

Théorie Simplifiée  
de la  
Télégraphie sans Fil

PAR

**A. VERDURAND**

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

*Deuxième Édition refondue*



PARIS (vi<sup>e</sup>)

**H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS**

47 ET 49, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS

1917

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés pour tous pays.  
Copr. by Dunod et Pinat 1917.



**Théorie Simplifiée**  
**de la Télégraphie sans Fil**

T

# Théorie Simplifiée

de la

# élégraphie sans Fil

PAR

**A. VERDURAND**

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

---

*Deuxième Édition refondue*



PARIS (vi<sup>e</sup>)

H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS

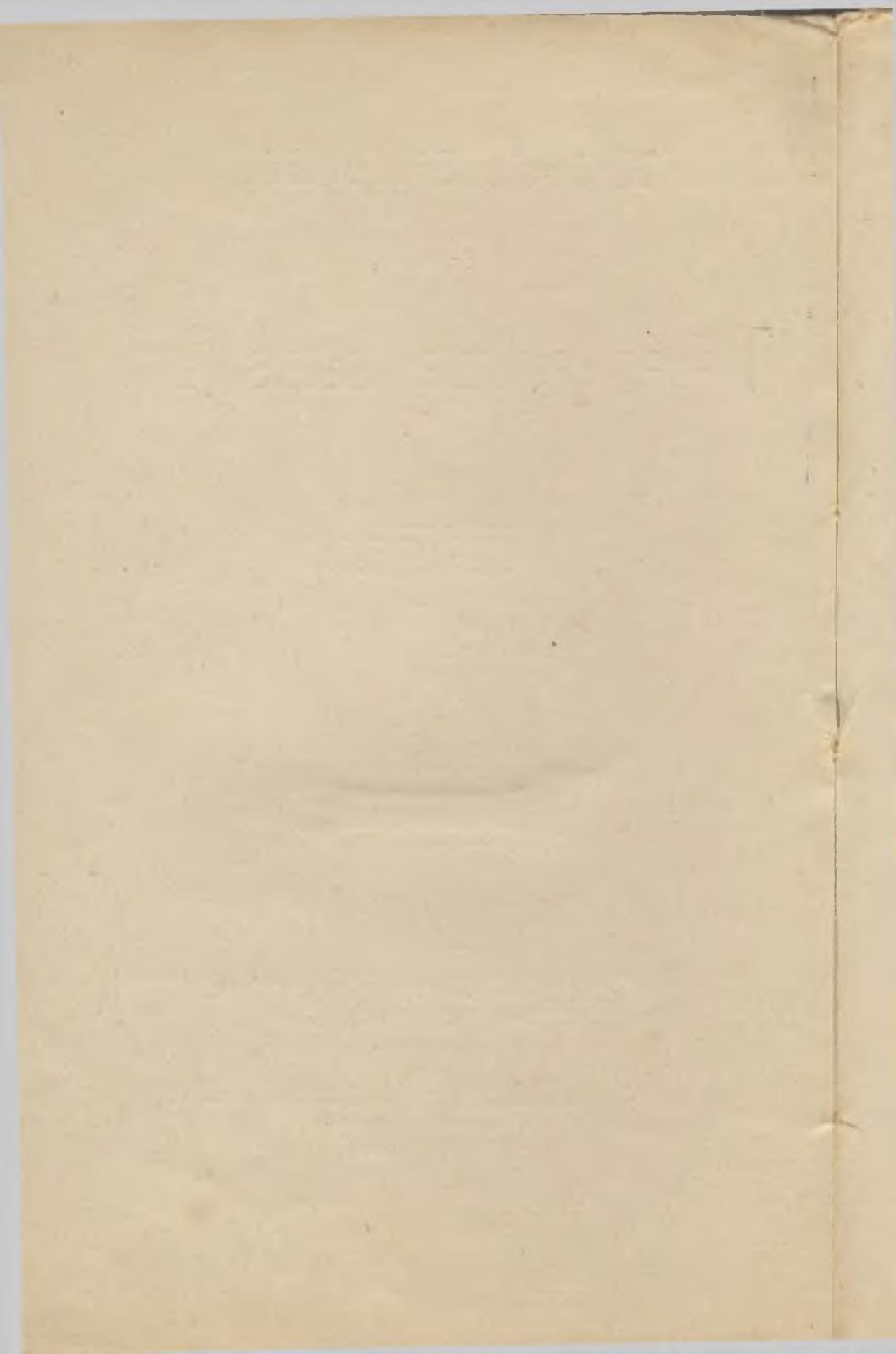
47 ET 49, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS

---

1917

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

Copr. by Dunod et Pinat 1917.



