puissants.

Pour transmettre l'énergie électrique du circuit oscillant à l'antenne, on fait agir par induction la bobine S sur une bobine S' intercalée dans l'antenne.

La bobine S' est disposée soit autour de la bobine S, soit à l'intérieur de celle-ci; c'est pour la commodité et la clarté du dessin que S' a été représenté à côté de S sur la figure 45.

La bobine S induit dans la bobine S' une force électromotrice qui engendre, le long de l'antenne, un courant oscillant.

Nous avons vu (§ 9) qu'on obtient des effets d'induction très intenses lorsque le circuit induit, ici l'antenne, est en résonance avec le circuit oscillant inducteur. Afin de pouvoir réaliser cette résonance, on choisit un circuit oscillant de période supérieure à celle de l'antenne et on dispose sur celle-ci une self d'antenne supplémentaire  $V$ . Pour accorder l'antenne, on fait jaillir des étincelles à l'éclateur et on allonge la partie de la self  $V$ , intercalée dans l'antenne, jusqu'à ce que l'ampère-mètre d'antenne  $G$  indique une intensité maximum.

On donne le nom de *variomètre* ou de *self d'antenne* à la self de grandeur variable

à volonté qui sert à accorder une antenne.

Le couplage par induction des deux bobines  $S$  et  $S'$  peut être remplacé par un couplage par dérivation : on n'emploie qu'une seule bobine  $S''$  (fig. 46) dont quelques spires sont communes au circuit oscillant et à l'antenne.

Le couplage est dit *serré* si les deux bobines couplées par induction sont très rapprochées, ou si le nombre

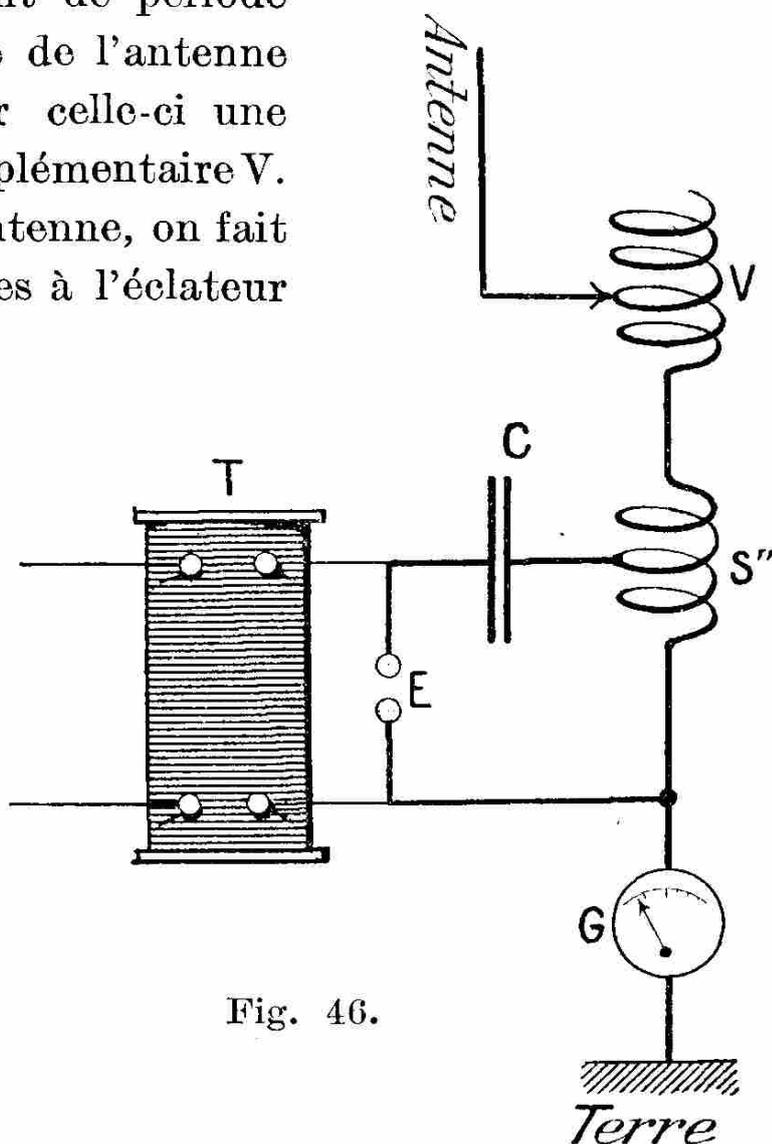


Fig. 46.

de spires communes au circuit oscillant et à l'antenne, dans le couplage par dérivation, est grand. Dans le cas contraire, on dit que le couplage est *lâche*.

**24. Ondes de couplage.** — Un couplage serré augmente l'intensité des effets d'induction dans l'antenne, il a toutefois un inconvénient grave; par suite de réactions trop intenses entre le circuit oscillant et l'antenne, il se produit dans celle-ci un régime d'oscillation compliqué et défavorable.

Pour nous rendre compte de ce qui arrive, imaginons l'expérience suivante facile à réaliser : attachons à un

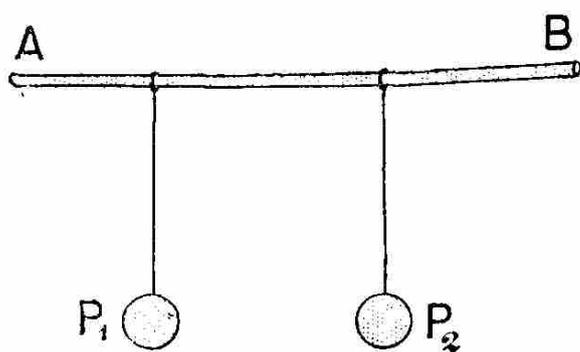


Fig. 47.

tuyau de caoutchouc tendu horizontalement AB (fig. 47), deux pendules  $P_1$  et  $P_2$  identiques. Faisons osciller le pendule  $P_1$ , d'avant en arrière dans un plan perpendiculaire à celui de la figure.

En oscillant, il tord le caoutchouc et ce mouvement de torsion entraîne le pendule  $P_2$  qui commence à osciller. Voici le phénomène que l'on observe : l'amplitude de l'oscillation de  $P_2$  augmente tandis que celle de  $P_1$  diminue; ce dernier finit même par s'arrêter, c'est alors  $P_2$  qui oscille seul; puis, les oscillations de celui-ci diminuent à leur tour d'amplitude tandis que  $P_1$  recommence à osciller. L'oscillation passe ensuite successivement et régulièrement de  $P_1$  à  $P_2$ , puis de  $P_2$  à  $P_1$ .

Les oscillations de l'un des pendules ont donc des amplitudes périodiquement variables et les écarts à

la position d'équilibre sont représentés, en fonction du temps, par une courbe du genre de celle de la figure 48.

Un phénomène analogue se produit lorsqu'on couple deux circuits oscillant ou un circuit oscillant et une antenne. L'oscillation de l'antenne présente des alternatives de maxima et de minima d'amplitude.

Deux oscillations d'amplitude constante, mais de périodes un peu différentes produiraient par leur superposition une oscillation résultante de cette forme. En

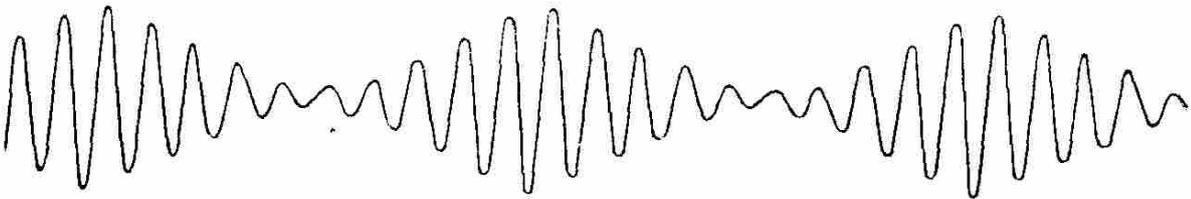


Fig. 48.

effet, si, à un instant donné, les deux oscillations composantes sont de même sens et s'ajoutent, cette concordance ne se conserve pas; l'oscillation la plus lente retarde sur l'autre et il arrive un instant où le retard atteint une demi-période; les deux oscillations sont alors en sens inverse et se compensent mutuellement. Au bout d'un certain temps, le retard ayant atteint une période entière, les oscillations s'ajoutent à nouveau. C'est une telle composition de vibrations qui produit en acoustique le phénomène des *battements*; lors de l'audition simultanée de deux diapasons, de deux tuyaux d'orgue, de deux cordes imparfaitement accordées, l'oreille perçoit une série de renforcements et de diminutions successifs de l'intensité du son.

On peut donc regarder une antenne dont l'amplitude

d'oscillation est périodiquement variable comme étant à la fois le siège de deux oscillations de périodes différentes. On le vérifie en disposant aux environs un circuit oscillant dont on peut varier la capacité (§ 9); on trouve qu'il résonne pour deux périodes différentes qui comprennent la période propre de l'antenne.

Ces deux périodes se rapprochent d'autant plus que le couplage entre l'antenne et le circuit oscillant du poste est plus lâche et ne se confondent pratiquement que pour un couplage très lâche.

C'est un tel couplage qu'il faut utiliser dans un poste d'excitation indirecte. Il est, en effet, mauvais d'émettre deux oscillations de périodes trop différentes. L'antenne de réception ne peut être accordée que sur une seule des périodes et l'énergie qui correspond à l'autre est perdue.

Si les fréquences sont assez voisines pour être reçues à la fois, la résonance est mal définie et la sensibilité du récepteur en est diminuée.

Enfin, les postes qui émettent simultanément deux ondes de fréquences différentes gênent et brouillent beaucoup plus la réception des autres postes que les postes à couplage lâche entre le circuit oscillant et l'antenne.

**25. Excitation par choc.** — Il est un autre moyen d'éviter les ondes de couplage, tout en conservant un couplage plus serré. Il consiste à s'arranger de façon à éteindre l'étincelle après une ou deux oscillations seulement et l'antenne continue à osciller seule avec sa période et son amortissement propres, comme il arriverait à un pendule auquel on aurait donné un choc.

Pour obtenir l'extinction de l'étincelle dans ce mode d'excitation dit excitation *par choc*, on fractionne l'étincelle en une série d'étincelles très courtes. Elles éclatent sur des bourrelets saillants qui entourent des ouvertures circulaires percées dans des disques de cuivre argenté (fig. 49). Les disques se refroidissent facilement par leur large surface ce qui contribue à éteindre l'étincelle; d'autre part les centres électrisés appelés *ions* qui, dans une étincelle, transportent les charges électriques se trouvent dans un intervalle étroit entre de larges électrodes métalliques, ils atteignent en un

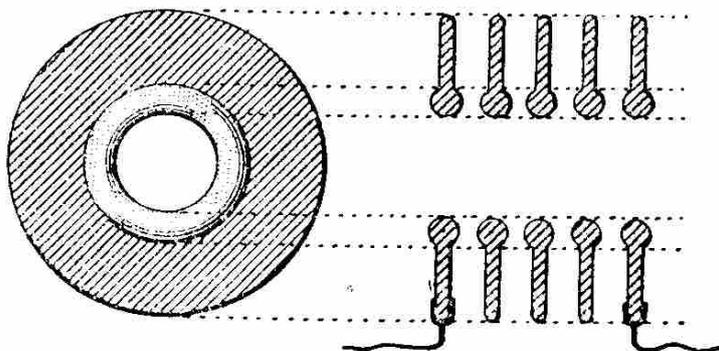


Fig. 49.

temps très court la surface de celles-ci et lui cèdent leurs charges. La disparition rapide de ces centres électrisés, nécessaires à l'entretien du courant dans l'étincelle, est aussi une des causes de l'extinction après une ou deux oscillations seulement des étincelles fractionnées.

L'excitation par choc, qui a été imaginée par Wien donne de très bons résultats.

**26. Description sommaire et réglage d'un poste de transmission à ondes amorties.** — Un poste de transmission comprend, comme organes principaux, un alternateur A (fig. 50) et son excitatrice (§ 6) qui fournissent, au primaire du transformateur T un courant alternatif dont la fréquence est faible et correspond

à  
quel-  
ques  
centaines pé-  
riodes par  
seconde. Le  
secondaire charge le  
condensateur C du  
circuit oscillant, dont  
la self est la bobine S.  
Lorsque jaillit, entre  
les pôles de l'éclateur  
E, une étincelle de  
décharge du condensa-  
teur, ce circuit devient  
le siège d'oscillations  
de haute fréquence qui  
induisent des courants  
dans la bobine d'an-  
tenne S' et dans l'an-  
tenne elle-même.

Les émissions des  
séries d'étincelles  
brèves et longues qui  
correspondent aux si-  
gnaux de l'alphabet  
Morse se font à l'aide  
d'un manipulateur té-  
légraphique M, inter-  
calé sur le circuit qui  
comprend l'alterna-  
teur et le primaire du

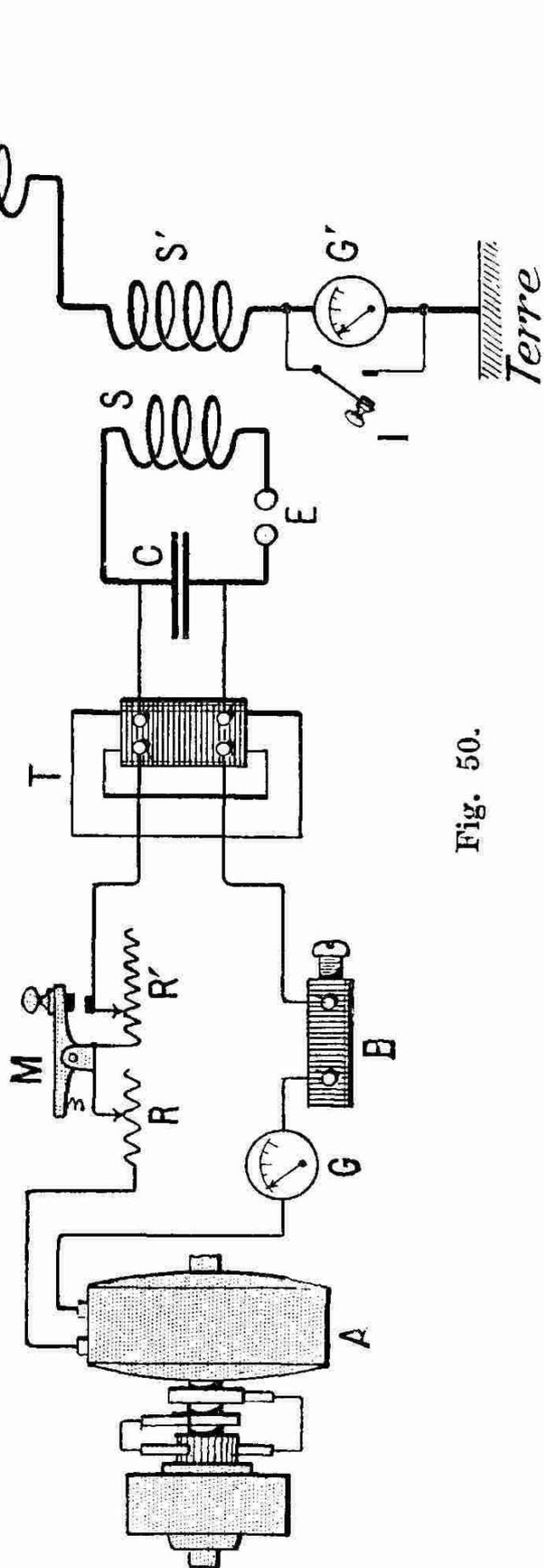


Fig. 50.

transformateur. Un rhéostat  $R$  dont on peut à volonté modifier la résistance sert à régler l'intensité du courant. Un second rhéostat  $R'$  est mis en dérivation sur le manipulateur et laisse passer un courant, même lorsque celui-ci est ouvert. Si, en effet, on coupait complètement le courant, on produirait de trop grandes et trop brusques variations de puissance de l'alternateur : la fermeture du manipulateur, qui court-circuite la résistance  $R'$ , produit seulement une légère augmentation de l'intensité du courant. On ajuste les résistances  $R$  et  $R'$  de telle sorte que l'étincelle n'éclate pas lorsque le manipulateur est ouvert, mais jaillisse dès qu'on diminue un peu la résistance  $R'$ .

On règle le poste de la manière suivante. Le circuit à basse fréquence qui comprend l'alternateur  $A$ , le transformateur  $T$  et le condensateur  $C$ , a une période propre d'oscillation, tout comme les circuits oscillants à haute fréquence dont il a été question jusqu'ici.

Une force électromotrice périodique, celle de l'alternateur, dont la fréquence est déterminée par la vitesse de l'alternateur, agit sur ce circuit. A cause des grandes selfs en jeu et du transformateur, sa période d'oscillation propre est de l'ordre de grandeur de celle de l'alternateur; il y a alors intérêt à mettre ces périodes à l'accord. On y arrive en ajoutant sur le circuit une bobine  $B$ , dont on modifie la self-induction en y enfouissant plus ou moins un noyau en tôles de fer.

Pour régler le poste, on commence par établir cette résonance à basse fréquence. A cet effet, on écarte les pôles de l'éclateur  $E$  à distance suffisante pour que l'étincelle ne jaillisse pas. On met en marche l'alternateur à sa vitesse normale et on observe l'ampère-

mètre G. On ajuste la self de la bobine B de telle sorte que cet ampèremètre indique l'intensité maximum.

On rapproche ensuite les pôles de l'éclateur de façon à obtenir des étincelles, puis on agit sur le variomètre d'antenne V de façon à obtenir le plus grand courant possible dans l'antenne. Ce courant est mesuré par l'ampèremètre G'. On a ainsi réglé la résonance à haute fréquence entre l'antenne et le circuit oscillant. On peut alors court-circuiter l'ampèremètre G' en fermant l'interrupteur I; on évite ainsi d'ajouter sa résistance à l'antenne.

On règle enfin les rhéostats R et R' comme il a été indiqué.

Le manipulateur et les rhéostats peuvent être mis sur le courant moins intense de l'excitatrice; la manipulation change alors l'aimantation de l'alternateur.

Pour les grandes puissances, il est impossible d'utiliser directement un manipulateur, car le courant à couper est trop intense. Les coupures sont produites par un interrupteur beaucoup plus robuste. Il est conduit par un relais à électro-aimant actionné par le manipulateur.

Le poste comprend en outre divers organes de protection ou de sécurité destinés, soit à empêcher des courants de haute fréquence d'atteindre l'alternateur, soit à éviter les accidents qui peuvent résulter d'une fausse manœuvre. Les courants de très haute tension employés pour charger le condensateur sont, en effet, dangereux.

2° *POSTE DE RÉCEPTION*

27. **Antenne.** — L'antenne de réception est identique à l'antenne de transmission. Elle entre en vibration électrique lorsqu'elle est atteinte par les ondes que rayonne l'antenne du poste de transmission.

Afin d'obtenir la plus grande amplitude d'oscillation, on accorde l'antenne sur la période des oscillations à recevoir. A cet effet, on intercale sur l'antenne une self d'antenne qui permet d'augmenter sa période et un condensateur d'antenne à capacité variable qui permet de la diminuer (§ 16).

Nous avons déjà signalé que l'accord d'une antenne est impossible si la longueur d'onde propre de cette antenne atteint le double de la longueur d'onde à recevoir. On peut, en effet, réduire la période d'oscillation de l'antenne en diminuant la capacité du condensateur d'antenne, mais, pour une capacité nulle de celui-ci, l'antenne, réduite à un fil isolé à ses deux extrémités, oscille en  $\frac{1}{2}$  onde (§ 16) avec une période moitié de celle qu'elle aurait si elle était directement en communication avec le sol : c'est la plus petite période pour l'oscillation de l'antenne.

La réception sur des ondes plus courtes n'est possible qu'en accordant, non plus les oscillations comprises entre les vibrations en  $1/4$  et en  $1/2$  onde, mais les oscillations harmoniques de l'antenne.

28. **Téléphone.** — La réception des signaux se fait à l'oreille avec un téléphone. Nous rappellerons qu'un téléphone est constitué par un aimant en fer à cheval

(fig. 51) sur les branches duquel sont enroulées des bobines. Devant les pôles de l'aimant est disposée une plaque circulaire en tôle de fer mince. Cette plaque, solidement serrée le long de son bord, est attirée par les pôles de l'aimant et légèrement déformée. Un courant d'intensité variable, circulant dans les bobines,

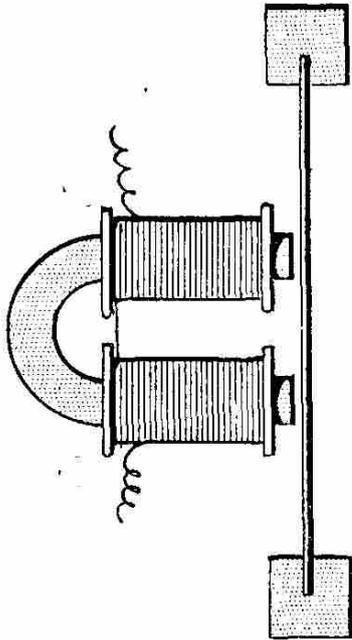


Fig. 51.

modifie l'aimantation et l'attraction par l'aimant de la plaque de fer; celle-ci prend alors des mouvements qui suivent les variations du courant. Ces mouvements se transmettent à l'air, puis à l'oreille.

Une plaque de téléphone suit fidèlement les variations de courant dont la fréquence est de l'ordre des sons musicaux (de 50 à 3 000 environ). Elle ne peut suivre les oscillations électriques à fréquence élevée des antennes, puisque ces fréquences (§ 7), au moins égales à 10 000, atteignent jusqu'à 3 000 000 de périodes par seconde. Ces fréquences sont d'ailleurs supérieures à celles des sons les plus aigus que peut percevoir l'oreille. La membrane ne peut non plus, même sans suivre les oscillations, être déplacée à l'arrivée du train d'ondes, car les effets des alternances dans un sens sont compensées par les effets des alternances dans l'autre sens. Un téléphone que l'on intercalerait sur une antenne ne rendrait aucun son; on associe au téléphone un *détecteur*.

**29. Détecteur.** — Une étincelle au poste de transmission provoque le départ d'un train d'ondes amorties,

qui se propage jusqu'à l'antenne de réception. Ces ondes induisent dans l'antenne un courant alternatif amorti, dont l'intensité est représentée, en fonction du temps, par une courbe de la forme indiquée par la figure 52.

Comme nous venons de le voir, ce courant est sans action sur le téléphone, les alternances dans un sens étant compensées par les alternances en sens contraire et le courant moyen, dans le téléphone, étant nul.

Le détecteur est un appareil qui laisse passer plus facilement les courants dans un sens que dans l'autre. Il

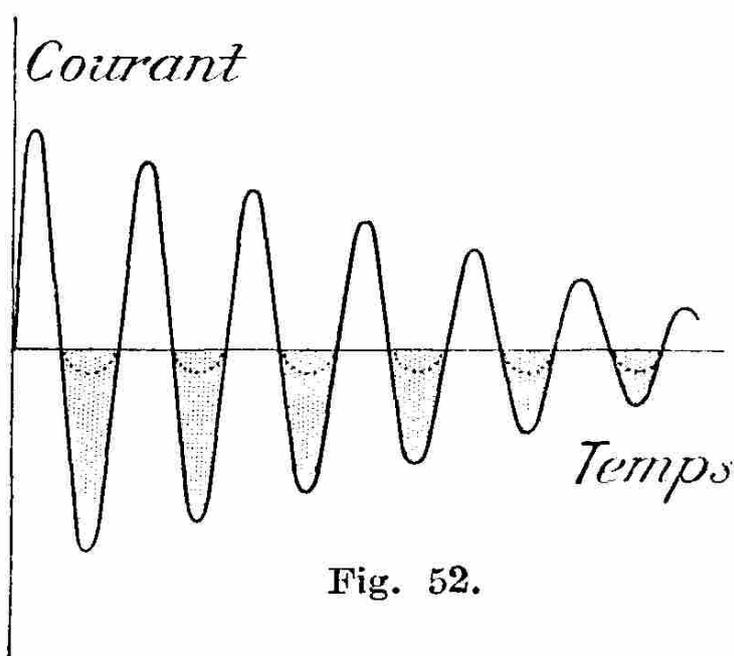


Fig. 52.

arrête, en partie au moins, toutes les alternances inférieures de la courbe.

Il reste un courant dont l'intensité varie encore à haute fréquence, mais conserve presque constamment le même sens. Un tel courant peut être considéré comme résultant de la superposition d'un courant alternatif et d'un courant toujours de même sens sans variation rapide. Ce dernier en traversant le téléphone, en modifie l'aimantation, ce qui provoque un déplacement de la plaque du téléphone.

On dispose souvent, en dérivation sur le téléphone, condensateur qui transmet les variations à haute fréquence et ne laisse passer dans le téléphone que le courant moyen.

Nous avons vu (§ 7 et fig. 23) qu'il s'écoulait un

temps relativement long avant l'arrivée des ondes émises par l'étincelle suivante; durant ce temps, la plaque téléphonique revient à sa position initiale. Elle est ensuite déplacée à nouveau, lors de l'arrivée des ondes émises par l'étincelle suivante et effectue une série de vibrations dont la fréquence est égale au nombre d'étincelles par seconde. Le courant moyen détecté est une série d'émissions successives de courant avec cette fréquence basse.

Si les étincelles du poste de transmission sont rares, on entend une série de bruits successifs distincts; on dit que la transmission est *ronflée*. Si les étincelles du poste de transmission se succèdent au contraire à intervalle de temps très court, le téléphone rend un son musical : la transmission est dite *musicale*. Les postes à étincelles, encore en service, emploient tous des transmissions à étincelles musicales.

Les séries longues et courtes d'étincelles donnent des sons longs ou courts et l'oreille, au rythme de ces brèves et de ces longues, lit, avec un peu d'habitude, les lettres de l'alphabet Morse.

Les transmissions musicales sont plus faciles à lire que les transmissions ronflées, elles se distinguent mieux des bruits parasites dont nous parlerons plus loin. C'est la raison pour laquelle on les emploie toujours.

Les modèles de détecteurs sont nombreux. Le plus simple et l'un des plus employés est le détecteur à cristal. Un morceau de *galène* (minerai de plomb, sulfure de plomb cristallisé) est serré entre deux pièces métalliques (fig. 53). Un support articulé soutient un fil métallique fin, dont on fait porter la pointe légèrement sur la galène.

Le contact fil-galène laisse passer les courants plus

facilement dans un sens que dans l'autre. Certains échantillons de galène et certains points particulièrement avantageux de leur surface permettent même d'arrêter, presque complètement, le courant dans l'un des sens. On cherche sur la galène un point favorable en déplaçant la pointe jusqu'à ce que l'audition soit aussi

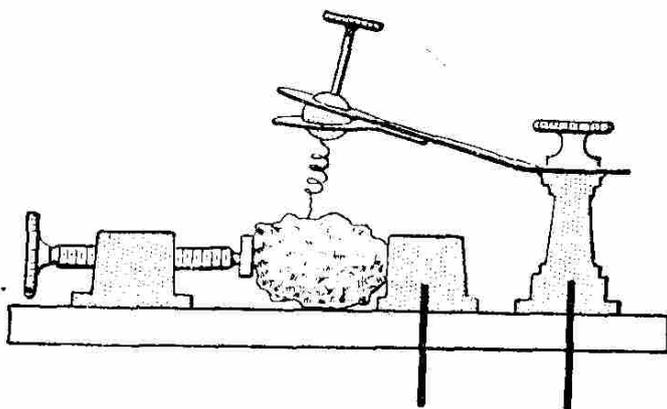


Fig. 53.

bonne que possible. Ce réglage n'a pas besoin d'être souvent retouché, si des trépidations ne dérangent pas la pointe.

Pour régler d'avance un détecteur, on fait fonctionner à côté du fil d'antenne un petit vibreur analogue à une sonnerie sans timbre; les brusques ruptures du courant produisent le long de l'antenne des perturbations qui la font osciller. On entend le son du vibreur dans le téléphone et on peut régler le détecteur à la meilleure sensibilité.

Les raisons du passage dissymétrique du courant dans le contact entre une pointe métallique et un cristal sont encore très mal connues.

**30. Réception directe.** — Sur l'antenne (fig. 54) on intercale une self d'antenne variable S et un condensateur d'antenne de capacité variable C (§ 4, fig. 13), destinés à accorder l'antenne sur la période des ondes à recevoir. On dispose le détecteur D dans l'antenne et le téléphone T en dérivation sur le détecteur.

On modifie la self *S* et le condensateur *C* jusqu'à ce qu'ayant atteint la résonance, le son perçu au téléphone ait le maximum d'intensité.

Les courants dans un sens passent par le détecteur; ceux qu'il arrête, par le téléphone.

La réception directe, quoique très simple, est très peu

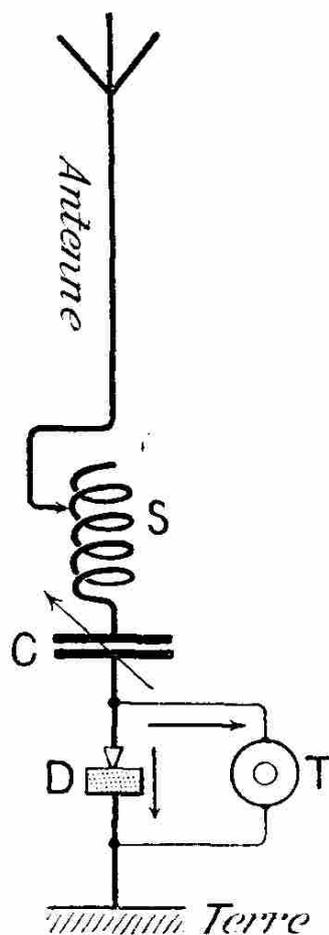


Fig. 54.

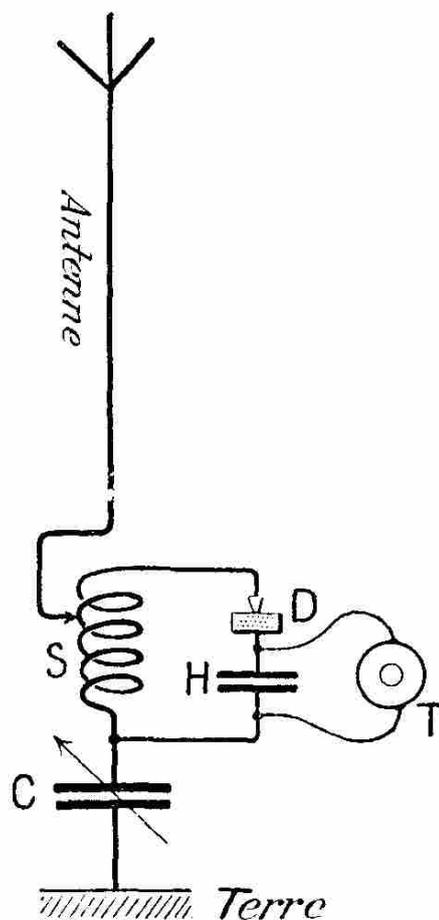


Fig. 55.

employée, car le détecteur est très résistant; en l'intercalant dans l'antenne, on diminue et on amortit beaucoup trop ses oscillations, ce qui l'empêche de résonner.

**31. Réception en dérivation.** — On évite cet inconvénient en mettant le détecteur en dérivation sur la self d'antenne (fig. 55). En série avec le détecteur, on dispose le téléphone *T* et, en dérivation sur lui, ainsi

que nous l'avons indiqué (§ 29), un condensateur H qui laisse passer les variations d'intensité à haute fréquence tandis que le courant à basse fréquence traverse le téléphone. On construit facilement le condensateur H avec des feuilles de papier d'étain séparées par du mica (§ 4, fig. 12).

On modifie le condensateur d'antenne C et la self S jusqu'à ce qu'ayant obtenu la résonance, les signaux reçus aient le maximum d'intensité.

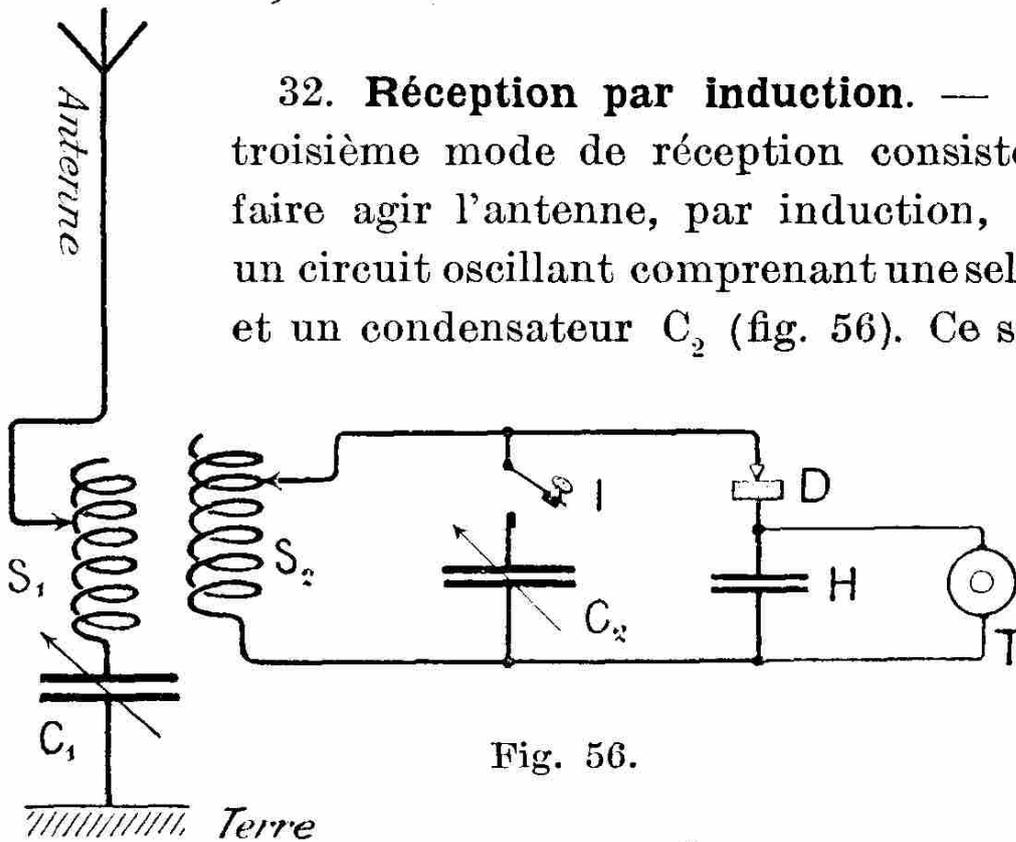


Fig. 56.

les oscillations de ce circuit que l'on envoie au détecteur D et au téléphone T.

On intercale encore sur l'antenne une bobine  $S_1$  ou *primaire* et un condensateur primaire  $C_1$ , qui servent à accorder l'antenne. On couple par induction, avec  $S_1$ , la bobine  $S_2$  du circuit oscillant ou *secondaire*. On peut utiliser un nombre variable de spires de cette bobine et modifier la capacité du condensateur  $C_2$  pour accorder ce secondaire.

Aux armatures du condensateur  $C_2$ , on réunit le détecteur D, un condensateur H et le téléphone T, comme dans le montage en dérivation.

Le condensateur C peut être mis hors circuit à l'aide d'un interrupteur I; le circuit secondaire n'a plus de période propre, il est *apériodique* (§ 9), ne résonne plus et peut suivre les oscillations de toute période. Si, au contraire, le condensateur est connecté, le circuit secondaire résonne; il est parcouru, lorsqu'il est accordé, par des courants beaucoup plus intenses que lorsqu'il était apériodique; si l'accord n'est pas réalisé, les courants sont, au contraire, beaucoup plus faibles.

La réception sur un circuit apériodique, facilite la recherche du poste dont on veut entendre les signaux et permet un réglage du primaire d'abord, du secondaire ensuite. On évite ainsi les longs tâtonnements auxquels on serait exposé s'il fallait opérer simultanément ces deux réglages.

Pour recevoir des signaux, on ouvre d'abord l'interrupteur I; le secondaire est alors apériodique. On le couple le plus possible à la bobine  $S_1$ , puis on accorde l'antenne par la self  $S_1$  et le condensateur  $C_1$  sur la transmission à recevoir; à cet effet, on cherche à rendre maximum l'intensité du son perçu. Ceci étant, on connecte  $C_2$  en fermant I; le secondaire devient périodique, mais n'est pas accordé; les signaux sont alors à peine perceptibles. On accorde alors le secondaire en modifiant  $S_2$  et  $C_2$  et on entend à nouveau la transmission. Si le poste émetteur envoie des ondes peu amorties pour lesquelles les résonances sont marquées, l'audition est meilleure que lors de la réception sur le circuit apériodique et, avantage principal, les signaux

d'autres postes de longueurs d'ondes différentes n'étant pas accordés, ne sont plus entendus et ne brouillent plus la réception. On a avantage à découpler beaucoup le circuit rendu périodique, afin d'éviter les ondes de couplage (§ 24). En découplant, on modifie un peu la période du circuit secondaire et de l'antenne ; il y a donc lieu de rectifier un peu l'accord.

**33. Syntonie.** — Les ondes émises par un poste de transmission se propagent de tous côtés, de sorte qu'un poste de réception peut entendre non seulement les signaux de son correspondant, mais encore tous ceux des postes qui travaillent en même temps. Il est évident que la lecture au son d'un radiotélégramme serait impossible si l'on ne pouvait éliminer ou au moins atténuer toutes les transmissions gênantes et renforcer, au contraire, celle qu'il faut recevoir. Si les transmissions gênantes sont sur des longueurs d'ondes différentes de la transmission à recevoir, la résonance permet d'atteindre le but cherché. On dit qu'une réception est bien *syntonisée* lorsque cette résonance est très marquée. La réception par induction est presque seule employée à cause de sa bonne syntonie réalisée par les deux résonances successives de l'antenne et du circuit oscillant.

L'élimination des transmissions parasites exige des résonances aiguës ; or ces résonances ne dépendent pas seulement de la réception ; quelle que soit la perfection de celle-ci, si les ondes reçues sont très amorties et se succèdent par suite en petit nombre, la résonance ne peut être bien marquée ; elle est, en effet, due à la répétition rythmée des effets de nombreuses ondes successives. On voit par là quel est l'intérêt que présente l'usage

des transmissions peu amorties que l'on obtient au poste de transmission en utilisant soit l'excitation indirecte (§ 23) avec un circuit oscillant peu couplé à l'antenne, soit encore l'excitation par choc.

**34. Couplage.** — Il faut éviter, pour conserver une bonne syntonie, de coupler trop fort les bobines  $S_1$  et  $S_2$  du récepteur. Les réactions mutuelles de l'antenne et du circuit oscillant déforment (§ 24), en effet, les oscillations et atténuent la résonance.

On construit l'appareil de réception de façon à pouvoir changer facilement les positions relatives des deux bobines  $S_1$  et  $S_2$  et modifier leur couplage. Un moyen simple consiste à faire tourner l'une des bobines devant l'ouverture de l'autre. Le couplage est nul si les axes des bobines sont à angle droit; il est au contraire maximum lorsque ceux-ci coïncident.

**35. Recherche d'un poste et réglage de la réception.** — En radiotélégraphie, le poste transmetteur ne peut facilement faire aucun appel bruyant, analogue à la sonnerie du télégraphe avec fil. Le radiotélégraphiste, à la réception, doit écouter constamment et chercher, en accordant ses appareils sur les diverses longueurs d'onde, s'il n'entend pas les appels d'un de ses correspondants. Si la réception est trop syntonisée, la recherche d'un poste est difficile, puisqu'on ne l'entend que pour un réglage précis du primaire et du secondaire. On cherche donc les postes avec le secondaire apériodique; afin d'avoir une audition forte des signaux, on utilise toutes les spires de la bobine secondaire et on la couple fortement à la bobine primaire. On trouve le poste

en accordant seulement l'antenne par le condensateur et la self primaires.

Cet accord étant réalisé, on rend le secondaire périodique et on l'accorde. Il y a intérêt, même si on entend bien en apériodique, à faire ce réglage, car il peut arriver, durant la réception du télégramme, des transmissions sur une longueur d'onde peu différente; elles empêchent la lecture sur une réception peu syntonisée, mais sont peu gênantes sur une réception bien réglée. On augmente enfin la syntonie en découplant fortement les bobines. Une réception bien réglée doit donner la meilleure audition pour un très faible couplage.

Dans la construction de tous ces appareils, il est bon d'éviter, pour faire varier le nombre de spires des bobines  $S_1$  et  $S_2$  (fig. 56), l'emploi de curseurs sur les spires.

Outre que le contact obtenu est souvent défectueux, le curseur met des spires en court-circuit. Il est préférable de réunir, à des plots métalliques sur lesquels frotte une manette, (fig. 57) un certain nombre de spires. On emploie assez de plots pour pouvoir toujours parfaire l'accord par la seule variation de capacité des condensateurs  $C_1$  ou  $C_2$ .

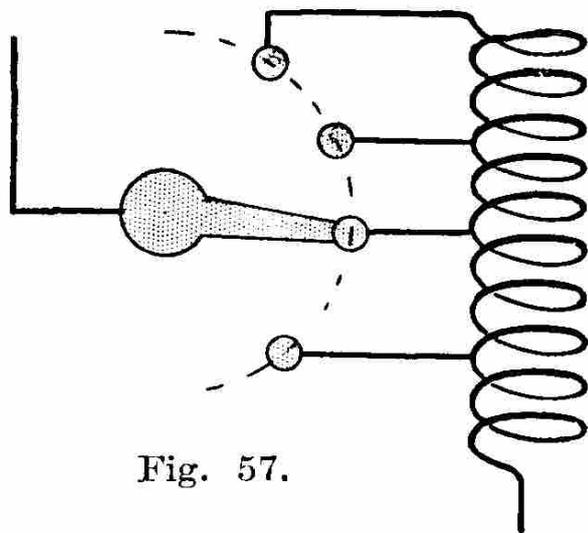


Fig. 57.

**36. Parasites atmosphériques.** — Outre la gêne que peut apporter à la réception le trop grand nombre de transmissions simultanées, il est une grave cause de trouble qui provient des phénomènes électriques atmo-

sphériques : orages, passages de nuages électrisés, chutes de grêle ou de gouttes de pluie électrisées, aurores boréales. Les décharges électriques dans l'atmosphère produisent dans l'antenne des courants qui font entendre au téléphone des sons très variés; le plus souvent, une série de chocs ou des sons graves; il en résulte que les transmissions chantantes aiguës sont moins brouillées par les parasites atmosphériques.

Tandis que l'on peut, par une très bonne syntonie de la réception, éliminer les transmissions gênantes, l'élimination des parasites est beaucoup plus difficile. Une décharge brusque, non oscillante, agit sur l'antenne comme un choc et fait osciller celle-ci sur sa période propre, quelle que soit d'ailleurs cette période. Par la résonance on ne peut donc éliminer les parasites.

Ceux-ci sont très gênants pour les grandes antennes et les transmissions lointaines; c'est surtout la recherche de l'élimination des parasites qui peut, aujourd'hui, aider aux progrès de la radiotélégraphie.

Par les temps orageux, il est prudent de réunir directement l'antenne à sa prise de terre.

### 3° ANTENNES

37. **Différentes formes d'antennes.** — L'antenne constituée par un seul fil dressé verticalement (§ 14) nécessite beaucoup de hauteur et un support difficile à établir; elle a peu de capacité, aussi ne l'emploie-t-on que rarement, pour de très courtes longueurs d'ondes et des postes de petite puissance. L'*antenne unifilaire* peut être plus facilement disposée horizontalement entre

deux mâts (A et B, fig. 58). Le fil d'*entrée de poste* (C) est attaché à l'une des extrémités.

L'antenne horizontale envoie des ondes d'inégale intensité dans les diverses directions. Les ondes les plus intenses sont rayonnées dans la direction opposée à l'extrémité A de l'antenne. Il importe donc d'orienter l'antenne de façon que l'entrée de poste BC soit du côté du poste de réception. Dans ces conditions, l'an-

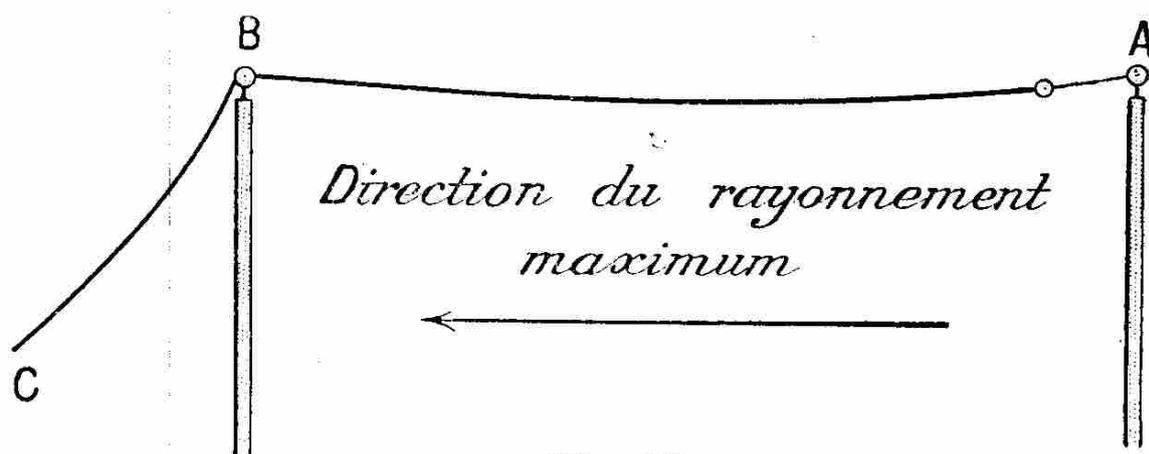


Fig. 58.

tenne est aussi orientée au mieux pour recevoir les signaux de ce dernier.

Dans la direction de B vers A, le rayonnement est plus faible; il est encore plus petit dans les directions perpendiculaires à l'antenne.

L'émission est, dans tous les cas, d'autant meilleure que l'antenne est plus élevée au-dessus du sol.

Pour les grandes longueurs d'ondes, l'antenne unifilaire aurait une longueur exagérée; on augmente la capacité et, par suite la longueur d'onde émise, en se servant de l'*antenne en nappe* (fig. 59), dont il a déjà été question. Elle est formée de plusieurs fils parallèles, attachés à deux vergues horizontales AB et CD. Les brins se réunissent en H à un fil unique qui constitue

l'entrée de poste. C'est l'antenne le plus habituellement employée sur les navires; on la dispose entre deux mâts.