## TABLE DES MATIÈRES

---

CHAPITRE I. — Circuit oscillant . . . . .	1
CHAPITRE II. — Appareil d'émission d'ondes hertziennes à excitation directe . . . . .	7
CHAPITRE III. — Appareils de réception . . . . .	12
CHAPITRE IV. — Emploi des appareils d'émission à circuit oscillant . . . . .	29
CHAPITRE V. — Poste à ondes entretenues. Téléphone sans fil. . . . .	33
ANNEXE I. — Radiogoniomètres. . . . .	44
ANNEXE II. — Circuits oscillants accouplés . . . . .	45
ANNEXE III. — Poste émetteur à impulsion . . . . .	49
ANNEXE IV. — Installation d'un poste récepteur . . . . .	52
ANNEXE V. — Formule de Thomson . . . . .	55

---



# THÉORIE SIMPLIFIÉE DE LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

---

## CHAPITRE PREMIER

### CIRCUIT OSCILLANT

L'organe fondamental de tout appareil de T. S. F., émetteur ou récepteur est le *circuit oscillant*.

Le *circuit oscillant type* se compose d'un condensateur C formé de deux lames métalliques séparées l'une de l'autre par de l'air et d'une bobine conductrice L par l'intermédiaire de laquelle les deux armatures du condensateur sont reliées (*fig. 1*).

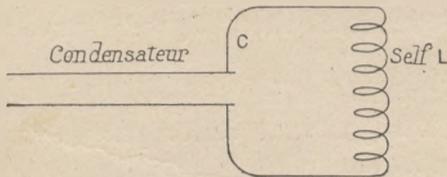


Fig. 1. — Circuit oscillant.

Ce circuit sert à produire les « oscillations électriques » par le mécanisme suivant :

Chargeons d'abord les deux armatures du condensateur de quantités d'électricité  $+Q$  et  $-Q$ , ses arma-

tures n'étant pas encore réunies par l'intermédiaire de de la bobine  $L$  (fig. 2).

Puis, réunissons ces armatures par le fil de la bobine. Un courant  $I$  s'écoule alors d'une armature à l'autre, et le condensateur se décharge (fig. 3).

Si la bobine n'existait pas, le courant  $I$  cesserait une fois le condensateur déchargé, mais le courant  $I$  traversant le fil de la bobine engendre au voisinage de celle-ci un flux magnétique  $\Phi$ . Ce flux se manifeste par

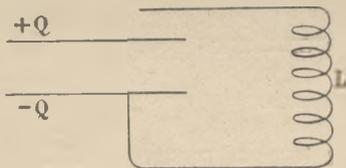


Fig. 2. — Circuit oscillant en charge.

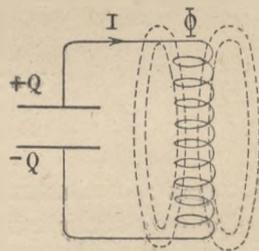


Fig. 3. — Circuit oscillant en décharge ; premier quart de période.

le fait qu'un morceau de fer placé alors au voisinage de la bobine est attiré par elle. Il constitue une déformation élastique de l'éther au voisinage de la bobine, déformation que nous allons figurer par des traits en pointillé.

L'éther environnant la bobine a ainsi emmagasiné l'énergie qui, auparavant était répartie sur les armatures du condensateur.

Lorsque le condensateur est complètement déchargé, la bobine lui restitue à son tour de la façon suivante l'énergie qu'elle avait ainsi emmagasinée : le flux magnétique ou si l'on préfère la déformation de l'éther disparaît, et en disparaissant, elle produit à son tour un

courant  $I$ , de même sens que le premier courant, qui continue celui-ci mais en décroissant, et qui recharge le condensateur, mais avec une polarité inverse de celle que celui-ci au début de l'expérience (*fig. 4*).