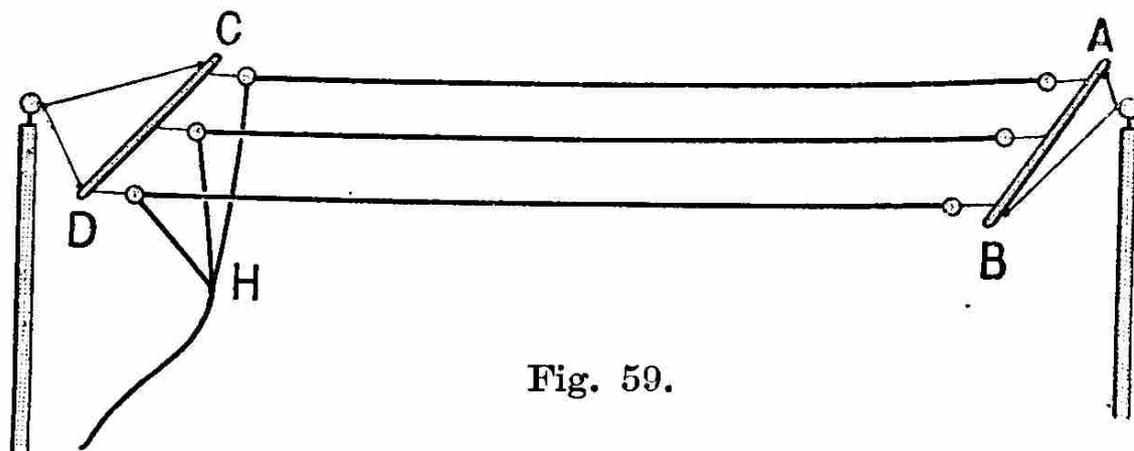


Fig. 59.

On se sert aussi d'un grand nombre d'autres types d'antennes multifilaires. Il importe qu'à partir de la jonction avec l'entrée de poste, les différents brins aient des longueurs égales, afin que les systèmes d'ondes stationnaires soient dans la même phase d'oscillation électrique à leur point de jonction et s'ajoutent intégralement.

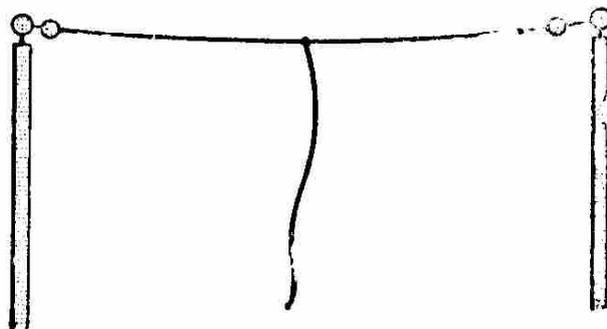


Fig. 60.

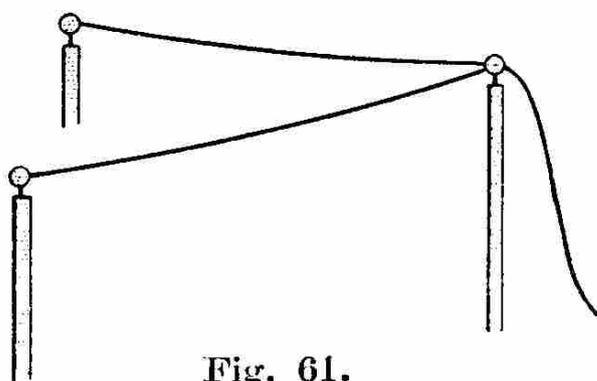


Fig. 61.

L'antenne en T (fig. 60) est une antenne à deux brins opposés.

L'antenne en V a ses deux brins divergents (fig. 61).

L'antenne en éventail a plusieurs brins divergents (fig. 62). Ces brins après être écartés l'un de l'autre dans leur partie moyenne peuvent être rapprochés les

uns des autres à leur partie haute. C'est ainsi que sont disposés les brins de l'antenne de la Tour Eiffel.

L'antenne en parapluie (fig. 63) a plusieurs brins qui descendent du haut d'un mât vers le sol. Il est bon de ne pas amener trop près de la terre les extrémités des brins; celles-ci doivent être à une hauteur d'environ  $\frac{2}{3}$  de la hauteur

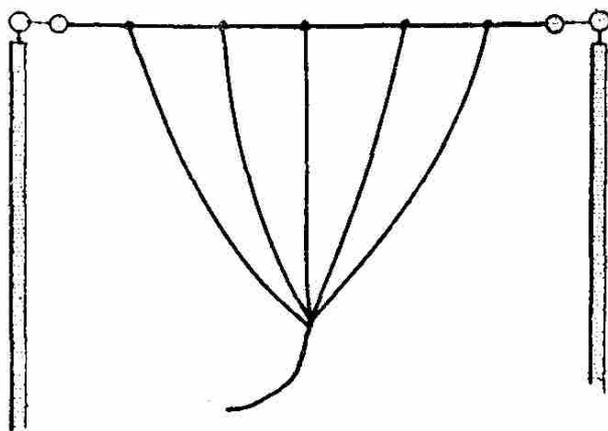


Fig. 62.

du mât. L'entrée de poste descend le long du mât.

Les formes des grandes antennes sont très variées; dans chacune des formes que nous venons d'indiquer, chacun des brins peut être remplacé par une nappe de fil.

Les antennes, qui sont le plus souvent soutenues par des mâts ou des pylônes métalliques sont isolées par des chaînes d'isolateurs en porcelaine. Pour les grandes puissances, qui mettent en jeu à l'extrémité de l'antenne de très hautes tensions, l'isolement doit être

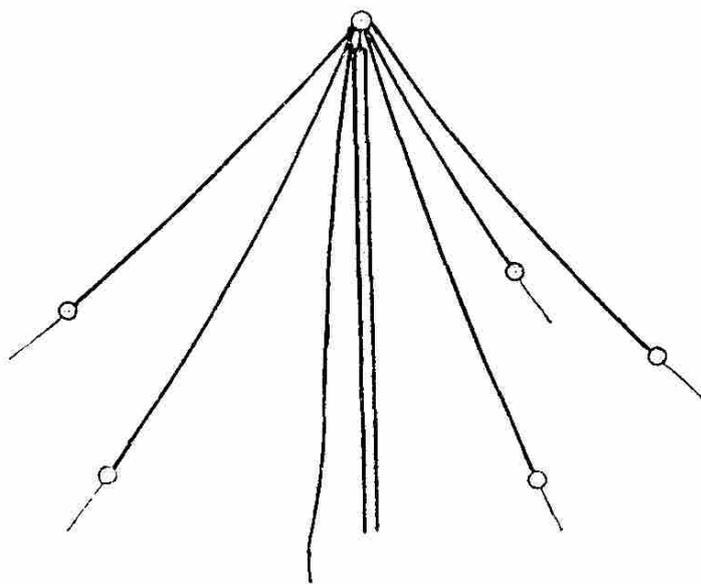


Fig. 63.

très soigneusement assuré. Il faut éviter, de plus, que la partie extrême de l'antenne et le sommet d'un mât métallique constituent un condensateur de capacité

notable qui laisserait passer une fraction des oscillations et empêcherait la réflexion à l'extrémité d'être complète.

Les antennes des grands postes récemment créés sont toutes des antennes constituées par une nappe de fils horizontaux, soutenue à grande hauteur au-dessus du sol, par des pylônes métalliques dont l'antenne est isolée par des chaînes d'isolateurs en porcelaine. L'étendue des antennes et la puissance des postes a été beaucoup augmentée au cours de ces dernières années.

Le poste de Lyon (la Doua) créé en 1914 disposait dans l'antenne d'une puissance de 200 kilowatts, le poste de Bordeaux (Croix d'Hins) mis en service en 1918 utilise 500 kilowatts, enfin la grande antenne du poste de Paris (Sainte-Assise) a été installée en 1921 pour 1 500 kilowatts.

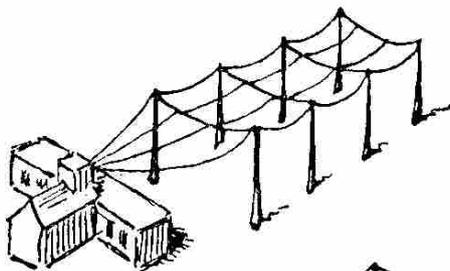
La figure 64 permet de se rendre compte des dimensions relatives de ces antennes. L'antenne de Sainte-Assise comprend deux nappes de fil, l'entrée de poste est au milieu comme dans l'antenne en T.

L'antenne du poste de Croix d'Hins est portée par 8 pylônes de 250 mètres de hauteur et couvre une superficie d'environ 450 000 mètres carrés. Celle de Sainte-Assise est portée à la même hauteur par 16 pylônes; sa superficie est d'environ 910 000 mètres carrés. Cette dernière antenne exige pour sa construction 70 000 mètres de câble de cuivre et 16 000 mètres de câble d'acier qui servent au haubannage des pylônes.

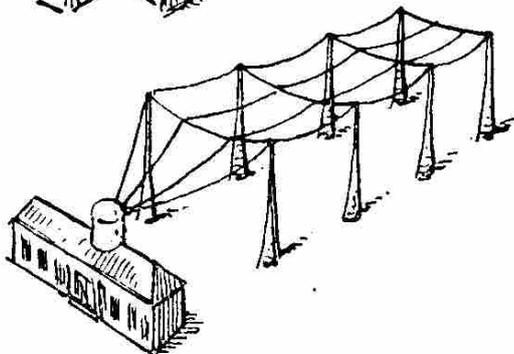
Ces grandes antennes destinées à des communications très lointaines ne servent qu'à l'émission; la réception se fait, comme nous le verrons, sur des cadres de dimensions très réduites. Les récepteurs sont installés assez

loin de l'antenne pour ne pas être troublés par celle-ci. Les stations d'émission et de réception qui assurent un même service sont reliées par des lignes télépho-

LYON (1914)  
(La Doua)  
200 Kw dans  
l'antenne



BORDEAUX (1918)  
(Croix d'Hins)  
500 Kw dans  
l'antenne



PARIS (1921)  
(S<sup>te</sup> Assise)  
1500 Kw dans  
l'antenne

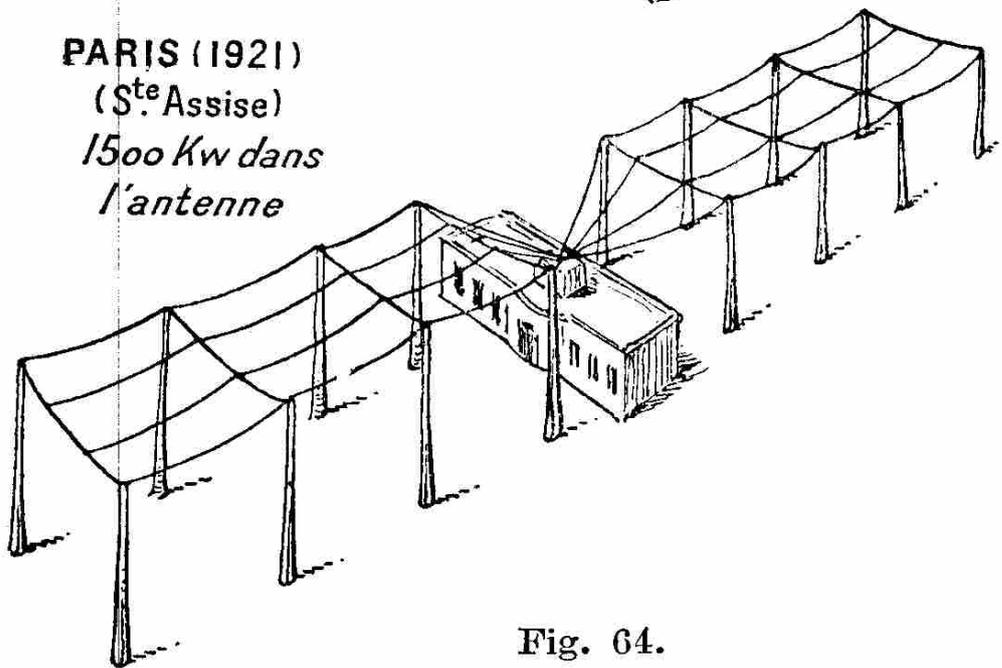


Fig. 64.

niques ou télégraphiques. Par l'intermédiaire de ces lignes, des relais permettent de commander le manipulateur d'émission, depuis la station de réception.

Les autres très grands postes français sont la station militaire de la Tour Eiffel et le poste de la marine à Nantes.

**38. Prise de terre. Entrée de poste.** — La prise de terre se fait en enterrant, de préférence dans un sol humide, une grande étendue de treillage métallique ou de feuilles de zinc. La surface de la prise de terre doit être d'autant plus grande que les ondes à émettre sont plus longues.

Le fil de prise de terre doit être aussi court que possible. Le fil d'entrée de poste, qui descend de l'antenne dans le poste, doit être bien isolé à la traversée des murs. Il faut éviter de le faire passer trop près des parties métalliques d'un bâtiment.

Enfin les fils de prise de terre et d'entrée de poste doivent suivre des chemins différents pour éviter qu'ils ne constituent une capacité suffisante pour amener directement des oscillations de l'antenne au sol, sans passer par les appareils de transmission ou de réception.

Les prises de terre des grandes antennes sont très étendues et leur construction doit être très soignée. Celle de l'antenne de Sainte-Assise est constituée par 800 mètres carrés de plaque de cuivre et 80 000 mètres de fil de cuivre enterrés sous l'antenne.

**39. Antennes d'avion ou de ballon.** — Sur les avions ou sur les ballons, on emploie une antenne unifilaire que l'on laisse pendre; elle sort de la nacelle par un tube isolant. Pour le départ et à l'atterrissage, on enroule le fil d'antenne sur un rouet. A l'extrémité du fil, on suspend un poids en plomb. A cause de la résistance de l'air, l'antenne, en vol, est repoussée en arrière et reste peu inclinée sur l'horizontale.

La prise de terre est remplacée par une prise aux parties métalliques de l'avion ou du ballon. Afin d'aug-

menter autant qu'il est possible la capacité de ce contrepois d'antenne (§ 15), on réunit par des fils métalliques toutes les parties conductrices de l'avion et on tend des fils d'aluminium entre les toiles des ailes.

40. **Antennes à prises de terre multiples.** — Lorsque l'antenne est très étendue et qu'on y utilise de grandes puissances, l'intensité efficace du courant dans le fil de terre atteint plusieurs centaines d'am-pères. La prise de terre doit donc avoir une surface très étendue; mais, aux environs du point de raccord du fil d'antenne et des plaques qui servent à établir la communication avec le sol, la densité du courant qui s'écoule dans le sol n'en reste pas moins très grande. Il en résulte de notables pertes de puissance.

Il y aurait donc intérêt à multiplier les jonctions de l'antenne avec sa prise de terre, sous la condition, toutefois, de faire ces jonctions en des points très éloignés l'un de l'autre. Cela n'est pas possible avec les antennes ordinaires, car les fils de prise de terre ayant des longueurs très différentes, on conserverait difficilement un régime d'oscillation régulier.

Afin de multiplier, sans inconvénients, les prises de terre, l'ingénieur Alexanderson a récemment installé aux États-Unis, pour le poste de New-Brunswick, une antenne d'un type nouveau qu'il a appelée *antenne multiple*.

Tandis qu'une antenne ordinaire est l'analogie d'un circuit oscillant unique, dont la capacité serait la capacité mutuelle de l'antenne et de la terre, l'antenne multiple est l'analogie d'un ensemble de plusieurs circuits oscillants que l'on accorde tous les uns sur les

autres. On les accorde aussi sur la période de l'alternateur à haute fréquence qui fournit le courant à l'antenne. Cette antenne destinée à l'émission d'ondes, très longues et par suite de fréquence relativement faible, n'est pas, en effet, excitée par des étincelles. Nous verrons plus loin (§ 62) qu'on peut construire des alternateurs à fréquence assez élevée pour alimenter directement les grandes antennes.

L'antenne multiple est reliée à la fois à des prises de terre et à un contrepois (§ 15) très étendu. L'antenne de New-Brunswick (fig. 65) est une antenne en nappe horizontale, portée par des pylônes à une hauteur au-dessus du sol d'environ 200 mètres. Elle est constituée, comme l'antenne de Sainte-Assise, par deux nappes symétriques, la prise d'antenne à la station S qui fournit l'énergie se faisant au milieu de l'antenne. Chacune des moitiés de l'antenne est très longue, la nappe de fil qui la constitue ayant environ 1 500 mètres de longueur et 45 mètres de largeur.

Sous l'antenne, à une faible hauteur au-dessus du sol (6 mètres), est installée sur des poteaux et isolée de

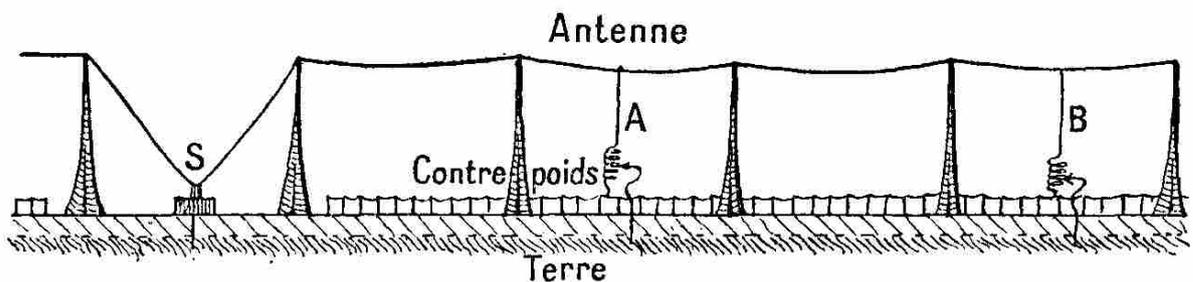


Fig. 65.

la terre, une nappe de fils de grande surface qui constitue le contrepois. Sa longueur est égale à celle de l'antenne, sa largeur est beaucoup plus grande et

dépasse 300 mètres. La figure 65 représente seulement la moitié de l'antenne, l'autre est disposée symétriquement par rapport à la station S.

Chaque moitié de l'antenne est réunie à la terre à la station même et aux points A et B. En ces points, elle est également reliée au contrepoids.

Ces jonctions se font de la manière suivante et d'après le schéma de la figure 66.

A la station, l'alternateur à haute fréquence produit un courant dans le primaire d'un transformateur dont

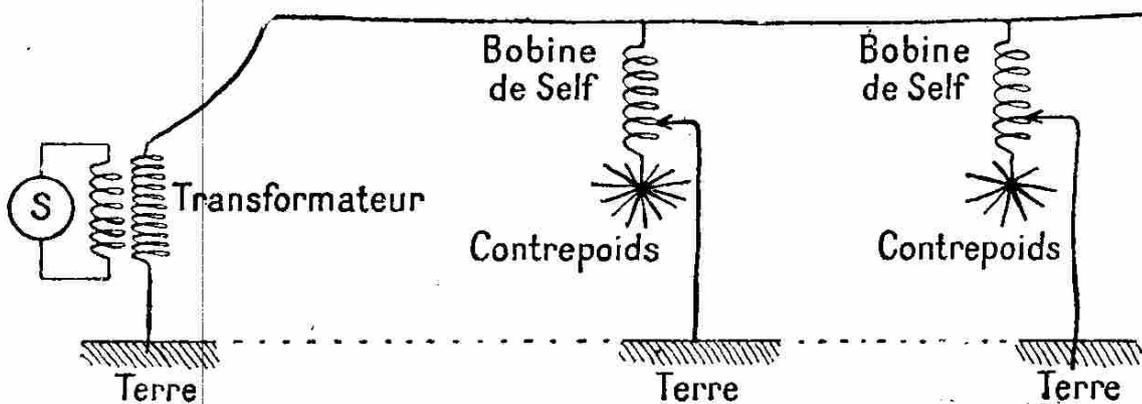


Fig. 66.

le secondaire est réuni, d'une part, à l'antenne, d'autre part, à la terre.

Des points équidistants de l'antenne sont joints à la terre par l'intermédiaire de bobines de self, dont on utilise pour l'accord un nombre variable de spires. Les extrémités des bobines sont réunies au contrepoids.

L'ensemble se comporte comme une série de circuits oscillants; leurs selfs sont la self de l'antenne, d'une part, la self des bobines de réglage, d'autre part, et leurs capacités sont les capacités mutuelles entre l'antenne, le contrepoids et la terre. On accorde tous ces circuits oscillants et l'antenne vibre comme un ensemble d'antennes dont les oscillations sont en concordance.

La longueur des ondes obtenues correspond à la période de chacun des circuits partiels et est plus courte que celle que l'on obtiendrait en supprimant toutes les prises de terre supplémentaires.

Cette installation, encore nouvelle, et plus complexe que celle des postes français, donne jusqu'ici de bons résultats. On ne peut, toutefois, affirmer encore qu'il y a toujours intérêt à remplacer par des antennes multiples les antennes dont la prise de terre est unique et qui dérivent immédiatement des antennes utilisées, dès les débuts de la T. S. F., par Marconi. Les antennes simples en nappe sont encore en usage dans presque tous les postes européens pour la transmission; les stations réceptrices utilisent surtout des cadres orientés.

**41. Antenne de réception apériodique pour ondes courtes.** — Nous signalerons enfin, pour terminer, une antenne de dimensions plus réduites destinée à la réception des signaux transmis sur des ondes courtes dont la longueur ne dépasse pas 200 mètres.

Une antenne unifilaire accordée et oscillant en quart d'onde aurait au plus 50 mètres; mais comme il est nécessaire de faire passer cette antenne dans la bobine primaire du récepteur, cette longueur est beaucoup réduite. Elle diminue encore si, ne pouvant disposer de supports assez élevés, on doit utiliser une antenne horizontale dont la capacité par unité de longueur est plus grande.

L'antenne ordinaire avec prise de terre ou contrepoids destinés aux petites ondes a donc nécessairement, si on l'accorde en quart d'onde, de très petites dimensions. Elle capte alors très peu de l'énergie rayonnée par le

poste transmetteur et ne reçoit plus les postes très éloignés.

Une antenne apériodique (voir § 9) qui suit les fréquences qu'elle reçoit sans avoir elle-même de période propre et sans qu'il s'y produise de phénomènes de résonance pourrait avoir une longueur beaucoup plus grande. On ne profite plus de l'augmentation d'intensité qui vient de la résonance; mais ce désavantage peut être plus que compensé par la possibilité d'employer, même pour des ondes courtes, une antenne très longue.

M. Godley, en 1922 lors des essais, faits par les amateurs américains, de réception transatlantique de signaux émis avec de très petites puissances, sur des ondes courtes, a entendu en Irlande des postes américains en prenant une antenne apériodique connue sous le nom d'antenne Beverage.

Elle est constituée (fig. 67) par un fil horizontal, soutenu à faible distance du sol (3 m. 65), ayant 200 à 300 mètres de longueur. A l'une des extrémités le fil est mis à la terre, comme les antennes ordinaires, et le récepteur est intercalé sur cette prise de terre. L'autre extrémité n'est pas isolée, elle est mise à la terre par l'intermédiaire d'un fil R de résistance comprise entre 200 et 400 ohms. On règle d'ailleurs cette résistance à la valeur qui donne la meilleure audition. Ce réglage est, il est vrai, peu commode et c'est un des inconvénients de cette antenne, car la résistance est à quelques centaines

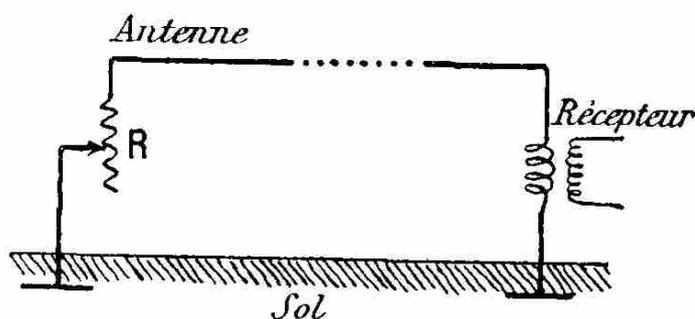


Fig. 67.

de mètres du récepteur. Cette antenne est apériodique, car l'extrémité n'étant plus isolée, la réflexion ne peut plus se faire, les ondes incidentes sont amorties dans la résistance. Il ne se produit pas de système d'ondes stationnaires le long de l'antenne. Les ondes qui viennent du poste de transmission la parcourent et y déterminent la production d'un courant qui s'écoule dans le sol à travers la bobine primaire du récepteur. L'antenne doit être tendue dans une direction qui passe par le poste à recevoir, l'extrémité à laquelle est reliée la résistance  $R$  étant du côté de ce poste.

Une telle antenne ne peut servir à l'émission.

## CHAPITRE III

### LAMPE A TROIS ÉLECTRODES

---

42. **Usages de la lampe à trois électrodes en radio-télégraphie.** — L'emploi de lampes à incandescence spéciales imaginées par l'ingénieur américain de Forest et appelées *lampes à trois électrodes* ou *triodes*, a provoqué d'importants et très rapides progrès. Ces lampes, si nous nous en tenons à leurs applications en radio-télégraphie, ont servi à construire des générateurs d'oscillations non amorties dont l'usage présente, comme nous le verrons, de très sérieux avantages. Elles constituent d'excellents détecteurs. Elles permettent de réaliser des relais si fidèles et si sensibles, qu'ils peuvent servir à amplifier considérablement les courants téléphoniques et, par suite, à augmenter la portée des signaux.

C'est, enfin, grâce aux lampes à trois électrodes que la téléphonie sans fil est devenue pratiquement utilisable et facile.

43. **Émission de charges électriques par le filament d'une lampe à incandescence : Lampe à deux électrodes.** — Nous décrirons d'abord le phénomène duquel dérive le fonctionnement

et les propriétés de la lampe à trois électrodes.

Dans l'ampoule vide d'air d'une lampe à incandescence (fig. 68), disposons une *plaque* métallique P. Réunissons cette plaque au pôle positif d'une pile A d'une centaine d'éléments et relierons le pôle négatif au

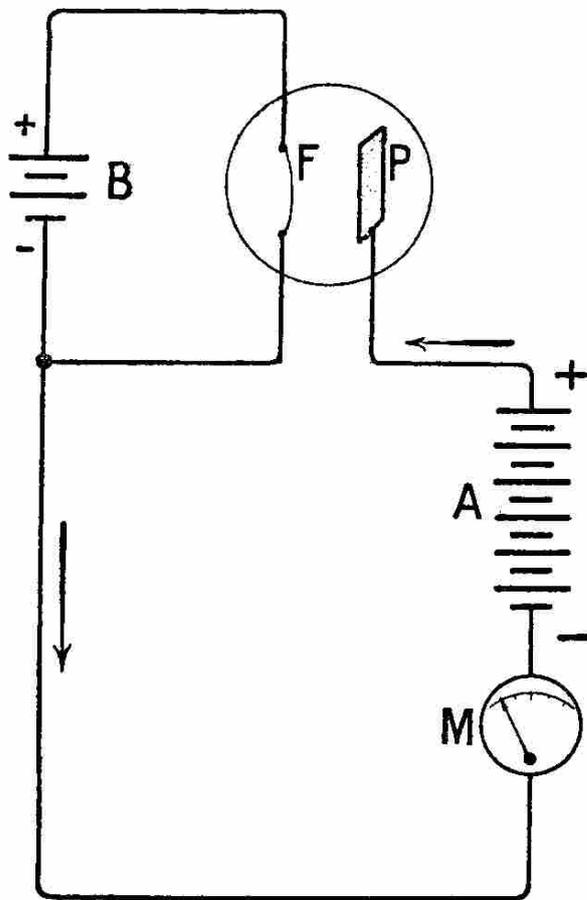


Fig. 68.

*filament* F de la lampe. Intercalons sur le fil de jonction, afin de pouvoir mesurer l'intensité du courant, une milliampèremètre M.

Chauffons au rouge blanc le filament en y faisant passer un courant produit par une batterie d'accumulateurs B.

L'ampèremètre M nous indique que la pile A fournit un courant.

Ce courant traverse nécessairement l'espace compris entre la plaque P et le filament F.

Comment des charges électriques peuvent-elles traverser cet espace vide ?

Les métaux chauffés au rouge blanc laissent échapper des grains immatériels, extraordinairement ténus, d'électricité négative; un grand nombre de phénomènes physiques ont fait reconnaître leur existence; on les a appelés *électrons*. Ces grains, libérés dans l'espace vide de l'ampoule, sont attirés par la plaque chargée positivement et se précipitent vers elle avec de très grandes

vitesses qui atteignent plusieurs dizaines de mille kilomètres par seconde. Des électrons quittent donc le filament et vont porter leur charge électrique à la plaque. Ce sont eux qui transportent l'électricité et c'est par leur intermédiaire que la pile A peut débiter un courant dans l'espace compris entre le filament et la plaque.

On a l'habitude de dire qu'un courant va du pôle positif au pôle négatif d'une pile. Ce courant, dans l'espace filament-plaque, est donc en sens inverse du sens du mouvement des électrons. Il n'y a rien là qui doive nous arrêter, puisque ce que nous appelons sens d'un courant, est un sens purement conventionnel : on a choisi le sens qui correspondrait à un mouvement d'électricité positive. Comme, dans l'espace plaque-filament, l'électricité transportée est négative, le sens qu'on a coutume d'appeler « sens du courant » est inverse de celui du mouvement des électrons.

Lorsqu'on augmente le nombre des éléments de la pile A, le nombre des électrons qui atteignent la plaque augmente d'abord, ainsi que l'intensité du courant qu'ils transportent; mais, bientôt, tous les électrons qui sortent du filament sont captés par la plaque et l'intensité du courant cesse de croître. On appelle *courant de saturation* ce courant qui ne peut être dépassé.

Lorsqu'on élève la température du filament, le nombre des électrons qui en sortent augmente, de sorte que l'intensité du courant de saturation devient plus grande.

Si on inverse la polarité de la pile A, la plaque chargée négativement repousse les électrons qui ne peuvent plus l'atteindre et le courant cesse. La lampe constitue donc une valve qui ne laisse passer le courant que dans un seul sens. La lampe à deux électrodes, le

filament et la plaque, ou *diode*, a donc pu être employée comme détecteur par Fleming.

44. **Lampe à trois électrodes ou triode.** — C'est surtout après que de Forest a eu l'idée d'y ajouter une troisième électrode, la grille, que la lampe est devenue

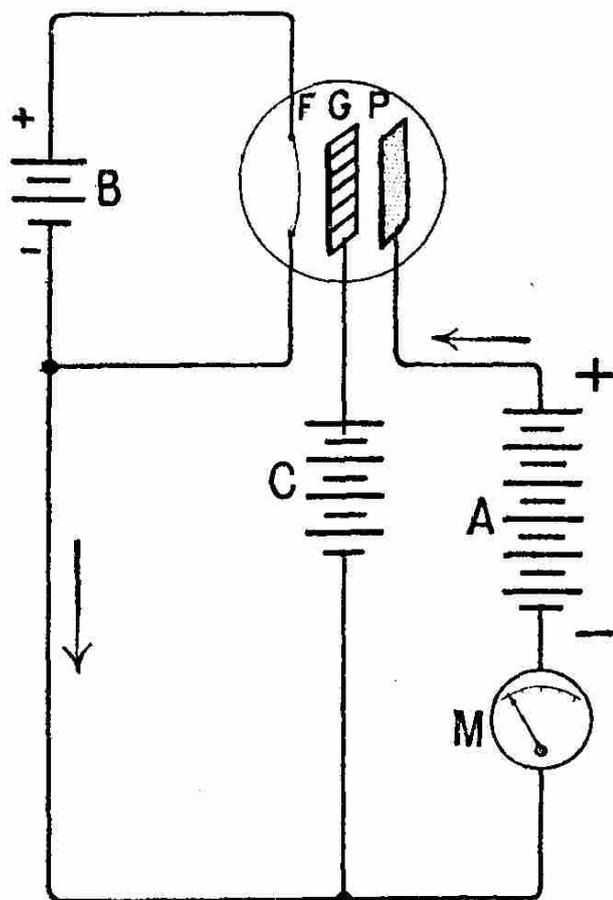


Fig. 69.

l'un des organes essentiels des postes radiotélégraphiques. La lampe à deux électrodes n'était qu'un redresseur de courant; l'adjonction de la grille en a fait un relais d'une sensibilité et d'une fidélité remarquable. Nous rappellerons qu'on appelle *relais* les appareils qui reçoivent de minimes quantités d'énergie insuffisantes pour actionner les organes d'un récepteur, fer-

ment, au poste de réception, le circuit d'une pile locale, qui fournit elle-même la puissance nécessaire. Le relais est d'autant plus sensible que des courants plus faibles suffisent à l'actionner; il est fidèle s'il reproduit exactement après les avoir amplifiées toutes les variations d'intensité du courant qu'il reçoit, même si ces variations se produisent à fréquence très élevée.

La grille G (fig. 69) est une électrode disposée entre

le filament et la plaque; elle est constituée par un cadre conducteur entre deux côtés opposés duquel sont tendus des fils métalliques parallèles.

Intercalons une pile C sur un fil qui relie la grille au filament; nous pourrons, en modifiant le nombre des éléments de cette pile ou en inversant sa polarité, changer la grandeur et le sens de la différence de potentiel entre la grille et le filament.

Nous avons ainsi établi trois circuits : le *circuit de chauffage du filament*, qui comprend la batterie d'accumulateurs B et le filament; le *circuit de plaque*, constitué par la pile A et l'espace entre la plaque et le filament; le *circuit de grille*, qui comprend la pile C et l'espace entre la grille et le filament. Ces trois circuits ont un *point commun*, le pôle négatif de la batterie B.

Nous allons chercher comment varie l'intensité du courant dans le circuit de plaque, mesurée par l'ampèremètre M, lorsque, laissant constant le nombre des éléments de la pile A, on modifie le sens et la grandeur de la différence de potentiel entre la grille et le filament.

Relions d'abord la grille au pôle négatif d'une pile C de 20 éléments environ : le potentiel de la grille est alors très inférieur à celui du filament. On constate qu'il ne passe aucun courant dans le circuit de plaque; la grille, chargée négativement, repousse les électrons qui n'atteignent pas la plaque.

Diminuons le nombre des éléments de la pile C : lorsque celle-ci n'en compte plus que quelques-uns, l'ampèremètre M commence à dévier et le courant qu'il indique augmente lorsqu'on continue à supprimer des éléments de pile.

Quant au courant dans le circuit de grille, il reste

nul jusqu'à ce que, la pile C ayant été supprimée, la grille soit réunie directement au filament et, par suite, se trouve au même potentiel que lui.

Le courant dans le circuit de plaque continue à augmenter lorsqu'on replace les éléments de la pile C, mais en réunissant maintenant le pôle positif à la grille. Celle-ci attire alors les électrons et en capte un certain nombre; il passe, en effet, un faible courant dans le circuit de la grille et ce courant augmente avec le nombre des éléments de la pile C.

Cependant le plus grand nombre des électrons, attirés par la plaque, dont le potentiel est toujours plus élevé que celui de la grille, traversent les mailles de la grille, et, dans le circuit de plaque, le courant, beaucoup plus intense que dans le circuit de grille, continue à augmenter.

Si on élève encore le potentiel de la grille, le courant, dans le circuit de plaque, cesse de croître tous les électrons émis par le filament sont alors captés tant par la plaque que par la grille. Lorsque, enfin, on élève beaucoup le potentiel de la grille jusqu'à le rendre peu différent de celui de la plaque, la grille commence à capter une fraction importante de la totalité des électrons émis et le courant de plaque baisse tandis que le courant de grille continue à croître.

Les résultats de ces observations sont résumés par les courbes de la figure 70 qui représentent les variations des courants en fonction de la différence de potentiel entre la grille et l'extrémité du filament qui est reliée au pôle négatif de la batterie d'accumulateurs B. On les appelle *caractéristiques de grille et de plaque* de la lampe.

Le courant de grille est bien plus faible que le courant de plaque. Sur la figure 70, il est représenté à plus grande échelle que le courant de plaque.

La forme de la caractéristique de plaque montre qu'en faisant passer le potentiel de la grille d'une valeur peu inférieure à celui du filament jusqu'à une valeur

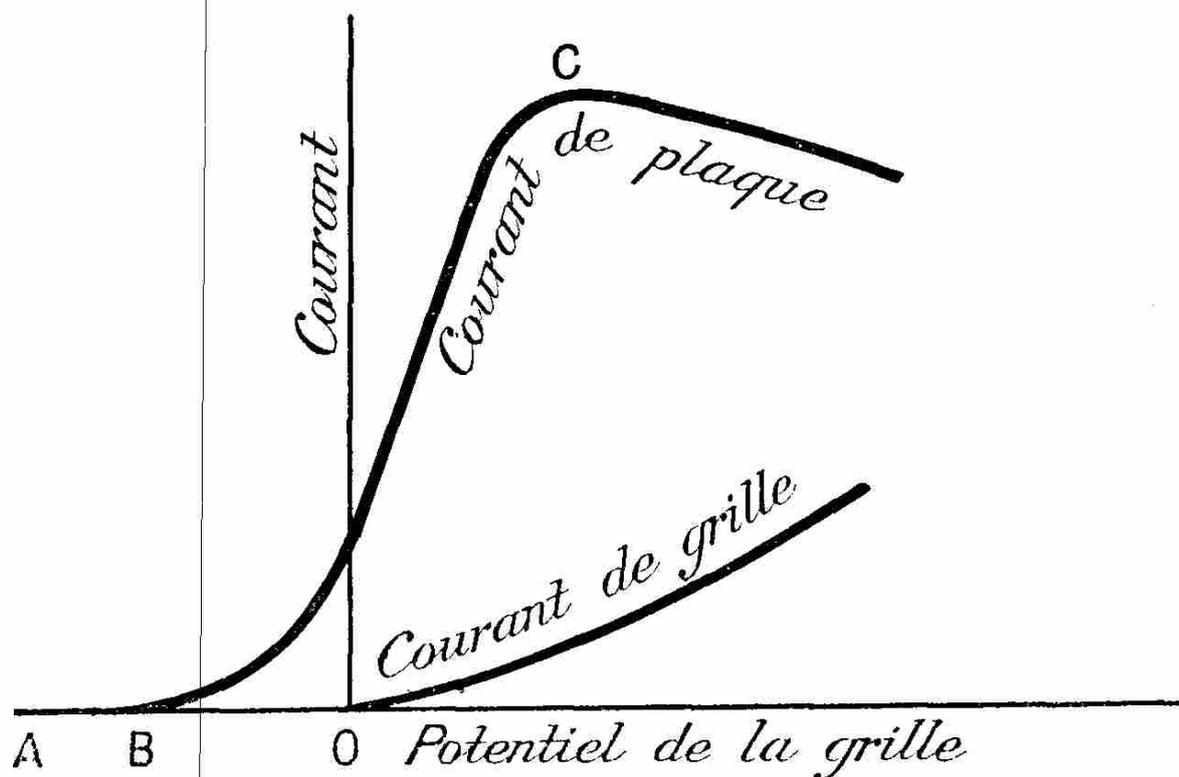


Fig. 70.

peu supérieure, on permet le passage du courant de plaque; on coupe, au contraire, le courant en abaissant à nouveau le potentiel de la grille.

Ces fermetures et ruptures du courant peuvent se faire dans des temps extrêmement courts. Les électrons peuvent être arrêtés, puis transmis par la grille au moins cent millions de fois par seconde. Aucun interrupteur mécanique ne pourrait évidemment, à cause de son inertie et des frottements, approcher, même de très loin, d'aussi grandes fréquences, qui dépassent celles des

oscillations électriques des plus petites antennes et atteignent celles des oscillations de quelques mètres de

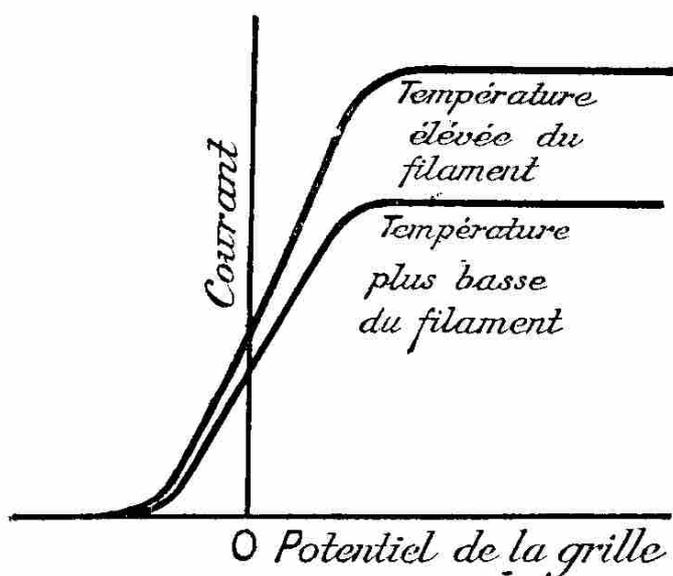


Fig. 71.

longueur d'onde. Lorsque l'on augmente la température du filament, la caractéristique de plaque s'élève toujours du même point, mais le courant de plaque atteint de plus grandes intensités (fig. 71). Cela

tient à ce que l'élé-

vation de température augmente le nombre des électrons émis, sans changer les forces électriques qui agissent sur eux et qui déterminent le potentiel de

grille pour lequel le courant commence.

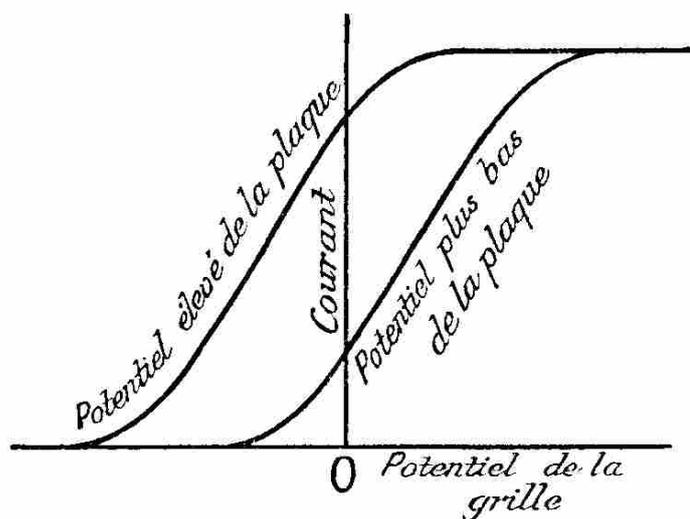


Fig. 72.

grille pour lequel le courant commence. Lorsque l'on augmente le nombre des éléments de la pile de plaque A, on fait croître le potentiel de la plaque, le courant de plaque débute pour un potentiel plus bas de la grille (fig. 72). La caractéristique de plaque se déplace parallèlement à elle-même, sans déformation. Elle ne commence à se déformer que pour les faibles tensions de plaque.

## 45. Description sommaire de modèles de lampes. —

Les ampoules de lampes à trois électrodes doivent être aussi vides d'air que possible, afin qu'il n'y passe pas de décharges électriques par l'intermédiaire du gaz.

Le filament doit pouvoir être porté à très haute température; on emploie, comme dans les lampes destinées à l'éclairage, un filament de tungstène, métal peu fusible.

Le filament de quelques lampes américaines est recouvert d'oxyde de baryum, qui émet au rouge sombre plus d'électrons que le tungstène au rouge blanc.

La plaque est en nickel, les grilles en nickel ou en molybdène. Dans les lampes de grande puissance, la plaque bombardée par les électrons est portée à haute température.

On emploie soit des plaques et des grilles planes; on en dispose alors une de chaque côté du filament auquel on donne la forme d'un V (fig. 73); soit une plaque cylindrique (fig. 74) entourant un filament rectiligne et une grille formée d'un fil de nickel enroulé en hélice entre le filament et la plaque.

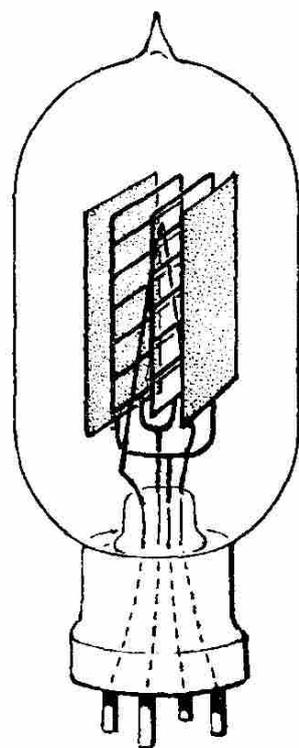


Fig. 73.

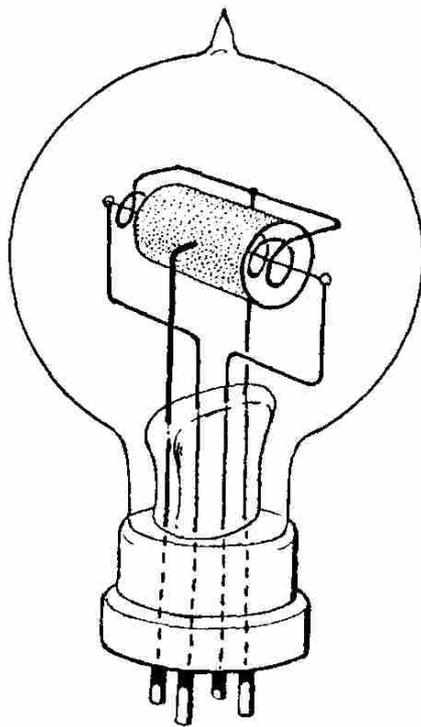


Fig. 74.

Les lampes bien connues sous le nom de lampes françaises, dont le modèle a été établi par la Radiotélégraphie militaire, sont des lampes à électrodes cylindriques. La figure 75 représente les caractéristiques de plaque de l'une de ces lampes pour divers potentiels de la plaque, le courant de chauffage étant celui qui correspond à une différence de potentiel égale à 4 volts entre les extrémités du filament.

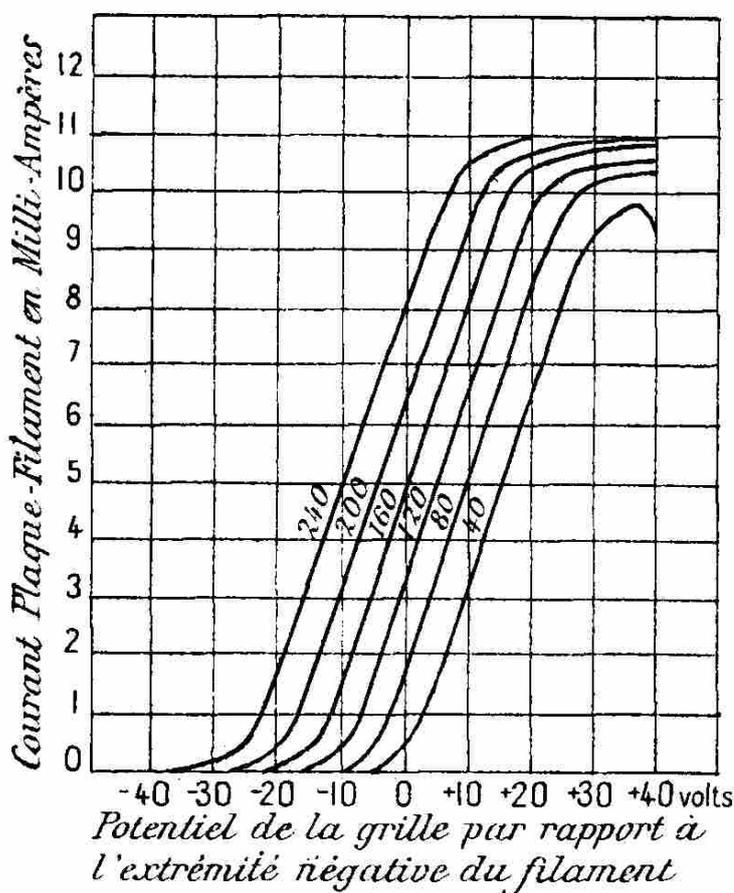


Fig. 75.

ristiques de plaque de l'une de ces lampes pour divers potentiels de la plaque, le courant de chauffage étant celui qui correspond à une différence de potentiel égale à 4 volts entre les extrémités du filament.

#### 46. Entretien par une lampe des oscillations d'un circuit oscil-

**lant ou d'une antenne.** — Nous avons signalé au début de ce chapitre les applications les plus importantes de la lampe-valve; nous nous occuperons d'abord de son emploi comme générateur d'oscillations électriques.

Lorsqu'un circuit oscillant est excité par des étincelles, chacune de celles-ci provoque une série d'oscillations amorties, après lesquelles tout mouvement d'électricité le long du circuit disparaît. Les oscillations reprennent naissance à nouveau lors de l'étincelle suivante (§ 7).

Le circuit oscillant se trouve dans des conditions analogues à celles d'un pendule à oscillations très amorties qu'on écarterait de sa position d'équilibre, qui effectuerait librement quelques oscillations et resterait très longtemps immobile avant que l'on vienne à nouveau le remettre en mouvement. Avec la lampe, nous pouvons réaliser l'analogie d'un pendule d'horloge qui, mis en oscillation par un léger choc, continue à osciller indéfiniment, l'oscillation étant entretenue par le poids moteur. Cet entretien se fait par l'intermédiaire de l'échappement qui, conduit par le pendule lui-même, libère périodiquement le poids à l'instant le plus convenable. Ce poids restitue au pendule l'énergie qu'il a perdue pendant l'oscillation précédente et le mouvement continue.

Imaginons qu'une perturbation électrique ait provoqué des oscillations dans un circuit oscillant. Pour entretenir ces oscillations, faisons conduire par elles le potentiel de la grille d'une lampe. Les variations de potentiel de cette grille ouvriront et fermeront périodiquement le courant de plaque qui, au lieu de rester constant, présentera des variations périodiques d'intensité à la fréquence des oscillations du circuit oscillant. En faisant agir sur ce dernier, par induction, le courant variable ainsi obtenu, nous restituerons l'énergie perdue et nous pourrons entretenir les oscillations. L'énergie fournie est empruntée à la pile du circuit de plaque qui joue le rôle du poids moteur de l'horloge, la grille étant comparable à l'échappement.

Pour réaliser une disposition de ce genre, intercalons un circuit oscillant (fig. 76), formé d'une bobine S et d'un condensateur C, dans le circuit de plaque d'une

lampe L et réunissons la grille au filament par une seconde bobine S'.

Dès que nous allumons la lampe, le courant de la pile A passe dans l'espace plaque-filament et aussi dans le circuit oscillant. Il produit une force électromotrice de self-induction dans la bobine S, charge le condensateur C et ce premier passage du courant met le circuit en oscillation, comme un léger choc initial fait partir le pendule d'une horloge.

Les oscillations ainsi amorcées se transmettent par induction à la bobine S'; il en résulte des variations de potentiel de la grille et, comme le montrent les courbes de la figure 75, des variations périodiques du courant de la pile A. Ce courant variable, en passant dans le circuit oscillant,

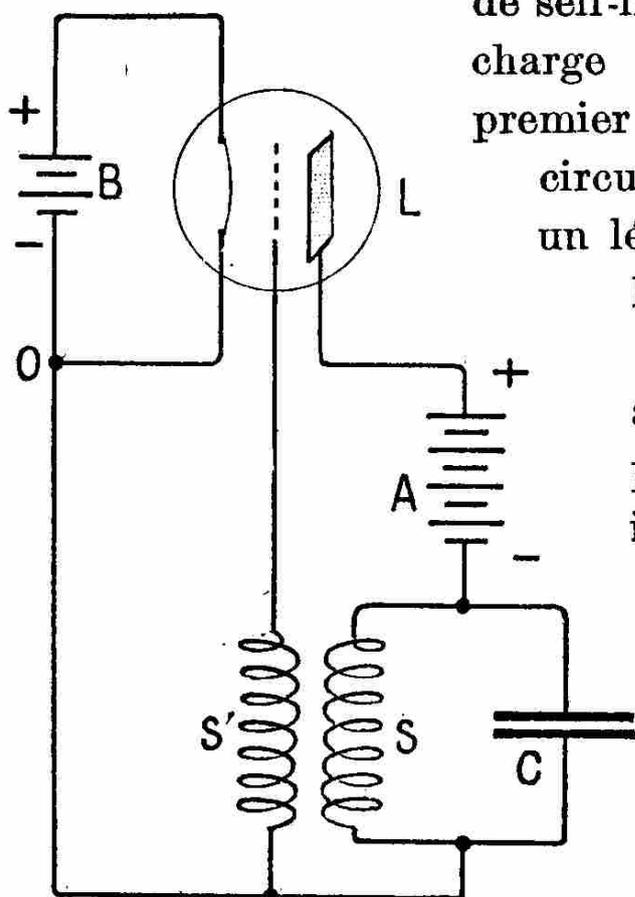


Fig. 76.

y produit une force électromotrice à la fréquence propre de ce circuit et entretient les oscillations.

Pour que l'entretien se produise, il suffit de choisir le couplage par induction entre les bobines S et S' pour lequel les variations de potentiel de la grille ont l'intensité la plus convenable. La théorie et l'expérience montrent que ces variations ont la phase convenable et amorcent des oscillations lorsque, les deux bobines étant enroulées dans le même sens et couplées en les

disposant dans le prolongement l'une de l'autre, les extrémités du même côté sont reliées respectivement l'une à la grille, l'autre au filament (fig. 77, I). Si les bobines sont enroulées en sens inverses, les connexions de l'une d'elles doivent être inversées (fig. 77, II).

Si la pile A fournit un peu plus d'énergie au circuit oscillant que celui-ci n'en dépense, la très faible oscillation primitive augmente d'amplitude; il en résulte une augmentation d'amplitude de la tension de grille, puis du courant de plaque, qui tend à provoquer une nouvelle augmentation. Un régime stable peut

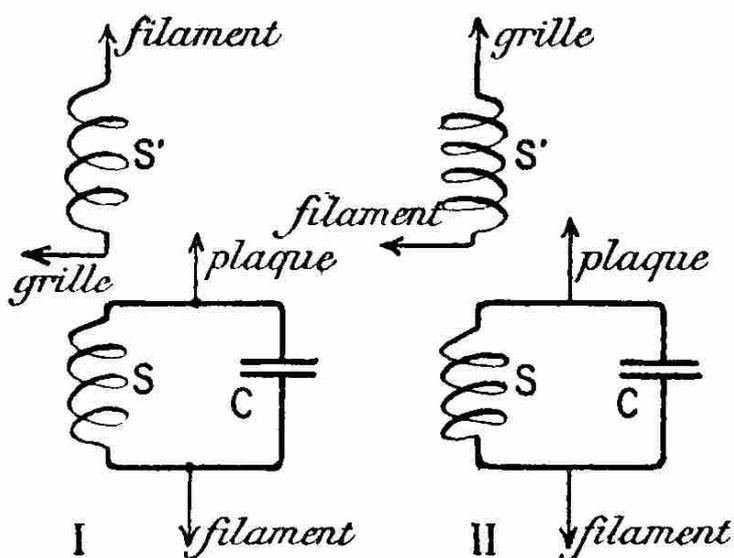


Fig. 77.

cependant s'établir, car les oscillations n'augmentent pas indéfiniment; l'amplitude des variations du potentiel de grille croît assez pour que celui-ci atteigne les valeurs qui, sur la caractéristique de plaque (fig. 70, p. 99), correspondent à la partie horizontale AB, ou au point supérieur C de la courbe. A partir de cet instant, une augmentation d'amplitude n'augmenterait plus l'amplitude de variation du courant de plaque, ni la force électromotrice qu'il produit le long du circuit oscillant; les oscillations cessent alors de croître et un régime stable s'établit.

On règle la valeur de la self de grille  $S'$  et du couplage

de  $S$  et  $S'$  de façon à obtenir la plus grande intensité possible dans le circuit oscillant. Si le circuit oscillant est un circuit à faible capacité et, par suite, pour une fréquence donnée, à self assez grande (§ 8), il se peut que la self  $S$  du circuit oscillant soit trop considérable : il y a alors avantage à n'en mettre qu'une partie  $S_1$  sur le circuit de plaque, l'autre,  $S_2$ , restant en dehors (fig. 78).

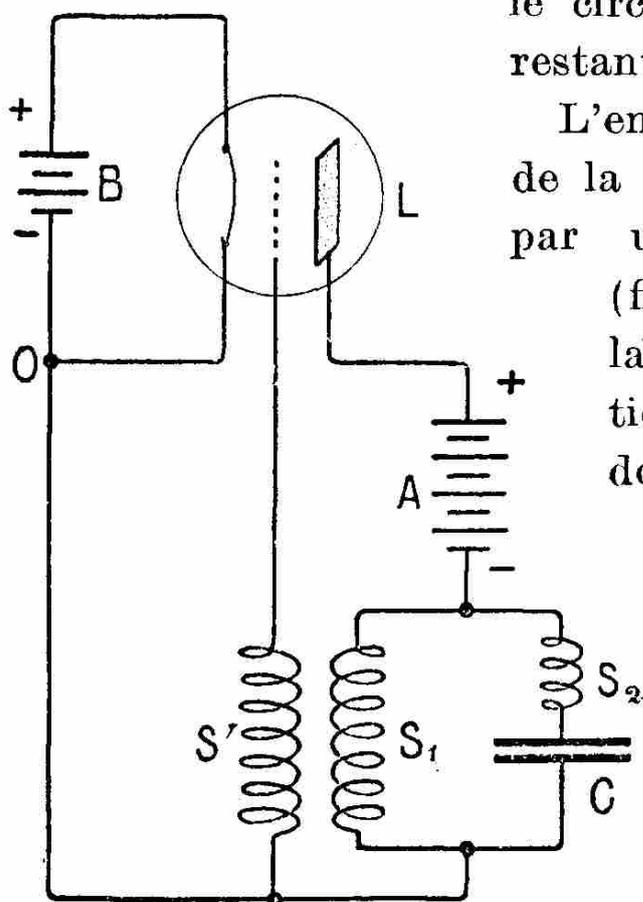


Fig. 78.

L'ensemble de la capacité  $C$  et de la self  $S_2$  peut être remplacé par une antenne équivalente (fig. 79) dans laquelle la lampe entretient des oscillations d'amplitude constante dont l'ampèremètre d'antenne  $E$  permet de mesurer l'intensité.

Il est bon, afin d'empêcher le courant dans le circuit de grille d'atteindre une trop grande intensité, d'intercaler sur celui-ci une grande résistance  $R$

formée par une bobine de fil fin en alliage résistant, en maillechort par exemple. En dérivation sur celle-ci, on dispose un condensateur  $D$  qui transmet directement à la grille les variations de potentiel à haute fréquence. Le poste de T. S. F. à ondes entretenues ainsi réalisé émet, non plus des séries rares de quelques ondes consécutives, mais des ondes ininterrompues d'amplitude constante.

Nous avons transmis à la grille des variations de potentiel par l'induction mutuelle de deux bobines  $S$  et  $S'$ ; tout autre procédé qui permet de faire dépendre le potentiel de la grille des oscillations de l'antenne permet l'entretien de celles-ci. A propos des postes à ondes entretenues, nous indiquerons plus loin quelques-unes de ces dispositions.

47. **Emploi de la lampe comme détecteur.** — La lampe, qui permet l'émission d'ondes entretenues, est aussi utilisée à la réception; elle sert, en effet, de détecteur et remplace avantageusement les détecteurs à cristaux décrits au § 29. On emploie la lampe comme détecteur de deux manières différentes :

1° Sur le circuit de grille, intercalons le circuit oscillant  $CS$  (fig. 80), couplé à l'antenne, d'un appareil de réception (§ 32). Sur le circuit de plaque, outre la pile  $A$ , disposons un téléphone  $T$ .

Afin de pouvoir régler exactement le potentiel de la grille, nous ajouterons sur le circuit de grille une

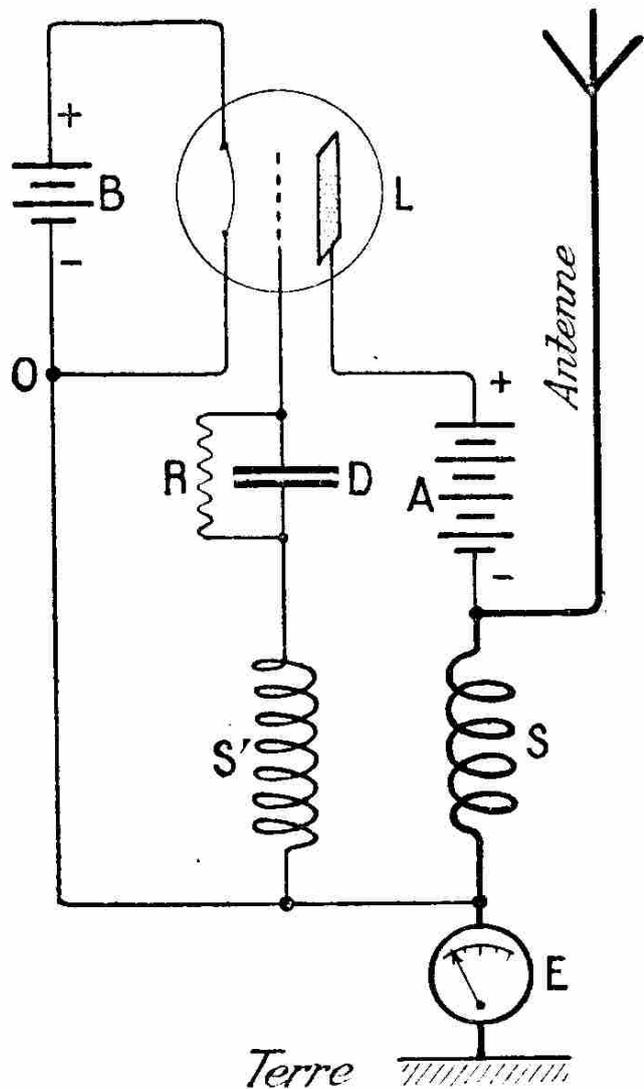


Fig. 79.

partie d'un fil résistant  $R$  dans lequel nous ferons passer

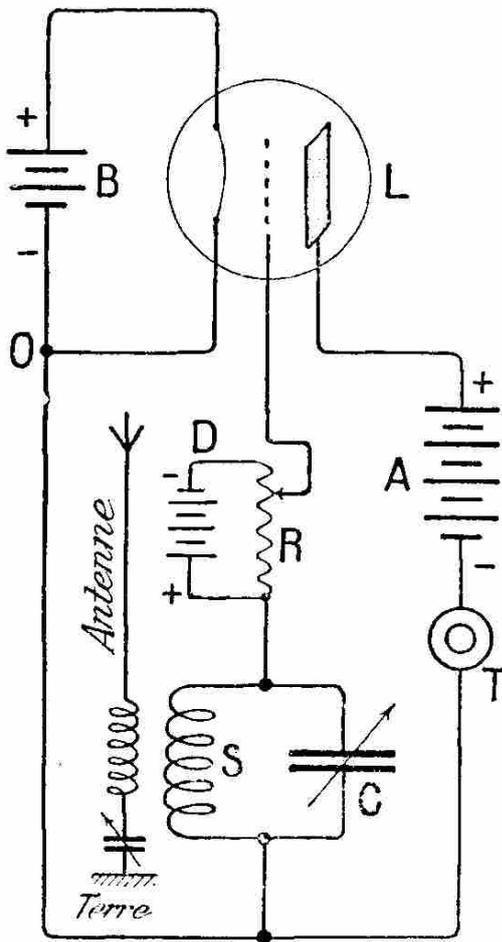


Fig. 80.

Lorsque des signaux reçus par l'antenne font osciller le circuit CS (fig. 80), le potentiel de la grille varie périodiquement entre  $OQ$  et  $OQ'$  (fig. 81). Le courant de plaque, qui avait la valeur constante  $PM$ , oscille maintenant entre les valeurs  $Q'R'$  et  $QR$ . On voit qu'à cause de la courbure de la caractéristique, l'une des alternances augmente

le courant d'une pile  $D$ . En intercalant sur le circuit de grille une longueur croissante du fil  $R$ , il nous devient possible de diminuer, d'une manière continue, la différence de potentiel entre la grille et le filament, depuis zéro jusqu'à la force électromotrice de la pile  $D$ .

Imaginons que nous ayons ainsi baissé le potentiel de grille à la valeur  $OP$  (fig. 81) qui correspond à un point de grande courbure  $M$  de la caractéristique de plaque (§ 41).

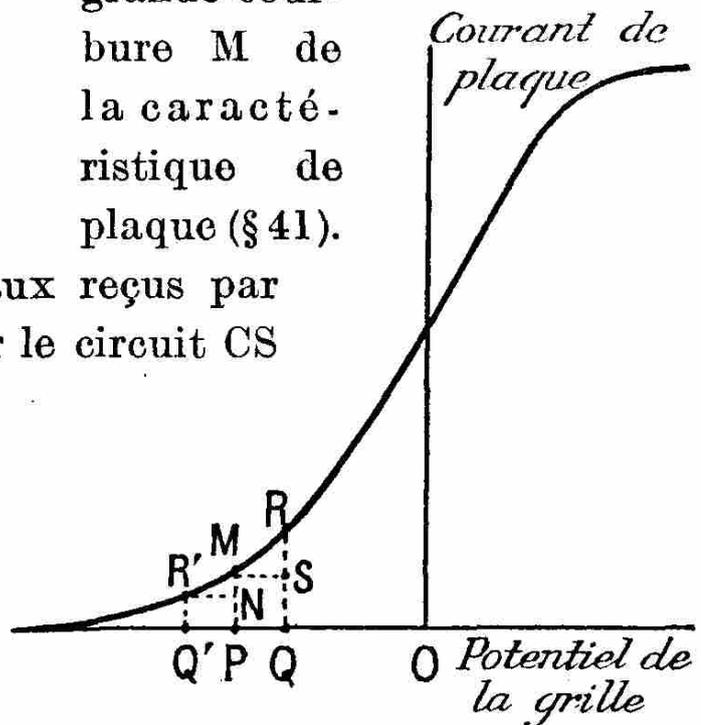


Fig. 81.

l'intensité de la quantité représentée par  $RS$ , tandis que l'autre ne la diminue que de  $MN$ .

Il en résulte que l'intensité moyenne du courant dans le circuit de plaque et dans le téléphone  $T$  est augmentée par l'arrivée des signaux. C'est, comme nous l'avons vu, la condition à réaliser pour les faire agir sur le récepteur téléphonique (§ 29).

Le procédé de détection, qui vient d'être décrit, exige un réglage du potentiel de grille; on le fait très facilement en modifiant la longueur du fil résistant  $R$  jusqu'à ce que les signaux soient reçus dans les meilleures conditions.

2° Un second mode d'emploi de la lampe comme détecteur ne nécessite pas ce réglage et donne des résultats tout aussi avantageux. Au lieu de profiter, pour la détection, de la courbure de la caractéristique de plaque, on utilise la courbure de la caractéristique de grille (§ 44, fig. 70). On intercale encore, d'une part, le circuit oscillant  $CS$  (fig. 82) sur le circuit de la grille, d'autre part, le téléphone  $T$  sur le circuit de la plaque. On relie ces deux circuits à un point commun  $O$  qui est, non plus le pôle négatif de la batterie d'accumulateurs  $B$  de chauffage du filament comme nous l'avons

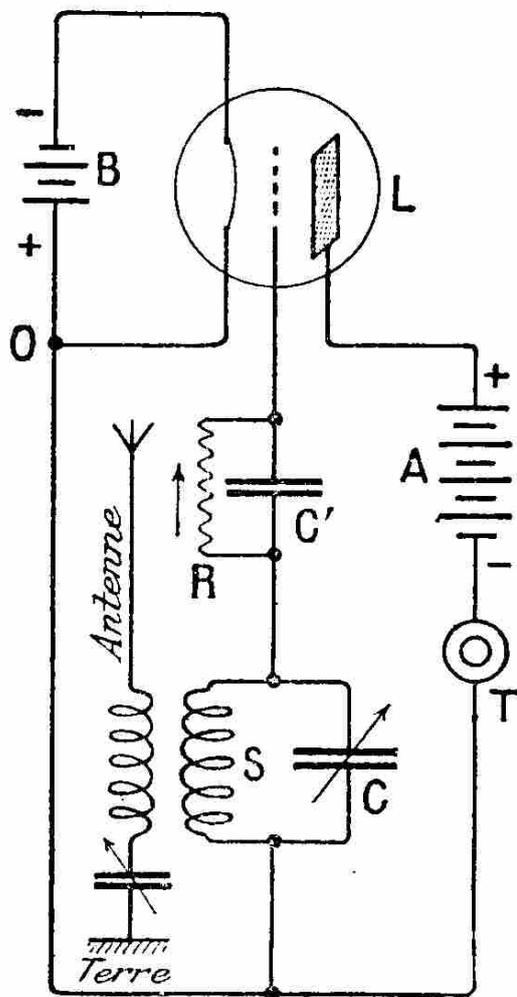


Fig. 82.

fait jusqu'ici, mais le pôle positif. Ce changement reviendrait à élever le potentiel de la grille d'une quantité égale à la force électromotrice de la batterie B et ce potentiel serait représenté, sur la figure 83, par la longueur  $OO'$ , si, sur le circuit de grille de la lampe, on n'avait ajouté une très grande résistance R (4 mégohms environ). Cette résistance est constituée par un morceau de verre recouvert d'un dépôt métallique très mince ou, plus simplement, par une bande de papier peinte à l'encre de Chine. Elle offre au passage du courant de grille une résistance beaucoup plus considérable que celle de l'espace compris entre la grille et le filament. Le passage de ce courant à travers la résistance provoque une baisse du potentiel dans le sens qui va du circuit oscillant vers la grille et ramène le potentiel de celle-ci jusqu'à la valeur OP. L'intensité très faible du courant de grille est alors PM; celle du courant de plaque, PN.

Supposons maintenant que des signaux reçus par l'antenne fassent osciller le circuit de réception CS (fig. 82). On transmet les oscillations à la grille par un condensateur  $C'$  de très faible capacité (4/100 000 de microfarad) de sorte que le point P du diagramme (fig. 83) oscille. Il en résulte des variations périodiques de l'intensité du courant dans le circuit de grille. A cause de la courbure de la caractéristique de grille, et pour les raisons déjà expliquées à la page 108, l'intensité moyenne du courant de grille est augmentée. La chute de potentiel le long de la résistance R devient de ce fait plus considérable, de sorte que le point P vient en  $P_1$  et que les oscillations du courant de plaque, au lieu de se faire autour de la valeur moyenne PN,

se font autour d'une valeur moyenne plus petite  $P_1N'$ .

L'arrivée de signaux fait donc baisser la valeur moyenne du courant dans le circuit de plaque et dans le téléphone; il y a détection.

L'emploi de la lampe exige l'entretien des piles ou des accumulateurs de chauffage du filament et

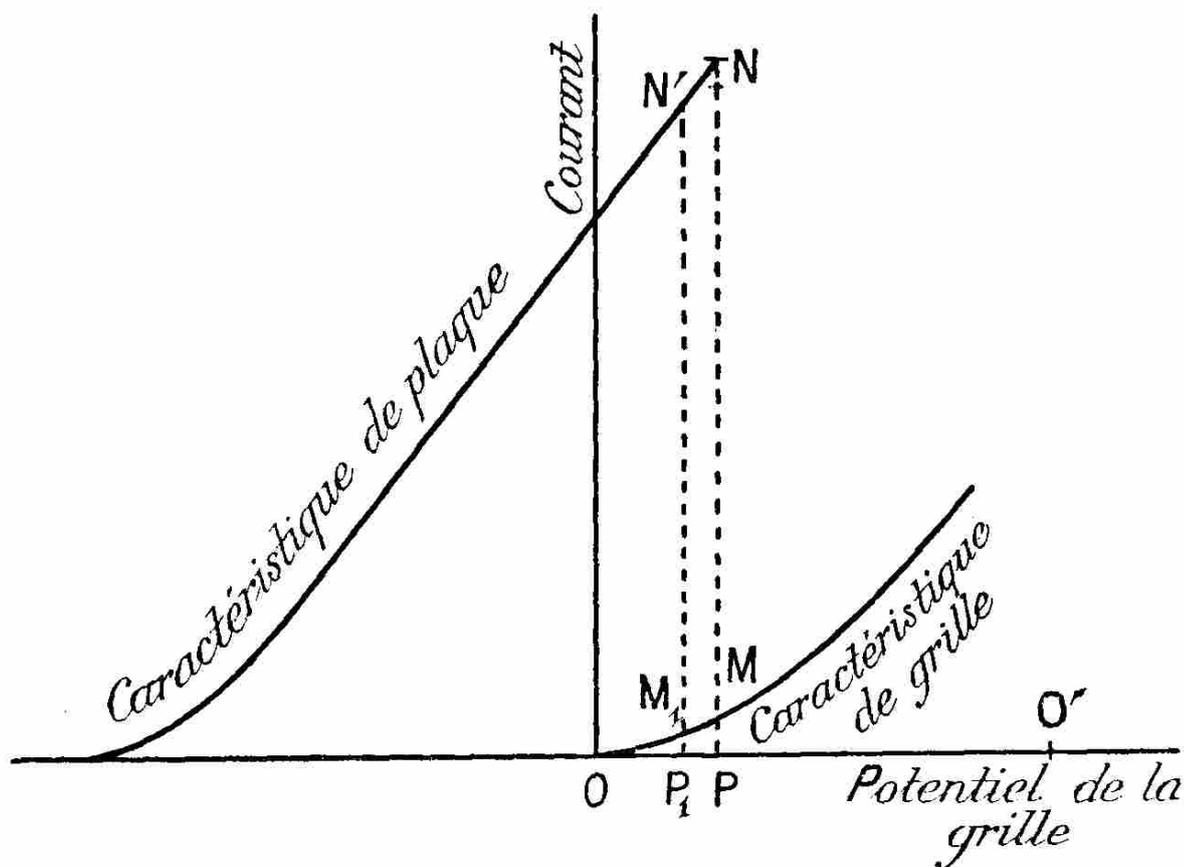


Fig. 83.

de charge de la plaque, mais c'est un détecteur excellent.

Les parasites atmosphériques violents, qui diminuent la sensibilité d'une galène et obligent à la régler à nouveau, sont sans effet durable sur la lampe-détecteur.

De plus, et c'est là le principal avantage de la lampe, le courant qui passe entre la grille et le filament est nul ou très petit, beaucoup plus faible que celui qui traverse une galène lors de l'arrivée des signaux. L'amor-

tissement du circuit oscillant est de ce fait beaucoup plus faible et la syntonie meilleure (§ 33).

On conçoit que l'amortissement soit en effet beaucoup plus petit, si on remarque que, lors de la détection par une galène, l'énergie nécessaire au fonctionnement du téléphone est empruntée à l'antenne, tandis que, lors de la détection par une lampe, les signaux ne font qu'agir sur le potentiel de la grille, ce qui nécessite extrêmement peu d'énergie; c'est la pile A qui fournit toute celle qui est nécessaire au récepteur téléphonique. C'est ainsi de la propriété de la lampe à grille d'être un relais, que dérive la supériorité du détecteur à lampe.

#### 48. Emploi de la lampe comme relais-amplificateur. Amplificateur pour les fréquences acoustiques.

— La lampe a encore un autre rôle très important, tant en radiotélégraphie que dans la téléphonie avec ou sans fil. Elle sert de relais et en amplifiant les courants téléphoniques, elle rend très perceptibles des signaux radiotélégraphiques ou des conversations téléphoniques tellement faibles qu'il serait impossible de les percevoir directement.

L'amplificateur à lampes, en augmentant beaucoup la sensibilité des récepteurs, a permis d'accroître considérablement la portée des transmissions radiotélégraphiques.

Soient X et X' (fig. 84) les deux fils qui, d'un récepteur radiotélégraphique ordinaire, dont le détecteur est une galène ou une lampe, iraient vers le téléphone. Remplaçons celui-ci par l'enroulement primaire 1 d'un petit transformateur T. Ce transformateur est

analogue à ceux dont nous avons déjà parlé (§ 6), mais, comme les puissances en jeu sont ici très faibles, on utilise des enroulements en fil très fin et très long sur des noyaux de fer de petit volume.

Intercalons l'enroulement secondaire 2 entre la grille d'une lampe L et le pôle négatif de la batterie d'accumulateurs B. Si nous nous reportons à la caractéristique de plaque (fig. 85), le courant dans le circuit de plaque et dans le téléphone T intercalé sur ce circuit est

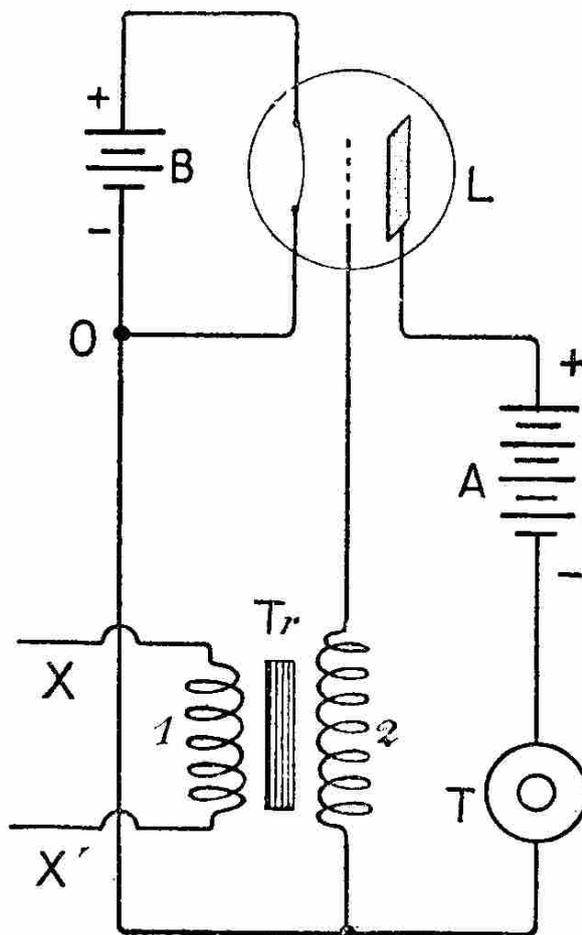


Fig. 84.

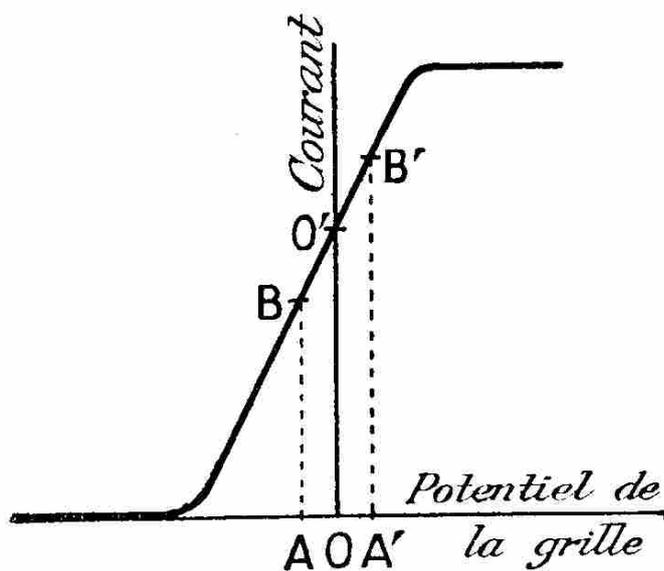


Fig. 85.

représenté par  $OO'$ .

Lorsque des courants téléphoniques, à fréquence acoustique, arrivent par les fils  $XX'$  (fig. 84), ils induisent une force électromotrice dans le secondaire du transformateur et font

osciller la différence de potentiel entre la grille et le filament de  $OA$  à  $OA'$  (fig. 85). Il en résulte des

variations d'intensité du courant entre AB et A'B', qui font vibrer la membrane du téléphone.

Comme la caractéristique de plaque est très inclinée, la différence entre AB et A'B' est de beaucoup supérieure à l'amplitude des courants qui sont amenés par les fils X et X' (fig. 84).

La caractéristique étant rectiligne dans la région où on l'emploie, il y a amplification sans déformation des courants.

L'amplificateur n'ayant, ni organe mécanique, ni frottements, est très fidèle et peut suivre les plus hautes fréquences.

C'est un relais très sensible, car, pour faire varier le courant de la pile de plaque A, il suffit que la ligne apporte la très faible quantité d'énergie qui suffit à changer le potentiel de la grille et à entretenir le très faible courant entre celle-ci et le filament.

Si l'amplification par une seule lampe est insuffisante, on met, à la place du téléphone, le primaire d'un second transformateur; on relie son secondaire à la grille d'une seconde lampe et on écoute dans un téléphone intercalé sur le circuit de plaque de cette lampe.

On peut ainsi faire des amplificateurs à plusieurs étages. La figure 86 représente un amplificateur à 3 étages, dont toutes les lampes ont leurs filaments chauffés par la même batterie B et toutes leurs plaques chargées par la même pile A.

Si une lampe amplifie 10 fois, l'amplification après la seconde lampe est égale à 100; après la troisième, elle est égale à 1 000.

Lorsque le téléphone est directement sur le circuit de plaque, il y passe un courant constant, même en

l'absence de tout courant variable amplifié. Ce courant peut, à la longue, modifier l'aimantation du téléphone et détériorer celui-ci; aussi est-il bon de le mettre sur le secondaire d'un transformateur dont le primaire est sur le circuit de plaque. Dans le téléphone ne passe plus de

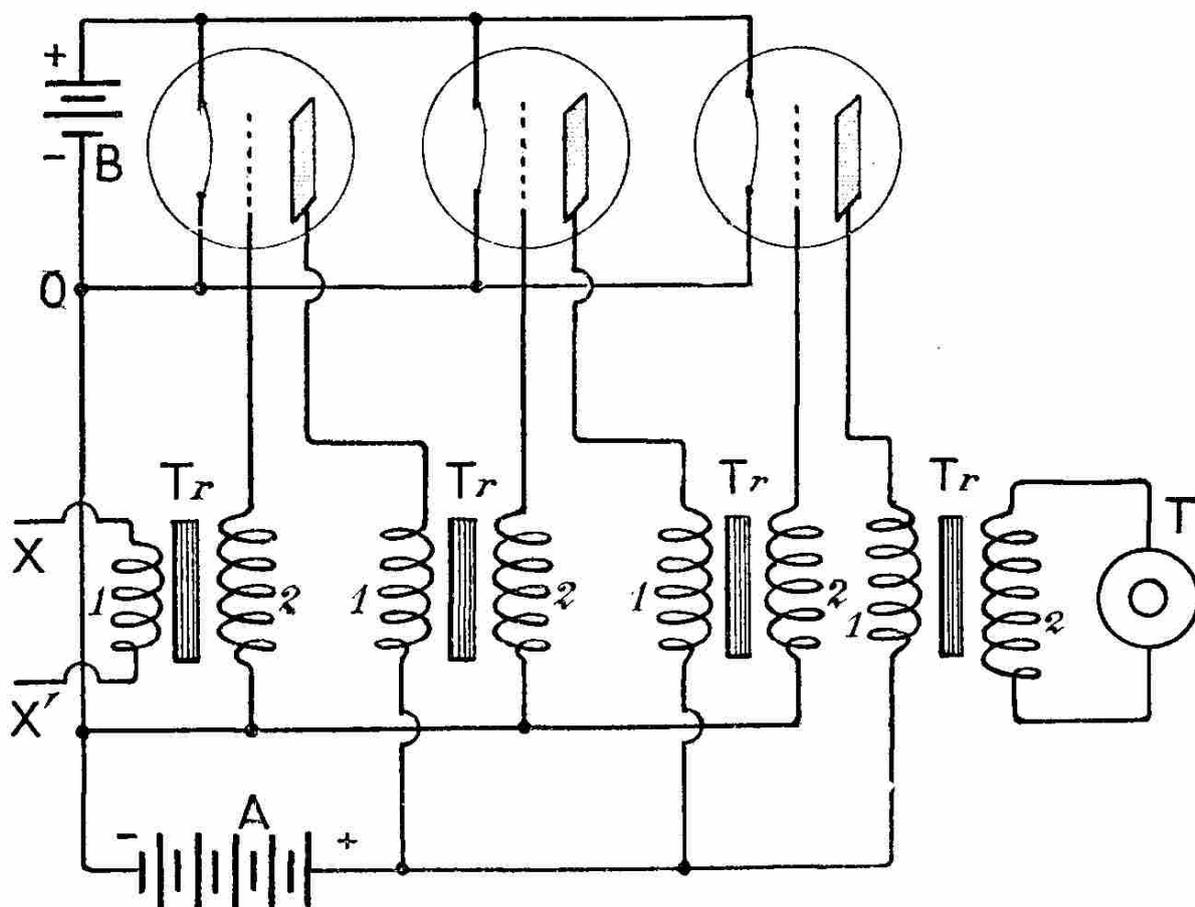


Fig. 86.

courant constant, mais seulement les courants alternatifs induits par les variations du courant de plaque.

#### 49. Couplage entre les circuits d'entrée et de sortie d'un relais amplificateur. Amorçage d'oscillations.

— Soient deux fils AB, A'B' (fig. 87) qui sont les extrémités d'une ligne téléphonique ou qui viennent, après détection, d'un récepteur radiotélégraphique. Les courants alternatifs qui arrivent par ces fils étant trop

faibles, nous installons un relais amplificateur R, dont P est la pile locale, ce sera pour le relais à lampes la pile des circuits de plaque. Nous retrouvons dans des fils CD, C'D' à la sortie de l'amplificateur des courants plus intenses qui pourront agir sur un récepteur téléphonique.

Supposons que nous fassions réagir le circuit de

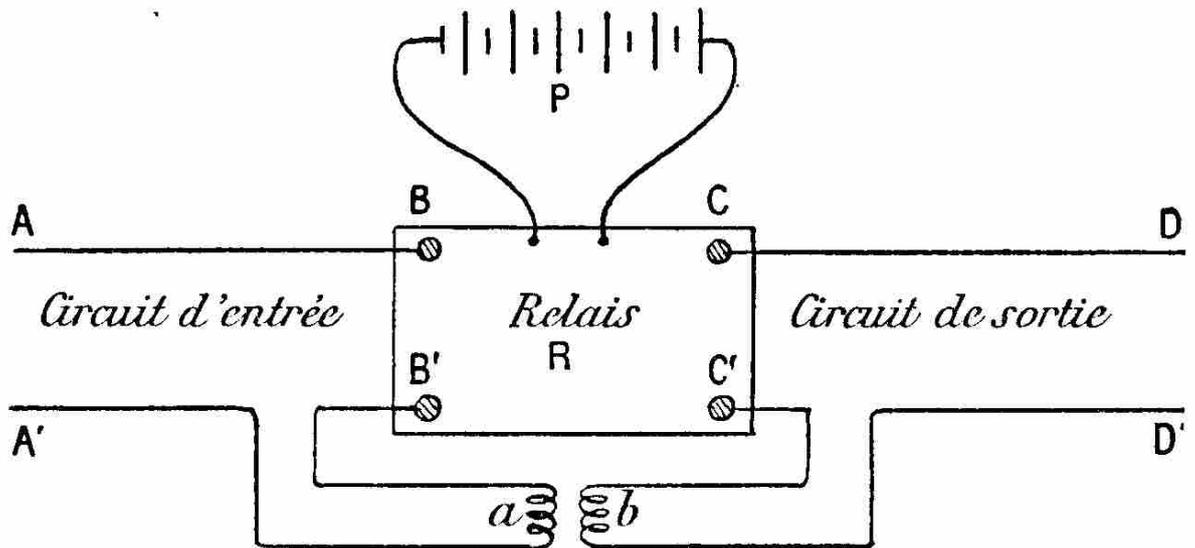


Fig. 87.

sortie du relais sur le circuit d'entrée. Imaginons par exemple, que nous ayons disposé sur le circuit d'entrée une bobine, *a* et une autre *b* sur le circuit de sortie, puis couplons ces bobines de façon que des courants variables dans l'une induisent des courants dans l'autre.

Cette réaction entre les circuits de sortie et d'entrée modifie beaucoup les conditions de fonctionnement de l'amplificateur; son amplification est augmentée ou diminuée dans de très larges proportions, si le couplage entre les bobines *a* et *b* est faible. Des oscillations s'amorcent dans l'amplificateur, si la réaction devient trop grande; le relais lui-même devient alors un oscil- lateur qui envoie des courants dans le téléphone et

celui-ci fait entendre un son continu intense qui rend l'appareil inutilisable.

Nous pouvons nous rendre compte des raisons de ces phénomènes. En l'absence de toute réaction, nous disposons entre les bornes d'entrée B et B' du relais, d'une petite différence de potentiel alternative, nous en retrouvons une plus grande entre les bornes de sortie C et C' et nous pouvons appeler *amplification en volts du relais* le rapport de cette dernière à la différence de potentiel à l'entrée.

Par l'intermédiaire de la réaction entre la sortie et l'entrée, une force électromotrice alternative est induite, par le circuit de sortie, dans le circuit d'entrée, elle provoque entre les bornes d'entrée une nouvelle différence de potentiel qui se superpose à la première puis se retrouve amplifiée à la sortie, elle s'y superpose aussi à la tension primitive. Une fraction de cette nouvelle différence de potentiel est encore renvoyée à l'entrée, se retrouve encore amplifiée à la sortie et ainsi de suite.

Si toutes ces différences de potentiel alternatives, qui se superposent à la sortie, ont la même phase, c'est-à-dire sont à chaque instant de même sens, elles s'ajoutent et l'amplification est beaucoup augmentée.

Si, au contraire, elles ont successivement des phases inverses, la seconde se retranche de la première, la troisième, qui est plus petite, s'ajoute et ainsi de suite. L'amplification est diminuée.

Lorsque le couplage n'est pas grand entre l'entrée et la sortie, les différences de potentiel qui s'ajoutent décroissent constamment et finissent par devenir très petites, leur somme a une limite finie.

Si la réaction est grande, les différences de potentiel, qui se superposent, augmentent constamment, aucun régime stable ne peut s'établir et des oscillations s'amorcent dans l'amplificateur.

Une réaction entre l'entrée et la sortie est donc favorable, si elle est assez faible et a le sens qui augmente l'amplification; elle devient nuisible si elle est assez grande pour que des oscillations s'amorcent. L'amplificateur à fréquence acoustique envoie alors lui-même dans le récepteur téléphonique des courants qui font rendre à celui-ci un son continu très fort.

La réaction du circuit d'entrée sur celui de sortie pour laquelle les oscillations s'amorcent est d'autant plus faible que l'amplification est plus grande. Or, il y a toujours des réactions parasites entre les circuits et un amplificateur à plusieurs étages, elles provoquent souvent des amorçages et empêchent l'usage de l'appareil. On arrive quelquefois à les éviter en déplaçant les fils de connexion, en éloignant l'un de l'autre les transformateurs; cependant si on multiplie trop les étages, il devient impossible d'empêcher les oscillations et ce sont elles qui limitent l'amplification que l'on peut pratiquement atteindre. Il est difficile d'utiliser pour l'amplificateur basse fréquence plus de trois étages.

Il faut remarquer que la condition d'amorçage des oscillations dépend non seulement de l'amplificateur, mais aussi des circuits sur lesquels il est monté, de sorte que tel amplificateur très sensible, qui fonctionne cependant bien sur certains circuits, pourra devenir inutilisable sur d'autres si on ne le modifie.

50. **Amplificateurs à haute fréquence.** — En radiotélégraphie, l'amplification peut être poussée plus loin que ne le permettent les seuls amplificateurs à fréquence acoustique.

Ceux-ci amplifient le courant détecté, mais il est possible aussi d'amplifier, avant de le détecter, le courant de haute fréquence reçu par l'antenne. Dans ce but on utilise des appareils où interviennent les phénomènes de résonance.

Sur le circuit de grille d'une lampe (fig. 88), intercalons le circuit oscillant secondaire  $C_1 S_1$  d'un récepteur et disposons sur le circuit de plaque un second circuit oscillant  $C_2 S_2$ . Accordons ces deux circuits sur les oscillations reçues par l'antenne.

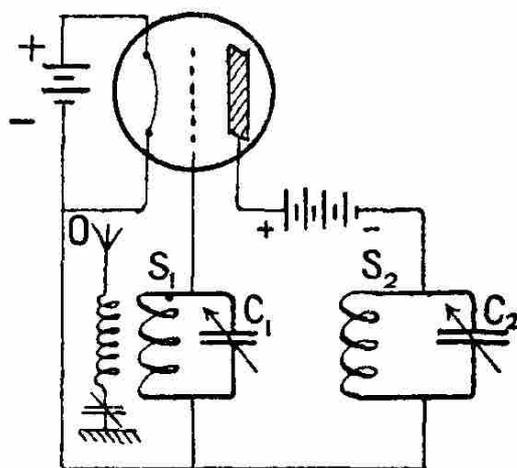


Fig. 88.

Les oscillations du premier circuit  $C_1 S_1$  font varier, à haute fréquence, le potentiel de la grille, il en résulte des variations d'intensité du courant de plaque. La force électromotrice qu'elles produisent dans le second circuit  $C_2 S_2$  le fait osciller avec une amplitude plus grande que celle du premier.

On détecte ces oscillations, puis on amplifie à basse fréquence le courant détecté.

On peut augmenter le nombre des étages d'amplification en couplant une bobine disposée sur le circuit de plaque d'une première lampe, à un circuit oscillant intercalé sur le circuit de grille d'une seconde lampe. La figure 89 représente un amplificateur pour haute

fréquence à deux étages; la troisième lampe sert à détecter les oscillations du circuit oscillant 3.  $C'$  et  $R$  sont le condensateur et la résistance que nous avons indiqué (fig. 82 p. 109) devoir être placés sur le circuit de grille pour faire détecter la lampe.