Lorsque le flux  $\Phi$  a disparu et que le condensateur est rechargé, les phénomènes que nous venons de décrire se reproduisent à nouveau, mais en sens inverse. En particulier pendant cette nouvelle phase, le courant  $I$  a un sens opposé à celui qu'il avait dans la phase précédente, puisque la polarité du condensateur est inversée.

Donc à chaque fois que le condensateur est re-

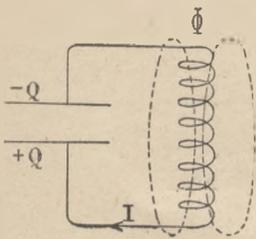


Fig. 4. — Circuit oscillant en décharge : deuxième quart de période.

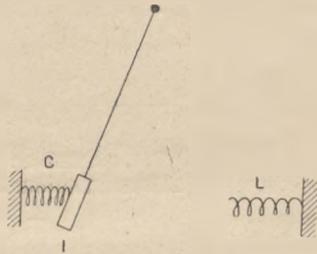


Fig. 5.

chargé, il se décharge à travers la bobine puis se recharge en sens inverse, grâce à la réaction de la bobine.

En résumé, le condensateur et la bobine sont tout à fait analogues à deux ressorts qui se renverraient une masse représentant le courant  $I$ , ce courant produit donc une série d'oscillations électriques à travers le fil de la bobine (*fig. 5*).

Ces oscillations vont d'ailleurs en s'amortissant. En

effet, le courant traversant la bobine l'échauffe. A chaque oscillation une portion de l'énergie primitivement emmagasinée dans le condensateur est transformée en chaleur. La quantité d'énergie que se renvoient la bobine et le condensateur va donc en diminuant à chaque oscillation, et le courant diminue avec elles.

La décharge du condensateur donne donc naissance à ce que nous appellerons un « train d'oscillations électriques amorties » dont nous représentons la forme sur la figure 6.

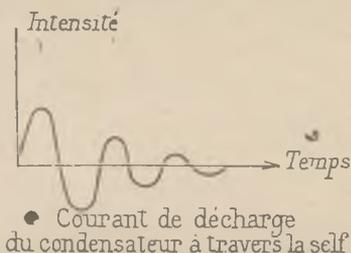


Fig. 6.

Nous produirons une succession de « trains d'oscillations » en rechargeant le condensateur pour le décharger ensuite à travers la bobine autant de fois que nous voudrions produire de trains d'oscillations (fig. 6 bis).



Fig. 6 (bis). — Trains d'oscillations amorties.

C'est ainsi que, dans un appareil émetteur de T. S. F. il se produit un « train d'oscillations » à chaque étincelle qui jaillit à l'éclateur comme nous le verrons plus loin.

**Nombre d'oscillations par seconde d'un circuit oscillant.**

Le condensateur est caractérisé par sa « capacité C ». Celle-ci est d'autant plus grande que la surface du condensateur est plus grande.

La bobine est caractérisée par son coefficient de self-induction L. Ce coefficient est d'autant plus grand que la bobine comporte plus de spires. Le flux magnétique  $\Phi$  est proportionnel au courant I et au coefficient de self-induction L.

On démontre que la durée T d'une oscillation électrique a pour valeur.

$$T = K \sqrt{LC} \text{ (voir annexe V).}$$

(K est un coefficient qui a la même valeur pour tous les circuits oscillants).

Dans les circuits oscillants d'appareils de T. S. F. cette durée T est de l'ordre du millionième de seconde.

*Réglage du circuit oscillant.* — La formule ci-dessus nous montre comment nous pouvons faire varier à volonté la durée des oscillations électriques d'un circuit oscillant.

En augmentant le nombre des spires de la bobine ou la surface du condensateur, nous augmenterons la période T des oscillations électriques.

C'est là la base du réglage des appareils de T. S. F.

Voyons en pratique comment on réalise ce réglage.

En ce qui concerne la bobine, nous la diviserons en paquets de spires reliés à des plots sur lesquels nous déplaçons un curseur. Toutefois, la variation du coefficient L correspondant au passage d'un plot à un autre n'étant pas continue, ce mode de réglage ne nous permet pas de réaliser toutes les valeurs possibles de

la période  $T$ , mais seulement un nombre de valeurs correspondant au nombre de plots (*fig. 7*).