A la sortie de cet amplificateur entre les bornes

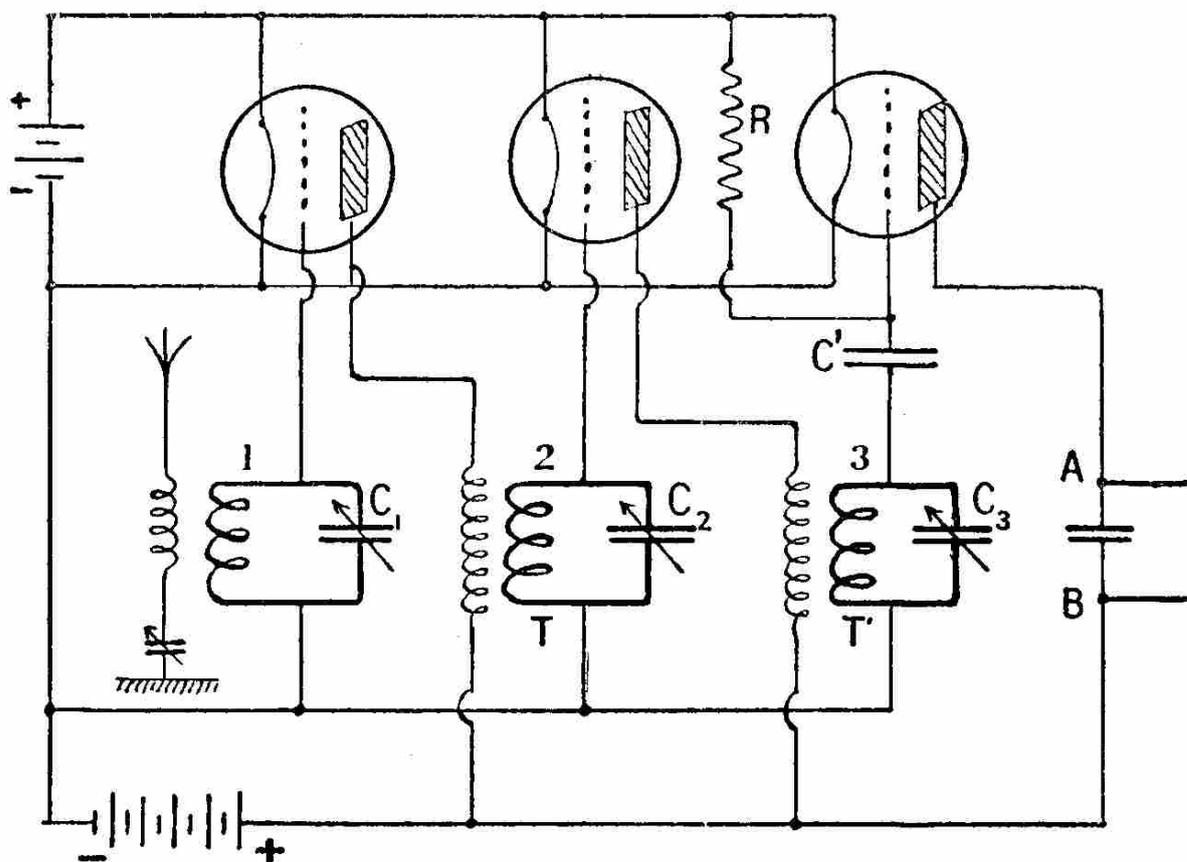


Fig. 89.

A et B, on peut, soit mettre directement le téléphone, avec un condensateur (1 à 2/1000 de microfarad) qui écoule les variations à haute fréquence (voir p. 71), soit un amplificateur à basse fréquence.

Pour obtenir une bonne amplification, il est indispensable d'accorder très exactement tous les circuits oscillants; les résonances successives permettent une très bonne sélection des signaux des différents postes.

Dans les postes qui reçoivent toujours le même correspondant, sur une longueur d'onde invariable, cet appareil donne de très bons résultats. Il est peu commode dans les postes qui sont obligés de rechercher des correspondants variés à cause du réglage de tous les circuits oscillants.

On a modifié cet amplificateur de façon à en faire un appareil à résonance atténuée qui reçoit à peu près également bien les postes dans une étendue de longueur d'ondes assez grande, sans qu'il soit nécessaire de toucher aux condensateurs. Les bobines sont constituées par du fil très fin et portent un grand nombre de spires, leur très grande résistance produit un amortissement important et la résonance devient peu aiguë. Si les bobines sont assez longues pour que leur période propre d'oscillation atteigne la période moyenne des oscillations à recevoir, les condensateurs deviennent inutiles, les couples de bobines T et T' constituent alors des transformateurs à haute fréquence, et le montage devient semblable à celui de l'amplificateur à basse fréquence de la figure 86. Ces appareils amplifient moins que ceux pour lesquels la résonance est très aiguë, mais ils peuvent, sans réglage, recevoir les signaux dans un intervalle de longueurs d'ondes d'autant plus grand qu'ils sont plus amortis.

Une faible réaction entre les circuits de sortie et d'entrée augmente beaucoup l'amplification, il suffit pour l'obtenir d'un très petit couplage entre les circuits oscillants 1 et 3.

Souvent ce couplage se trouve déjà trop grand, sans avoir été recherché, et provoque des amorçages d'oscillations. Il faut alors modifier les positions et les orien-

tations relatives des divers transformateurs pour diminuer leurs réactions mutuelles.

**51. Amplificateurs à résistances.** — MM. Brillouin et Beauvais ont imaginé et étudié un autre genre d'amplificateur qui sert soit pour les basses, soit pour les hautes fréquences et qui, dans ce dernier cas, fonctionne en même temps en détecteur.

La figure 90 montre le dispositif de ce genre d'amplificateur.

Le circuit de plaque d'une première lampe  $L_1$  est couplé au circuit de grille de la lampe suivante  $L_2$  par une résistance  $R$  et un condensateur  $C$ .

On fait agir sur le circuit de grille de la première lampe, entre les bornes  $P$  et  $P'$ , la tension alternative à amplifier.

S'il s'agit de basse fréquence,  $P$  et  $P'$  sont réunies, comme dans le cas de l'amplificateur à transformateurs, aux deux extrémités de l'enroulement secondaire d'un transformateur dont le primaire est intercalé sur le circuit parcouru par les courants téléphoniques que l'on se propose d'amplifier.

S'il s'agit, au contraire, de haute fréquence, le circuit oscillant de réception, est intercalé entre les bornes  $P$  et  $P'$  dans le circuit de grille de la lampe  $L_1$ .

Les oscillations à amplifier font varier périodiquement le potentiel de cette grille; il en résulte des variations d'intensité du courant dans le circuit de plaque et la résistance  $R$ . Cette résistance  $R$  est choisie beaucoup plus grande que la résistance apparente de l'intervalle compris dans la lampe entre le filament et la plaque, de sorte que la différence de potentiel entre

ses extrémités  $a$  et  $b$  suit, avec amplification, les variations du potentiel de la grille. Par un condensateur  $C$ , on transmet les variations de potentiel du point  $a$  à la grille d'une seconde lampe  $L_2$ .

Cette grille ne peut rester isolée; on fixe donc son potentiel moyen à une valeur très voisine de celui

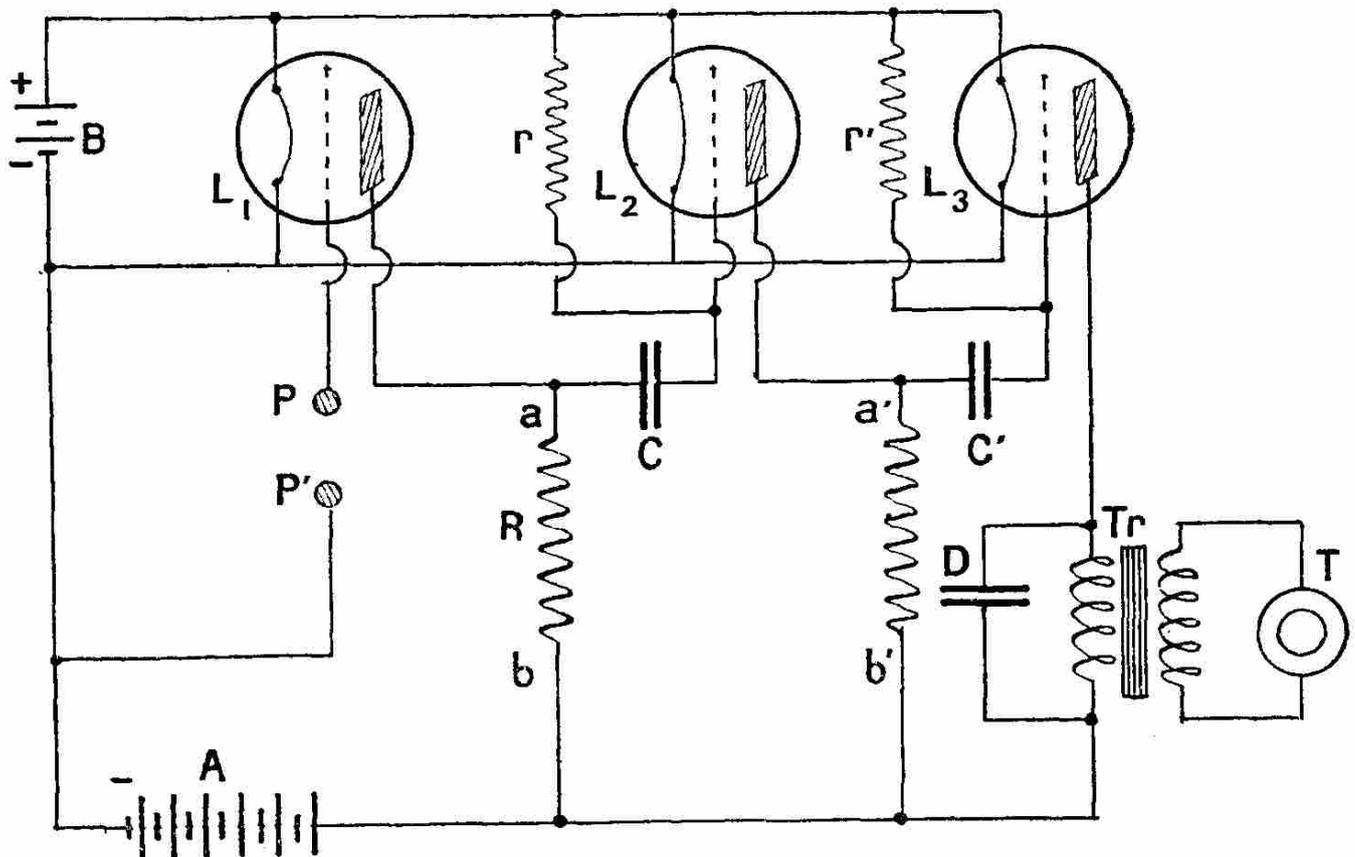


Fig. 90.

du pôle négatif de la batterie de chauffage  $B$ , en réunissant la grille au pôle positif par une très grande résistance  $r$ . Nous avons déjà signalé ce procédé à propos du détecteur (p. 110).

Pour augmenter encore l'amplification, on couple à la lampe  $L_2$  une troisième lampe  $L_3$  par une résistance  $a'b'$  et un autre condensateur  $C'$ .

La dernière lampe, qui se trouve être montée comme un détecteur, détecte les oscillations de haute fréquence

amplifiées. Le téléphone T est disposé, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un transformateur  $Tr$ , sur le circuit de plaque de la dernière lampe.

Un condensateur D en dérivation sur l'enroulement primaire, ou sur le téléphone si celui-ci est directement en circuit, laisse passer les variations à haute fréquence.

Les résistances R et  $r$  sont constituées, soit par du verre recouvert d'un très mince dépôt métallique, soit par du papier enduit d'encre de Chine, soit encore par du papier ou de l'ébonite recouvert de graphite avec un crayon. On règle les résistances R à une valeur voisine de 80 000 ohms, les résistances  $r$  à une valeur voisine de 4 mégohms.

Quant aux condensateurs de couplage C et C', ils doivent avoir une capacité suffisante pour transmettre à peu près intégralement à la grille de la lampe les variations de potentiel. Pour les hautes fréquences radiotélégraphiques, une capacité de quelques cent millièmes de microfarad suffit.

Il y a intérêt à ne pas détecter les oscillations par les premières lampes, car le courant détecté à basse fréquence ne serait plus amplifié. On arrive à ce que la dernière lampe détecte seule en utilisant pour le couplage à la grille de la dernière lampe une capacité plus faible que celle des condensateurs de couplage des lampes précédentes.

Lorsqu'on se sert de capacités de couplage (0,01 à 0,02 microfarad) plus grandes, on réalise des amplificateurs pour les fréquences acoustiques.

Avec de très grandes capacités (plusieurs microfarads), on arrive à amplifier des fréquences très faibles, une oscillation par seconde, par exemple. Les

amplificateurs à transformateurs ne pourraient servir pour d'aussi faibles fréquences, car les dimensions des transformateurs seraient excessives.

**52. Amplificateur à courant continu pour l'inscription des signaux Morse.** — L'amplificateur à résistances se prête à la réalisation d'un relais sensible qui permet l'inscription des signaux Morse. Nous étudierons dans le chapitre suivant la télégraphie par ondes entretenues pour lesquelles l'antenne d'émission durant la fermeture du manipulateur envoie, non plus comme dans les postes à étincelles une série discontinue de trains d'ondes (voir fig. 23), mais des oscillations d'amplitude constante ininterrompues.

A la réception, le courant moyen détecté reste donc constant pendant toute la durée du signal, de sorte qu'après détection l'arrivée des signaux se traduit, comme dans la télégraphie Morse le long des lignes, par des séries d'émission longues ou brèves d'un courant. En radiotélégraphie ces courants sont trop peu intenses pour agir directement sur un appareil télégraphique à électro-aimant; l'amplificateur à courant continu permet de les reproduire fidèlement avec une intensité plus grande.

Au lieu d'amener les courants détectés directement à un téléphone, comme on le fait pour l'écoute à l'oreille, on les fait passer dans une résistance AB (fig. 91), réglée de façon à obtenir entre A et B la plus grande chute de tension possible lors du passage du courant.

Lors d'un signal, le potentiel de la grille de la lampe  $L_1$  monte; il en résulte que le courant de plaque augmente. Celui-ci passe dans une résistance égale à 70 000 ohms

environ; lors de son augmentation d'intensité, la chute de tension le long de la résistance augmente aussi et le potentiel du point M baisse ainsi que celui de la grille de la lampe  $L_2$  qui lui est reliée par l'intermédiaire d'une batterie de piles P. On choisit la force électromotrice de celle-ci à la valeur qui ramène le potentiel normal de

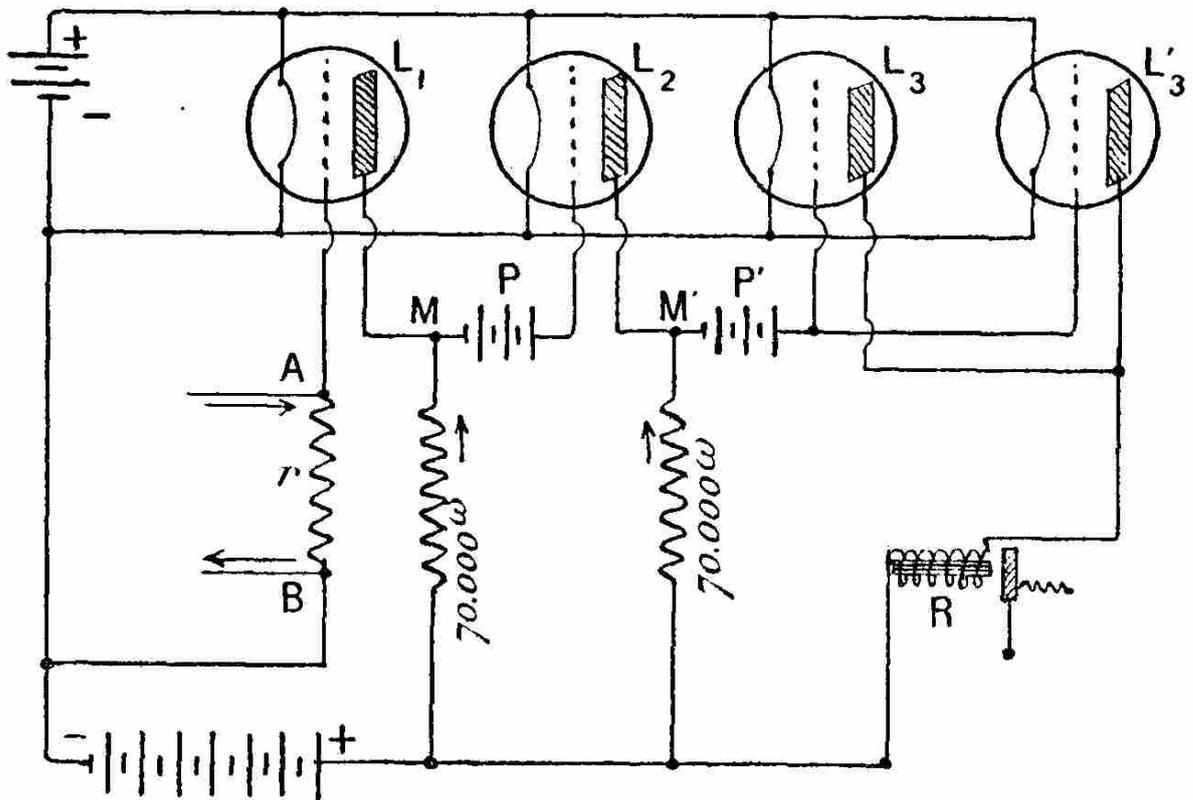


Fig. 91.

grille à correspondre à un point de fonctionnement dans la partie rectiligne de sa caractéristique de plaque.

Lorsque baisse le potentiel de grille de la seconde lampe, le courant de plaque de celle-ci diminue, il passe dans une résistance égale à 70 000 ohms, le long de laquelle la chute de tension dans le sens du courant diminue aussi. Il en résulte une augmentation du potentiel du point M' et de la grille de la lampe  $L_3$ , qui est reliée à ce point par une batterie de piles P'. A cette augmentation correspond une augmentation du courant

de plaque que l'on fait passer dans l'électro-aimant R de l'appareil télégraphique ou dans le relais électromagnétique qui le commande.

Pour se débarrasser du courant constant, qui y passerait même en l'absence de signaux, il suffit de choisir la force électromotrice de la pile P' de façon à baisser le potentiel normal de grille à une valeur qui annule presque complètement le courant de plaque.

Pour obtenir de plus grandes intensités de courant dans le relais, on peut, si cela est nécessaire, monter en parallèle avec la lampe  $L_3$  une autre lampe  $L'_3$  comme l'indique la figure 91.

On fait précéder cet amplificateur, avant détection, par un amplificateur à haute fréquence, de l'un des modèles que nous avons décrits.

Par ce procédé, on fait aujourd'hui commander par des signaux radiotélégraphiques les appareils inscripteurs à transmission automatique rapide. On peut transmettre, à la minute, un nombre de mots si grand que la lecture des signaux à l'oreille devient impossible. On commande aussi les appareils qui, comme les télégraphes Hughes, impriment les signaux. MM. Abraham et Planiol ont même employé en radiotélégraphie les appareils Baudot qui impriment, en les séparant, 4 ou 6 télégrammes transmis simultanément.

La radiotélégraphie est ainsi devenue apte à assurer, dans des conditions souvent plus favorables que les câbles sous-marins, un service commercial rapide.

## CHAPITRE IV

### TÉLÉGRAPHIE SANS FIL PAR ONDES ENTRETENUES

---

**53. Postes radiotélégraphiques à lampes.** — Nous avons montré (§ 46) que la lampe-valve permettait d'entretenir dans une antenne (fig. 79) des oscillations ininterrompues d'amplitude constante. Ces oscillations servent, comme les trains d'oscillations amortis et discontinus de l'étincelle, aux transmissions radiotélégraphiques.

La figure 79 représente un poste à lampe.

Afin de pouvoir exactement choisir le couplage le plus favorable entre les bobines S et S', on se réserve le moyen de faire tourner cette dernière par rapport à S (fig. 92). On choisit aussi le nombre de spires de la bobine S pour lequel l'ampèremètre d'antenne indique la plus grande intensité de courant oscillant.

Pour augmenter la puissance, on peut monter plusieurs lampes en parallèle. On réunit, à cet effet, toutes les plaques, toutes les grilles et tous les filaments.

Pour faire les émissions courtes et longues des signaux Morse, on coupe le courant de plaque avec un manipulateur M.

Aucun des pôles de la pile A sur la figure 79 n'est relié directement au sol; il est alors nécessaire d'isoler celle-ci soigneusement. Cependant, même si cet isolement est soigné, la capacité de cette batterie par rapport au sol reste gênante, car elle dérive les oscillations à haute

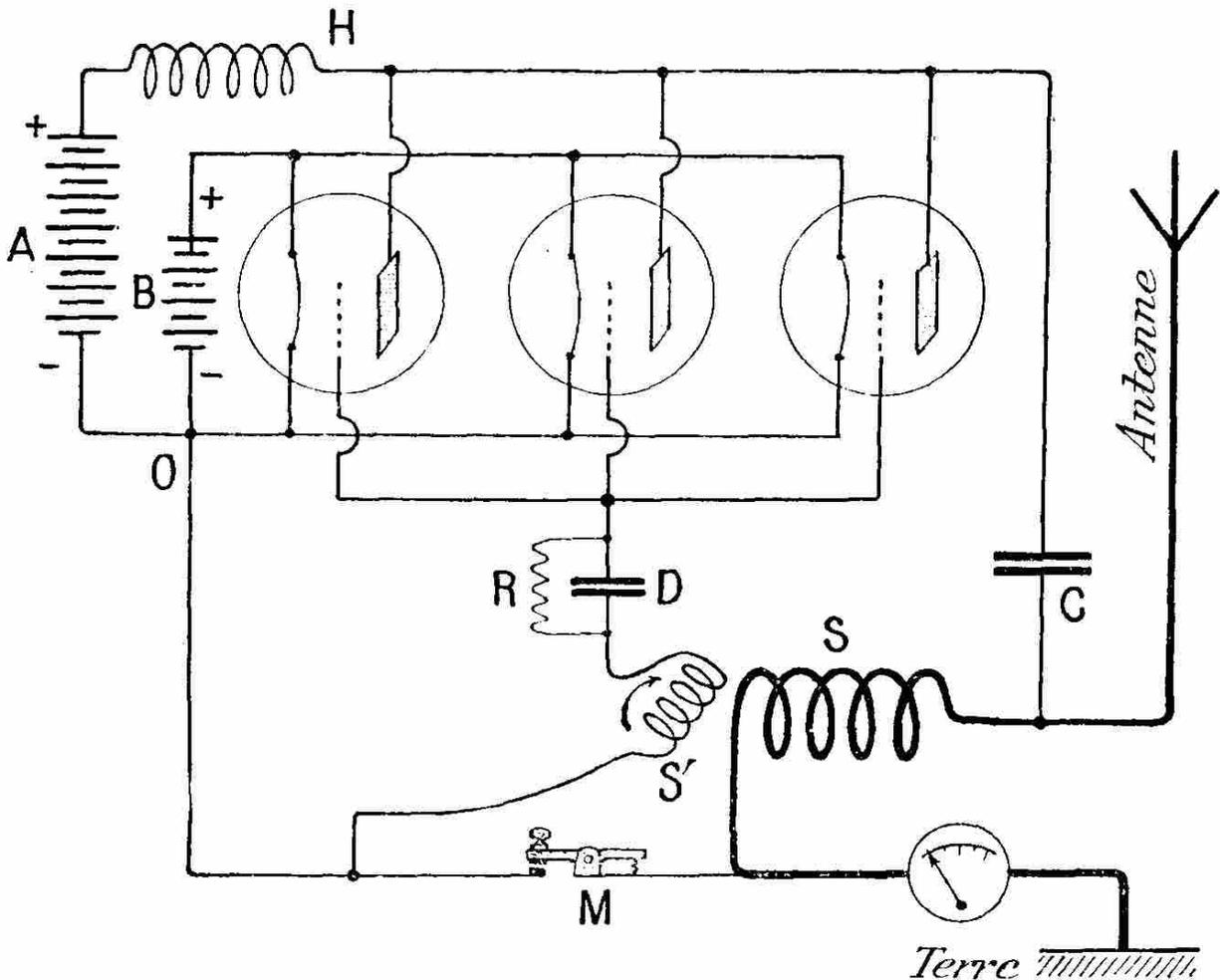


Fig. 92.

fréquence du circuit de plaque vers la terre et celles-ci ne passent plus par la bobine S. Cet inconvénient peut être évité de la manière suivante : on réunit le filament au pôle négatif de la pile A (fig. 92), et la plaque au pôle positif, et on intercale sur le fil de liaison une bobine à grande self-induction H. Celle-ci empêche le passage des courants de haute fréquence (§ 3), mais n'empêche pas les plaques d'être portées par la pile A à un potentiel

supérieur à celui du filament. Un condensateur C transmet aux plaques les variations à haute fréquence. Les piles A et B ont alors un pôle commun, directement réuni à la prise de terre.

Enfin, il est souvent commode de remplacer la

pile A, pour laquelle plusieurs centaines d'éléments sont nécessaires, par une dynamo à courant continu.

Nous avons signalé que tout moyen de faire agir l'antenne sur la grille permettait d'entretenir des oscillations. La figure 93 représente un poste à lampes dans lequel les bobines S et S', au lieu d'être couplées par induction, sont en liaison par un condensateur F dont on peut changer la capacité. La figure 93 représente seulement les organes essentiels du poste qui, comme celui de la figure 92, peut comporter

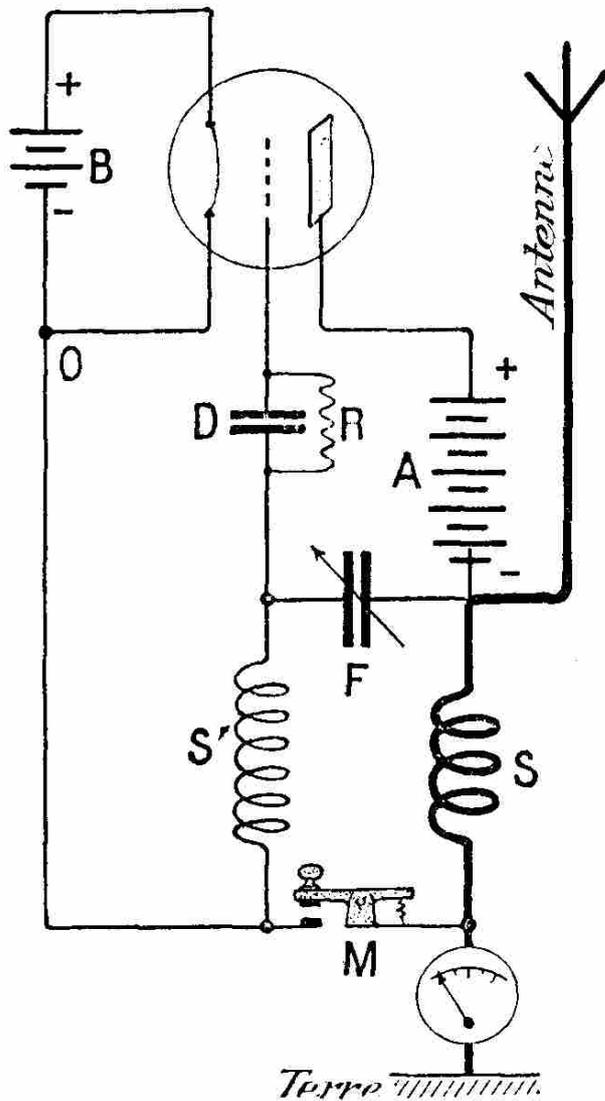


Fig. 93.

plusieurs lampes et la même disposition de la pile du circuit de plaque A.

La figure 94 représente un générateur d'ondes à une seule bobine, dont une partie S est dans le circuit de plaque, l'autre, S', dans le circuit de grille.

Toutes ces dispositions sont équivalentes. On les utilise également pour l'entretien des oscillations d'un circuit oscillant, dont les armatures du condensateur remplacent l'antenne et sa prise de terre.

54. **Réception par interférences des ondes entretenues. Hétérodyne.** — Lors des transmissions par étincelles, les ondes amorties émises à chaque étincelle produisent une déformation de la plaque téléphonique au poste de réception (§ 29); cette plaque revient pendant l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux étincelles et effectue ainsi une série de vibra-

tions sonores dont la fréquence est celle des étincelles.

Puisqu'un poste à ondes entretenues émet des oscillations continuellement et sans interruption pendant toute la durée de chacun des signaux, la plaque du téléphone ne revient pas; elle reste déformée et ne rend aucun son. On peut cependant obtenir des vibrations sonores du téléphone et recevoir au son les signaux d'un poste à ondes entretenues.

1° *Tikker*. — On fait, à la réception, les coupures périodiques qui manquent à la transmission. A cet effet,

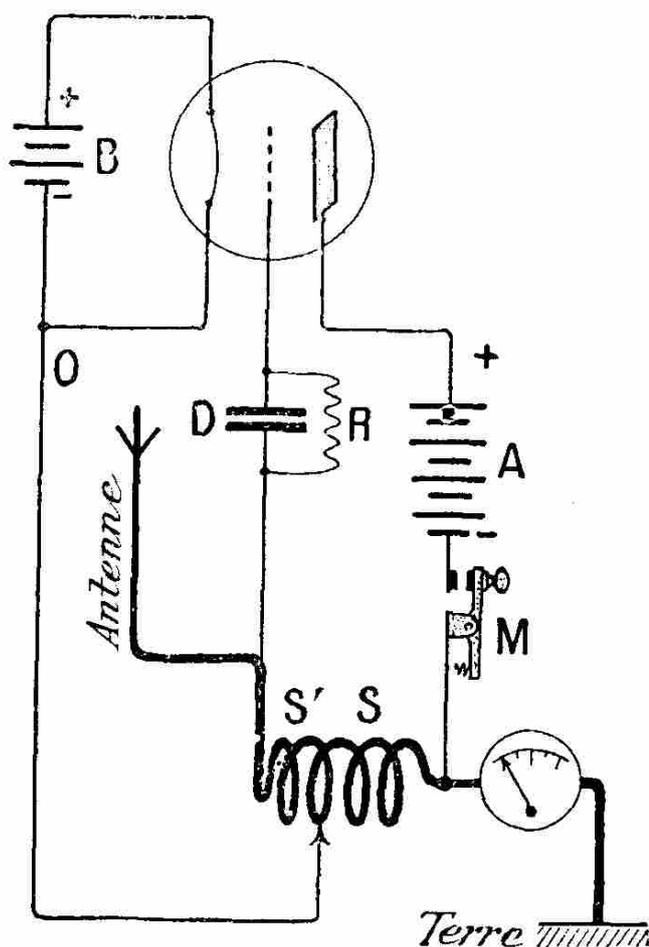


Fig. 94.

on intercale sur le circuit du détecteur et du téléphone un petit vibreur électromagnétique appelé *tikker*. Ce procédé, aujourd'hui à peu près abandonné, a l'inconvénient de perdre toute l'énergie reçue durant la coupure et de diminuer ainsi l'intensité de signaux.

2° *Réception par interférences*. — Un procédé, bien meilleur, car il augmente au contraire la sensibilité du récepteur, consiste à transformer, à la réception, les ondes régulières (fig. 95) en ondes d'amplitude pério-

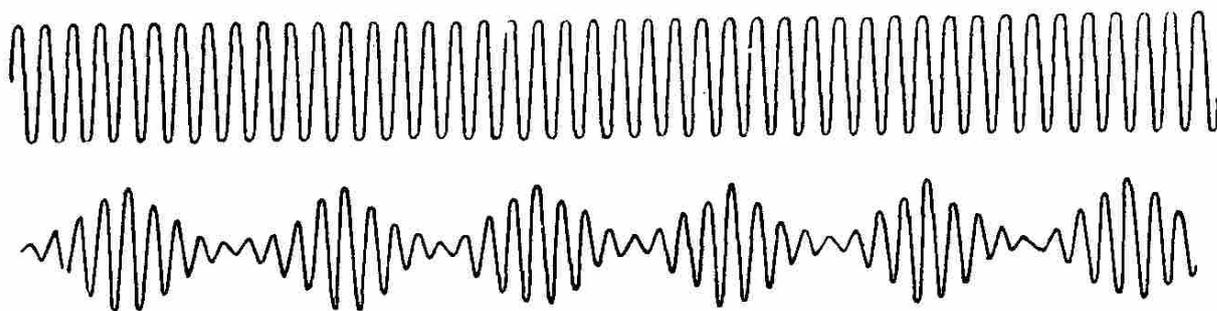


Fig. 95.

diquement variable, la période de cette variation étant de l'ordre de grandeur de celles des vibrations sonores.

A cet effet, on fait appel au phénomène des *battements*, dont il a déjà été question (§ 24). Les battements, comme nous l'avons vu, résultent de la superposition et de l'interférence de deux oscillations de fréquences peu différentes. A l'instant où les deux oscillations sont de même sens leurs amplitudes s'ajoutent; lorsqu'une des oscillations a retardé d'une demi-période, elles se retranchent, puis s'ajoutent à nouveau lorsque le retard atteint une période entière. Le nombre des battements par seconde est ainsi égal au nombre de périodes dont l'une des oscillations retarde sur l'autre pendant une seconde, c'est-à-dire à la différence des fréquences. Cette

différence est d'autant plus faible que les deux oscillations sont plus près de l'accord.

Pour superposer aux oscillations reçues par l'antenne des oscillations de fréquence très voisine, on fait agir sur le circuit de réception, en même temps que l'antenne, un générateur d'ondes à lampe d'un type quelconque, celui de la figure 76, par exemple, ou l'un de ceux qui sont représentés par les figures 93 et 94, l'antenne et la prise de terre étant remplacées par les armatures d'un condensateur à capacité variable. En modifiant la capacité de ce condensateur, on peut produire des oscillations de période variable à volonté. Un tel générateur d'ondes employé à la réception des transmissions entretenues, a reçu le nom d'*hétérodyne*; on le dispose à côté des appareils de réception.

Les oscillations de l'hétérodyne d'une part, de l'antenne d'autre part, induisent dans le circuit oscillant de réception des courants qui s'y superposent et donnent lieu à des battements de fréquence sonore, lorsque l'hétérodyne est très près de l'accord.

Après détection, le courant redressé qui traverse le téléphone n'est plus constant, son intensité oscille à fréquence acoustique et la membrane téléphonique rend un son.

Lorsqu'en modifiant la capacité du condensateur de l'hétérodyne, on approche de l'accord avec la transmission à recevoir, les signaux deviennent perceptibles, d'abord sur un son aigu, puis sur un son de plus en plus grave. On choisit la hauteur du son la plus favorable à l'audition.

La réception par interférences a l'avantage, pour les postes à ondes assez courtes, de ne pas faire entendre

les transmissions parasites dont la longueur d'onde diffère, même très peu, de celle qu'on veut recevoir. Si, en effet, la différence est suffisante pour que les battements dûs à la transmission parasite soient si fréquents que le téléphone ne peut les suivre, celle-ci n'est pas entendue.

Soient, par exemple, deux postes travaillant simultanément sur des longueurs d'ondes voisines de 1 000 mètres, la fréquence des oscillations qu'ils émettent est voisine de 300 000 (p. 50). Un téléphone ne peut suivre les fréquences qui atteignent 3 000. Si donc l'écart entre les fréquences des deux postes est  $1/100$  de leur valeur moyenne, c'est-à-dire si les longueurs d'ondes diffèrent de 10 mètres seulement, les deux transmissions ne sont pas entendues simultanément. Pour des ondes plus longues, la précision du réglage de l'hétérodyne diminue beaucoup; pour des ondes de 10 000 mètres dont la fréquence est de 30 000, l'écart correspondant atteint  $1/10$ , c'est-à-dire 1 000 mètres.

Les organes de réception se règlent comme pour les transmissions amorties; mais il est, en outre, nécessaire d'accorder l'hétérodyne. Nous verrons plus loin comment l'usage d'une seule lampe fonctionnant à la fois comme détecteur et comme hétérodyne supprime ce réglage supplémentaire.

**55. Avantages de la télégraphie par ondes entretenues.** — Nous avons déjà indiqué (§ 33) tous les avantages de l'emploi d'ondes peu amorties. En profitant des résonances marquées qu'elles produisent, on évite le brouillage des postes entre eux. Les postes à ondes entretenues réduisent ce brouillage au minimum,

puisque les résonances acquièrent le maximum d'acuité.

De plus, lors de la réception d'un poste à ondes entretenues, l'hétérodyne ne fait pas entendre les transmissions entretenues des postes voisins si ceux-ci ont un écart de longueurs d'onde suffisant avec le poste à écouter. La sélection du récepteur est assez complète pour qu'il soit possible de faire travailler, sur des ondes peu différentes, plusieurs postes dans le même local sans qu'ils se gênent mutuellement.

Lorsqu'on écoute un poste à ondes entretenues, on ne peut se débarrasser aussi facilement d'une transmission par étincelles; cependant, en couplant très peu les bobines du récepteur (§ 34), on diminue beaucoup plus l'audition des ondes amorties que celle des ondes entretenues, car les résonances pour ces dernières sont beaucoup plus intenses.

Les transmissions par étincelles chantantes, écoutées par interférence, sont modifiées, leur son musical est remplacé par un soufflement qui se distingue bien du son pur dû aux transmissions entretenues.

Lors de la réception par interférences des ondes entretenues, on est maître, par le réglage de l'hétérodyne, de la hauteur du son téléphonique; on peut choisir celui-ci assez aigu, pour que les parasites atmosphériques apportent alors le moins de gêne possible. On peut aussi choisir le son en résonance avec la vibration propre de la plaque du téléphone ce qui augmente l'intensité du son perçu.

Enfin, la réception par interférences augmente beaucoup le rendement du détecteur, et par suite la sensibilité du récepteur. De cet accroissement de sensibilité

résulte une très grande augmentation de la portée des transmissions entretenues; aussi en donnerons-nous l'explication.

Les détecteurs comme nous l'avons montré (§ 47), sont des appareils qui redressent le courant parce qu'en représentant en fonction de la différence de potentiel entre leurs bornes, le courant qui les traverse, on obtient, non pas une ligne droite, comme cela a lieu pour les conducteurs métalliques qui suivent la loi d'Ohm, mais une ligne courbe.

Soit, par exemple, sur la figure 96, la courbe que l'on obtiendrait en représentant le courant qui traverse

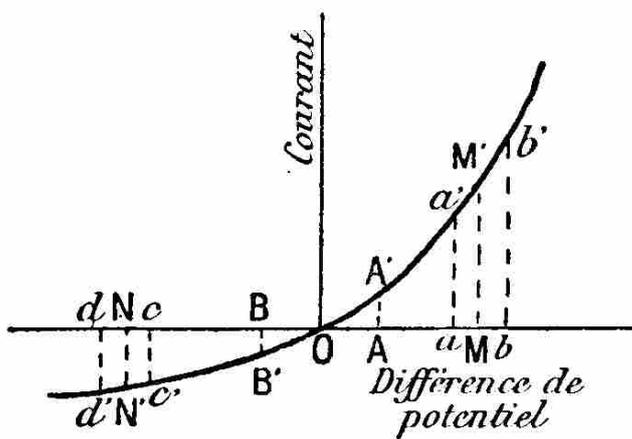


Fig. 96.

un détecteur à galène pour diverses différences de potentiel entre la pointe et le cristal. Il y a des cristaux pour lesquels le courant passe plus facilement de la pointe au cristal; il est donc représenté, pour ce

sens, par la partie droite de la figure, la partie gauche représente les courants en sens contraire. L'inverse aurait lieu si l'on raisonnait sur un cristal qui laisse au contraire, passer plus facilement les courants du cristal vers la pointe.

Lorsqu'à l'arrivée des signaux, le circuit de réception oscille, la différence de potentiel oscille entre deux valeurs  $OA$  et  $OB$  égales et très petites. Pour l'une des deux alternances le courant dans le détecteur atteint l'intensité  $AA'$ , pour l'autre alternance l'intensité en

sens inverse  $BB'$ . A cause de la courbure de la courbe,  $AA'$  est plus grand que  $BB'$ . Les alternances dans un sens passent mieux que les alternances dans l'autre sens et il y a détection. Le redressement du courant est loin d'être complet, l'une des alternances passe mieux que l'autre, mais cette dernière n'est que diminuée et non supprimée.

La différence entre  $AA'$  et  $BB'$  ne peut être grande que si l'amplitude  $AB$  de l'oscillation est elle-même grande. Si l'oscillation est très faible, la détection est très imparfaite. Un récepteur ordinaire sans hétérodyne, est donc nécessairement peu sensible aux signaux faibles et la portée des postes se trouve limitée par ce défaut de sensibilité.

Voyons maintenant ce qui arrive, lors de la réception avec hétérodyne.

En l'absence de signaux, l'hétérodyne fait osciller la différence de potentiel avec une amplitude  $MN$ , qui peut être beaucoup plus grande que celle qui correspondrait aux signaux reçus, si l'on dispose l'hétérodyne assez près du récepteur. Elle peut être suffisante pour amener le point  $N'$  dans une région presque horizontale de la courbe.

Nous avons vu que ces oscillations d'amplitude constante, après détection, changent l'intensité du courant dans le circuit du téléphone, mais que cette intensité reste constante comme l'amplitude des oscillations. La plaque du téléphone reste donc immobile et le récepteur silencieux en l'absence de tout signal.

A l'arrivée d'un signal, des battements se produisent et l'amplitude des oscillations de potentiel varie périodiquement entre une valeur maximum  $bd$  à l'instant

du battement et une valeur minimum  $ac$  à un instant compris entre deux battements.

A l'instant du battement, l'une des alternances du courant de haute fréquence augmente le courant dans le détecteur d'une quantité mesurée par la différence entre  $bb'$  et  $MM'$ . Une alternance de même sens au milieu de l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux battements, diminue le courant dans le détecteur d'une quantité mesurée par la différence entre  $MM'$  et  $aa'$ .

Quant à l'alternance en sens contraire, elle reste toujours presque sans effet, car les ordonnées  $NN'$ ,  $CC'$  et  $dd'$  sont presque égales.

Il en résulte que seules des alternances du courant haute fréquence qui correspondent au sens  $OM$ , modifient le courant dans le circuit téléphonique, les alternances en sens inverse sont sans aucun effet. La détection qui n'était qu'imparfaite devient complète même pour les réceptions très faibles qui provoquent une très petite variation  $ab$  de l'amplitude  $MN$  des oscillations produites par l'hétérodyne.

En résumé tandis que la détection sans hétérodyne utilise les différences d'inclinaison très faibles de deux petits éléments contigus  $OA$  et  $OB$  d'une courbe, la réception hétérodyne fait appel à la différence d'inclinaison beaucoup plus grande de deux éléments  $a'b'$  et  $c'd'$  très distants l'un de l'autre.

L'augmentation de rendement du détecteur, surtout sensible pour les signaux très faibles, fait que la réception hétérodyne est beaucoup plus sensible que la réception ordinaire et permet, pour la même puissance du poste transmetteur, d'obtenir de beaucoup plus grandes portées.

56. **Détecteur autodyne.** — On supprime l'hétérodyne et on évite un réglage supplémentaire en se servant de la lampe-détecteur pour entretenir des oscillations dans le circuit oscillant de réception lui-même. En réglant ce dernier, non à la résonance exacte, mais seulement très près de l'accord, la superposition des oscillations reçues de l'antenne et de celles qu'entretient la lampe produit des battements que cette lampe elle-même détecte.

Dans les cas des ondes de faible longueur, le circuit oscillant reste tellement près de l'accord avec l'antenne que la résonance est très peu altérée (p. 134). Il n'en est plus de même pour les ondes très longues; il est alors préférable d'avoir recours à un hétérodyne indépendant.

Pour faire fonctionner une lampe à la fois comme détecteur et comme hétérodyne (fig. 97), il suffit d'ajouter, sur le circuit de plaque d'un détecteur, une bobine  $H$ , couplée par induction avec la bobine  $S$  du circuit oscillant de réception. Les oscillations de ce circuit provoquent des variations périodiques du potentiel de la grille et, par suite, du courant de plaque; celui-ci réagit par induction sur le circuit oscillant et entretient les oscillations.

Un détecteur ainsi monté a des propriétés amplifica-

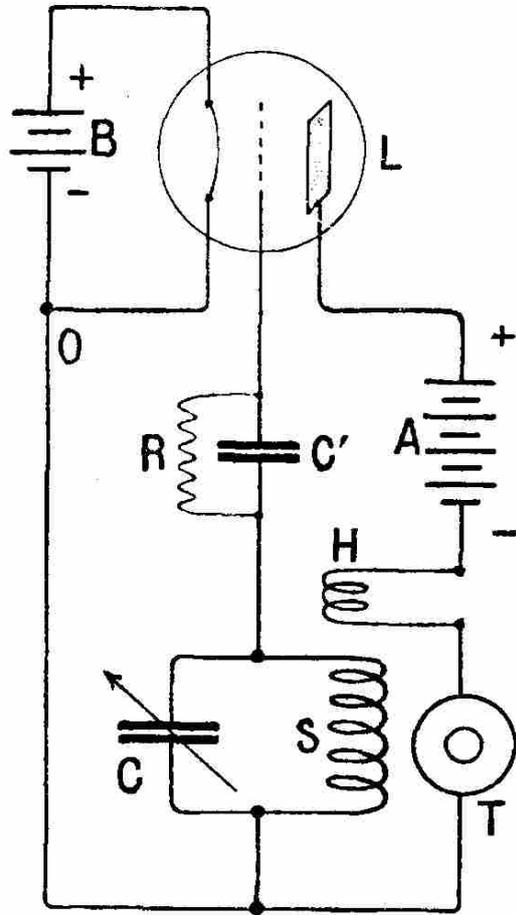


Fig. 97.

trices importantes et permet une grande augmentation de sensibilité des récepteurs radiotélégraphiques. Supposons que la bobine H puisse être tournée devant la bobine S, ce qui permet de faire varier à volonté leur couplage. Il est possible de les coupler assez peu pour être exactement à la limite d'entretien des oscillations. La moindre augmentation de couplage provoque alors cet entretien et permet ainsi la réception des ondes entretenues; la moindre diminution rend au contraire le couplage insuffisant, fait cesser les oscillations et le détecteur fonctionne normalement pour la réception sans interférences des ondes amorties.

Un détecteur ainsi disposé et réglé près de la limite d'entretien des oscillations acquiert une très grande sensibilité. A la limite d'entretien, en effet, l'action de la force électromotrice, induite dans le circuit oscillant par la bobine H, compense exactement l'amortissement et permet à des oscillations préexistantes de continuer sans diminution d'amplitude. Le circuit oscillant se comporte donc comme s'il n'était pas amorti. Des courants périodiques agissant sur lui, les effets des oscillations successives s'accumulent sans perte et l'amplitude des oscillations atteint, par la résonance, une très grande valeur. La sensibilité du détecteur est donc beaucoup augmentée par la réaction convenablement réglée de la bobine H sur le circuit oscillant.

Un amplificateur à haute fréquence, suivi d'un détecteur, peut servir de récepteur autodyne.

A propos des amplificateurs à basse fréquence, nous avons en effet montré (§ 49) qu'une réaction entre les circuits de sortie et d'entrée, augmentait l'amplification et pouvait aussi amorcer des oscillations dans

les circuits de l'amplificateur. Les mêmes phénomènes se produisent dans les amplificateurs à haute fréquence.

On utilise donc souvent une réaction entre l'entrée et la sortie pour amener l'amplificateur à la limite d'entretien. On obtient alors comme avec le détecteur autodyne, une exagération de la sensibilité. En dépassant cette limite, des oscillations s'amorcent et l'appareil sert, sans l'adjonction d'une hétérodyne séparée, à la réception des signaux par ondes entretenues.

Dans les amplificateurs à haute fréquence à résonance (fig. 89) ou les amplificateurs à résonance atténuée, on s'arrange de façon à amener l'appareil près de l'amorçage d'oscillations sur la plus petite onde pour laquelle il doit servir; des oscillations s'amorcent pour les ondes plus courtes car le couplage nécessaire à cet amorçage est d'autant plus faible que l'onde est plus courte. C'est cet amorçage d'oscillations qui limite du côté des petites ondes l'emploi, sans oscillations, de l'appareil.

Aux amplificateurs à résistance, on ajoute toujours un condensateur variable dont l'une des armatures est reliée à la grille de la première lampe et l'autre armature à la plaque de l'une des dernières lampes. Par le réglage de ce condensateur et de la réaction, qu'il provoque, entre la sortie et l'entrée on amène l'appareil très près de la limite d'entretien d'oscillations afin d'accroître beaucoup sa sensibilité. Une réaction un peu plus forte entretient les oscillations et l'amplificateur devient un détecteur autodyne.

**57. Récepteur radiotélégraphique à lampes.** — On construit un récepteur radiotélégraphique sensible en combinant dans le même appareil un récepteur, un

détecteur-hétérodyne. On peut ajouter un amplificateur à haute fréquence avant la détection et un amplificateur à basse fréquence au delà.

La figure 98 représente les principaux organes d'un récepteur à trois lampes, dont l'une est le détecteur

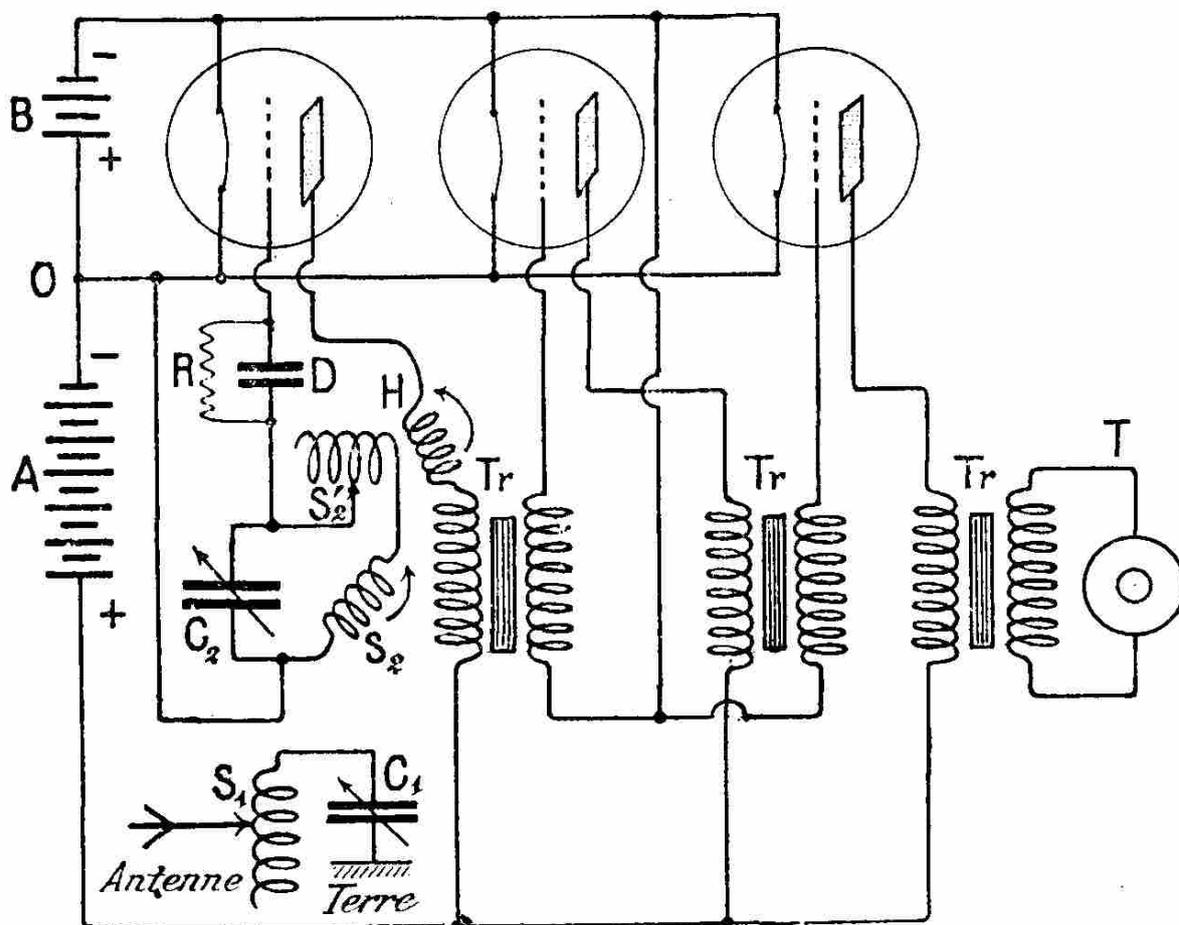


Fig. 98.

autodyne, et dont les deux autres sont les lampes d'un amplificateur pour basse fréquence à deux étages.

$C_1$  et  $S_1$  sont le condensateur et la self d'antenne.  $S_1$  est couplée à une partie de la self  $S_2$  du circuit oscillant et on peut modifier ce couplage. L'autre partie du circuit oscillant  $S'_2$  est couplée à la bobine d'entretien  $H$ , qui permet la réception par interférence et par laquelle on peut profiter de l'amplification signalée au précédent paragraphe.

$Tr$ ,  $Tr$ ,  $Tr$  sont les transformateurs de l'amplificateur; le dernier sert de transformateur de sortie pour le téléphone (p. 114).

Nous décrivons encore à titre d'exemple un récepteur, dans lequel on combine un amplificateur à haute fréquence à résistances dont la dernière lampe sert de

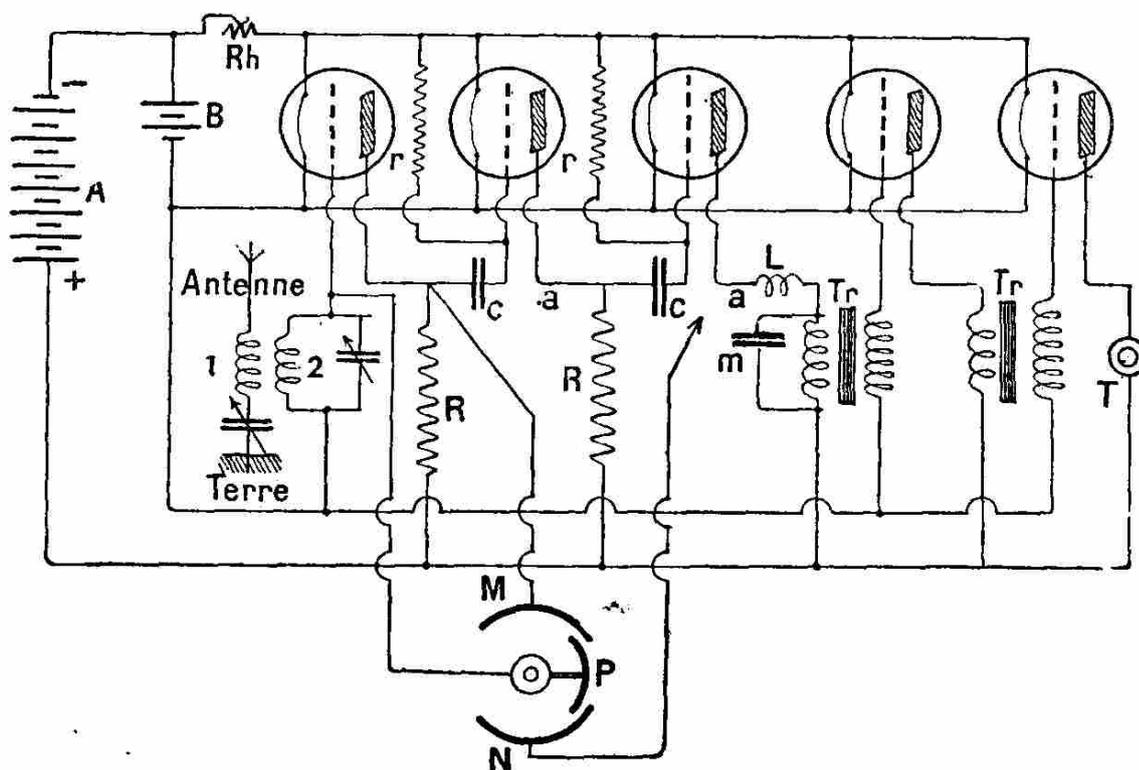


Fig. 99.

détecteur, et un amplificateur à transformateur à basse fréquence (fig. 99).

Le circuit oscillant 2 est couplé à l'antenne 1. Il est relié d'une part à la grille de la première lampe de l'amplificateur à résistance, d'autre part au filament de cette lampe. Les deux lampes suivantes amplifient les oscillations à haute fréquence et les détectent. Après détection, le courant à basse fréquence est amplifié à nouveau par les deux dernières lampes et les deux transformateurs  $Tr$ . Un condensateur  $m$ , en dérivation sur l'enroulement primaire du premier

transformateur, laisse passer les variations à haute fréquence.

Le téléphone T est intercalé sur le circuit de plaque de la dernière lampe.

En couplant un peu le circuit de plaque de l'une des lampes au circuit de grille de la première lampe, nous avons vu qu'on pouvait compenser l'amortissement du circuit oscillant de réception, mettre l'amplificateur près de la limite d'amorçage d'oscillations et, de ce fait, augmenter beaucoup la sensibilité. Pour un couplage plus élevé, des oscillations l'amorcent et produisent des battements avec les oscillations qu'il s'agit de recevoir, on reçoit alors, sans hétérodyne indépendant, les signaux des postes à ondes entretenues.

Lorsqu'on utilise, comme dans le cas qui nous occupe, un amplificateur à résistance, le couplage se fait facilement, non par l'induction mutuelle de deux bobines, mais par un condensateur. On emploie un double condensateur dont les armatures M et N sont fixes et dont l'armature P peut être tournée de façon à l'amener soit en face de M, soit en face de N.

La capacité entre P et N couple la grille de la première lampe à la plaque de l'une des lampes suivantes de l'amplificateur; on choisit celle pour laquelle des oscillations s'amorcent.

Pour les plus grandes longueurs d'onde, on reliera, en  $a$ , à la plaque de la seconde lampe; pour les plus petites, une jonction  $a'$  à la plaque de la troisième lampe peut, au contraire, être favorable. Une bobine de quelques tours de fil L facilite l'amorçage des oscillations en provoquant l'existence d'une différence

de potentiel à haute fréquence entre la plaque et le filament de la troisième lampe.

Si, même en l'absence du condensateur PN, des oscillations s'amorcent à cause de couplages parasites et qu'on veuille les faire cesser, il suffit d'amener l'armature mobile P en face de l'armature M, on obtient une réaction entre la plaque et la grille de la première lampe. A l'inverse du couplage, entre la première grille et la seconde plaque, elle fait cesser les oscillations. Ce fait tient à ce que les oscillations de potentiel de la première plaque ont une phase inverse de celles de la première grille, tandis que celles de la seconde plaque (ou celles de la troisième pour les petites ondes, à cause du changement de phase dû aux capacités parasites et à la capacité des lampes) sont presque en phase.

En tournant l'armature P, on trouve une position d'amorçage des oscillations, au voisinage de laquelle la sensibilité du récepteur est beaucoup accrue.

La sensibilité de l'amplificateur est augmentée dans de larges limites par l'emploi du condensateur de couplage MNP, et on obtient une très forte augmentation d'intensité des signaux reçus lorsque, tournant l'armature mobile P, on approche de la position pour laquelle des oscillations prennent naissance, si l'appareil sert à la réception d'ondes amorties, ou de la position pour laquelle les oscillations disparaissent, si l'appareil sert de détecteur autodyne.

**58. Superhétérodyne pour la réception des ondes très courtes.** — Les amplificateurs à haute fréquence se prêtent mal à l'amplification des oscillations dont la longueur d'onde est inférieure à 200 ou 250 mètres.

Lorsque les fréquences deviennent très grandes, la faible capacité entre les fils de connexion, les organes de l'appareil, les électrodes des lampes suffit déjà à dériver une notable partie du courant. Celui-ci ne passe plus complètement dans les résistances ou dans les bobines et l'amplification reste faible.

La réception des ondes courtes est de ce fait plus difficile et pour obtenir dans de bonnes conditions de sensibilité les signaux par ondes entretenues au-dessous de 200 mètres, on emploie avantageusement le procédé dit *superhétérodyne*, dû à M. Lévy, et qui réduit les parasites. Voici quel en est le principe.

On reçoit les ondes courtes sur un premier circuit oscillant accordé sur elles et intercalé sur le circuit de grille d'une lampe-détecteur. Avec une hétérodyne on produit des battements dans le circuit oscillant. On règle l'hétérodyne sur une fréquence qui diffère de celle des ondes reçues d'un nombre de périodes assez grand pour que la fréquence des battements soit, non celle qui est audible au téléphone, mais la fréquence encore élevée des oscillations à ondes longues de la T. S. F.

Par exemple, supposons que l'on reçoive des ondes de 150 mètres de longueur, dont la fréquence est 2 000 000, nous réglons l'hétérodyne à la fréquence 1 900 000; la fréquence des battements est alors la différence 100 000.

Après détection par la lampe, il circule dans son circuit de plaque un courant à 100 000 périodes, qui correspond à une longueur d'onde de  $300\,000\,000 : 100\,000$  soit 3 000 mètres.

On intercale sur le circuit de plaque un second circuit oscillant accordé sur cette dernière fréquence et

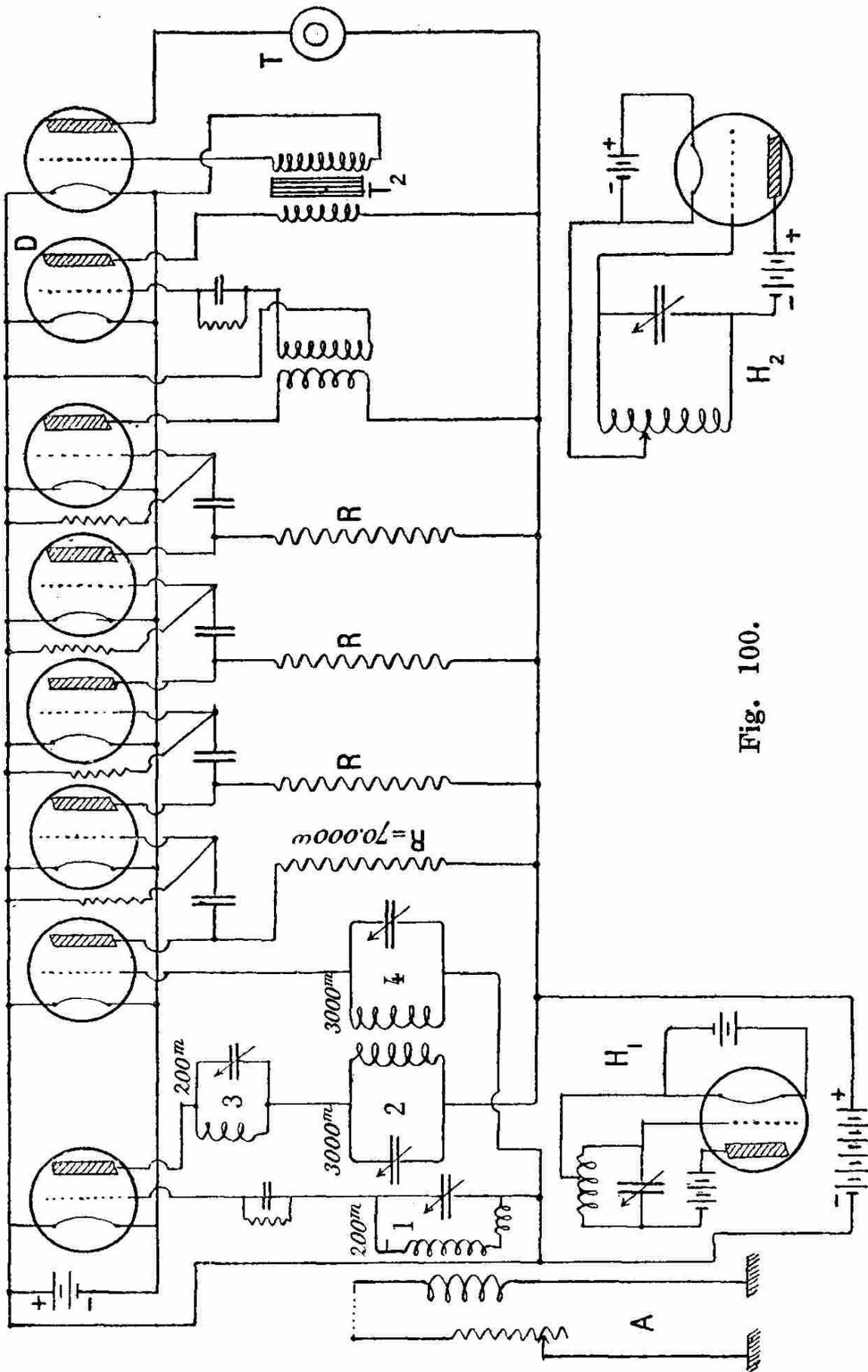


Fig. 100.

c'est ce circuit que l'on traite exactement comme un circuit de réception pour une transmission sur des ondes de 3 000 mètres. On peut alors amplifier sans difficulté cette fréquence moins élevée, la faire interférer avec un second hétérodyne pour obtenir les battements à fréquence audible, détecter et amplifier à basse fréquence, avant de recevoir au téléphone.

Le principe du procédé est, en résumé, par une première détection et un premier hétérodyne à haute fréquence, produire des oscillations de fréquence moyenne faciles à amplifier et traiter les courants obtenus comme s'il s'agissait d'une transmission sur une onde moyenne.

La figure 100 reproduit l'appareil employé lors des essais de 1922 par M. Godley pour recevoir, en Irlande, des télégrammes transmis en Amérique sur des ondes de 100 à 200 mètres.

On y reconnaît en A l'antenne longue avec une résistance R de mise à la terre que nous avons décrite au paragraphe 41. Un circuit oscillant 1, accordé sur l'onde de 200 mètres est couplé à cette antenne et à une hétérodyne  $H_1$  (du modèle de la figure 93) et réglé pour produire 100 000 battements par seconde.

Le circuit oscillant 2 est accordé sur 100 000 périodes c'est-à-dire sur l'onde de 3 000 mètres. Le circuit 3 accordé sur 200 mètres n'est pas indispensable, mais sert cependant à accroître l'amplification en le faisant réagir, comme nous l'avons expliqué, jusqu'à la limite d'entretien sur le circuit 1.

Ensuite, 2 agit sur le circuit oscillant 4 d'un amplificateur à haute fréquence à résistance à 5 lampes comme s'il était une antenne recevant des ondes de 3 000 mètres.

Les capacités de couplage de ces lampes sont assez grandes pour qu'elles ne détectent pas, elles sont suivies d'une lampe détecteur D couplée par induction à la dernière lampe de l'amplificateur. Un hétérodyne  $H_2$  produisant des battements audibles agit sur la bobine de couplage. Enfin ce détecteur est suivi d'un étage d'amplification à basse fréquence, à transformateur, avant réception au téléphone T.

**59. Superréaction.** — M. Armstrong a indiqué en 1922, un procédé d'amplification, pour ondes courtes, très efficace lors de la réception radiotéléphonique qui se fait sans hétérodyne exactement comme celle des ondes amorties.

Nous avons expliqué au paragraphe 56, qu'un couplage de réaction du circuit de plaque d'un détecteur sur le circuit oscillant, amenant ce dernier très près de la limite d'entretien, augmentait beaucoup la sensibilité. On ne peut augmenter encore cette réaction sans amorçage d'oscillations et production de battements; ceux-ci qui sont utiles pour la réception des signaux télégraphiques par ondes entretenues, sont inadmissibles pour la réception radiotéléphonique, car ils provoqueraient un son continu dans le téléphone.

Les oscillations ne s'amorcent pas par le couplage lui-même, celui-ci met seulement l'appareil dans des conditions où il peut osciller, et il faut qu'une petite perturbation accidentelle qui se produit toujours après un certain temps provoque l'amorçage. De même le pendule d'une horloge, dont le poids est remonté, est dans des conditions convenables pour osciller, mais ne se met en mouvement que si on lui communique

un léger choc, il s'arrête si on supprime le poids moteur et ne se remet en marche, après qu'on a suspendu à nouveau ce dernier, que si on le lance encore.

Voici l'idée ingénieuse d'Armstrong. Si on produit une réaction des deux circuits de la lampe mettant celle-ci dans des conditions d'entretien, mais qu'en baissant la tension de plaque ou en élevant la tension de grille 20 000 fois par seconde, on supprime tous les vingt millièmes de seconde l'oscillation qui aurait pu se produire, le circuit ne pourra osciller, durant tous les intervalles de temps très courts où cet entretien est possible, que si au début de tous ces intervalles se produit la perturbation nécessaire. Or, en l'absence de toute réception par l'antenne, des perturbations accidentelles ne se produisent pas constamment et l'oscillation ne peut s'amorcer que très rarement et pendant un temps très court.

Lorsqu'au contraire l'antenne reçoit un signal, l'équilibre électrique du circuit de réception est constamment troublé et l'oscillation s'amorce durant tous les intervalles de temps où l'entretien est possible. La lampe les détecte et le téléphone reçoit un courant qui dure autant que le signal, car, lorsque celui-ci disparaît, le circuit n'est plus troublé et l'amorçage ne peut plus se produire.

Les oscillations qui s'amorcent acquièrent d'ailleurs, dans le temps court où elles peuvent subsister, une amplitude d'autant plus grande que la perturbation, c'est-à-dire le signal est lui-même plus intense.

On conçoit que la sensibilité doit être très grande puisque l'énergie reçue par l'antenne n'a plus à entretenir les oscillations du circuit de réception, mais seule-

ment à les amorcer; elles s'amplifient et s'entretiennent en empruntant de l'énergie à la pile de plaque de la lampe.

L'efficacité du procédé est d'autant plus grande qu'un

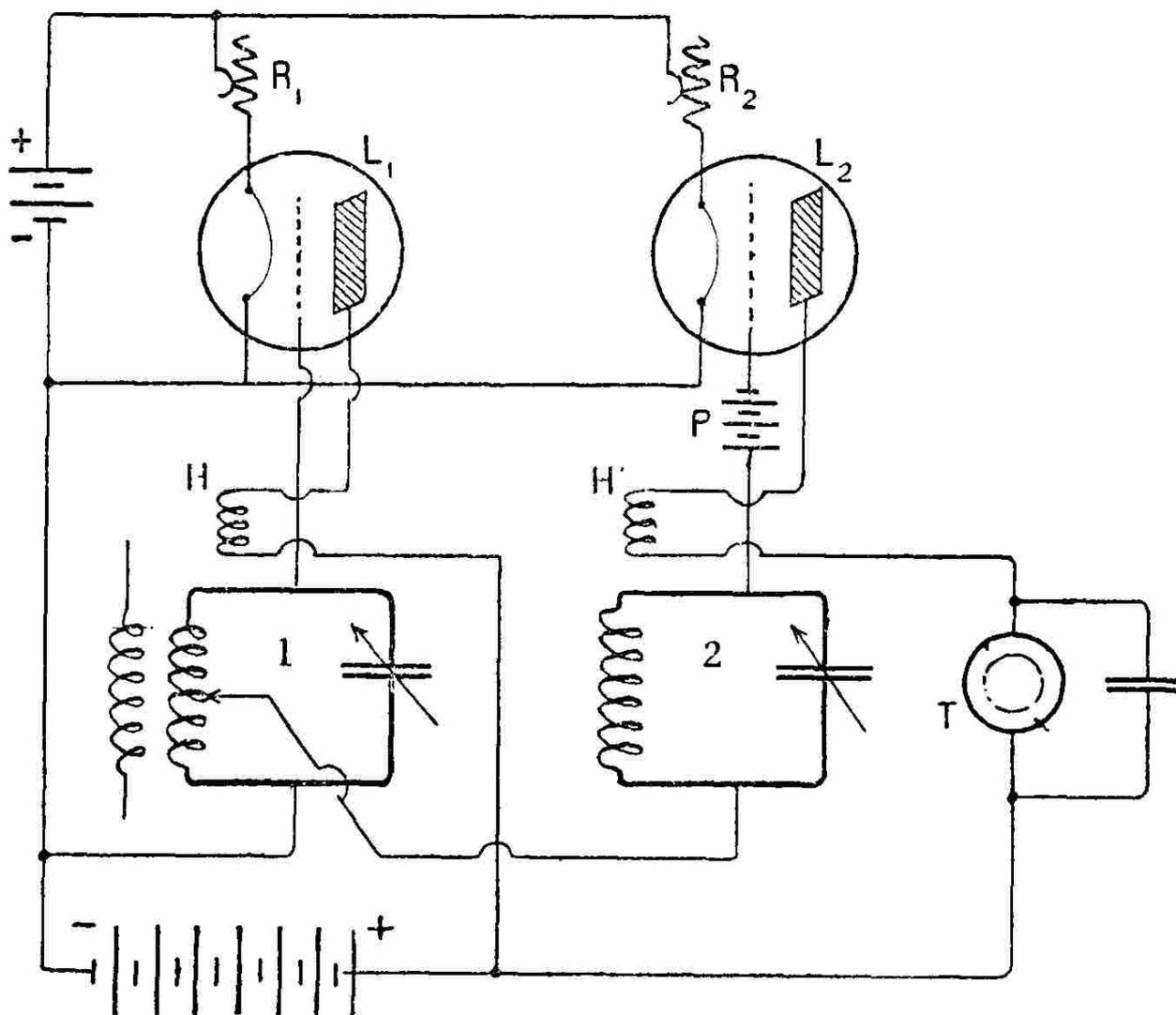


Fig. 101.

plus grand nombre d'oscillations peuvent se placer dans l'intervalle de temps durant lequel le circuit peut osciller; il aura donc une sensibilité d'autant plus grande que les ondes à recevoir sont plus courtes.

Un récepteur à superréaction (fig. 101) peut, en principe, être réalisé de la manière suivante.

Le circuit de réception 1, accordé sur les ondes à

recevoir, est disposé sur le circuit de grille d'une lampe  $L_1$ , une bobine  $H$  sur le circuit de plaque produit la superréaction. Une seconde lampe  $L_2$  est montée sur un circuit 2 réglé à 20 000 périodes, la bobine de couplage  $H'$  fait osciller ce circuit.

Ce dernier est relié à un point de la self du circuit 1 et produit par suite des variations à fréquence 20 000 de la tension de grille de la première lampe qui désamorcent 20 000 fois par seconde les oscillations.

La seconde lampe sert également de détecteur et c'est sur son circuit de plaque que l'on dispose le téléphone récepteur shunté par un condensateur.

Le maniement est très délicat et il se produit souvent des sifflements aigus que l'on ne peut supprimer que par des réglages soignés des couplages entre bobines, du chauffage des lampes; ce dernier se règle par les rhéostats  $R_1$  et  $R_2$ .

On emploie pour détecter le premier des deux procédés indiqué au paragraphe 47 qui est susceptible d'un ajustement plus précis.

Nous donnons le schéma précédent, réduit à ses organes essentiels, à titre d'exemple. Il en est d'autres qui permettent l'application du même principe. Le réglage en est toujours minutieux, mais l'amplification, dans la réception sur ondes courtes est énorme.

**60. Disposition de détection autodyne à tension de plaque à haute fréquence.** — M. Jouaust a indiqué un procédé de détection autodyne pour la réception des signaux télégraphiques par ondes entretenues qui, par sa sensibilité, présente souvent des avantages.

Disposons, comme habituellement, le circuit de réception A, couplé à l'antenne, sur le circuit de grille d'une lampe (fig. 102) entre cette grille et le pôle négatif de la batterie de chauffage des filaments.

Au lieu de mettre sur le circuit de plaque, une pile, faisons varier à haute fréquence le potentiel de plaque.

A cet effet, nous utiliserons un petit oscillateur à lampe H comme dans la réception hétérodyne et nous relierons, au filament et à la plaque du détecteur, les armatures de son condensateur. Nous réglerons sa période à une valeur voisine

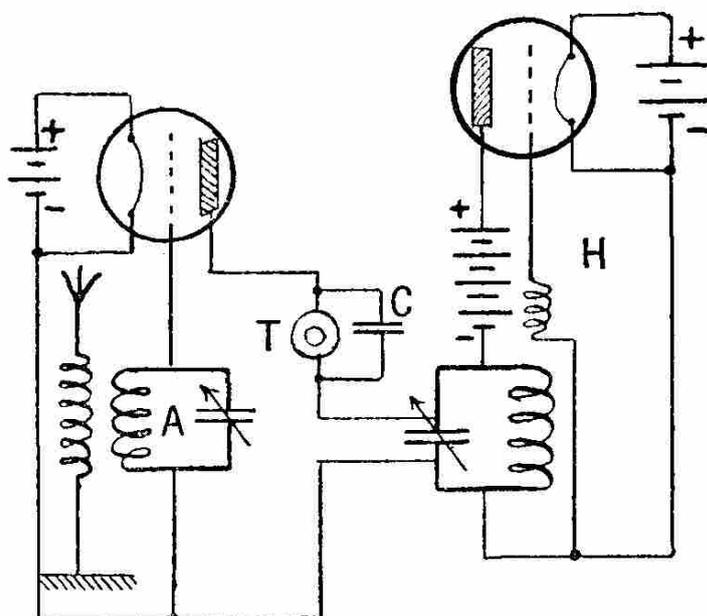


Fig. 102.

de celle des ondes à recevoir comme pour la réception hétérodyne. Le téléphone T sera intercalé sur le circuit de plaque du détecteur; on y adjoint, comme habituellement, un condensateur C en dérivation.

En l'absence de tout signal, un courant de plaque traverse le téléphone durant les alternances de l'oscillateur H qui rendent la plaque positive et cesse durant les alternances négatives. Le téléphone reste silencieux tant que l'amplitude de ces émissions de courant reste constante, car le courant moyen qui le traverse ne change pas d'intensité.

Au moment du signal, les émissions de courant sont plus intenses lorsque l'alternance du signal qui rend la

grille positive est simultanée de l'alternance de l'hétérodyne H qui rend la plaque positive. Elles sont, au contraire, moins intenses quand la grille est négative à l'instant où la plaque est positive.

Comme les deux fréquences ne sont pas exactement les mêmes, l'une des oscillations retarde sur l'autre, et périodiquement, avec une fréquence égale à la différence des fréquences, l'émission de courant se trouve coïncider avec une alternance positive de la grille.

Le courant moyen dans le téléphone, ainsi qu'il arrive dans la réception hétérodyne, éprouve donc des variations qui deviennent de fréquence acoustique, lorsque l'oscillateur est très près d'être accordé sur le signal.

L'appareil, à la fois hétérodyne et détecteur, produit une détection complète et a l'avantage, sur le détecteur autodyne, de ne pas nécessiter pour les ondes longues un dérèglement de l'accord du circuit oscillant de réception A (voir le Supplément, p. 212).

**61. Poste radiotélégraphique à arc.** — Pour les puissances faibles ou moyennes, les lampes sont parfaitement adaptées à la construction des postes à ondes entretenues. Pour les très grandes puissances, leur emploi est trop coûteux : on les conserve à la réception comme détecteur et amplificateur, mais on leur préfère, pour l'émission, l'arc électrique ou l'alternateur à haute fréquence.

Aux deux pôles d'une dynamo à courant continu, relient deux bâtons de charbon A et B (fig. 103). Mettons les deux charbons au contact, puis écartons-les ; il jaillit entre ceux-ci une flamme très chaude, l'arc

électrique, qui porte à des températures très élevées les extrémités des charbons, surtout celle du charbon positif. C'est la lumière très intense émise par ce charbon qui est utilisée lorsque l'arc sert à l'éclairage.

En réunissant aux charbons une self  $S$  et un condensateur  $C$ , assez grands pour que leur fréquence d'oscillation électrique soit de l'ordre de quelques centaines seulement, on constate que ce circuit devient le siège d'oscillations électriques entretenues et l'arc rend un son musical.

On empêche les oscillations d'atteindre la dynamo en dispo-

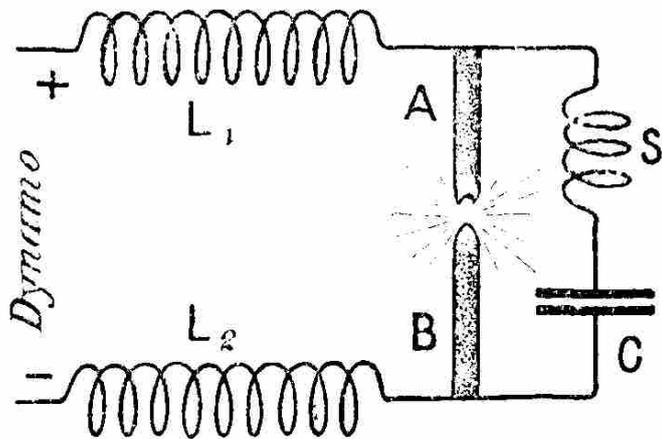


Fig. 103.

sant, sur les fils qui conduisent le courant à l'arc, des bobines  $L_1$  et  $L_2$  de grande self-induction.

Les oscillations obtenues dans ces conditions, sont de fréquence beaucoup plus basse que celles des antennes; d'autre part, l'énergie mise en jeu dans les oscillations est une petite fraction de l'énergie qu'il faut fournir pour entretenir l'arc. Au courant oscillant reste toujours superposé dans l'arc un courant constant inutile d'intensité beaucoup plus grande.

En réglant convenablement les conditions de fonctionnement de l'arc, Poulsen a cependant pu obtenir un régime d'oscillations qui peut entretenir le long d'une antenne des oscillations de haute fréquence. Le courant oscillant atteint, à l'instant de sa plus grande intensité, l'intensité du courant continu fourni par la

dynamo. Pendant l'oscillation, les courants de charge et de décharge du condensateur tantôt augmentent l'intensité du courant dans l'arc, tantôt la diminuent jusqu'à l'annuler.

Lors de l'alternance pour laquelle ces courants sont en sens inverses, le courant dans l'arc est complètement interrompu. L'arc éprouve alors, à très haute fréquence, une série d'allumages et d'extinctions. Cette fréquence n'est d'ailleurs pas uniquement définie, comme pour les étincelles, par la self-induction et la capacité de l'antenne, mais dépend aussi des conditions de fonctionnement et d'alimentation de l'arc.

Pour obtenir des oscillations intenses, il faut remplacer le charbon positif par une tige de cuivre que refroidit un courant d'eau, faire jaillir l'arc dans un gaz hydrocarboné (gaz d'éclairage ou vapeur d'alcool) et enfin disposer, de chaque côté de l'arc, les deux pôles d'un électro-aimant puissant. Toutes ces dispositions sont destinées à faciliter l'extinction de l'arc.

Il est indispensable aussi que l'antenne ait une self-induction assez grande. On intercale dans celle-ci une self d'antenne constituée par un gros fil ou par un tube de cuivre enroulé en hélice. Le nombre de spires doit être suffisant pour que cette self remonte la longueur d'onde de l'antenne jusqu'à 2 à 4 fois sa longueur d'onde propre.

La figure 104 représente les organes essentiels d'un poste à arc.

L'arc jaillit dans l'intérieur d'une caisse en bronze, dont on a chassé l'air par un courant de gaz d'éclairage; le charbon négatif et le cuivre positif sont isolés des parois de la caisse par des manchons en porcelaine ou

en quartz. Les pièces polaires N et S d'un électro-aimant, excité par le courant d'alimentation de l'arc, sont disposées de chaque côté de celui-ci. Des bobines de self  $L_1$  et  $L_2$  empêchent les courants oscillants d'atteindre la dynamo. L'antenne et la self d'antenne  $L$  sont reliées au cuivre positif de l'arc; la prise de terre, sur laquelle est intercalé un

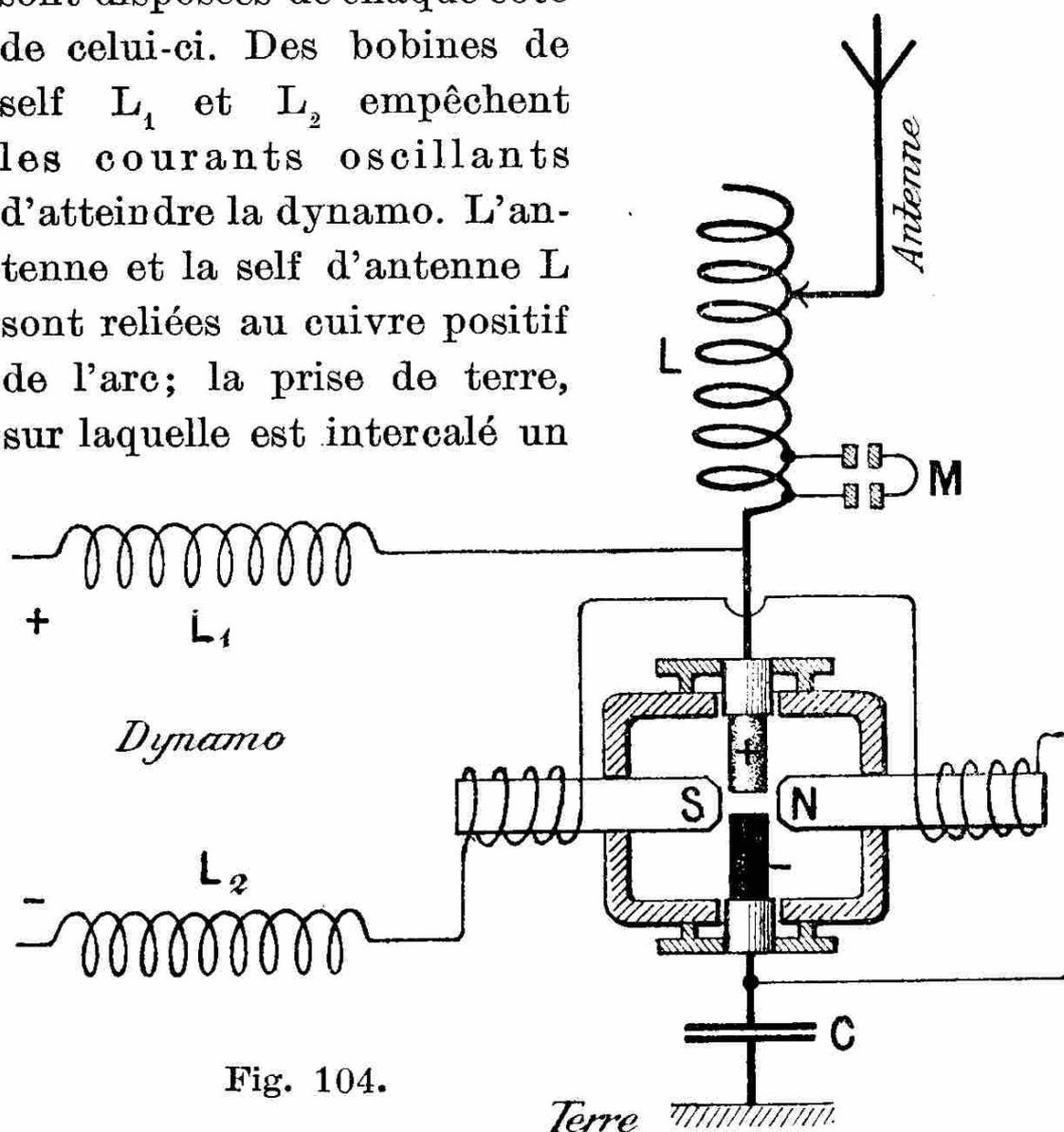


Fig. 104.

condensateur d'antenne  $C$ , est reliée au charbon négatif.

L'électro-aimant chasse l'arc vers le bord du charbon; pour éviter une usure inégale, un petit moteur fait constamment tourner d'un mouvement lent le charbon autour de son axe.

On allume l'arc en approchant les électrodes jusqu'au contact, puis en les éloignant.

Il ne peut être question, ni de manipuler en coupant le courant d'alimentation de l'arc, car celui-ci ne se rallumerait plus, ni en coupant le courant très intense de l'antenne, cela supprimerait en effet l'oscillation et les coupures de l'arc. La tension d'alimentation étant bien plus élevée que pour les arcs destinés à l'éclairage, la suppression des coupures de l'arc provoquerait un débit de courant considérable de la dynamo. On fait les signaux Morse en modifiant la longueur d'onde des oscillations de l'antenne.

A cet effet, la manœuvre du manipulateur commande, par un relais, un double contact M qui normalement court-circuite une petite partie de la self d'antenne et s'écarte lorsqu'on appuie sur le manipulateur; l'augmentation de la self d'antenne détermine un accroissement de la longueur des ondes émises.

Les transmissions de l'arc se reçoivent exactement comme celles des postes à lampes. On fait interférer les oscillations reçues par l'antenne avec celles d'un hétérodyne. Lorsque cette dernière est réglée pour la plus grande onde, qu'on appelle *onde de travail*, on entend un son au téléphone au moment où, par la manœuvre du manipulateur, les ondes émises atteignent cette longueur d'onde.

On n'entend aucun son durant l'émission de l'onde courte qu'on appelle *onde de compensation* si ses battements avec l'hétérodyne sont trop fréquents pour que le téléphone les suive. Cette dernière condition exige que l'écart entre les deux ondes soit supérieur à celui pour lequel l'hétérodyne cesse de faire entendre un son.

On a soin d'écarter aussi peu que possible les deux

ondes, car, dans les postes à grande puissance, la mise hors circuit d'une seule spire de self d'antenne donne déjà lieu à des étincelles très nourries qui altèrent rapidement les contacts. Afin d'éviter que des arcs permanents ne subsistent entre ceux-ci, on envoie sur eux un courant d'air violent. Pour les postes à onde très longue, on doit même écarter si peu les ondes, que les signaux se traduisent seulement au récepteur par un changement de hauteur d'un son constamment perçu, les battements avec l'onde de compensation, très voisine de l'onde de travail, restent encore audibles.

L'onde de compensation, si l'hétérodyne de réception est réglé sur elle, fait entendre des sons au téléphone récepteur, non plus lorsque le manipulateur est baissé, mais, au contraire, lorsque le manipulateur est levé.

Ces signaux inversés sont facilement reconnaissables et ne peuvent prêter à confusion. Si on les entend lors du réglage de l'appareil récepteur, il suffit de diminuer un peu la fréquence de l'hétérodyne pour régler sur l'onde de travail et recevoir les signaux directs.

L'arc est utilisé, en général, sur de grandes antennes et de grandes longueurs d'ondes (entre 6 000 et 20 000 m.). C'est un mode de transmission qui, avec l'alternateur à haute fréquence, remplace aujourd'hui l'étincelle pour les grandes puissances et les liaisons lointaines.

Les émissions des postes à arc ont plusieurs inconvénients graves. Les oscillations de l'arc ne sont pas simples, elles ont, au contraire, une forme très complexe et outre l'oscillation principale, l'antenne émet toute une

série très nombreuse d'oscillations de longueur d'onde plus courtes. Celles-ci sont inutiles à la réception, mais ont l'inconvénient de produire un brouillage pour les postes réglés sur ces ondes. La manipulation par changement faible de longueur d'onde et la non suppression totale du son au téléphone récepteur durant les intervalles entre les signaux rendent la lecture à l'oreille plus difficile.

Enfin, la simplicité des circuits du poste à arc oblige à manipuler sur de grandes intensités, ce qui rend difficile la transmission automatique très rapide, les arcs et étincelles entre les contacts de manipulation ne s'éteignant pas instantanément.

Pour ces raisons l'arc est peu à peu abandonné dans les grands postes. La lampe à trois électrodes restant l'organe d'émission des petits postes, on remplace l'arc par l'alternateur à haute fréquence lorsqu'on veut mettre en jeu de grandes puissances.

**62. Alternateurs à haute fréquence.** — Dans les installations d'éclairage électrique qui utilisent des courants alternatifs, la fréquence est seulement de 50 périodes par seconde; les alternateurs des postes de T. S. F. à étincelle chantante atteignent 1 000 périodes, ce qui correspondrait encore, pour la vitesse de propagation de 300 000 kilomètres par seconde, à une longueur d'onde inutilisable de 300 kilomètres. Pour atteindre la longueur d'onde de 10 000 mètres, il faut des oscillations à 30 000 périodes.

On est arrivé à construire des alternateurs susceptibles de fournir des courants de fréquence aussi grande. Pour entretenir les oscillations d'une antenne, il suffit

d'intercaler l'alternateur A sur cette antenne par l'intermédiaire d'un transformateur élévateur de tension T (fig. 105). On règle la vitesse de l'alternateur à la valeur pour laquelle la fréquence des courants qu'il produit est égale à la fréquence des oscillations de l'antenne, celle-ci résonne et est parcourue par un courant alternatif d'amplitude constante.

On remarquera que la mise sur une antenne d'un alternateur est tout à fait analogue, à la condition de résonance près, à la mise en circuit d'un alternateur sur un réseau de distribution d'énergie.

Nous avons montré (§ 6) que la fréquence du courant d'un alternateur augmentait proportionnellement au nombre des pôles d'aimants inducteurs et à la vitesse de rotation. On construira donc des machines à marche très rapide et à pôles très nombreux, ce qui ne va pas sans difficultés.

Moyennant certains artifices de bobinage et certaines précautions de construction, on est cependant arrivé aujourd'hui, sans avoir recours ni aux étincelles, ni à l'arc, à exciter directement en ondes entretenues une antenne avec un alternateur à haute fréquence.

Il est nécessaire, afin que la longueur d'onde reste constante, d'assurer avec le plus grand soin la régularité de la vitesse de l'alternateur. On y arrive par l'emploi de régulateurs de vitesse sur le moteur électrique qui entraîne l'alternateur.

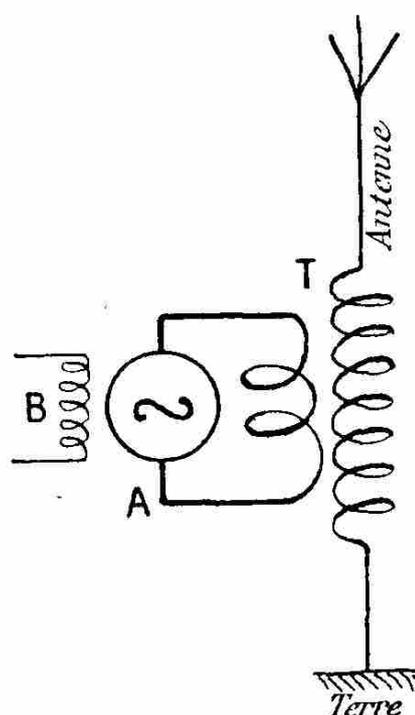


Fig. 105.

L'alternateur à haute fréquence est utilisé sur de très grandes antennes pour les transmissions lointaines. Les longueurs d'ondes employées dépassent 10 000 mètres. Pour les ondes plus courtes, le nombre de pôles et la vitesse qui seraient nécessaires rendent impossible la construction de la machine.

La manipulation se fait beaucoup plus facilement que pour l'arc. On modifie l'intensité sur le circuit d'excitation B de l'alternateur de façon à aimanter ou désaimanter celui-ci. Il n'y a plus d'onde de compensation, les oscillations de l'alternateur ont d'autre part une forme simple et ainsi sont évités les inconvénients de l'arc.

## CHAPITRE V

### RADIOTÉLÉGRAPHIE DIRIGÉE RADIOGONIOMÉTRIE

---

63. **But de la radiogoniométrie.** — L'antenne unifilaire horizontale émet, ainsi que nous l'avons indiqué, des ondes d'intensité maximum dans une direction favorisée, mais l'émission dans les autres directions est encore grande. Il est des moyens d'envoyer des ondes mieux dirigées ou de recevoir, avec un maximum d'intensité marqué, celles qui proviennent d'une certaine direction.

L'émission et la réception dirigées permettent à un poste récepteur de déterminer sa situation par rapport à deux postes transmetteurs ou à deux postes récepteurs de déterminer la position d'un poste transmetteur.

Cette détermination est le but de la radiogoniométrie. Son utilité est évidente; par elle un navire, un ballon ou un avion peut situer sa position géographique.

64. **Émission dirigée d'un cadre.** — Pour transmettre les signaux, servons-nous, non plus d'une antenne, mais d'un circuit oscillant à condensateur.