Avec le condensateur, le réglage est au contraire très précis. Faisons en effet glisser l'une devant l'autre les deux armatures du condensateur. La surface qui compte pour l'évaluation de la capacité  $C$  est seulement celle des deux parties en regard, limitées par les traits en pointillé, sur la figure 7. En effet les deux électricités de signes contraires  $+Q$  et  $-Q$  s'attirent mutuellement sur les parties en regard des deux armatures.

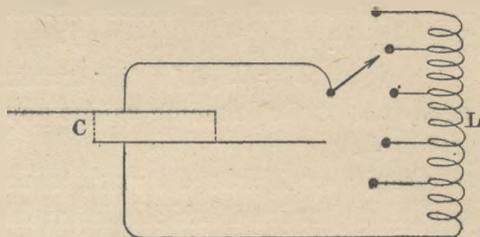


Fig. 7. — Circuit oscillant réglable.

Nous pouvons donc en faisant varier cette surface depuis sa valeur maxima jusqu'à 0 faire varier de façon continue la capacité  $C$  dans les limites correspondantes. Ce mode de réglage, par le condensateur nous permet donc de réaliser une variation continue de la période  $T$  du courant oscillant. On la combinera en général avec la variation par la bobine, le condensateur permettant de réaliser toutes les valeurs intermédiaires entre celles qui correspondent à deux plots voisins.

## CHAPITRE II

### APPAREIL D'ÉMISSION D'ONDES HERTZIENNES A EXCITATION DIRECTE

L'appareil le plus simple dit à excitation directe est réalisé de la façon suivante (*fig. 8*) :

Le circuit oscillant est constitué par la terre d'une part et par l'antenne d'autre part.

La terre constitue l'une des armatures du *condensateur*, l'antenne, l'autre armature.

*La bobine* est constituée par l'antenne. C'est autour de celle-ci que se forme le flux magnétique  $\Phi$  dont il a été question plus haut (1).

La source d'énergie destinée à recharger le condensateur après chaque décharge est constituée par un al-

(1) On emploie une antenne rectiligne, et non une bobine comme dans le circuit oscillant type, parce que les oscillations électriques qui parcourent une antenne de 100 mètres de longueur ébranlent tout l'éther dans lequel plonge cette antenne ; tandis que si cette antenne était enroulée en une bobine de dix centimètres de longueur la masse d'éther mise en mouvement serait mille fois plus faible ; la portée des ondes magnétiques serait beaucoup trop faible dans le second cas.

ternateur. Ses deux pôles sont donc reliés respectivement aux deux armatures du condensateur, la terre et l'antenne.

Le mécanisme des phénomènes est le suivant : l'alternateur charge le condensateur (antenne terre). Sur l'arbre de l'alternateur est calée une étoile métallique

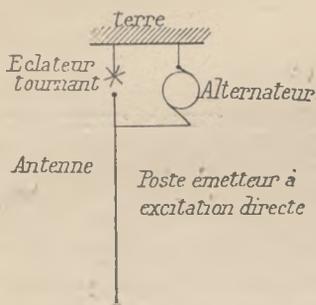


Fig. 8.

reliée à la terre et dont les branches passent successivement à proximité d'une boule métallique qui termine l'antenne (fig. 8). Lorsqu'une branche passe près de cette boule une étincelle éclate entre les deux. Par cette étincelle, sont réunies les deux armatures du condensateur. Par suite un « train d'oscilla-

tions » parcourt l'antenne et l'étincelle produite par le courant oscillant dure jusqu'à ce que la branche de l'étoile se soit éloignée de l'extrémité de l'antenne. Elle cesse alors, l'alternateur recharge le condensateur. Au passage de la branche suivante une nouvelle étincelle jaillit, un nouveau « train d'oscillations » parcourt l'antenne et ainsi de suite.

Au passage de chaque branche, un train d'oscillations parcourt donc l'antenne.

*Production des ondes hertziennes.* — Nous avons vu en étudiant le circuit oscillant que chaque oscillation de courant produisait dans la bobine  $L$  un flux magnétique  $\Phi$ .