Quelques spires en fil de cuivre sont enroulées sur

un cadre rectangulaire MNPQ (fig. 106); les extrémités du fil sont réunies aux armatures d'un condensateur C. Le cadre est disposé verticalement. On produit des oscillations électriques le long du circuit MNPQC, soit par des étincelles, soit par des lampes.

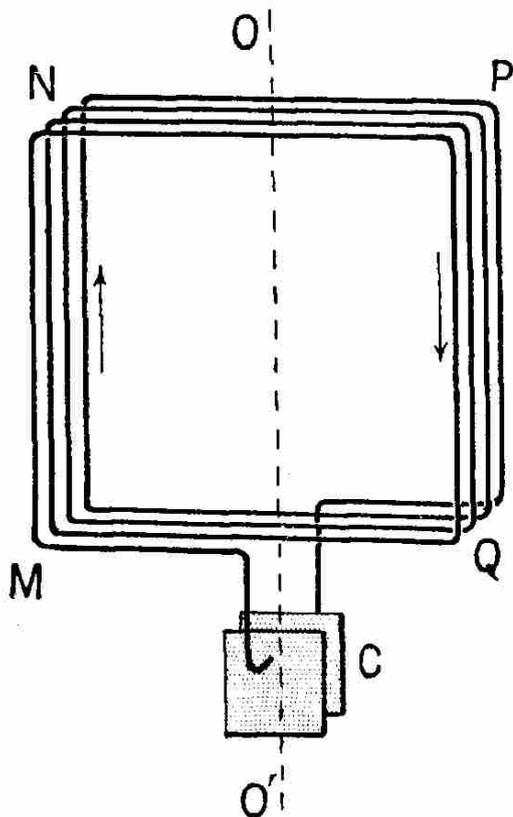


Fig. 106.

On produit des oscillations électriques le long du circuit MNPQC, soit par des étincelles, soit par des lampes.

Nous avons déjà montré, au paragraphe 10, que l'émission d'un tel cadre était plus faible que celle d'une antenne parce que les courants, de sens contraires dans les deux côtés opposés MN et PQ, produisaient à très grande distance des effets égaux et contraires. Cette émission n'est cependant pas exactement nulle car la distance du récepteur aux deux

côtés MN et PQ n'est pas la même, sauf toutefois dans le cas où le poste récepteur se trouverait dans un plan perpendiculaire au plan des spires et passant par l'axe OO' du cadre.

Si la longueur d'onde est assez petite pour que la longueur d'un côté horizontal du cadre n'en soit pas une fraction négligeable, l'émission du cadre devient utilisable.

Un cadre envoie donc des signaux avec la plus grande intensité à des récepteurs qui sont dans le plan de ses spires, tandis que des récepteurs

dans le plan perpendiculaire ne les reçoivent pas.

Pour les grandes longueurs d'ondes, on serait obligé, si on voulait une portée suffisante, à des dimensions considérables du cadre.

Supposons maintenant que le cadre soit monté de façon à pouvoir tourner autour de l'axe vertical  $OO'$ . En lui donnant un mouvement de rotation continue, on envoie successivement dans toutes les directions des ondes électriques de plus grande intensité et la direction d'émission nulle tourne également dans l'espace. Un émetteur d'ondes ainsi constitué est l'analogie d'un phare à éclipse; au lieu de balayer l'espace avec un faisceau d'ondes lumineuses, il envoie un faisceau tournant d'ondes électriques.

**65. Émission d'ondes dirigées par un système de deux cadres.** — L'emploi d'un seul cadre nécessite que celui-ci tourne autour d'un axe; pour les très petites longueurs d'ondes et les petits cadres, l'installation est possible mais la portée est faible. Pour de grandes portées et des ondes longues, on serait obligé d'utiliser des cadres de très grandes dimensions, et on ne pourrait songer à les faire tourner.

Pour émettre des ondes dirigées, on emploie alors le procédé de Bellini et Tosi qui utilise deux cadres fixes, disposés à angle droit. On les construit, en général, de la manière suivante : à l'extrémité  $O$  d'un grand pylône ou d'un mât (fig. 107), on attache quatre fils  $MNPQ$ , que des haubans maintiennent écartés dans les plans nord, est, sud et ouest. Ces fils aboutissent au pied du mât où se trouvent les organes de transmission. Deux fils opposés, nord et sud, ouest et est, sont réunis

en haut de façon à constituer deux cadres d'une seule spire; on préfère souvent laisser les extrémités isolées, comme le sont celles des antennes.

Les fils MP d'une part, NQ d'autre part aboutissent

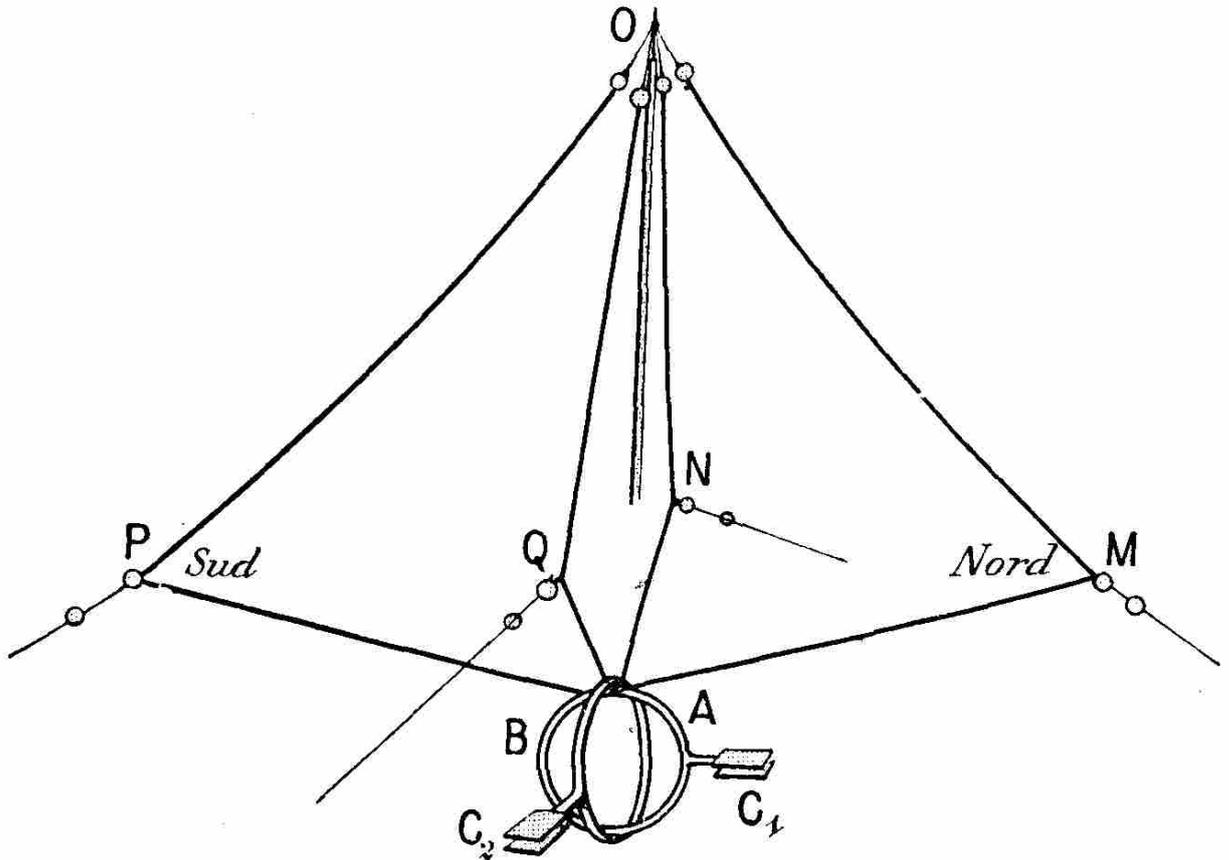


Fig. 107.

dans le poste aux extrémités de deux bobines identiques A et B dont les spires sont à angle droit. Ces bobines sont coupées en leur milieu par des condensateurs  $C_1$  et  $C_2$  d'égale capacité. On a ainsi constitué deux cadres à angle droit de même période d'oscillation électrique. Ces cadres restent immobiles quelle que soit la direction où l'on veut transmettre, on peut donc leur donner de très grandes dimensions sans inconvénients.

A l'intérieur des bobines A et B, on en dispose une

troisième D (fig. 108) qui peut tourner autour d'un axe vertical. Par l'intermédiaire de deux bagues fixées à l'axe et de deux balais qui frottent sur ces bagues, on relie les extrémités de cette bobine à un condensateur immobile C. On a ainsi constitué un troisième circuit oscillant que l'on accorde sur les deux autres.

Faisons osciller ce dernier circuit, soit par des étincelles, soit par des lampes; il est couplé aux deux cadres comme le circuit oscillant à l'antenne dans les postes à excitation indirecte (§ 23); il induit donc des courants dans les deux cadres et les fait osciller.

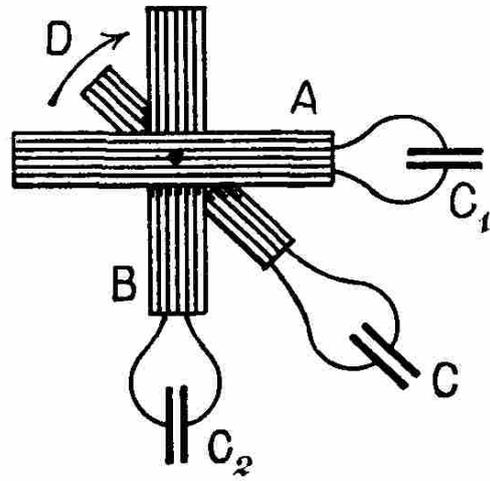


Fig. 108.

Si la bobine D est dans le plan de la bobine A, l'induction est nulle sur le cadre QN dirigé de l'est à l'ouest; elle est, au contraire, maximum sur le cadre MP dirigé du sud au nord. L'ensemble des deux cadres émet alors des ondes vers le nord et vers le sud.

Si on tourne la bobine D d'un quart de tour, c'est le cadre QN qui envoie des ondes vers l'est et vers l'ouest.

Par un mouvement de rotation continu de la bobine D à l'intérieur des bobines A et B, on arrive ainsi à envoyer, comme avec un cadre mobile, un faisceau tournant d'ondes électriques.

**66. Détermination de position par l'écoute d'émissions radiotélégraphiques dirigées.** — Lorsque, avec une antenne et un récepteur ordinaires, on écoute à distance

les signaux de l'un des postes à faisceau tournant de rayons électriques que nous venons de décrire, on entend au téléphone ces signaux passer par un maximum au moment où le faisceau atteint l'antenne réceptrice; les signaux disparaissent, au contraire, si le faisceau est à angle droit de cette direction. On peut, par suite, déterminer au poste récepteur les instants où le faisceau l'atteint. On utilise de préférence l'instant de l'extinction, si la transmission est forte; celui du maximum, si elle est faible.

Si on sait l'instant auquel le faisceau a passé par le nord, sa vitesse et son sens de rotation, on déduit immédiatement de cette observation la direction dans laquelle se trouve le transmetteur.

Le sens et la vitesse de rotation peuvent être convenus d'avance. L'instant du passage par le Nord est marqué par un signal radiotélégraphique envoyé du poste transmetteur par une antenne ordinaire. Il est ainsi connu par le poste récepteur. Un compteur de secondes suffit à déterminer le temps qui s'écoule entre ce signal et le passage du faisceau.

Si un navire en mer entend deux postes à faisceau tournant, il détermine leur direction et en déduit sa propre position.

Un poste radiogoniométrique à faisceau tournant joue donc le rôle d'un phare, mais sa portée est beaucoup plus considérable et ses indications sont encore utilisables le jour ou par les temps brumeux.

**67. Réception sur cadre.** — Le cadre produit une émission dirigée, c'est aussi un organe de réception dirigée. Supprimons l'antenne de réception et

remplaçons la bobine de petites dimensions du circuit de réception (fig. 56), couplée à l'antenne, par un cadre plus grand. Ce cadre devient un organe de réception dirigée : il reçoit au maximum les signaux des postes qui sont dans le plan de ses spires et ne reçoit pas ceux qui sont dans le plan perpendiculaire.

En effet, nous avons vu (§ 17, fig. 40) que l'antenne d'émission envoyait autour d'elle des ondes dont les lignes de force magnétiques étaient des cercles parallèles au sol. Ces cercles à longue distance sont très peu courbés et autour du poste récepteur les lignes de force magnétique sont à peu près droites, horizontales et perpendiculaires à la droite qui joint le récepteur au transmetteur. Lorsque le plan des spires du cadre récepteur est dirigé vers le transmetteur, ces lignes le traversent et comme, par suite de la propagation par ondes, leur nombre à travers le cadre augmente et diminue périodiquement, elles y induisent un courant (§ 1). C'est ce courant oscillant qui, après détection, agit sur le téléphone du récepteur.

Lorsque au contraire, le plan des spires est normal à la ligne qui joint le cadre récepteur au transmetteur, les lignes de force magnétiques sont dans le plan de ces spires et ne les traversent pas. Aucun courant n'est induit et les signaux ne sont pas reçus.

La réception sur cadre, pour l'orientation la plus favorable de celui-ci, est moins intense que la réception sur antenne, pour les mêmes raisons que l'émission est elle-même moins intense. Mais, étant donné la très grosse amplification des récepteurs à lampes, un cadre peut recevoir des signaux faibles.

Même lorsqu'il ne s'agit pas de réceptions dirigées, on

emploie beaucoup, aujourd'hui, le cadre de préférence à l'antenne. Celle-ci est conservée à la transmission.

On y trouve de gros avantages, les parasites atmosphériques sont moins gênants et on peut amplifier plus fortement les signaux, sans être plus gêné par les parasites.

L'amortissement est plus faible que celui d'un circuit couplé à une antenne, les résonances sont donc meilleures et la syntonie plus grande, ce qui aide à éliminer les transmissions parasites. Cette élimination est beaucoup aidée par le fait que les postes qui sont dans une direction à peu près normale au plan du cadre ne sont pas reçus.

Enfin, lors de l'établissement d'une liaison radiotélégraphique, on peut établir la réception sur cadre à quelques kilomètres de l'antenne d'émission de la même station. On oriente le cadre vers le correspondant lointain tout en s'arrangeant pour que l'antenne voisine soit dans un plan perpendiculaire aux spires. On n'est pas gêné par celle-ci, qui peut transmettre des télégrammes pendant que ceux du correspondant sont reçus par le cadre. Les stations récentes sont ainsi installées, l'antenne ne servant plus qu'à l'émission.

**68. Cadre goniométrique.** — Si le cadre récepteur peut tourner autour d'un axe vertical, la détermination de l'azimut de ce cadre pour lequel la réception est maximum ou minimum permet de déterminer la direction du poste transmetteur.

Le procédé de Bellini et Tosi peut servir aussi au même usage, les deux cadres restant fixes et le circuit mobile servant de circuit de réception. Le maniement en est plus délicat que celui d'un cadre unique mobile

car la moindre dissymétrie entre les deux cadres peut introduire d'importantes erreurs de direction. Depuis que, par une amplification suffisante, on peut se servir de cadres assez réduits pour qu'il soit toujours facile de les faire tourner, on n'emploie plus le radiogoniomètre à deux cadres fixes pour la réception.

**69. Détermination de position par des réceptions radiotélégraphiques dirigées.** — La détermination, par l'écoute des signaux radiotélégraphiques, de la direction de deux postes transmetteurs permet à un navire de connaître sa propre position. L'écoute par deux récepteurs d'un même poste radiotélégraphique permet de connaître la position de ce poste.

Au cas où un navire ou un ballon ne posséderaient à bord qu'un récepteur ordinaire, il leur est encore possible de connaître leur position par le procédé suivant. Des signaux qu'ils émettent sont écoutés par deux postes goniométriques à terre. Ces postes repèrent la direction des signaux et transmettent, par les lignes téléphoniques, les résultats de leur mesure à un poste d'émission. A ce poste, on déduit des observations la position du navire ou du ballon et on la lui radiotélégraphie.

Un avion muni d'un cadre radiogoniométrique dont le plan des spires coïncide avec le plan dans lequel il avance, peut être dirigé de nuit vers un poste radiotélégraphique. Il suffit de maintenir l'avion dans la direction pour laquelle les signaux de ce poste sont entendus avec le maximum d'intensité.

Si les signaux sont très intenses, on peut tourner le cadre d'un angle droit par rapport à l'avion

et diriger de façon à ne pas entendre les signaux.

La radiogoniométrie, dans de bonnes conditions, donne les directions à un ou deux degrés près, mais il est encore des circonstances peu connues qui faussent la direction obtenue.

Certains emplacements sont défavorables. Sur le sommet d'une montagne les signaux paraissent venir tous dans la direction des vallées qui y aboutissent.

Au fond d'une vallée, on repère les signaux dans le sens de la vallée.

Les repérages d'avion en vol donnent des résultats complexes difficiles à interpréter. On le conçoit, si l'on observe que nous avons raisonné, pour fixer la direction de meilleure réception d'un cadre, sur une antenne envoyant des ondes dont les lignes de force magnétiques sont parallèles au sol. Or l'antenne d'un avion est une longue antenne unifilaire que le vent rejette presque horizontalement en arrière et qui n'a naturellement pas de fil vertical aboutissant à la terre. La forme des lignes de force surtout pour un avion à grande hauteur et à faible distance du poste récepteur peut être très différente de celle que nous avons supposée.

**70. Les principales applications de la radiotélégraphie.** — Avant d'aborder l'étude de la téléphonie sans fil, nous rappellerons les principales applications de la radiotélégraphie.

Le but principal de la télégraphie sans fil est d'assurer des communications dans tous les cas où une ligne ne peut être posée; dans tous les cas aussi où, pour les communications très lointaines, la pose d'une

ligne ou d'un câble sous-marin serait trop coûteuse.

Elle est le seul moyen de communication des navires en mer, des avions ou des ballons. Elle constitue l'un des plus précieux moyens de liaison des armées en campagne. C'est grâce à la radiotélégraphie qu'un navire en détresse peut demander du secours. On ne compte plus les naufragés sauvés par la T. S. F.

Quant aux portées qui peuvent être obtenues, elles atteignent les plus longues distances à parcourir, puisque aujourd'hui les grands postes sont entendus aux antipodes. Ce résultat a été atteint grâce aux lampes à trois électrodes dont l'usage a considérablement accru la sensibilité des récepteurs.

La télégraphie sans fil peut donc assurer le même service que les plus longs câbles sous-marins; si la puissance nécessaire pour la transmission d'un radiotélégramme se chiffre par centaines de chevaux, la télégraphie sans fil n'en est pas moins, dans bien des cas, plus avantageuse que le câble, dont l'établissement et l'entretien sont si coûteux. Les postes de T. S. F. peuvent assurer un service commercial très chargé, puisque aujourd'hui les méthodes de transmission automatique et d'inscription des signaux y sont couramment utilisés.

Toutes les fois qu'une nouvelle doit être répandue rapidement dans toutes les directions, la radiotélégraphie est beaucoup plus avantageuse que les lignes. C'est le cas des communiqués de presse, des renseignements météorologiques; ceux-ci sont reçus par les navires à qui ils rendent de précieux services.

Tel est aussi le cas des signaux horaires au moyen desquels les navigateurs connaissent exactement plusieurs fois par jour l'heure du méridien qui sert d'ori-

gine aux longitudes. Ils peuvent ainsi corriger leurs chronomètres. Cette connaissance de l'heure, jointe à des observations astronomiques, est nécessaire pour la détermination de la position géographique en mer.

Nous avons signalé comment les procédés de la radiogoniométrie peuvent servir aussi à ce genre de déterminations et contribuer à guider les marins vers le port.

C'est à la radiotélégraphie que nous devons un réseau télégraphique complet entre la métropole et les colonies et, dans ces colonies mêmes, des liaisons jusqu'aux postes les plus éloignés.

## CHAPITRE VI

### TÉLÉPHONIE SANS FIL

---

71. **Microphone.** — La téléphonie sans fil utilise les ondes entretenues. L'arc, d'abord employé comme générateur d'ondes, a servi aux premiers essais de téléphonie sans fil; mais les lampes à 3 électrodes, dès leur apparition, ont rendu la radiotéléphonie plus facile et l'ont immédiatement fait entrer dans la pratique courante.

L'organe sensible aux variations sonores de la voix est, comme dans la téléphonie ordinaire, le *microphone*. Rappelons qu'un microphone (fig. 109) est constitué par une mince membrane de charbon serrée sur les bords d'une cuvette métallique. Dans cette cuvette et isolée d'elle, est fixée une pastille de charbon. Dans l'espace compris entre cette pastille et la membrane se trouvent des billes ou des paillettes de charbon qu'un joint de feutre empêche de se répandre dans la cuvette métallique. Les contacts des grains de charbon entre eux, leurs contacts avec la pastille et la membrane offrent

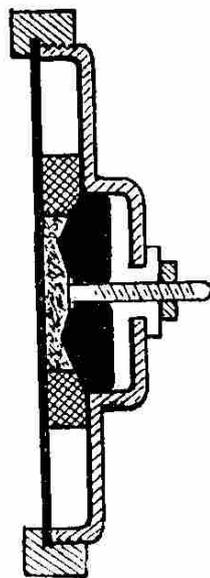


Fig. 109.

au passage d'un courant une résistance qui varie lorsque sous l'influence de la voix, les vibrations de la membrane font remuer les billes ou les paillettes de charbon. Si donc un microphone est intercalé sur le circuit d'une pile, l'intensité du courant varie lorsqu'on parle devant la membrane.

Il est remarquable que ces variations d'intensité du courant suivent dans tous leurs détails les ondulations si complexes de la parole.

**72. Principe de la radiotéléphonie.** — Lorsqu'une antenne reçoit des ondes entretenues dont l'intensité reste constante et que le récepteur n'utilise ni tikker ni hétérodyne, nous avons vu (p. 131) que le courant moyen détecté conservait une intensité constante. La membrane du téléphone est déplacée et reste déplacée, tant que l'émission d'ondes au poste de transmission se continue sans interruption et sans changement d'amplitude, cette membrane ne vibre donc pas et le téléphone reste silencieux.

Lors de la réception des postes à étincelles, l'amplitude des oscillations n'est pas constante; l'antenne oscille durant une étincelle, revient à l'équilibre électrique puis oscille à nouveau durant l'étincelle suivante. Les ondes émises ont donc une amplitude périodiquement variable et, ainsi que nous l'avons montré, le courant détecté, à la réception, est un courant dont l'intensité suit les variations périodiques d'amplitude des oscillations de l'antenne d'émission. Le son reçu au téléphone a donc une hauteur qui correspond au nombre d'étincelles par seconde.

Imaginons qu'après avoir entretenu le long de l'an-

tenne d'émission des oscillations d'amplitude constante, nous produisons, comme il arrive pour les postes à étincelles, des variations d'amplitude à fréquence basse de ces oscillations. Le courant détecté, au poste récepteur, suivra ces variations et rendra un son dont le nombre de vibrations par seconde est égal au nombre des variations d'amplitude.

Ceci étant rappelé, la téléphonie sans fil se réalise en principe de la manière suivante : un son étant émis

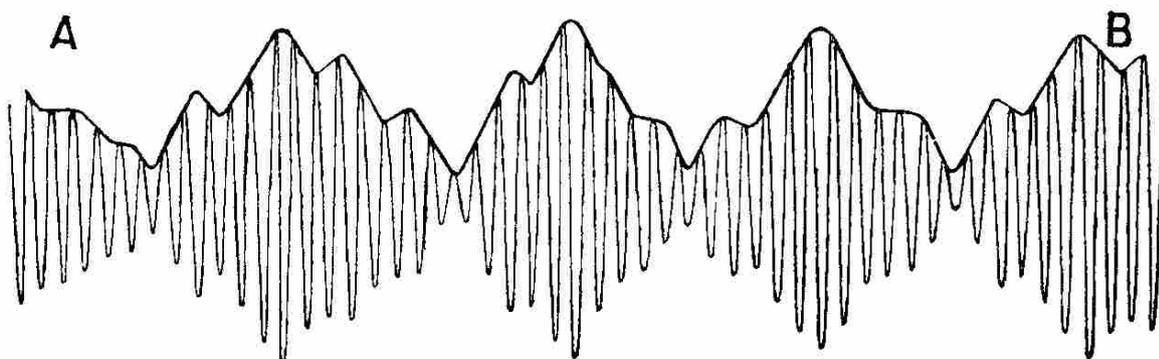


Fig. 110.

devant un microphone intercalé sur le circuit d'une pile, le courant dans ce circuit éprouve des variations d'intensité à la fréquence des vibrations sonores. Supposons que nous puissions nous servir de ce courant microphonique pour moduler l'amplitude des oscillations d'une antenne. Nous obtiendrions des oscillations d'amplitude variable comme celles de la figure 110. La courbe AB qui représente les variations d'amplitude a la forme de la courbe qui représenterait l'amplitude des variations sonores.

Soit un son effectuant 300 oscillations par seconde et une antenne oscillant à la fréquence 300 000 qui correspond à la longueur d'onde de 1 000 mètres. Durant une vibration sonore, l'antenne effectue

1 000 vibrations. Dans la durée d'une vibration sonore se produit donc un très grand nombre d'oscillations électriques.

La fréquence de ces oscillations est tellement grande par rapport à celle des ondes sonores, que les moindres sinuosités de la courbe AB comprennent encore un grand nombre d'oscillations électriques.

A la réception, les oscillations de l'antenne suivent celles de l'antenne d'émission et la courbe de leurs amplitudes est semblable à la courbe AB.

Après suppression par le détecteur de l'une des alternances du courant de haute fréquence, il reste un courant moyen de même forme que AB. Ce courant traverse les enroulements du téléphone et sa plaque, dont les mouvements suivent ses variations d'intensité, reproduit les vibrations émises, au transmetteur, devant le microphone.

On voit qu'en résumé, la variation périodique d'amplitude produite, dans un poste télégraphique à étincelles par la succession périodique des étincelles, est remplacée, en téléphonie, par une modulation d'amplitude obtenue en se servant d'un microphone.

La réalisation de la radiotéléphonie, revient d'abord à entretenir le long d'une antenne des oscillations d'amplitude bien constante, puis à faire varier cette amplitude en utilisant le courant d'un circuit microphonique.

Un récepteur de téléphonie sans fil est identique à un récepteur radiotélégraphique (Chap. III). Quant au transmetteur, c'est un poste à ondes entretenues, dont le manipulateur télégraphique est supprimé et auquel est adjoint un dispositif par lequel un microphone

agit sur l'intensité des ondes émises par l'antenne.

Les premiers essais de téléphonie sans fil ont été faits par Poulsen qui employait un poste à arc. MM. Colin et Jeance en France, M. Vanni en Italie ont obtenu avec l'arc de très bonnes transmissions.

Mais l'arc présente de graves inconvénients. L'amplitude des oscillations n'est pas exactement constante, ce qui oblige pour éviter des désamorçages à rendre les oscillations très stables. Il devient alors difficile de faire varier leur amplitude et les microphones ordinaires, trop peu puissants, sont insuffisants.

On doit se servir de microphones à grande intensité; les premiers inventeurs de la téléphonie sans fil en ont employé de très ingénieux, mais trop compliqués pour un usage commercial courant.

Enfin l'arc se prête mal à la réalisation des postes peu puissants souvent utiles en téléphonie.

L'oscillateur à lampe a évité toutes ces difficultés. Ses oscillations ont une constance remarquable, on peut donc leur donner peu de stabilité sans craindre de désamorçages, ce qui rend la modulation d'amplitude plus facile.

On profite aussi du fait que la lampe est un relais pour faire agir le microphone sur le circuit à faible puissance de ce relais, ce circuit est le circuit de grille. Le microphone ordinaire de la téléphonie par les lignes, qui est plus fidèle que les microphones à grande intensité, peut alors servir.

Enfin l'oscillateur à lampes fonctionne bien pour toute puissance et c'est depuis son apparition que la téléphonie sans fil est devenue facile.

Nous allons indiquer quelques-uns des nombreux

procédés usités en radiotéléphonie pour moduler les oscillations de l'antenne d'un poste à lampes.

**73. Procédés de modulation des oscillations de l'antenne d'émission.** — 1<sup>o</sup> Pour les faibles portées,

30 à 40 kilomètres, et les petites antennes, il est très facile de faire conduire, par les vibrations d'un microphone, l'amplitude des oscillations d'une antenne.

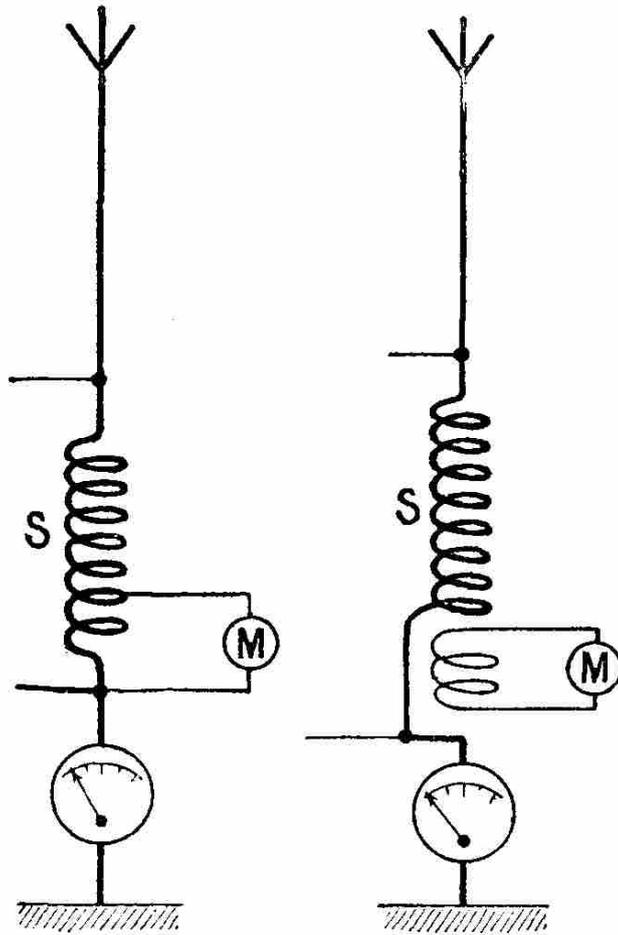


Fig. 111.

Reprenons l'un quelconque des modèles de postes à lampes que nous avons déjà décrits et qui sont représentés par les figures 79, 92, 93 et 94. Supprimons le manipulateur ou maintenons-le fermé, de façon à entretenir constam-

ment dans l'antenne des oscillations électriques.

Dans tous ces postes, il y a une bobine S (fig. 111) intercalée dans l'antenne; disposons en dérivation sur quelques spires de cette bobine un microphone M. On dérègle ainsi le générateur d'oscillations et le courant, dans l'antenne, diminue d'intensité. Lorsqu'on parle devant le microphone, sa résistance électrique augmente et diminue périodiquement. Lorsque celle-ci est

faible, l'amplitude du courant dans l'antenne diminue; elle augmente au contraire, lorsque cette résistance devient très grande. On obtient donc, par ce procédé simple, des variations d'intensité des oscillations de l'antenne suivant exactement les ondulations de la voix.

Au lieu de mettre le microphone en dérivation sur les spires de la bobine *S*, on peut le relier à quelques spires couplées par induction avec cette bobine (fig. 111). Ce sont ces procédés que l'on a employés lors des premiers essais avec les postes à arc.

Nous remarquerons qu'en modifiant la self-induc-

tion de l'antenne, nous produisons non seulement des variations d'intensité du courant dans l'antenne, mais aussi des variations dans la longueur des ondes émises. Il en résulte que le récepteur se trouve plus ou moins désaccordé lorsqu'on parle devant le microphone; de ces variations d'accord résultent aussi des modulations du courant dans le téléphone récepteur. Cet

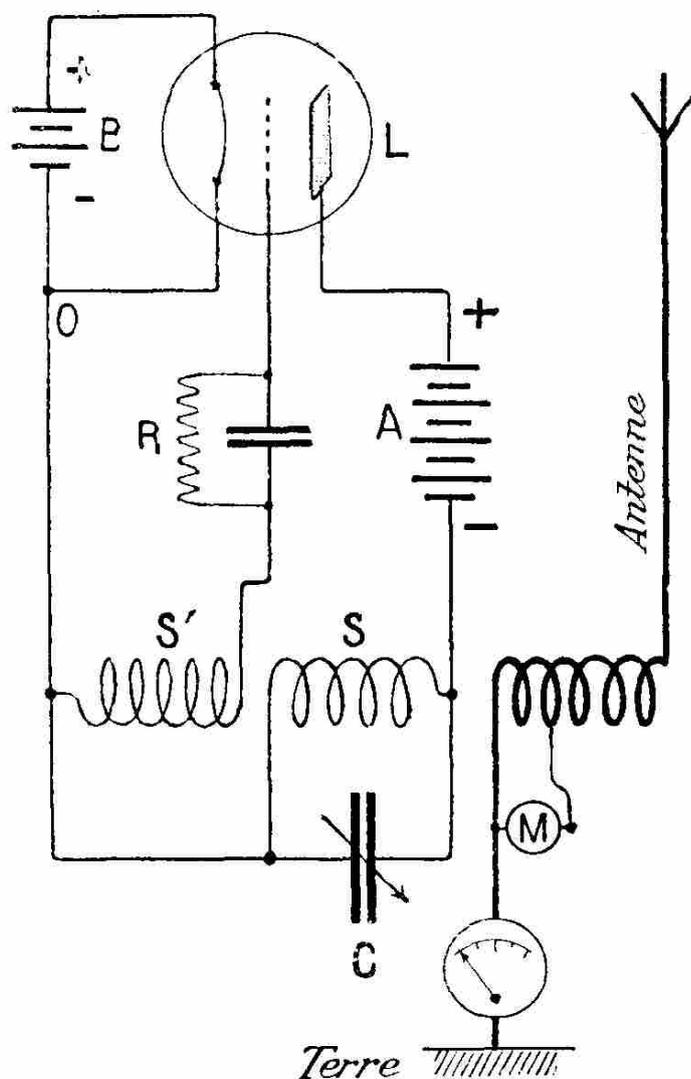


Fig. 112.

effet se superpose à celui de la variation d'intensité des ondes émises.

Lorsqu'on ne cause pas devant le microphone, les oscillations d'amplitude constante de l'antenne sont sans effet sur le récepteur qui, en téléphonie sans fil, s'emploie sans hétérodyne et le téléphone reste silencieux.

Les postes à lampes à excitation indirecte (§ 23) peuvent être utilement employés en radiotélégraphie. La lampe entretient des oscillations dans un circuit oscillant couplé par induction avec l'antenne (fig. 112). Le microphone étant encore monté sur l'antenne, comme il vient d'être indiqué, la désaccorde plus ou moins lorsqu'on cause; il en résulte des changements d'intensité du courant induit dans l'antenne.

Les modes de modulation très simples que nous venons d'indiquer donnent de bons résultats pour les petites antennes et dans les postes peu puissants. L'intensité du courant de haute fréquence qui circule dans le microphone n'est pas exagérée et on peut se servir des bons appareils de la téléphonie avec fils. La reproduction de la voix est alors très fidèle.

Pour les grandes puissances, l'intensité du courant qu'il faut faire passer dans le microphone est exagérée.

Nous allons indiquer d'autres procédés de modulation applicables pour toute puissance, sans que le microphone soit parcouru par un courant trop intense.

Le microphone ne sera plus traversé par des courants de haute fréquence, mais mis en circuit avec une pile comme dans la téléphonie ordinaire.

2° Une méthode, dite méthode d'absorption, consiste à faire en sorte que le circuit microphonique enlève

de l'énergie à l'antenne et en enlève d'autant plus que le microphone est plus conducteur. Cette quantité d'énergie varie donc en suivant les variations de résistance du microphone devant lequel on parle.

Soit (fig. 113) une antenne dont les oscillations sont entretenues par une ou plusieurs lampes qui ne sont pas représentées sur la figure.

A la self d'antenne A est couplée une bobine B intercalée dans le circuit de plaque d'une lampe dite *lampe modulatrice*. Sur le circuit de grille est disposé le secondaire d'un transformateur T, dont le primaire est sur le circuit microphonique.

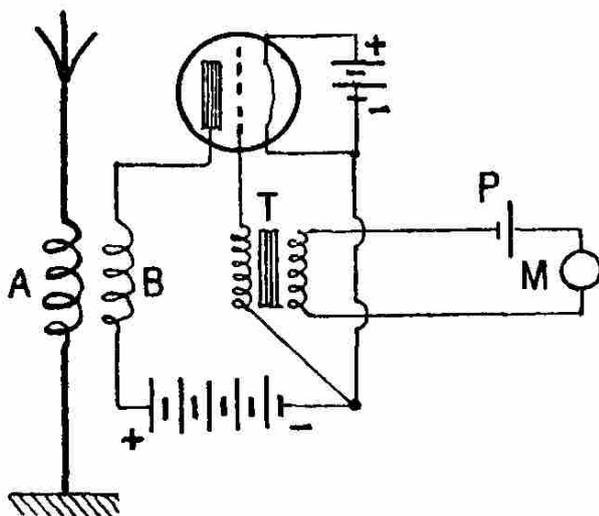


Fig. 113.

Lorsqu'on cause devant le microphone M, sa résistance varie, le courant de la pile P change d'intensité et ces changements induisent dans le secondaire du transformateur T, une force électromotrice qui fait varier le potentiel de la grille.

Lorsque cette dernière est positive, la lampe laisse passer des courants de haute fréquence induits par l'antenne dans la bobine B. L'entretien de ces courants nécessite de l'énergie, elle est empruntée à l'antenne dont l'amplitude des oscillations décroît. Lorsque au contraire la grille est négative, des courants ne peuvent traverser la lampe, de l'énergie n'est plus absorbée et l'amplitude augmente. On arrive ainsi à provoquer des

variations d'amplitude qui suivent les vibrations sonores émises devant le microphone.

3° Voici un troisième procédé dû à M. Beauvais. Soit  $L_1$  (fig. 114) la lampe qui entretient les oscillations de l'antenne. Sur le circuit de grille, on dispose un

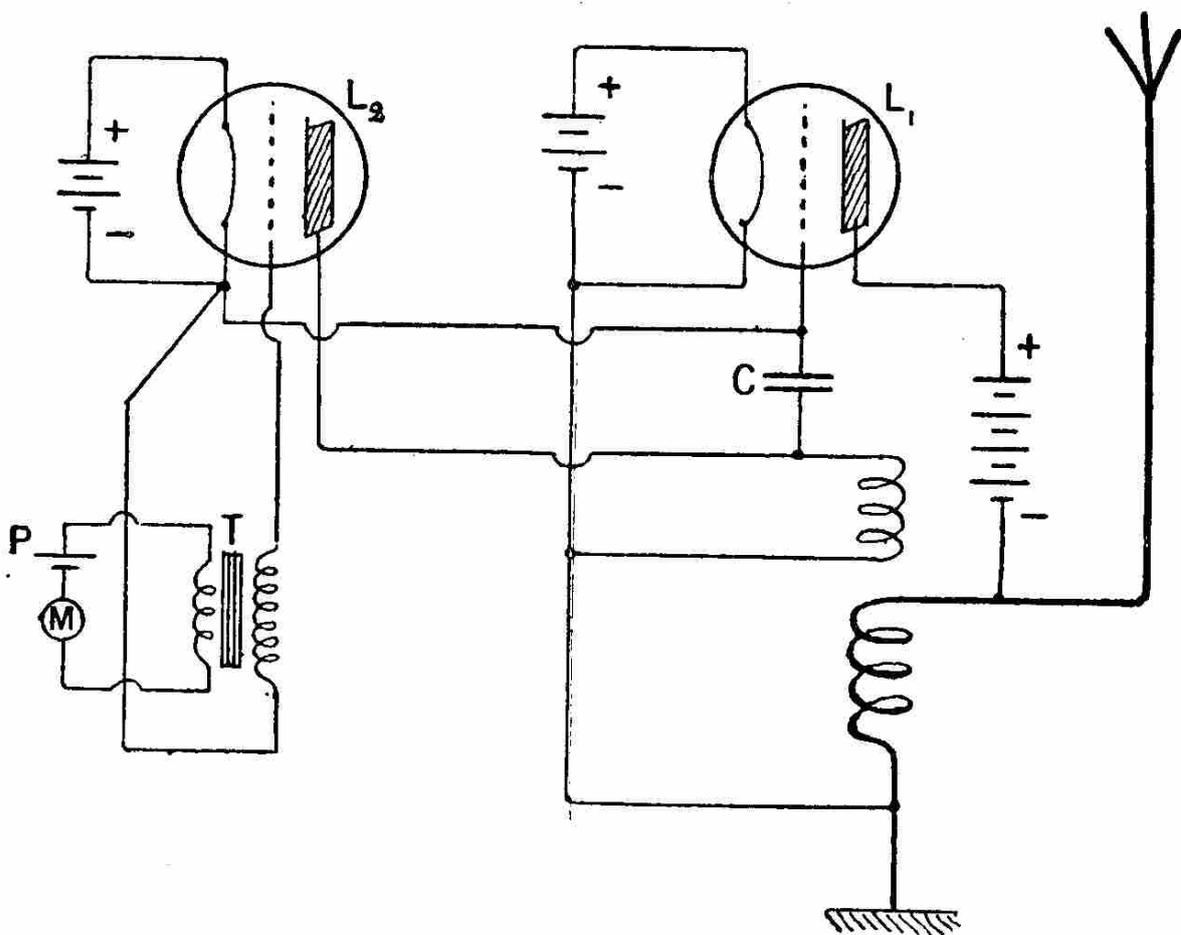


Fig. 114.

condensateur  $C$ , qui laisse passer les variations à haute fréquence, mais non le courant moyen de grille. Or les oscillations ne peuvent s'entretenir que si ce courant peut se fermer. Pour moduler les oscillations de l'antenne, on se sert pour fermer le courant de l'espace entre le filament et la plaque d'une lampe modulatrice  $L_2$ . On relie sa plaque à l'une des armatures du condensateur  $C$ , son filament à l'autre. Sur le circuit

de grille, on interpose le secondaire d'un transformateur, dont le primaire est en circuit avec une pile P et le microphone M. Lorsqu'on cause devant celui-ci, on fait varier le potentiel de la grille de la lampe modulatrice  $L_2$ ; elle laisse passer plus facilement le courant entre sa plaque et son filament lorsque le potentiel de grille augmente que lorsqu'il diminue. Il en résulte des variations des conditions dans lesquelles la lampe  $L_1$  entretient les oscillations de l'antenne et par suite une modulation de l'amplitude de ces dernières.

4° Un autre procédé de modulation consiste à employer une lampe modulatrice  $L_2$  (fig. 115) dont on dispose l'intervalle entre le filament et la plaque en dérivation sur la self d'antenne.

En parlant devant le microphone M, le transformateur T fait varier, comme dans la disposition précédente, le potentiel de grille de la lampe modulatrice L. Celle-ci laisse passer entre son filament et sa plaque un courant plus intense lorsque le potentiel de sa grille monte que lorsqu'il descend. On établit ainsi une dérivation de courant de résistance

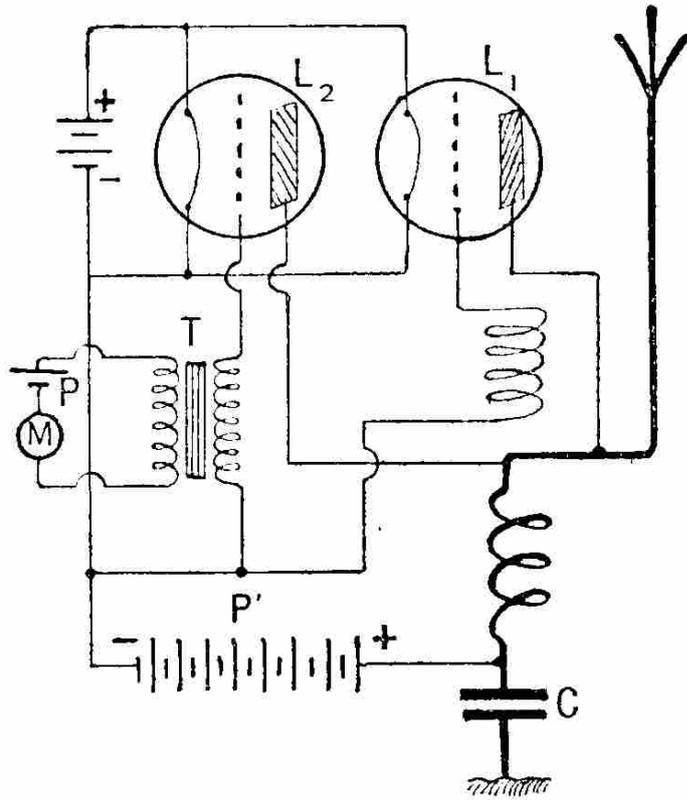


Fig. 115.

variable sur la self d'antenne. Il en résulte encore une modulation de l'amplitude des oscillations de l'antenne.

Les plaques des deux lampes sont chargées par la même pile  $P'$ , un condensateur d'antenne  $C$  évite de mettre au sol le pôle positif de cette pile.

5° Une méthode de modulation consiste à profiter des chutes de tension produites par le passage d'un courant téléphonique dans une bobine de grande self-induction à noyau de fer, pour faire monter ou baisser la tension de plaque de la lampe d'émission.

Une lampe  $L_1$  (fig. 116) entretient les oscillations de

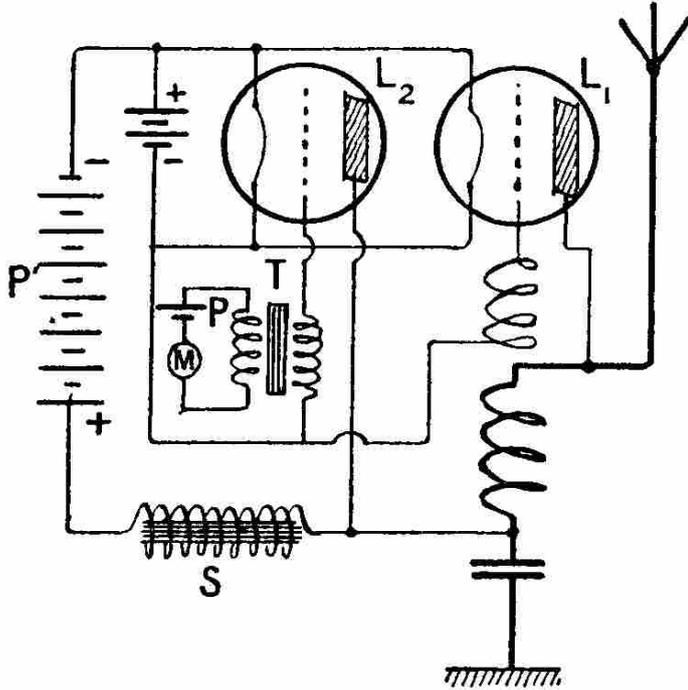


Fig. 116.

l'antenne, le courant de plaque lui est fourni par une pile  $P'$  à travers une bobine de self  $S$  ayant un grand nombre de tours.

La même pile, à travers la bobine  $S$ , charge aussi la plaque d'une lampe modulatrice  $L_2$ , dont le microphone fait varier le potentiel de grille par

l'intermédiaire d'un transformateur  $T$ .

Dans le circuit de plaque de cette lampe passe un courant variable à la fréquence téléphonique. Son passage dans la bobine  $S$  produit une chute de tension

variable, d'où résultent des oscillations à basse fréquence du potentiel de la plaque de la lampe  $L_1$ . Ces variations entraînent une modulation d'amplitude des oscillations de l'antenne.

6° On se sert avantageusement, en téléphonie,

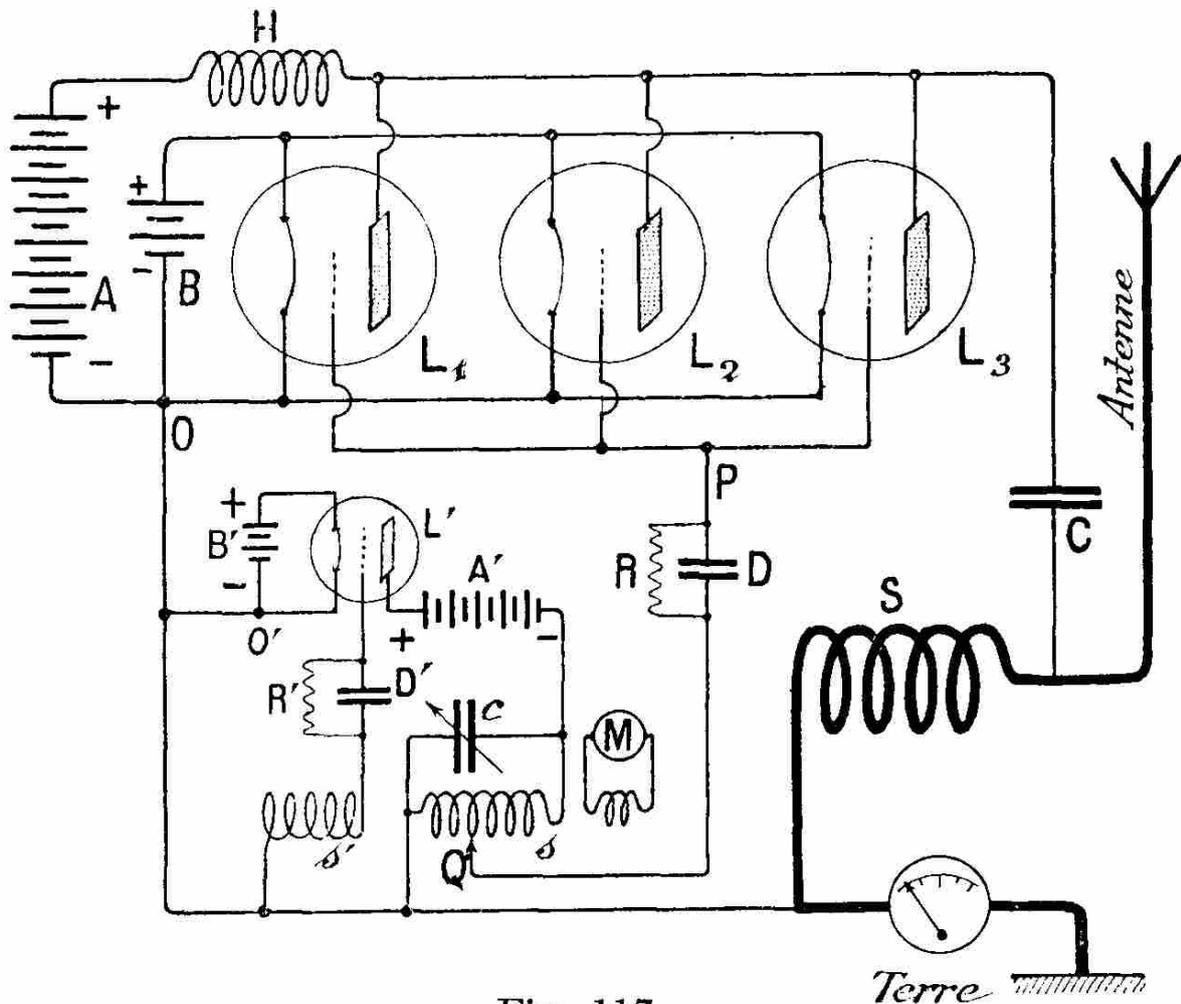


Fig. 117.

d'une excitation séparée de la grille de la lampe ou du groupe de lampes  $L_1$   $L_2$   $L_3$  (fig. 117) qui entretiennent les oscillations de l'antenne.

Jusqu'ici nous produisons des variations de potentiel de la grille d'un oscillateur à lampes en couplant à une bobine intercalée dans l'antenne une bobine intercalée dans le circuit de grille. Or nous pouvons aussi provoquer ces variations en utilisant un petit

oscillateur indépendant réglé de façon à avoir la même période d'oscillation que l'antenne. Celui-ci n'aura qu'à fournir très peu de puissance et nous modulerons facilement ses oscillations par le premier procédé indiqué. La modulation d'amplitude de ce petit oscillateur provoque une variation d'amplitude des oscillations du potentiel de grille des lampes d'émission et par suite une modulation d'amplitude des oscillations de l'antenne.

Sur la figure 117, *cs* est le circuit oscillant du petit oscillateur dont la lampe est  $L'$  et la bobine de grille  $s'$ . Un microphone  $M$  mis en circuit avec une bobine couplée au circuit oscillant module les oscillations.

Cet oscillateur est exactement accordé sur l'antenne. On provoque les variations du potentiel à haute fréquence des grilles des lampes  $L_1$   $L_2$   $L_3$  d'entretien de l'antenne, en reliant ces grilles à un point  $Q$  de la bobine  $S'$ . On a disposé sur le fil de jonction  $PQ$  un condensateur  $D$  shunté par une résistance  $R$ . Le condensateur laisse passer les variations à haute fréquence, a résistance écoule le courant moyen. La même disposition est représentée sur le circuit de grille de la lampe modulatrice, nous en avons indiqué les avantages au paragraphe 46 (voir p. 106).

Dans l'appareil représenté les plaques des lampes  $L_1$   $L_2$   $L_3$  sont chargées par une pile  $A$ , une bobine de self  $H$  empêche les oscillations à haute fréquence de revenir au filament par la pile tandis qu'un condensateur  $C$  les transmet à plaque.

Cette disposition peut être d'ailleurs appliquée à tout oscillateur. Elle a l'avantage de mettre au sol un des pôles de la pile  $A$ , ce qui empêche sa capacité

avec la terre d'intervenir dans le fonctionnement.

Nous nous en tiendrons à ces exemples qui suffisent pour donner une idée des procédés employés en radiotéléphonie. Ajoutons que, pour les grandes puissances, on

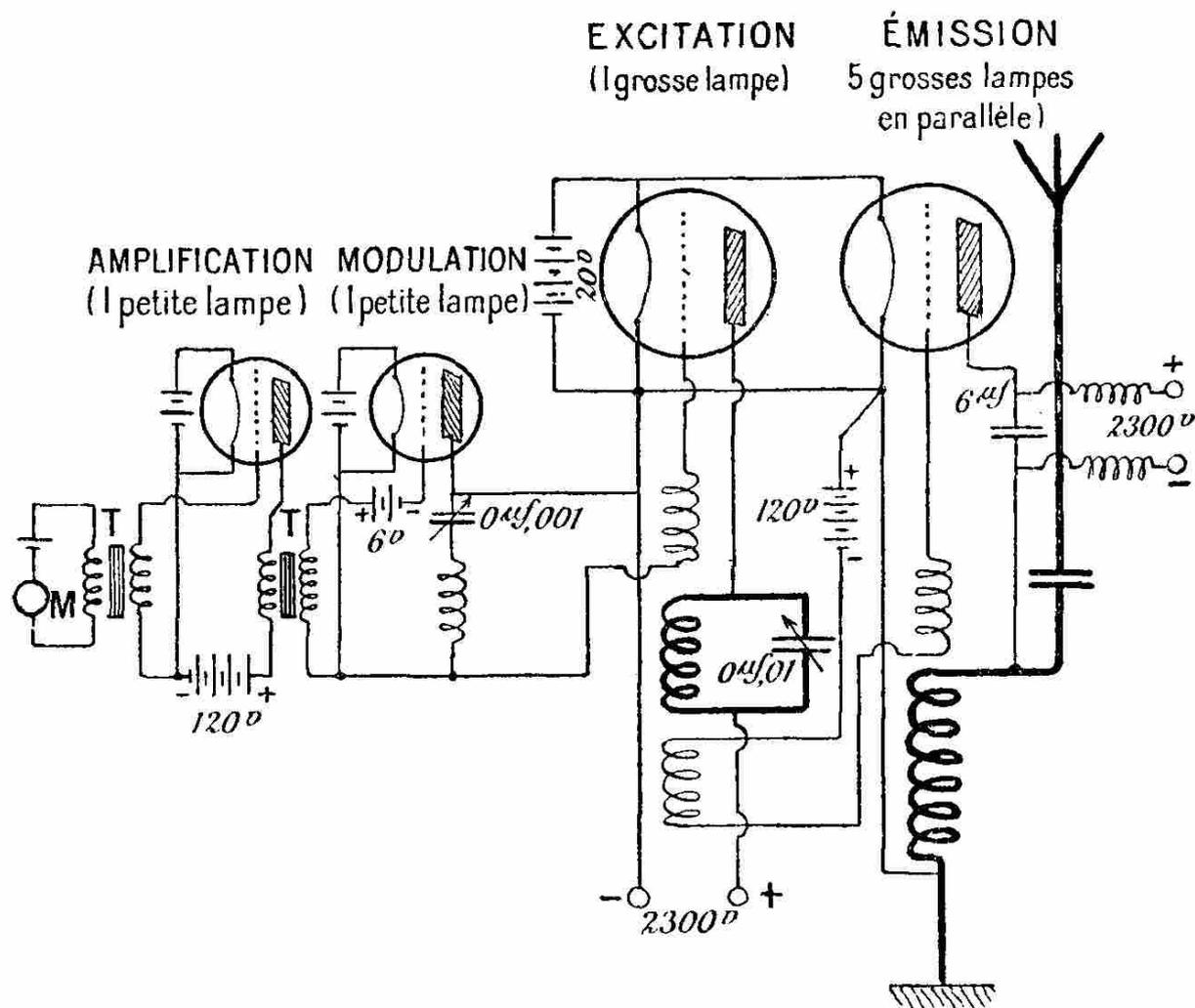


Fig. 118.

a étudié des moyens de moduler, par un microphone, le courant d'un alternateur de haute fréquence (§ 53), dans le but de faire servir à la radiotéléphonie les postes à alternateurs. Les postes à lampes sont cependant les seuls aujourd'hui d'usage courant. Quant aux essais de radiotéléphonie par les postes à arc, ils ont été abandonnés.

Nous terminerons l'étude des procédés de modulation, par la description sommaire d'un poste radioté-

léphonique employé à la Tour Eiffel. Nous verrons par là comment on peut combiner les procédés que nous venons d'indiquer et amplifier le courant microphonique afin de rendre la modulation plus efficace.

La figure 118 représente un schéma des principaux organes de ce poste dans lequel on utilise à la fois un mode de modulation déjà indiqué (3<sup>o</sup>, fig. 114), l'excitation séparée des grilles des lampes d'émission (4<sup>o</sup>, fig. 117), et une amplification du courant microphonique.

Les courants microphoniques sont amplifiés par une petite lampe et agissent sur une seconde petite lampe modulatrice par l'intermédiaire de laquelle se ferme le circuit de grille d'une grosse lampe. C'est celle d'un oscillateur qui sert à l'excitation des grilles des lampes d'émission. A son circuit oscillant accordé est couplé le circuit de leurs grilles. On emploie à l'émission 5 grosses lampes en parallèle. On baisse par une pile leur tension de grille pour augmenter le rendement.

Les modes de modulation que nous avons décrits, pour lesquels le microphone, comme en téléphonie ordinaire, est monté sur le circuit d'une pile, permettent de relier par une ligne le microphone au poste radiotéléphonique. Un abonné à un réseau téléphonique peut donc entretenir une conversation téléphonique sans fil avec son appareil ordinaire.

#### **74. Réception des conversations radiotéléphoniques.**

— Les émissions radiotéléphoniques se reçoivent sur un récepteur de T. S. F. de modèle quelconque, avec détecteur à cristal ou à lampe. La réception se fait naturellement sans hétérodyne.

Les ondes entretenues donnant lieu à des résonances très aiguës, les circuits du récepteur doivent être soigneusement réglés.

Une forte amplification est surtout avantageuse en radiotéléphonie, où les appareils récepteurs sensibles sont particulièrement utiles.

Il y a lieu de remarquer, en effet, qu'on obtient toujours des portées plus considérables en télégraphie qu'en téléphonie pour la même puissance à l'émission et la même sensibilité à la réception.

Tout d'abord, nous avons dit que la réception par l'hétérodyne augmente beaucoup la sensibilité du détecteur, or on ne peut l'employer en téléphonie.

Ensuite, les variations de résistance d'un microphone sont très inégales d'une syllabe à une autre. Elles sont plus grandes pour les syllabes contenant les voyelles « a » ou « o », que pour celles qui contiennent des « i » ; c'est justement la diversité de ces variations qui permet au microphone de reproduire dans tous leurs détails, les vibrations sonores. Si l'action du microphone sur l'appareil à lampes qui entretient les oscillations de l'antenne est réglée pour une syllabe à très grande action et diminue jusqu'à zéro l'intensité des ondes, l'appareil transmetteur a la plus grande sensibilité possible ; mais l'action d'autres syllabes étant plus faible, celles-ci modifient moins l'amplitude des oscillations de l'antenne. Pour que la voix soit compréhensible, il faut à la réception percevoir toutes les syllabes ; la portée du poste est donc nécessairement réduite à celle des syllabes les moins actives.

Enfin la modulation, même pour les syllabes dont l'action est la plus grande, ne peut être complète, car

il en résulterait une distorsion de la voix, ainsi que le montre une discussion complète des conditions de transmission et de reproduction de la parole par la radiotéléphonie.

Les transmissions téléphoniques sont plus sujettes au brouillage que les transmissions télégraphiques. Il est, en effet, plus difficile, par-dessus un bruit parasite, de suivre les inflexions de la voix que les signaux Morse.

L'amplificateur à lampes a cependant tellement amélioré les réceptions radiotéléphoniques, que la téléphonie sans fil, déjà entrée dans la pratique courante pour de moyennes portées, est aujourd'hui en voie de complet développement.

Des essais concluants entre l'Amérique et la Tour Eiffel ont été déjà faits en 1915; ils ont été repris depuis entre les deux rives de l'Atlantique, et aujourd'hui des conversations peuvent être entretenues d'une façon courante entre l'Europe et les États-Unis. C'est par téléphonie sans fil que la voix a été entendue pour la première fois d'un côté à l'autre de l'Atlantique, puisque les câbles sous-marins ne peuvent transmettre à d'aussi grandes distances les courants microphoniques. Les essais de 1915 marquent donc une date importante.

Aujourd'hui, la radiotéléphonie assure des liaisons entre des îles et la côte, entre des trains en marche, entre des navires, entre les avions et la terre et même entre deux avions, les relations entre les centrales de distribution d'énergie électrique et les sous-stations, lorsqu'un accident ou un orage ont endommagé la ligne téléphonique et la ligne de transport d'énergie.

Comme elle a l'avantage de s'adresser à un nombre

quelconque de correspondants, la radiotéléphonie sert à la transmission rapide des renseignements météorologiques. On l'utilise pour transmettre des concerts et des conférences.

Elle peut être très utile entre les postes coloniaux. L'aviation s'en sert couramment.

**75. De l'emploi des lampes à trois électrodes sur les lignes téléphoniques.** — La lampe à trois électrodes a non seulement permis la réalisation pratique des transmissions téléphoniques sans fil, mais elle a aussi contribué à de gros progrès dans le domaine de la téléphonie par les lignes.

Dans la téléphonie ordinaire, elle sert de relais amplificateur (§ 48). Un tel relais intercalé sur une ligne, amplifie le courant lorsque son intensité est devenue trop faible. Les communications téléphoniques peuvent ainsi utiliser des lignes beaucoup plus longues, sans que l'affaiblissement à l'arrivée soit trop grand. Lorsqu'une ligne est mauvaise par suite d'un défaut et que la réception est trop faible, un relais à lampe permet d'assurer cependant le service par cette ligne.

De la téléphonie sans fil dérive, de plus, un très intéressant système de téléphonie par les fils car il permet de faire passer par la même ligne plusieurs conversations téléphoniques simultanées.

La téléphonie sans fil utilisant des courants de haute fréquence, nous avons vu que les phénomènes de résonance dans les circuits oscillants des récepteurs permettaient de séparer plusieurs transmissions simultanées sur des longueurs d'ondes différentes et d'isoler celle sur laquelle le récepteur est accordé.

Imaginons qu'au lieu d'envoyer, autour d'une antenne et dans tout l'espace, des ondes avec un oscillateur à lampes, on se serve de ce dernier pour induire des courants de haute fréquence dans une ligne et que l'on module l'amplitude de ces courants en causant devant un microphone.

A l'arrivée de la ligne, faisons passer les courants dans une bobine couplée à un récepteur radiotéléphonique. Ce récepteur recevra les conversations, s'il est accordé sur la longueur des ondes qui les transmettent et restera insensible aux ondes pour lesquelles, il n'est pas accordé.

Envoyons maintenant simultanément, dans la même ligne, des courants de haute fréquence de plusieurs longueurs d'ondes différentes, ces courants étant modulés par des microphones, nous pouvons recevoir les conversations par la même ligne, dans des récepteurs différents accordés chacun sur l'une des ondes, et réaliser ainsi la téléphonie multiple.

## CHAPITRE VII

### ONDEMÈTRE

---

Les problèmes suivants se posent souvent en radiotélégraphie :

1° Connaître la longueur d'onde des oscillations émises par une antenne à la transmission.

2° Connaître la longueur d'onde des oscillations qui sont reçues par une antenne.

3° Déterminer les constantes qui définissent une antenne ou un circuit oscillant, self-induction, capacité ou résistance.

L'appareil qui, dans la pratique courante, sert à faire ces mesures est l'ondemètre ou contrôleur d'onde.

**76. Détermination de la période et graduation d'un circuit oscillant d'ondemètre.** — L'organe essentiel d'un ondemètre est un circuit oscillant dont on peut faire varier la période en modifiant soit sa self, soit sa capacité.

Supposons, par exemple, qu'on fasse varier la capacité. Le circuit oscillant est alors constitué par une bobine et un condensateur variable (voir fig. 13). On fixe au bouton que l'on tourne pour faire varier

la capacité, une aiguille qui se déplace sur un cadran gradué.

Pour faire de ce circuit un circuit d'ondemètre, il faut déterminer sa durée d'oscillation ou sa longueur d'onde pour les diverses capacités du condensateur, c'est-à-dire pour les diverses positions de l'aiguille sur le cadran.

Cette détermination est faite une fois pour toutes lors de la construction de l'ondemètre. Nous indiquerons cependant, à cause de l'importance qu'a, en radiotélégraphie, la connaissance des périodes d'oscillation et par suite des longueurs d'ondes correspondantes, par quels moyens il est possible de mesurer la période d'un circuit oscillant et de le graduer.

1° Voici un premier procédé. Nous avons indiqué au paragraphe 8, que lord Kelvin avait trouvé l'expression de la période  $T$  d'un circuit oscillant en fonction de la capacité  $C$  et du coefficient de self-induction  $L$  de sa bobine.

$$T = 2\pi \sqrt{LC}.$$

Cette capacité et cette self-induction peuvent être mesurées, la formule de lord Kelvin donne donc la période d'oscillation.

La longueur d'onde  $\lambda$  (§ 11) qui est la distance dont l'onde se propage durant une période se déduit de la période puisqu'on connaît la vitesse de propagation  $V$ , qui est égale à 300 000 kilomètres par seconde.

$$\lambda = VT.$$

2° Un autre moyen de connaître la période d'un circuit oscillant consiste à le mettre en résonance avec les oscillations d'une antenne rectiligne. La longueur

d'onde, qui est quatre fois la longueur de l'antenne (§ 14), est ainsi connue. Cette méthode, difficile à mettre en œuvre, est très peu précise.

3° Enfin, un troisième procédé plus récent dû à M. Abraham donne des résultats beaucoup plus exacts. M. Abraham a obtenu des oscillations électriques entretenues accompagnées de toutes les oscillations harmoniques de périodes 2, 3, 4... fois plus courtes. Imaginons qu'on ait réalisé des oscillations dont la fréquence fondamentale soit aussi basse que celle des vibrations sonores. On pourra entendre ces oscillations au moyen d'un téléphone et accorder le son sur celui d'un diapason de période connue. Les harmoniques d'ordre élevé ont des fréquences assez hautes et sont assez intenses pour qu'on puisse les faire agir par induction sur un circuit oscillant et accorder sur eux ce circuit. En faisant varier d'une façon continue la capacité de ce circuit, on l'accorde successivement sur les différents harmoniques.

Pour constater la résonance, on se sert d'un détecteur et d'un téléphone, comme dans les appareils de réception de signaux radiotélégraphiques. On arrive, par ce procédé, à construire un circuit oscillant dont la fréquence est  $n$  fois celle du diapason,  $n$  étant l'ordre de l'harmonique sur lequel il résonne.

On peut ensuite se servir des harmoniques du circuit ainsi étalonné, pour régler de la même façon un circuit oscillant dont la période fondamentale est encore plus courte et atteint les fréquences les plus élevées de la radiotélégraphie.

L'usage des lampes et des ondes entretenues, l'accord très précis qu'on peut obtenir en se servant des récep-

tions par interférence donnent à ce procédé une grande rigueur.

Nous remarquerons qu'étant en possession d'un circuit étalonné, il devient très facile de le reproduire à un grand nombre d'exemplaires; il suffit, à cet effet, de comparer, par résonance, la période de ce dernier à celle du circuit de période connue.

**77. Ondemètre.** — La partie essentielle d'un ondemètre est un circuit oscillant de mesure dont la self fixe est une bobine S (fig. 119) et dont le condensateur C a une capacité variable à volonté.

L'armature mobile du condensateur entraîne une aiguille. Cette aiguille se déplace sur un cadran gradué dont les divisions indiquent les longueurs d'ondes du circuit qui correspondent aux diverses positions de l'aiguille.

1° L'ondemètre sert à mesurer la longueur des ondes émises par l'antenne d'un poste radiotélégraphique. A cet effet, on fait agir les oscillations de l'antenne sur le circuit de mesure de l'ondemètre et on règle ce dernier à la résonance. La lecture de sa propre longueur d'onde donne aussi celle de l'antenne.

2° L'ondemètre sert à mesurer la longueur d'onde des oscillations reçues par un poste.

Les appareils de réception et l'antenne étant restés accordés sur les ondes reçues, on fait osciller le circuit de mesure de l'ondemètre et on fait agir ses oscillations sur l'antenne. On modifie ensuite la longueur d'onde de l'ondemètre jusqu'à percevoir au mieux ces oscillations dans le téléphone de l'appareil récepteur. On obtient ainsi la longueur d'onde sur laquelle le

récepteur a été accordé et, par suite, celle des ondes qu'il a reçues.

L'ondemètre, outre le circuit oscillant, comporte donc :

1° Un dispositif permettant de constater que le circuit de mesure oscille sous l'influence d'une antenne et est en résonance avec elle.

Un premier procédé consiste à intercaler sur le circuit oscillant de mesure un ampèremètre thermique sensible; celui-ci indique un maximum d'intensité du courant lorsque le circuit de l'ondemètre est accordé.

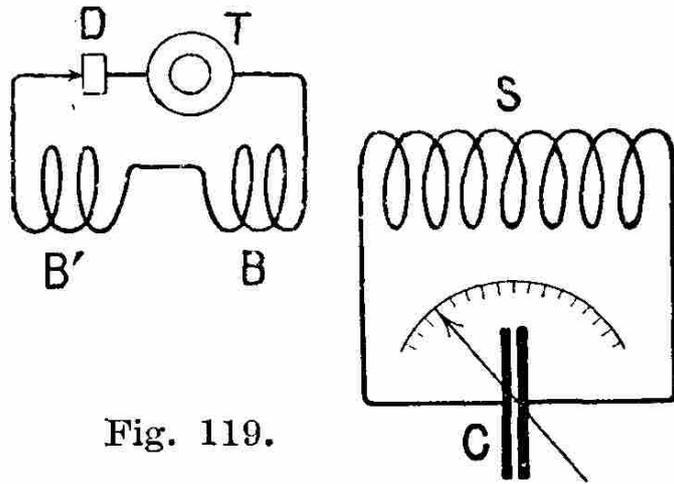


Fig. 119.

On peut remplacer l'ampèremètre par

une petite lampe qui s'allume au maximum d'éclat dès que le circuit résonne.

On peut enfin se servir d'un téléphone. On couple au circuit oscillant une bobine BB'. On détecte les oscillations de celle-ci par une galène D et on fait passer le courant détecté dans un téléphone T. La bobine BB', le détecteur et le téléphone constituent un circuit apériodique (§ 9) qui suit également bien les oscillations de toutes périodes de l'ondemètre.

On modifie la capacité du circuit de l'ondemètre jusqu'à entendre au téléphone, avec la plus grande intensité possible, les signaux de l'antenne. Le circuit de mesure de l'ondemètre est alors accordé : on lit sur sa graduation la longueur d'onde cherchée.

Afin que l'antenne n'agisse pas directement sur le circuit apériodique, on constitue celui-ci par deux bobines B et B' identiques, mais enroulées en sens contraire (fig. 119). L'une de ces bobines, B', est très peu couplée au circuit oscillant, l'autre B l'est beaucoup plus; de sorte que ce circuit agit surtout sur B et très peu sur B'. L'antenne, au contraire, qui est plus loin et à des distances peu différentes des deux bobines, y induit des forces électromotrices inverses qui se compensent.

2° Il faut ajouter encore à l'onde-

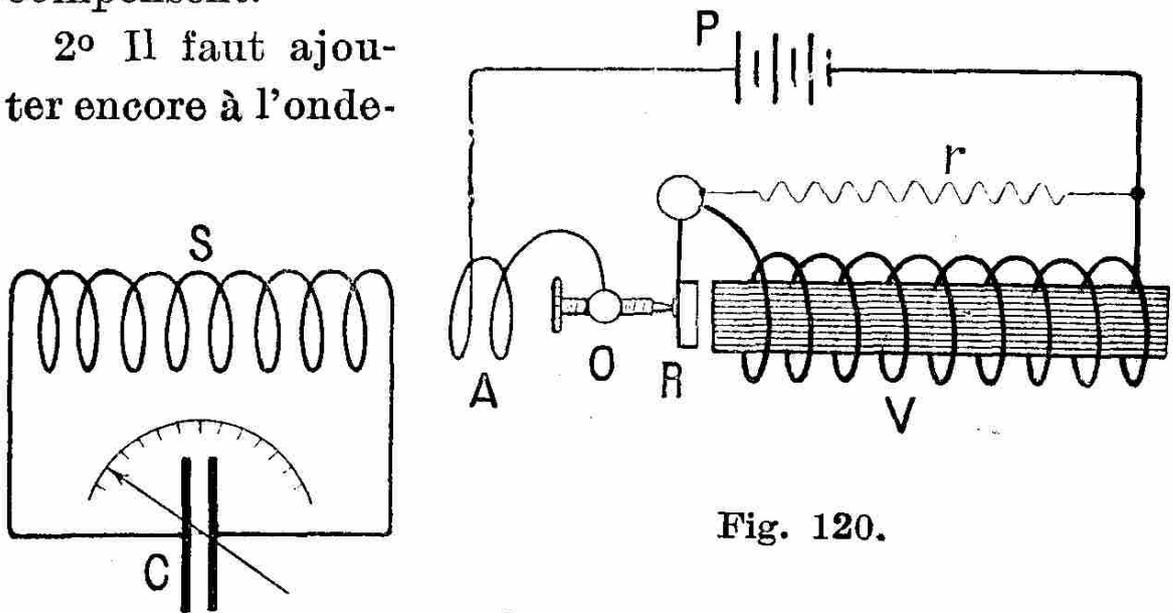


Fig. 120.

mètre un dispositif permettant de faire osciller le circuit de mesure avec sa période propre.

On se sert, dans ce but, d'un vibreur ainsi construit : devant le noyau en fils de fer d'une petite bobine V (fig. 120) est un ressort d'acier R relié à l'une des extrémités de l'enroulement. Ce ressort porte, au repos, sur un contact fixe O.

Lorsqu'on réunit respectivement aux deux pôles d'une pile P ce contact et l'extrémité libre de la bobine, le courant qui passe dans la bobine aimante le noyau de fer, qui attire le ressort; celui-ci quitte le contact,

le courant est interrompu et le ressort revient, ce qui rétablit le courant; le courant est ainsi périodiquement interrompu puis rétabli. On intercale sur le circuit une bobine de quelques tours de fil A, couplée au circuit de mesure SC de l'ondemètre. Un fil fin résistant  $r$  est mis en dérivation sur la bobine V, afin de réduire l'étincelle entre le ressort R et le contact O; on rend ainsi plus rapide la rupture du courant.

A chaque rupture brusque du circuit, la bobine A induit une force électromotrice dans le circuit SC de l'ondemètre. Cette perturbation brusque fait osciller le circuit avec sa période propre.

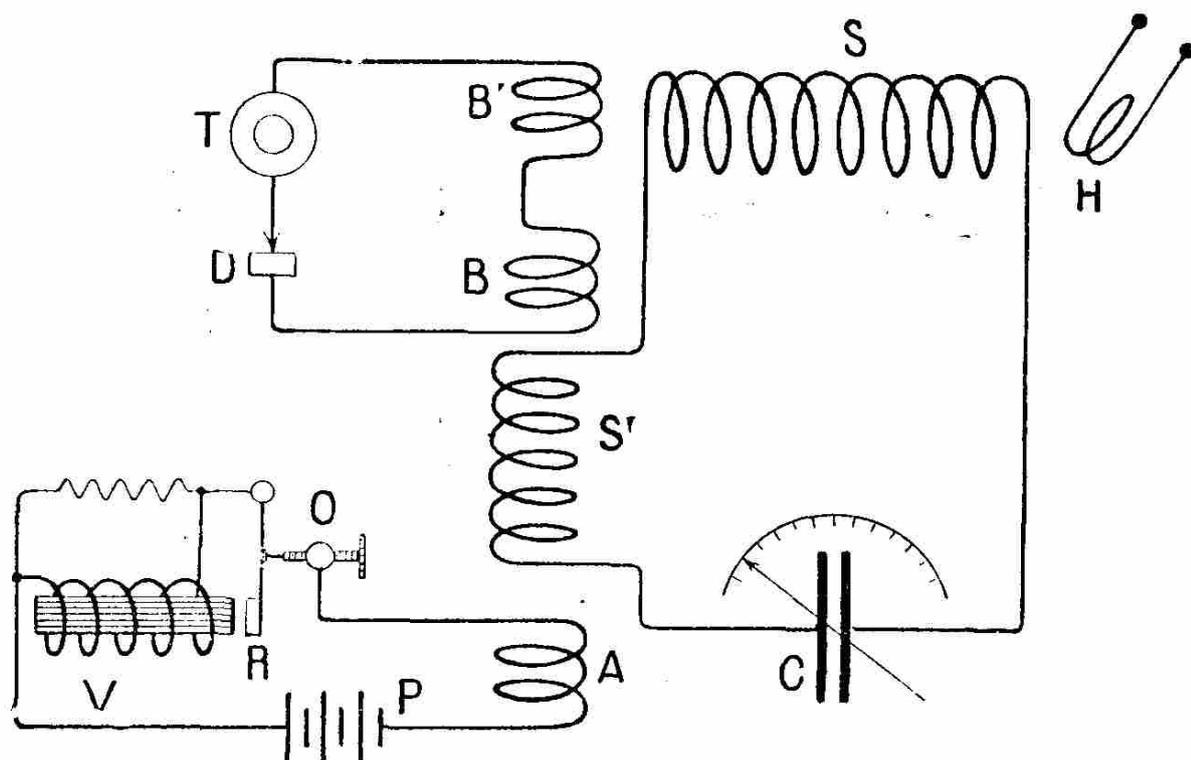


Fig. 121.

La figure 121 représente un ondemètre complet, comprenant un circuit oscillant de mesure, un dispositif téléphonique pour constater les oscillations de l'ondemètre et un dispositif pour y produire des oscillations. La self du circuit oscillant est formée de deux bobines

S et S' à angle droit. C'est S' seule qui agit sur le circuit du téléphone, lors de la mesure de la longueur d'onde à l'émission, ou c'est sur S' seule qu'agit le courant du vibreur, lors de la mesure de la longueur d'onde à la réception.

On couple à S quelques spires de fil H qu'on intercale dans l'antenne, lorsqu'on veut faire agir celle-ci plus fortement qu'en disposant seulement l'ondemètre à côté d'elle.

Grâce à ces dispositions, l'antenne ne peut agir directement sur le circuit du téléphone et n'est pas non plus directement influencée par le circuit du vibreur. Il ne peut donc y avoir de courants induits par l'antenne dans le circuit téléphonique lors de mesures à l'émission, ou de courants induits par le vibreur dans l'antenne lors de mesures à la réception, que par l'intermédiaire du circuit de mesure qui oscille avec sa période propre.

Lors de la mesure de longueurs d'onde d'oscillations entretenues émises par une antenne, on n'entend rien au téléphone sans l'emploi d'un hétérodyne réglé à l'accord.

On se sert aussi plus simplement d'un *tikker* (§ 54).

Nous allons indiquer successivement les différentes mesures que l'on fait avec l'ondemètre, instrument constamment employé dans les postes radiotélégraphiques.

**78. Mesure de la longueur des ondes émises par une antenne.** — Près du fil de prise de terre de l'antenne, on dispose l'ondemètre et on écoute à son téléphone les signaux de l'antenne. On détermine la longueur d'onde pour laquelle le son a le maximum d'intensité.

Si le son perçu est trop fort pour que son maximum d'intensité soit bien défini, on éloigne l'ondemètre de l'antenne.

Si l'antenne émet des ondes entretenues, on fait fonctionner le tikker.

L'ondemètre permet de régler la self d'antenne de façon à émettre les signaux sur une longueur d'onde fixée d'avance.

**79. Mesure de la longueur d'onde des signaux reçus par une antenne.** — On couple l'ondemètre et l'antenne en intercalant dans celle-ci les spires de la bobine H de l'ondemètre.

On règle avec soin, sur les signaux reçus l'accord de l'antenne et celui du circuit secondaire de réception (§ 32). On utilise de très faibles couplages du secondaire, afin de réaliser un accord aussi précis que possible.

On fait ensuite fonctionner le vibreur de l'ondemètre et on modifie la capacité graduée C jusqu'à entendre au maximum le son du vibreur. L'antenne est ainsi excitée par des oscillations de même période que celles sur lesquelles elle était réglée.

On lit la longueur d'onde de l'ondemètre.

**80. Détermination de la longueur d'onde d'un circuit oscillant.** — Pour mesurer la période et, par suite, la longueur d'onde d'un circuit oscillant, on pourrait ajouter sur ce circuit un détecteur et un téléphone, comme sur le circuit secondaire d'un récepteur, puis coupler le circuit oscillant à celui de l'ondemètre, faire osciller ce dernier par le vibreur, régler enfin la lon-

gueur d'onde de façon à entendre au téléphone le son le plus intense possible.

On est alors à la résonance et la lecture de l'ondemètre donne la longueur d'onde cherchée.

En ajoutant un détecteur et un téléphone au circuit oscillant, on modifie un peu sa période d'oscillation; aussi vaut-il mieux opérer comme il suit.

Soit S la self du circuit oscillant de l'ondemètre

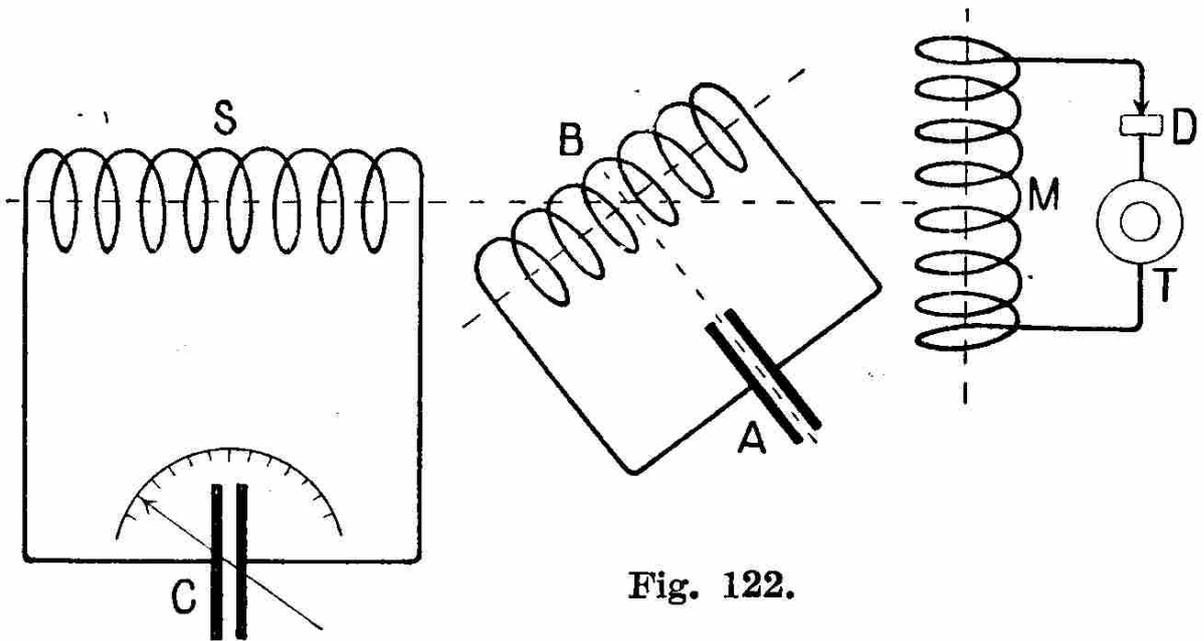


Fig. 122.

(fig. 122); on place à côté la bobine B du circuit oscillant AB à mesurer, en inclinant son axe d'un angle de  $45^\circ$  sur l'axe de la bobine S.

On dispose au delà une bobine M reliée à un détecteur D et à un téléphone T. On dirige son axe perpendiculairement à celui de S. Ce dernier circuit, sans condensateur, est apériodique et n'est pas couplé directement au circuit oscillant de l'ondemètre; il ne peut donc être mis en oscillation que par l'intermédiaire du circuit à mesurer, lorsque celui-ci est accordé.

On fait fonctionner le vibreur de l'ondemètre et on règle sa longueur d'onde de façon à percevoir au

téléphone le son le plus intense. Le circuit oscillant AB oscille alors au maximum et est accordé avec celui de l'ondemètre, sur lequel on lit la longueur d'onde.

**81. Détermination d'un circuit oscillant équivalent à une antenne.** — Lorsqu'on étudie la construction d'un poste devant fonctionner sur une antenne donnée, il est le plus souvent impossible de disposer continuellement de cette antenne. On détermine alors un circuit oscillant équivalent à l'antenne et on se sert de ce circuit pour les études et les réglages du poste.

A cet effet, on mesure d'abord la longueur d'onde propre de l'antenne débarrassée de la self et du condensateur qui modifient sa période d'oscillation. On excite l'antenne directement (§ 20) par des étincelles et on mesure la longueur  $\lambda$  des ondes émises.

On détermine, ensuite, la capacité de l'antenne de la manière suivante : dans la prise de terre de l'antenne, on intercale un condensateur afin de diminuer la longueur d'onde (§ 16) et on mesure, à nouveau, la longueur  $\lambda'$  des ondes émises.

Le condensateur et l'antenne peuvent être considérés comme deux capacités en série dont les grandeurs sont la capacité  $C$  du condensateur <sup>1</sup> et la capacité cherchée  $x$  de l'antenne.

La capacité de l'ensemble  $y$  est donnée par la relation dont on trouvera la démonstration dans les traités d'électricité.

$$\frac{1}{y} = \frac{1}{x} + \frac{1}{C}.$$

1. Nous indiquons plus loin (§ 82) comment on mesure la capacité d'un condensateur.

On en tire :

$$y = \frac{Cx}{C + x}.$$

La formule de Lord Kelvin permet d'écrire, en appelant  $L$  le coefficient de self-induction de l'antenne,

$$\lambda = 2\pi V \sqrt{xL}$$

et

$$\lambda' = 2\pi V \sqrt{yL}.$$

En divisant membre à membre, après avoir élevé au carré,

$$\frac{\lambda^2}{\lambda'^2} = \frac{x}{y} = \frac{C + x}{C}.$$

Cette équation donne la capacité de l'antenne.

$$x = C \left( \frac{\lambda^2}{\lambda'^2} - 1 \right).$$

Pour construire maintenant un circuit oscillant équivalant à une antenne donnée, on règle un condensateur à la capacité  $x$ , trouvée pour l'antenne; on lui adjoint une bobine et on détermine par tâtonnements le nombre de tours de cette bobine pour lequel le circuit oscillant a la même longueur d'onde que l'antenne. On utilise, à cet effet, le procédé de mesure de la longueur d'onde d'un circuit oscillant que nous avons décrit au paragraphe précédent.

On ajoute au circuit oscillant une résistance dont le coefficient de self-induction est négligeable, une lampe à incandescence par exemple, que l'on choisit de telle sorte que, pour la même excitation, par des étincelles de même fréquence et au même éclateur, l'intensité du courant soit la même à la base de l'antenne et sur le circuit oscillant.

Une antenne dont la capacité est répartie tout le

long du fil n'est pas en toute rigueur assimilable à un condensateur; aussi la mesure de la capacité de l'antenne n'est valable que si le condensateur qu'on intercale dans cette antenne, pour faire la mesure, a une capacité assez grande pour que les longueurs d'onde  $\lambda$  et  $\lambda'$  soient peu différentes. Il est alors nécessaire, pour bien connaître le rapport  $\frac{\lambda}{\lambda'}$  de faire des mesures précises de longueurs d'ondes.

Si le circuit oscillant équivalant à l'antenne est convenable, il faut qu'en ajoutant la même self, soit sur celui-ci, soit sur l'antenne, on leur retrouve la même longueur d'onde. Des vérifications de ce genre permettent de retoucher le circuit oscillant pour l'ajuster plus exactement.

### 82. Mesure de la capacité d'un condensateur.

— Si la capacité du condensateur de l'ondemètre a été étalonnée, c'est-à-dire si on connaît la capacité qui correspond aux

diverses positions de l'aiguille, l'ondemètre sert utilement à mesurer la capacité d'un condensateur.

On dispose, à côté de l'ondemètre, un circuit oscillant, excité, soit par des étincelles, soit plutôt par des lampes, et qui émet constamment des oscillations de longueur

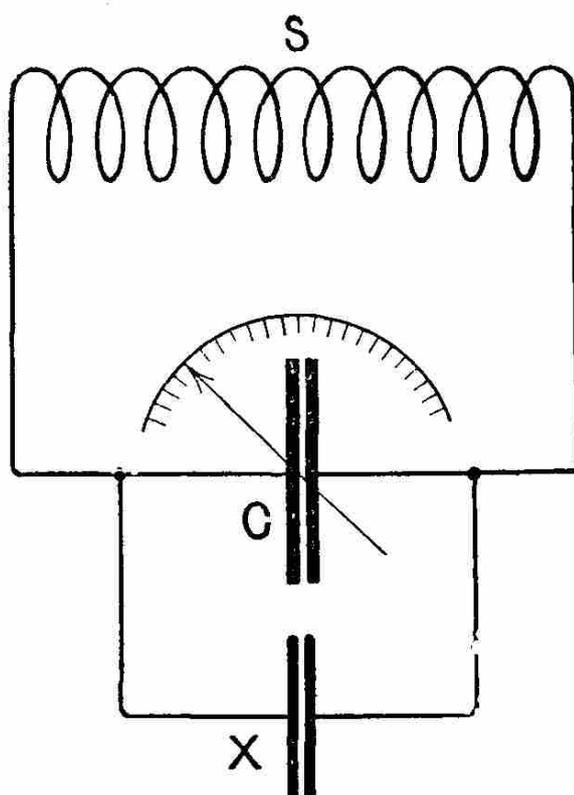


Fig. 123.

d'onde invariable. On règle l'ondemètre à la résonance.

Soit  $C$  la capacité trouvée pour le circuit de mesure.

On met en parallèle avec le condensateur de l'ondemètre la capacité  $x$  à mesurer (fig. 123).

Pour régler à nouveau la résonance, on doit diminuer la capacité  $C$  d'une quantité égale à la capacité cherchée  $x$ .

**83. Mesure du coefficient de self-induction d'une bobine.** — Lorsqu'un ondemètre est gradué en longueurs d'onde et que la capacité est étalonnée, la formule de Lord Kelvin,

$$\lambda = 2\pi V \sqrt{LC},$$

donne la valeur du coefficient de self-induction  $L$  de la bobine du circuit de mesure.

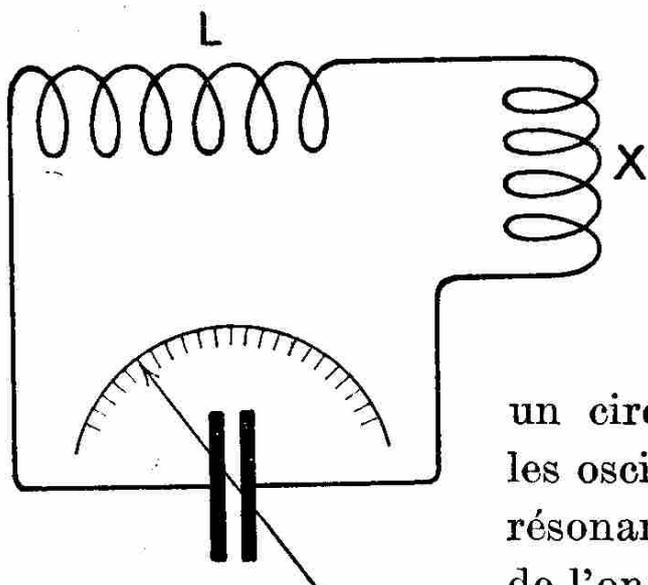


Fig. 124.

Pour mesurer le coefficient de self-induction d'une bobine, on dispose encore à côté de l'ondemètre

un circuit dont on entretient les oscillations et on règle à la résonance le circuit de mesure de l'ondemètre; soit  $C$  la valeur trouvée pour sa capacité; elle satisfait à la relation précédente.

On met en série (fig. 124), avec la bobine du circuit de mesure, la bobine dont on cherche le coefficient de self-induction  $x$ , en ayant soin de ne pas la coupler avec celle de l'ondemètre. La self-induction du circuit est alors  $L + x$ .