Il en est de même ici, chaque oscillation de courant produit, autour de l'antenne un flux  $\Phi$ . Ce flux est une déformation de l'éther entourant l'antenne. L'éther est

un milieu élastique dans lequel cette déformation se propage de la même façon que les ondes se propagent à la surface de l'eau lorsqu'on y jette une pierre.

Donc à chaque oscillation de courant dans l'antenne correspond une onde de l'éther qui se propage à travers l'espace sous la forme d'une sphère de diamètre croissant dont le centre est l'antenne d'émission.

L'amplitude de ces ondes est proportionnelle naturellement à l'amplitude des oscillations de courant qui les ont produites comme l'amplitude des ondes liquides est proportionnelle au poids de la pierre qui les a produites en tombant dans l'eau.

Donc, chaque « train d'oscillations amorties » dans l'antenne lance dans l'espace un train d'ondes d'amplitudes décroissantes à partir de la première.

*Vitesse de propagation des ondes hertziennes.* — Les ondes lumineuses qui se propagent dans l'éther sont de même nature que les ondes hertziennes. Nous verrons qu'elles n'en diffèrent que par la longueur. La vitesse de propagation des ondes hertziennes est donc de 300 millions de mètres à la seconde, comme celle de la lumière.

#### Longueur des ondes hertziennes.

L'intervalle de temps qui sépare deux oscillations électriques successives dans l'antenne est égal, nous l'avons vu à :

$$T = K \sqrt{LC}$$

Donc lorsque l'onde engendrée par une oscillation électrique de l'antenne est lancée à travers l'espace

l'onde précédente a déjà parcouru à la vitesse  $V = 300$  millions de mètres par secondes un espace

$$\lambda = VT$$

Cette distance  $\lambda$  qui sépare les crêtes de deux ondes successives représente la « longueur des ondes émises par l'antenne ». Par exemple, une antenne, dont les oscillations ont une durée  $T$  de l'ordre d'un millionième de seconde émet des ondes d'une longueur d'environ 300 mètres.

On voit que :

$$\lambda = KV\sqrt{LC}$$

En réglant la durée  $T$  des oscillations électriques de l'antenne par variation de sa bobine  $L$  et de sa capacité  $C$  on règle en même temps sa longueur d'onde  $\lambda$ .

La longueur des ondes lumineuses est de l'ordre du millièmière de millimètre.

**Réglage de la longueur des ondes produites par l'appareil d'émission.**

La longueur de ces ondes est donnée par la formule

$$\lambda = KV\sqrt{LC}$$

Le coefficient  $L$  qui, dans une bobine est proportionnel au nombre de spires, est ici proportionnel à la longueur de l'antenne.

Le condensateur formé par l'antenne et le sol a une armature de surface constante, le sol, et une de surface variable l'antenne.

En allongeant l'antenne on augmente donc les deux coefficients  $L$  et  $C$ , donc la longueur d'onde  $\lambda$ .

On démontre d'ailleurs que la longueur d'onde  $\lambda$ , pour les antennes terrestres, est égale à quatre fois la longueur de l'antenne ; pour émettre des ondes de 400 mètres on emploiera une antenne de 100 mètres.

Pour émettre des ondes lumineuses il faudrait employer une antenne d'un millième de millimètre environ.

Si l'on veut régler la longueur d'onde sans changer la longueur de l'antenne on peut, par exemple, *augmenter* le coefficient d'induction L en intercalant entre l'antenne et le sol une bobine à plots B (*fig. 8 bis*).

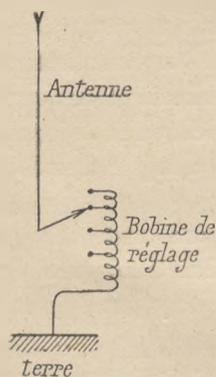


Fig. 8 (bis).

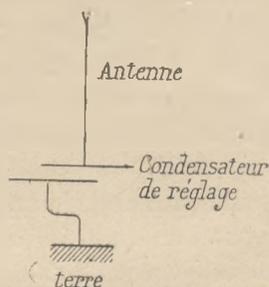


Fig. 8 (ter).

On pourrait aussi intercaler un condensateur variable (*fig. 8 ter*) ce qui aurait pour effet de *diminuer* la capacité C de l'antenne.

Donc en employant une bobine on *augmente* la longueur d'onde, en employant un condensateur on la *diminue*.

## CHAPITRE III

### APPAREILS DE RÉCEPTION

*Principe de réception.* — Nous avons vu, à propos, du circuit oscillant que les oscillations magnétiques du flux  $\Phi$  qui entoure la bobine produisaient des courants électriques dans la bobine, par lesquels le condensateur se trouvait rechargé après chaque demi-oscillation.

Pour la même raison, lorsqu'une onde magnétique émise par l'antenne de l'appareil émetteur vient frapper l'antenne d'un poste récepteur, elle y produit un courant électrique.

Chaque onde émise par l'avion produit donc une oscillation électrique dans l'antenne du poste récepteur.

Comme ces ondes se succèdent à une distance  $\lambda$  les unes des autres et qu'elles se propagent à une vitesse  $V$ , l'intervalle du temps  $T'$  qui sépare l'arrivée de deux ondes successives a pour valeur.

$$T' = \frac{\lambda}{V} = \frac{KV\sqrt{LC}}{V} = K\sqrt{LC} = T$$

Autrement dit les oscillations électriques produites

dans l'antenne de réception par les chocs des ondes qui viennent la frapper successivement sont séparées par le même intervalle de temps  $T$  que les oscillations électriques de l'antenne d'émission.

**Principe de la syntonisation de l'antenne de réception avec l'antenne d'émission.**

L'antenne de réception la plus simple, est formée d'un fil isolé réuni au sol par l'une de ses extrémités (*fig. 9*). L'ensemble de l'antenne et du sol constitue le circuit oscillant. L'une des deux armatures du condensateur est constituée par l'antenne, l'autre par le sol.

La bobine est constituée par le fil de l'antenne.

Ici les deux armatures du condensateurs sont réunies en permanence au lieu d'être séparées par l'éclateur comme dans l'appareil d'émission.

Supposons que, au lieu de subir les chocs successifs d'un train d'ondes, l'antenne ne subisse le choc que d'une seule onde magnétique.

Cette onde produit un courant dans l'antenne, lequel charge le condensateur du circuit oscillant. En se déchargeant le condensateur va produire dans l'antenne une série d'oscillations électriques. Si  $L_1$  et  $C_1$  représentent le coefficient de self-induction de l'antenne et la capacité du condensateur formé par l'antenne et le sol, la durée  $T_1$  de chacune de ces oscillations sera :

$$T_1 = K\sqrt{L_1 C_1}$$



Fig. 9. — Antenne de réception.

C'est ce que l'on appelle la « période propre d'oscillation de l'antenne ».

Une antenne qui subit les chocs successifs des ondes d'un même train, provenant de l'antenne d'émission est donc le siège de deux sortes d'oscillations électriques :

1° D'abord les oscillations « forcées » produites par le choc des ondes successives, la durée de chacune de ces oscillations est :

$T = K \sqrt{LC}$  (L et C étant les coefficients de l'appareil émetteur).

2° Ensuite les oscillations « propres » de l'antenne produites par le choc de la première onde. La durée de chacune de ces oscillations propres est :

$$T_1 = K \sqrt{L_1 C_1}$$

Si l'on règle la capacité et la self-induction de l'antenne de réception de telle façon que l'on ait :

$$T = T_1$$

les oscillations forcées ont même période que les oscillations propres ; c'est-à-dire que les maxima de courant de ces deux séries d'oscillations électriques se produisent exactement au même instant.

*Dans ce cas, elles se renforcent donc mutuellement.* Ce phénomène est exactement le même que celui qui se produit lorsque, au voisinage d'un piano on émet par exemple la note « la » avec un cornet à piston, la corde du piano qui donne la même note se met alors à vibrer fortement parce que ses oscillations propres concordent avec les vibrations de l'air produites par le cornet à piston. Celles-ci renforcent celles-là.

L'antenne de réception n'est plus alors le siège que

d'une seule série d'oscillations, bien plus fortes d'ailleurs que les deux séries précédentes.