On rétablit la résonance, en diminuant la capacité de l'ondemètre jusqu'à une valeur  $C'$ . Comme la longueur d'onde n'a pas changé,

$$\lambda = 2\pi V \sqrt{(L + x)C'}.$$

Des deux relations précédentes, on déduit :

$$LC = (L + x) C',$$

d'où :

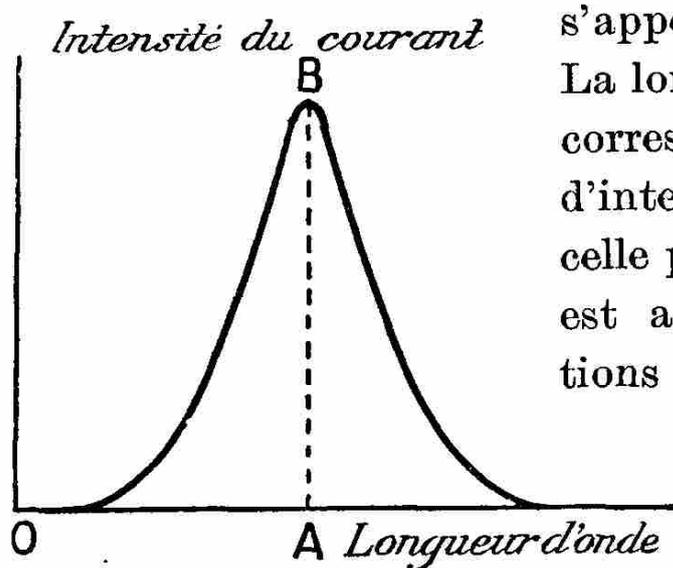
$$x = \frac{L(C - C')}{C'}.$$

**84. Courbe de résonance. — Amortissement des oscillations d'une antenne.** — Nous avons à plusieurs reprises indiqué qu'à la réception des signaux de postes à étincelles, la résonance était d'autant plus aiguë que les oscillations de l'antenne de transmission étaient moins amorties. Étant donné l'intérêt qu'il y a, afin d'éviter le brouillage, à n'entendre un poste que dans des limites de longueur d'onde du récepteur aussi étroites que possible, il est avantageux d'utiliser des antennes dont les oscillations sont aussi peu amorties que possible. D'autre part, les oscillations d'une antenne excitée par des étincelles sont d'autant plus amorties que l'antenne perd plus d'énergie, tant par l'échauffement du fil, que dans la prise de terre et que par rayonnement. En mesurant l'amortissement de l'antenne, on aura une idée de la quantité d'énergie qu'il faut fournir à une antenne pour la faire osciller avec une amplitude donnée. On détermine l'amortissement utile à connaître par le tracé, avec l'ondemètre de la *courbe de résonance*.

On emploie un circuit de mesure peu amorti et on mesure l'intensité des oscillations en intercalant sur

ce circuit un ampèremètre thermique. On place cet ondemètre au voisinage de l'antenne excitée par des étincelles. puis, augmentant progressivement la capacité graduée, on mesure l'intensité du courant dans le circuit oscillant.

On trace une courbe (fig. 125) qui représente comment varie cette intensité pour les longueurs d'ondes croissantes, lues sur l'ondemètre. Une telle courbe



s'appelle *courbe de résonance*. La longueur d'onde OA, qui correspond au maximum d'intensité du courant, est celle pour laquelle le circuit est accordé sur les oscillations de l'antenne.

Plus la courbe est pointue plus la résonance est *aiguë*.

Fig. 125.

Si, lors du tracé des courbes qui résultent de mesures faites avec le même ondemètre sur différentes antennes, on choisit l'échelle des ordonnées de manière à faire coïncider les points B, la courbe la plus pointue correspond, ainsi qu'il résulte des explications données au paragraphe 33, à l'antenne dont les oscillations sont le moins amorties.

L'étude de la courbe de résonance renseigne donc sur l'amortissement des oscillations d'une antenne excitée par des étincelles. Une étude complète de cette courbe permettrait même de savoir suivant quelle loi décroît l'amplitude des oscillations successives de l'étincelle.

Nous avons vu (§ 24) que l'excitation indirecte d'une antenne donne naissance à deux système d'oscillations

de périodes différentes, d'autant plus voisines que le couplage de l'antenne avec le circuit oscillant est plus faible.

Lorsqu'on trace la courbe de résonance pour une telle antenne, on lui trouve, en effet, deux pointes qui correspondent aux deux longueurs d'ondes (fig. 126). Si le couplage est grand, ces deux pointes sont complètement séparées; s'il est très lâche, elles se rapprochent jusqu'à se confondre. L'onde-mètre donne ainsi de précieux renseignements lors du réglage d'un poste à excitation indirecte par étincelles.

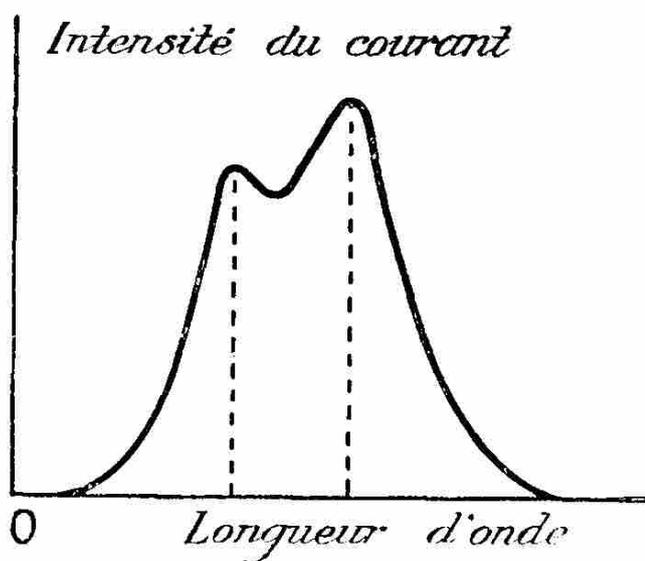


Fig. 126.

On voit sur la courbe de la figure 126, combien l'existence de deux oscillations voisines diminue l'acuité de la résonance.

Si on trace une courbe de résonance pour une antenne dont les oscillations sont entretenues par des lampes, un arc ou un alternateur, on trouve une courbe très pointue, ce qui met bien en évidence les avantages, au point de vue de la syntonie des postes, de l'emploi d'oscillations entretenues.

## SUPPLÉMENT

85. **Procédé de réception de Reinartz.** — Un télégraphiste américain, M. Reinartz, a indiqué un mode de réception facile et efficace des ondes courtes. Lorsqu'on utilise une antenne accordée; cette antenne

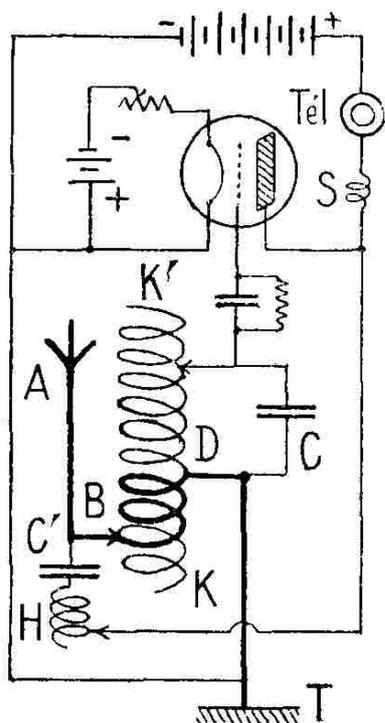


Fig. 127.

est de très petites dimensions et capte peu d'énergie; le montage de Reinartz permet d'employer une antenne de grandes dimensions dont la longueur d'onde propre est très supérieure à celle des ondes à recevoir et qui, par suite, n'est pas accordée. Le réglage se réduit à amener par une self de réaction le récepteur près de sa limite d'amorçage et à accorder le circuit de grille de la lampe détectrice (fig. 127). La partie D'K' d'une bobine est la self réglable du circuit oscillant secondaire dont C est la capacité. La

partie D'K est intercalée dans l'antenne.

Par l'intermédiaire du condensateur C et de la self réglable H, le circuit de plaque réagit sur l'antenne. La pile de plaque et le téléphone sont disposés en dérivation entre le filament et la plaque. La self induction de l'enroulement téléphonique empêche le passage, le long de cette dérivation, des variations de haute fréquence. On peut, s'il est nécessaire, ajouter une self supplémentaire S.

86. **Réception des très courtes ondes.** — M. Mesny a donné un montage à deux lampes en parallèle qui s'adapte bien à la réception d'ondes de longueur inférieure à 100 mètres sur antenne accordée ou sur cadre.

Sur l'antenne est intercalé le circuit de réception que l'on accorde par les condensateurs variables  $CC'$ , de capacité 0,005/1000 et 0,2/1000 de microfarad (fig. 128).

Un condensateur  $C_1$  intercalé dans l'antenne sert à l'accord de cette dernière.

La self du circuit de réception est reliée par son milieu à la pile de chauffage et par ses extrémités aux grilles des deux lampes. Une bobine de plaque qui lui est couplée est réunie aux plaques des lampes et en son milieu à la pile de plaque. Le téléphone ou un amplificateur à basse fréquence  $A$  est monté en dérivation sur les grilles par l'intermédiaire d'un condensateur  $C_2$ .

Le couplage entre les deux bobines peut provoquer l'amorçage d'oscillations; on règle à la limite de leur entretien en modifiant par le rhéostat  $R$  le courant de chauffage.

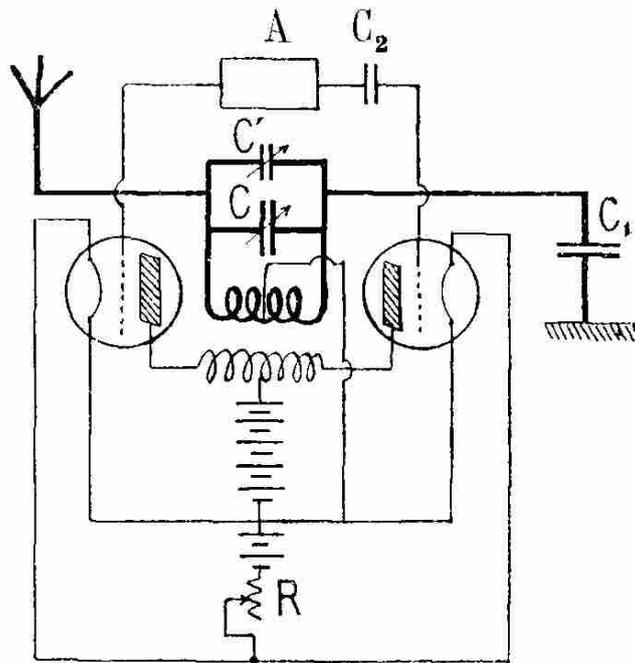


Fig. 128.

86. **Réception des très courtes ondes.** — M. Mesny a donné un montage à deux lampes en parallèle qui s'adapte bien à la réception d'ondes de longueur inférieure à 100 mètres sur antenne accordée ou sur cadre.

Sur l'antenne est intercalé le circuit de réception que l'on accorde par les condensateurs variables  $CC'$ , de capacité 0,005/1000 et 0,2/1000 de microfarad (fig. 128).

Un condensateur  $C_1$  intercalé dans l'antenne sert à l'accord de cette dernière.

La self du circuit de réception est reliée par son milieu à la pile de chauffage et par ses extrémités aux grilles des deux lampes. Une bobine de plaque qui lui est couplée est réunie aux plaques des lampes et en son milieu à la pile de plaque. Le téléphone ou un amplificateur à basse fréquence  $A$  est monté en dérivation sur les grilles par l'intermédiaire d'un condensateur  $C_2$ .

Le couplage entre les deux bobines peut provoquer l'amorçage d'oscillations; on règle à la limite de leur entretien en modifiant par le rhéostat  $R$  le courant de chauffage.

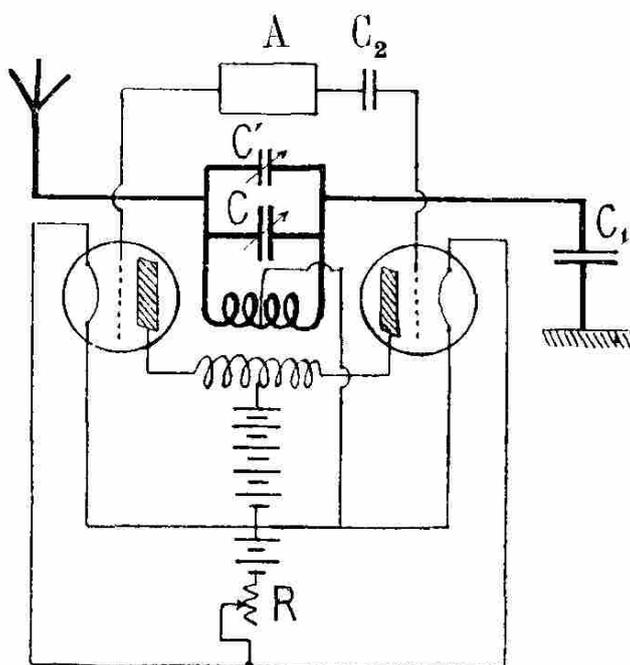


Fig. 128.

## TABLE DES MATIÈRES

---

<b>Introduction.</b> . . . . .	<b>1</b>
--------------------------------	----------

### CHAPITRE PREMIER

#### **Décharge oscillante. — Propagation par ondes. — Antennes.**

1. Courants d'induction, 3. — 2. Courant alternatif, 9. — 3. Induction du courant sur lui-même ou self-induction, 10. — 4. Condensateur, 12. — 5. Bobine d'induction, 15. — 6. Alternateur et transformateur, 16. — 7. Décharge oscillante, 22. — 8. Influence de la capacité et de la self-induction sur la fréquence des oscillations, 26. — 9. Résonance, 27. — 10. Propagation d'une perturbation, 30. — 11. Propagation par ondes progressives, 32. — 12. Ondes stationnaires, 34. — 13. Ondes électriques stationnaires le long d'un fil isolé à son extrémité, 38. — 14. Antenne, 39. — 15. Antenne à contre-poids, 41. — 16. Moyens de modifier la longueur d'onde d'une antenne, 43. — 15. Propagation des ondes électromagnétiques. Vitesse de propagation des ondes, 44. — 18. Radioconducteur de Branly, 50. — 19. Sur le rayonnement d'une antenne, 52.

### CHAPITRE II

#### **Télégraphie sans fil par ondes amorties.**

*Poste de transmission* : 20. Postes à excitation directe, 54. — 21. Éclateur, 57. — 22. Impossibilité de mettre en jeu de grandes puissances par l'excitation directe de l'antenne, 59. — 23. Postes à excitation indirecte, 59. — 24. Ondes de couplage, 62. — 25. Excitation par choc, 64. — 26. Description

sommaire et réglage d'un poste de transmission à ondes amorties, 65.

*Poste de réception* : 27. Antenne, 69. — 28. Téléphone, 69. — 29. Détecteur, 70. — 30. Réception directe, 73. — 31. Réception en dérivation, 74. — 32. Réception par induction, 75. — 33. Syntonie, 77. — 34. Couplage, 78. — 35. Recherche d'un poste et réglage de la réception, 78. — 36. Parasites atmosphériques, 79.

*Antennes* : 37. Différentes formes d'antennes, 80. — 38. Prise de terre. Entrée de poste, 86. — 39. Antenne d'avion ou de ballon, 86. — 40. Antennes multiples, 87. — 41. Antenne de réception apériodique pour ondes courtes, 90.

### CHAPITRE III

#### **Lampe valve à trois électrodes.**

42. Usages de la lampe-valve à trois électrodes en radiotélégraphie, 93. — 43. Émission de charges électriques par le filament d'une lampe à incandescence, 93. — 44. Lampe à trois électrodes, 96. — 45. Description sommaire de modèles de lampes, 101. — 46. Entretien par une lampe des oscillations d'un circuit oscillant ou d'une antenne, 102. — 47. Emploi de la lampe comme détecteur, 107. — 48. Emploi de la lampe comme relais-amplificateur, 112. — 49. Couplage entre les circuits d'entrée et de sortie d'un amplificateur. Amorçage d'oscillations, 115. — 50. Amplificateurs à haute fréquence, 119. — 51. Amplificateurs à résistances, 122. — 52. Amplificateur à courant continu pour l'inscription des signaux Morse, 125.

### CHAPITRE IV

#### **Télégraphie sans fil par ondes entretenues.**

53. Postes radiotélégraphiques à lampes, 128. — 54. Réception par interférence des ondes entretenues. Hétérodyne, 131. — 55. Avantages de la télégraphie par ondes entretenues, 134. — 56. Détecteur-autodyne, 139. — 57. Récepteur radiotélégraphique à lampes, 141. — 58. Superhétérodyne pour la réception des ondes très courtes, 145. — 59. Superréaction, 149. — 60. Dispositif de détection autodyne avec tension de plaque à haute fréquence, 152. — 61. Poste radiotélégraphique à arc, 154. — 62. Alternateur à haute fréquence, 160.

## CHAPITRE V

**Radiotélégraphie dirigée. — Radiogoniométrie.**

63. But de la radiogoniométrie, 161. — 64. Émission dirigée d'un cadre, 161. — 65. Émission dirigée par un système de deux cadres, 165. — 66. Détermination de position par l'écoute d'émissions radiotélégraphiques dirigées, 167. — 67. Réception sur cadre, 168. — 68. Cadre goniométrique, 170. — 69. Détermination de position par des réceptions radiotélégraphiques dirigées, 171. — 70. Les principales applications de la radiotélégraphie, 172.

## CHAPITRE VI

**Téléphonie sans fil.**

71. Microphone, 175. — 72. Principe de la radiotéléphonie, 176. — 73. Procédés de modulation des oscillations de l'antenne d'émission, 180. — 74. Réception des conversations radiotéléphoniques, 190. — 75. De l'emploi des lampes à trois électrodes sur les lignes téléphoniques, 193.

## CHAPITRE VII

**Ondemètre.**

76. Détermination de la période et graduation d'un circuit oscillant d'ondemètre, 195. — 77. Ondemètre, 198. — 78. Mesure de la longueur des ondes émises par une antenne, 202. — 79. Mesure de la longueur d'onde des signaux reçus par une antenne, 203. — 80. Détermination de la longueur d'onde d'un circuit oscillant, 203. — 81. Détermination d'un circuit oscillant équivalant à une antenne, 205. — 82. Mesure de la capacité d'un condensateur, 207. — 83. Mesure du coefficient de self-induction d'une bobine, 208. — 84. Courbe de résonance. Amortissement des oscillations d'une antenne, 209.

SUPPLÉMENT. — 85. Procédé de réception de Reinartz, 212. — 86. Réception des très courtes ondes 213.

# RADIO PHONO

## RECORD DU MONDE

Pour l'audition à longues distances

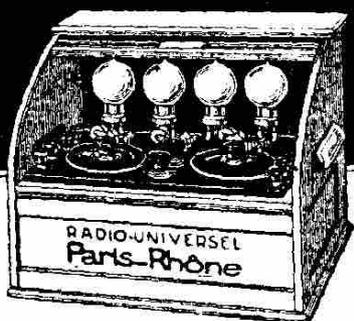
### PAIEMENTS PAR MENSUALITÉS

au même prix qu'au comptant

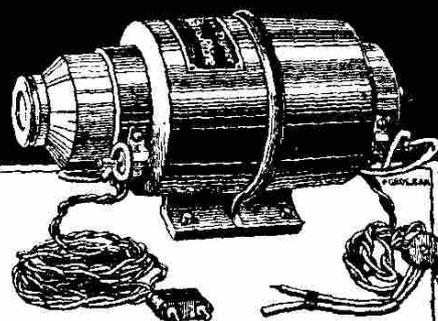
Détails et références : franco, **UN FRANC**

**SNAP, 13, Avenue d'Italie, PARIS**

R. C. Seine 213.756.



## TÉLÉPHONIE SANS FIL



*Vous recevrez  
d'une façon parfaite*

*Toutes les émissions radiophoniques à toutes distances avec*

**LE RADIO-UNIVERSEL**

# Paris-Rhône

*Pour charger vos accumulateurs utilisez le*  
**GRUPE CONVERTISSEUR DYNAC**

*En vente chez les agents, électriciens, etc. et*

ON FILIÉ TECHNIQUE DE PUBLICITE

**23. Avenue des Champs-Élysées. PARIS**

# Pour faire un **BON TECHNICIEN**

adressez-vous à l'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE

DE L'ÉCOLE DU GÉNIE CIVIL

Placée sous le Haut Patronage de l'État

152, Avenue de Wagram, PARIS. - Tél. : Wagram 27-97

---

*Fondé il y a 20 ans par des INDUSTRIELS  
Dirigé par des INGÉNIEURS-SPÉCIALISTES*

*Cet Institut met 600 COURS à votre disposition*

*Rédigés par 300 professeurs*

---

Cours oraux de jour et de soir, 500 ÉLÈVES

Cours par Correspondance, 18.000 ÉLÈVES

---

**Enseignement pratique, Élémentaire, Moyen et Supérieur**

Facilité d'accès aux diplômes suivants,  
pour les diverses branches

*Monteurs, Contremaîtres*

*Conducteurs et Dessinateurs*

*Sous-Ingénieurs et Ingénieurs*

---

*Cours spéciaux de T. S. F.*

Armée, Marine, P. T. T., Industrie, Amateurs

---

**Jeunes techniciens, perfectionnez-vous**

vous gagnerez davantage et votre patron également

---

ENVOI GRATUIT DU PROGRAMME

---

Les Carrières de l'Électricité, 1 vol. . . . . 3 fr. 50  
Les Carrières de la T. S. F., 1 vol. . . . . 3 »

# LE TÉLÉPHONE PRATIQUE

30, Boulevard Voltaire (Près République), Paris (XI<sup>e</sup>)  
Téléphone : Roquette 04-78

Présente les meilleurs appareils de Téléphonie avec ou sans fil

**J.-G. BUISSON**

*Ex-chef d'atelier des P. T. T.*

Constructeur du " **FORNETT** "

qui permet aux dilettantes de goûter les Radio-Concerts  
dans leurs moindres nuances

*Agent de fabrication des appareils et casques haute sensibilité*  
**EURIEULT-GRAMMONT**

Guide pratique pour réception de T. S. F. et catalogue 1 franc.

R. C. : Seine 27.168

## ÉCOLE SPÉCIALE

de **T. S. F.** du Champ de Mars  
Fondée en 1912, Méd. d'Or

La première école française et la plus importante  
**67 et 69, Rue Fondary - Paris**

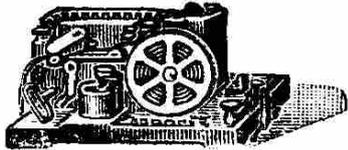
Agréée par l'État, la Marine, les Services de l'Armée, les P. T. T., et les Compagnies de Navigation

**COURS ORAUX (SOIR ET JOUR) ET PAR CORRESPONDANCE**

*Préparant à tous les emplois et aux examens officiels (succès assuré)*

**Études techniques bien à la portée de tous (500 figures)**  
pour **AMATEURS** ou **BONNES SITUATIONS** :

**P. T. T., 8<sup>e</sup> GÉNIE, MARINE, C<sup>tes</sup> MARITIMES, COLONIES, etc.**



Automorsophone  
Breveté S. G. D. G.

**LECTURE au SON et MANIPULATION en 1 mois**  
seul chez soi, avec l'**AUTOMORSOPHONE LESCLIN**  
le seul appareil pratique. Références dans le monde entier.

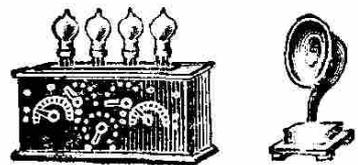
**APPAREILS de T.S.F. et de TÉLÉPHONIE SANS FIL**

*des plus Puissants pour RADIO-CONCERTS*

**PIÈCES DÉTACHÉES POUR AMATEURS**

*Prix avantageux. Se recommander de l'annonce*

**Manuel pratique de l'amateur et guide aux emplois de T.S.F. : 4fr.**



R. C. : Seine 95-069

# GRAMMONT

Services Commerciaux : 10, Rue d'Uzès, PARIS

Tél. : Central 19-43, 21-85

Gutenberg 00-54

R. C. : Seine n° 116.354

---



## AMATEURS !

Vous qui désirez une excellente audition,  
exigez :

Nos TRIODES,

Nos AMPLIFICATEURS,

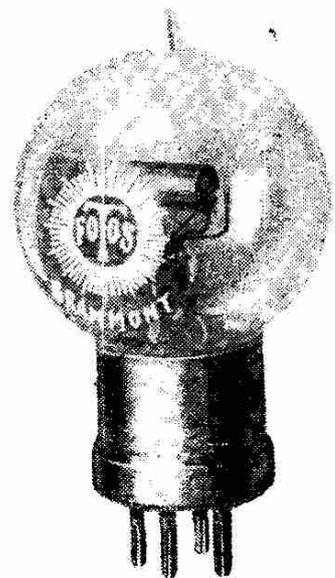
Nos CASQUES

ET

Nos RÉCEPTEURS

---

Usines } Lampes : LYON Croix-Rousse  
} Téléphonie et Amplificateurs :  
PARIS et MALAKOFF



# SANS FILISTES

EXIGEZ DE VOS FOURNISSEURS

les Postes à galène et à lampes,  
les Écouteurs simples et " Super ",  
les Casques ordinaires et " Super ",  
les Haut-Parleurs et Transformateurs.  
les Accessoires et Pièces détachées,  
DES MARQUES

**HYGEAPHONE - S. I. D. P. E.**

*Demandez leur prix et tous renseignements à*

**RADIO-CONSORTIUM**

PARIS - 15, Rue Montmartre, 15 - PARIS

Tél. : Louvre 01-04

Adr. Télégr. : Hygeaphone-Paris

R. C. : Seine 212.519

## ACCUMULATEURS-PILES

pour T. S. F.

**GADOT**

LEVALLOIS (PARIS)

LYON

Porte Champerret

153, Avenue Berthelot

## APPAREIL DE RÉCEPTION SUR GALÈNE ET LAMPES AMPLIFICATEURS BREVETÉS

Chaque appareil sortant de nos ateliers est accompagné de son certificat d'essai et de garantie

**ET. L. GUILLION, CONSTR**

39, Rue Lhomond, PARIS (V°)

Tél. : Gob. 54-33

R. C. : Seine 228.556

N° 1

A. BLANC

Professeur à la Faculté des Sciences de Caen

---

**RAYONNEMENT**  
**Principes scientifiques de l'Éclairage**  
*35 figures*

---

**C**ET ouvrage intéresse tous ceux qui ont à faire un choix raisonné entre les différents procédés d'éclairage.

Après avoir clairement exposé les principes sur lesquels doit reposer tout système d'éclairage qui veut être économique et satisfaisant, l'auteur passe en revue et compare tous les appareils, même les plus modernes, et en établit le rendement avec précision.

---

N° 2

E. JAMMY

Ingénieur en chef aux Forges et Chantiers de la Méditerranée

---

**LA CONSTRUCTION DU**  
**VAISSEAU DE GUERRE**  
*183 figures, 4 planches hors texte*

---

**C**ET ouvrage, abondamment illustré et écrit par l'un des hommes à qui nous devons la construction de puissantes unités navales, est à la fois le livre des spécialistes des constructions navales et le livre de tout homme cultivé qui veut s'orienter dans ce carrefour des sciences modernes que forme un de nos navires de guerre.

---

N° 3

R. BRICARD

Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers

---

**CINÉMATIQUE ET MÉCANISMES**  
*79 figures*

---

**D'**UNE remarquable simplicité, l'ouvrage de M. Bricard permet à tous ceux qui veulent étudier les mécanismes dans leurs rapports avec les lois du mouvement, de s'initier à cette science avec des connaissances mathématiques très réduites. C'est aussi le livre du praticien qui veut comprendre et perfectionner son travail.

---

**LIBRAIRIE ARMAND COLIN,**

N° 7

EUGÈNE BLOCH

Maitre de Conférences à la Sorbonne

---

THÉORIE CINÉTIQUE  
DES GAZ

*7 figures*

---

**C'**EST le premier exposé en langue française d'une théorie qui fait partie de toute culture scientifique complète. Sobre, clair, précis, ce livre est accessible à tous ceux qui possèdent des éléments des mathématiques et veulent s'initier rapidement à une discipline élevée.

---

N° 8

J. GEFFROY

Ingénieur des Arts et Manufactures, ancien Professeur à l'École Centrale

---

TRAITÉ PRATIQUE DE  
GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE

*248 figures*

---

**C'**EST le livre du débutant en Géométrie Descriptive. L'exposé très simple et très compréhensif des méthodes est suivi d'applications pratiques à la taille des pierres et au trait de charpente. Les théoriciens peuvent y apprendre le rôle pratique de la Géométrie Descriptive, les praticiens peuvent aisément y retrouver l'explication des procédés qu'ils utilisent.

---

N° 9

H. BÉGHIN

Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier

---

STATIQUE ET DYNAMIQUE  
(TOME I)

*76 figures*

---

**C'**E sont les lois essentielles de la Mécanique qui sont exposées dans ce livre. L'auteur oriente immédiatement chaque théorie vers les applications qu'elle comporte dans l'industrie. Une foule d'exercices choisis dans le domaine de l'expérience quotidienne de la Mécanique appliquée permettent au lecteur de se familiariser avec les procédés de la Mécanique.

N° 10

H. BÉGHIN

Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier

---

## STATIQUE ET DYNAMIQUE

(TOME II)

*151 figures*

---

**C**E second volume complète heureusement les notions exposées dans le premier. Le sens du concret n'abandonne jamais l'auteur qui enveloppe de réalités les formules, et qui, inversement, dans chaque application pratique, sait discerner et faire comprendre le jeu et le rôle des lois. C'est pourquoi cet ouvrage rendra service aux étudiants des Facultés et des grandes Écoles, ainsi qu'aux ingénieurs qui se sont, dès le début, orientés vers les applications.

---

N° 11

CH. FABRY

Professeur à la Sorbonne

---

## ÉLÉMENTS D'ÉLECTRICITÉ

*70 figures*

---

**C'**EST un livre pour les débutants, dans lequel les praticiens trouveront matière à réflexion, car il résume l'expérience de longues années d'enseignement et de recherches scientifiques. Tous seront étonnés de la simplicité que revêt l'exposition d'une science donnée parfois comme mystérieuse et compliquée.

---

N° 12

Colonel J. ROUELLE

---

## LA FONTE

(ÉLABORATION ET TRAVAIL)

*29 figures*

---

**C**ET ouvrage donne, en un style clair et précis, les principes fondamentaux, les points essentiels et les plus importants détails du travail de la fonte. Extrêmement documenté, malgré sa concision, il sera étudié avec fruit par les jeunes gens qui désirent entrer dans l'industrie métallurgique, et il sera lu avec intérêt par tous ceux qui veulent se tenir au courant du mouvement économique de notre pays.

---

# COLLECTION ARMAND COLIN

---

Chaque volume in-16, broché . . . . . 6 fr.  
Relié . . . . . 7 fr.

---

---

“ *Vulgariser sans abaisser* ”

## BUT DE LA COLLECTION

- 1° Fournir **aux jeunes gens** qui désirent s'initier à la pratique d'une profession ou se perfectionner dans celle qu'ils ont choisie, des instruments commodes de travail, sous la forme de livres courts, et cependant complets, rédigés par des savants, par des spécialistes en chaque matière.
- 2° Mettre à la portée de **toute personne cultivée** que les nécessités de la vie ont obligée à se spécialiser, des exposés clairs et précis des connaissances jusqu'ici acquises dans les domaines les plus variés.

La COLLECTION ARMAND COLIN répond ainsi à ce besoin qu'a tout homme intelligent de sortir de temps en temps de sa spécialité pour faire, dans les champs d'action d'autrui, une excursion qui ne peut être instructive que si elle a lieu sous la direction d'un guide sûr. *C'est ce guide que fournit la « Collection Armand Colin ».*

- 3° Répandre au dehors des livres exposant les idées, les méthodes et le goût français, et faire ainsi rayonner dans le monde la science et la culture françaises.

- N° 1. **Rayonnement** (Principes scientifiques de l'Éclairage), par A. BLANC, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen (35 figures).
- N° 2. **La Construction du Vaisseau de guerre**, par E. JAMMY, Ingénieur en chef aux Forges et Chantiers de la Méditerranée (183 figures, 4 planches hors texte).
- N° 3. **Cinématique et Mécanismes**, par R. BRICARD, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers (79 figures).
- N° 4. **L'École classique française : Les doctrines et les hommes, 1660-1715**, par A. BAILLY, Professeur au Lycée Pasteur.
- N° 5. **Éléments d'Agriculture coloniale : Plantes à huile**, par Yves HENRY, Inspecteur général de l'Agriculture aux Colonies (35 figures).
- N° 6. **Télégraphie et Téléphonie sans fil**, par C. GUTTON, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon (107 figures).
- N° 7. **Théorie cinétique des Gaz**, par E. BLOCH, Maître de Conférences à la Sorbonne (7 figures).
- N° 8. **Traité pratique de Géométrie descriptive**, par J. GEFROY, Ingénieur des Arts et Manufactures (248 figures).
- N° 9. **Statique et Dynamique** (Tome I) par H. BÉGHIN, Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier (76 fig.).
- N° 10. **Statique et Dynamique** (Tome II), par H. BÉGHIN, Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier (151 figures).
- N° 11. **Éléments d'Électricité**, par Ch. FABRY, Professeur à la Sorbonne (70 figures).
- N° 12. **La Fonte** (Élaboration et Travail), par le Colonel J. ROUELLE (29 figures).
- N° 13. **L'Hérédité**, par Et. RABAUD, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris (34 figures).
- N° 14. **Principes de l'Analyse chimique**, par V. AUGER, Professeur de Chimie analytique à la Sorbonne (11 fig.).

- N<sup>o</sup> 15. **Les Pyrénées**, par M. SORRE, Maître de Conférences à la Faculté des Lettres de Bordeaux (3 cartes).
- N<sup>o</sup> 16. **Chimie et Fabrication des Explosifs**, par P. VEROLA, Ingénieur en chef des Poudres (9 figures).
- N<sup>o</sup> 17. **La Révolution française**, par A. MATHIEZ, Professeur à l'Université de Dijon. Tome I : *la Chute de la Royauté*.
- N<sup>o</sup> 18. **Les grands Marchés des Matières premières**, par F. MAURETTE, Professeur à l'École des Hautes Études Commerciales (8 cartes et 3 graphiques).
- N<sup>o</sup> 19. **L'Industrie du Fer en France**, par J. LEVAINVILLE, Docteur de l'Université de Bordeaux (4 cartes).
- N<sup>o</sup> 20. **L'Acier** (Élaboration et Travail), par le Colonel J. ROUELLE (45 figures).
- N<sup>o</sup> 21. **Le Droit ouvrier** (Tableau de la Législation française actuelle), par G. SCALLE, Professeur à la Faculté de Droit de Dijon.
- N<sup>o</sup> 22. **Les Maladies dites Vénéériennes**, par le D<sup>r</sup> P. RAVAUT, Médecin de l'Hôpital Saint-Louis (22 figures).
- N<sup>o</sup> 23. **La Houille blanche**, par H. CAVAILLÈS, Professeur au Lycée de Bordeaux (8 cartes et 4 figures).
- N<sup>o</sup> 24. **Propriétés générales des Sols en Agriculture**, par G. ANDRÉ, Professeur à l'Institut Agronomique.
- N<sup>o</sup> 25. **Vue générale de l'Histoire d'Afrique**, par G. HARDY, Directeur général de l'Enseignement au Maroc,
- N<sup>o</sup> 26. **Les Instruments d'Optique**, par H. PARISELLE, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille (82 fig.).
- N<sup>o</sup> 27. **Le Naturalisme français**, par P. MARTINO, Professeur à la Faculté des Lettres d'Alger.
- N<sup>o</sup> 28. **Théorie du Navire** (Tome I), par M. LE BESNERAIS, Ingénieur en chef du Génie Maritime (61 figures).

- N<sup>o</sup> 29. **Éléments de Paléontologie** (Tome I), par L. JOLEAUD, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Paris (53 figures).
- N<sup>o</sup> 30. **Éléments de Paléontologie** (Tome II), par L. JOLEAUD, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Paris (40 figures).
- N<sup>o</sup> 31. **Le Ballon, l'Avion, la Route aérienne**, par M. LARROUY, Ingénieur de l'École Supérieure d'Aéronautique (25 figures).
- N<sup>o</sup> 32. **La Société Féodale**, par J. CALMETTE, Professeur à l'Université de Toulouse.
- N<sup>o</sup> 33. **Bois coloniaux**, par H. LECOMTE, Membre de l'Institut, Professeur au Muséum d'Histoire Naturelle (28 figures).
- N<sup>o</sup> 34. **Probabilités, Erreurs**, par Émile BOREL, Membre de l'Institut, Professeur à la Sorbonne et R. DELTHEIL, Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse (10 fig.).
- N<sup>o</sup> 35. **La Physique du Globe**, par Ch. MAURAIN, Professeur à l'Université de Paris (21 figures).
- N<sup>o</sup> 36. **L'Atmosphère et la prévision du Temps**, par J. ROUCH, Professeur à l'École Navale (36 figures).
- N<sup>o</sup> 37. **Les Méthodes actuelles de la Chimie**, par P. JOLIBOIS, Professeur à l'École Supérieure des Mines (45 figures).
- N<sup>o</sup> 38. **Les Coopératives de consommation en France**, par Bernard LAVERGNE, Professeur à la Faculté de Droit de Nancy.
- N<sup>o</sup> 39. **La Grande Guerre (1914-1918)**, par le général THEVENET, Ancien Gouverneur de Belfort (15 cartes).
- N<sup>o</sup> 40. **Mines et Torpilles**, par Henri STROH, Ingénieur en chef de la Marine (40 figures).
- N<sup>o</sup> 45. **Le Félibrige**, par Émile RIPERT, Professeur à la Faculté des Lettres de l'Université d'Aix-Marseille.

- N<sup>o</sup> 46. **Le Blocus et la Guerre sous-marine**, par A. LAURENS, Chef de la Section historique de l'État-Major de la Marine.
- N<sup>o</sup> 47. **Alternateurs et Moteurs synchrones** (Tome I), par E. ROTH, Ingénieur en chef de la Société Alsacienne de Constructions électriques de Belfort (102 figures).
- N<sup>o</sup> 49. **Éléments d'Agriculture coloniale : Plantes à Fibres**, par Yves HENRY, Inspecteur général de l'Agriculture aux Colonies (55 figures).
- N<sup>o</sup> 50. **Astronomie générale**, par Luc PICART, Directeur de l'Observatoire de Bordeaux (42 figures).
- N<sup>o</sup> 51. **L'Après-Guerre et la politique commerciale**, par Cl. GIGNOUX, Chargé de Cours à la Faculté de Droit de Nancy.
- N<sup>o</sup> 52. **La Révolution française**, par A. MATHIEZ, Professeur à la Faculté des Lettres de Dijon. Tome II : *La Gironde et la Montagne*.
- N<sup>o</sup> 53. **L'Angleterre au XIX<sup>e</sup> siècle, son évolution politique** par Léon CAHEN, Professeur au Lycée Condorcet.
- N<sup>o</sup> 54. **Balistique extérieure**, par J. OTTENHEIMER, Ingénieur principal d'Artillerie navale (48 figures).
- N<sup>o</sup> 58. **Rome et les Lettres latines**, par A. DUPOUY, Professeur au Lycée Michelet.
- N<sup>o</sup> 63. **Le Saint-Siège, l'Église catholique et la Politique mondiale**, par Maurice PERNOT, Agrégé de l'Université, ancien Membre de l'École française de Rome.

---

*Pour paraître prochainement*

**La France économique et sociale au XVIII<sup>e</sup> siècle**, par Henry SÉE.

**Les Alpes françaises**, par R. BLANCHARD.

**Théorie du Navire** (Tome II), par M. LE BESNERAIS.

**Les Industries de la Soie en France**, par P. CLERGET.

**Courants alternatifs**, par P. SÈVE.

**Piles et Accumulateurs électriques**, par L. JUMAU.

**Éléments de Géométrie analytique**, par A. TRESSE.

**Calculs graphiques et numériques**, par E. GAU.

---

LIBRAIRIE ARMAND COLIN

Comte MONTESSUS DE BALLORE  
Directeur du Service Sismologique de la République du Chili

**LA GÉOGRAPHIE SISMOLOGIQUE** (*Les Tremblements de Terre*)

Un vol. in-8° 480 pages, 89 fig. et cartes, 3 cartes hors texte, broché. 40 fr.

(Ouvrage couronné par l'Académie des Sciences  
et par la Société de Géographie de Paris)

**LA SCIENCE SISMOLOGIQUE** (*Les Tremblements de Terre*)

Un vol. in-8°, 590 pages, 185 figures et cartes, 32 planches hors texte, br. 50 fr.

(Ouvrage couronné par l'Académie des Sciences  
et par la Société de Géographie de Paris)

**LA GÉOLOGIE SISMOLOGIQUE** (*Les Tremblements de Terre*)

Un vol. in-8°, 118 figures dans le texte et 16 planches hors texte, br. 50 fr.

**LA SISMOLOGIE MODERNE.** Un vol. in-18, 64 fig, br. 10 fr.

---

*4<sup>e</sup> Édition entièrement refondue en 3 volumes.*

EMMANUEL DE MARTONNE  
Professeur de Géographie à la Sorbonne

**TRAITÉ DE GÉOGRAPHIE PHYSIQUE**

Tome I : **Notions Générales — Climat — Hydrographie.**

Un volume in-8° raisin (16×25), XII-496 pages, 193 figures et cartes dans le  
texte, 6 planches de reproductions photographiques et 2 planisphères en couleur  
hors texte, broché . . . . . 40 fr.

Tome II : **Relief du sol.** In-8° raisin, (*En préparation.*)

Tome III : **Biogéographie.** In-8° raisin, (*En préparation.*)

---

EMILE HAUG

Membre de l'Institut, Professeur à l'Université de Paris

**TRAITÉ DE GÉOLOGIE**

Tome I : **Les Phénomènes géologiques.** Un volume in-8°, 538 pages,  
195 figures et cartes, 78 planches hors texte, broché. . . . . 50 fr.

Tome II : **Les Périodes géologiques.** 1488 pages, 291 figures et cartes et  
64 planches hors texte.

Le tome II est en vente, soit en 3 fascicules in-8° raisin, brochés :

1<sup>er</sup> fascicule, 25 fr. ; — 2<sup>e</sup> fascicule, 30 fr. ; — 3<sup>e</sup> fascicule, 40 fr.

soit en 2 volumes in 8° raisin, reliés demi-chagrin ; ensemble . . . . . 155 fr.

---

L. DE LAUNAY

Membre de l'Institut, Professeur à l'École des Mines

**LA SCIENCE GÉOLOGIQUE**

**Ses Méthodes, ses Résultats, son Histoire.**

Un vol. in-8° (26×16), 776 pages, 53 figures, 6 planches hors texte, br. 40 fr.

---

FERDINAND BRUNOT

Professeur d'Histoire de la Langue française à l'Université de Paris

## HISTOIRE DE LA LANGUE FRANÇAISE

### des Origines à 1900

Ouvrage couronné par l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres  
(1<sup>er</sup> Grand Prix Gobert)

Tome I.	De l'Époque latine à la Renaissance. In-8° raisin, broché.	40 fr.
Tome II.	Le Seizième Siècle. In-8° raisin, broché . . . . .	40 fr.
Tome III.	Formation de la Langue classique (1600-1660)	
	Première Partie. In-8° raisin, broché . . . . .	30 fr.
	Seconde Partie. In-8° raisin, broché . . . . .	25 fr.
Tome IV.	La Langue classique (1660-1715)	
	Première Partie. In-8° raisin, broché. . . . .	50 fr.
	Seconde Partie. In-8° raisin, broché. . . . .	40 fr.
Tome V.	Le Français en France et hors de France au XVII <sup>e</sup> siècle. In-8° raisin, broché . . . . .	30 fr.

Chaque volume relié demi-chagrin, tête dorée : 20 fr. en sus.

## HISTOIRE

### DE LA LANGUE ET

## DE LA LITTÉRATURE FRANÇAISE

### des Origines à 1900

publiée sous la direction de

L. PETIT DE JULLEVILLE

Professeur à l'Université de Paris

Ouvrage complet en 8 volumes

avec 156 planches hors texte en noir et en couleur

I. Le Moyen Age, des Origines à 1500 (Première Partie). 1 vol.	V. Le XVII <sup>e</sup> siècle (Seconde Partie) . . . . . 1 vol.
II. Le Moyen Age, des Origines à 1500 (Seconde Partie). 1 vol.	VI. Le XVIII <sup>e</sup> siècle . . . . . 1 vol.
III. Le XVI <sup>e</sup> siècle . . . . . 1 vol.	VII. Le XIX <sup>e</sup> siècle (Période romantique : 1800-1850) . 1 vol.
IV. Le XVII <sup>e</sup> siècle (Première Partie) . . . . . 1 vol.	VIII. Le XIX <sup>e</sup> siècle (Période contemporaine : 1850-1900) . 1 vol.

Chaque volume in-8° raisin (16×25), broché. . . . . 50 fr.  
Relié demi-chagrin, tête dorée. 75 fr.

RENÉ HUCHON

Professeur à l'Université de Paris

## HISTOIRE DE LA LANGUE ANGLAISE

Tome I : Des Origines à la Conquête Normande (450-1066). Un volume  
In-8° carré (14×22), broché. . . . . 20 fr.

*Nouvelle Edition entièrement refondue et considérablement augmentée*

CHARLES SEIGNOBOS

Professeur à la Faculté des Lettres de l'Université de Paris

**HISTOIRE POLITIQUE  
DE  
L'EUROPE CONTEMPORAINE**

**Évolution des Partis et des Formes politiques (1814-1914)**

Tome I. Un volume in-8° raisin (16×25), XIV-536 pages, broché. . . 35 fr.  
Tome II. Un volume in-8° raisin, broché (*en préparation*).

A. AULARD

Professeur à la Faculté des Lettres de l'Université de Paris

**HISTOIRE POLITIQUE  
DE LA  
RÉVOLUTION FRANÇAISE**

**Origine et développement de la Démocratie et de la République (1789-1804)**

Un volume in-8° raisin (16×25), 816 pages, broché. . . . . 50 fr.  
Relié demi-chagrin, tête dorée 70 fr.

E. LAVISSE et A. RAMBAUD

**HISTOIRE GÉNÉRALE  
du IV<sup>e</sup> SIÈCLE à nos jours**

Ouvrage complet en 12 volumes

- |   |  |
|---|--|
| I. Les Origines (395-1905). 1 vol.  | VII. Le XVIII <sup>e</sup> siècle (1715-1788).<br>1 vol.     |
| II. L'Europe féodale, les Croisades (1095-1270). . . . . 1 vol.             | VIII. La Révolution française (1789-1799) . . . . . 1 vol.   |
| III. Formation des Grands États (1270-1492) . . . . . 1 vol.                | IX. Napoléon (1800-1815) . 1 vol.                            |
| V. Renaissance et Réforme. Les Nouveaux Mondes (1492-1559) . . . . . 1 vol. | X. Les Monarchies constitutionnelles (1815-1847) . . 1 vol.  |
| V. Les Guerres de Religion (1559-1648) . . . . . 1 vol.                     | XI. Révolutions et guerres nationales (1848-1870) . . 1 vol. |
| VI. Louis XIV (1643-1715) . 1 vol.  | XII. Le Monde contemporain (1870-1900) . . . . . 1 vol.      |

Chaque volume in-8 raisin (16×25), broché. . . . . 50 fr.  
Relié demi-chagrin, tête dorée. 70 fr.

*Chaque volume forme un tout complet et peut être acquis séparément*

ALFRED RAMBAUD

Membre de l'Institut, Professeur à l'Université de Paris

**HISTOIRE DE LA CIVILISATION FRANÇAISE**

Tome I. Des Origines à la Fronde. Un volume in-18, broché. . . 15 fr.  
Tome II. De la Fronde à la Révolution. Un volume in-18, broché. 12 fr.