C'est pourquoi lorsque l'antenne de réception a la même longueur d'onde propre :

$$\lambda_1 = KV \sqrt{L_1 C_1}$$

que l'antenne d'émission, l'intensité de la réception atteint son maximum.

On dit que l'antenne de réception est « syntonisée » avec l'antenne d'émission.

*Principe du réglage de l'antenne de réception.* — In-

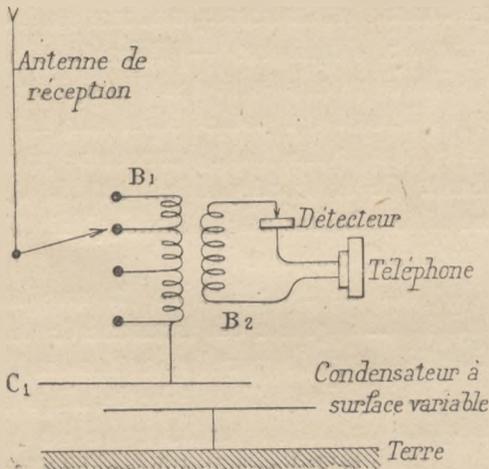


Fig. 10. — Appareil récepteur simplifié.

tercalons entre l'antenne de réception et la terre une bobine à plots  $B_1$  et un condensateur de capacité variable  $C_1$ . Sans toucher à l'antenne nous rendons ainsi réglables à volonté le coefficient du self-induction  $L_1$  et la capacité  $C_1$  du circuit oscillant (*fig. 10*).

Nous pouvons donc ainsi faire varier la longueur d'onde propre de l'antenne.

Si, écoutant dans le téléphone de l'appareil récepteur, nous faisons varier progressivement la capacité du condensateur, nous percevons à un moment donné un maximum d'intensité d'audition. C'est à ce moment que l'antenne de réception est « accordée » avec l'antenne d'émission.

#### Emploi du téléphone pour la réception des ondes. — Détecteur.

*A chaque train d'ondes correspond une seule vibration de la plaque du téléphone.* — Reportons-nous à la figure 10. Nous avons vu que lorsqu'un « train d'ondes » provenant du poste émetteur frappe l'antenne de réception, celle-ci est parcourue par un courant oscillant. Ce courant produit autour de la bobine  $B_1$  une série d'ondes magnétiques (Voir *Mécanisme du circuit oscillant*, chapitre I).

Plaçons auprès de cette bobine  $B_1$  une bobine  $B_2$  aux extrémités de laquelle est branché le téléphone. Cette bobine  $B_2$  frappée par les ondes magnétiques provenant de  $B_1$  devient elle-même le siège d'oscillations électriques produites par chacune de ces ondes magnétiques. Si le téléphone était branché directement aux extrémités de la bobine, les ondes électriques qui le parcouraient ainsi ne produiraient aucune action sur sa plaque vibrante pour la raison suivante : deux demi-oscillations successives produisent sur cette plaque des actions égales et opposées qui, se succédant à moins de un millionième de seconde d'intervalle s'annulent réciproquement.

Mais intercalons, avant le téléphone le détecteur composé, par exemple, d'une pointe métallique appuyée sur un cristal de galène. Ce détecteur produit pour le courant l'effet d'un clapet placé sur une conduite d'eau. Il ne laisse passer le courant électrique que dans un sens. Donc il ne passe dans le téléphone que la moitié de chaque oscillation électrique, celle qui va dans le sens pour lequel le clapet détecteur s'ouvre.

Sur la figure 11 nous avons représenté en trait plein les demi-oscillations qui traversent le détecteur et le téléphone, en trait pointillé celles arrêtées par le détecteur.

Le téléphone traversé maintenant par des courants

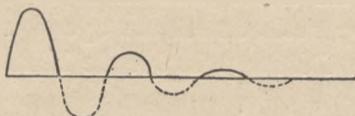


Fig 11. — Train d'oscillations après passage à travers le détecteur.

intermittents, *mais tous de même sens* devient sensible à leur action : sa plaque vibrante est attirée par le flux magnétique produit par la 1<sup>o</sup> demi-oscillation et reste attirée dans l'intervalle de deux demi-oscillations, car celles-ci se succèdent à des intervalles de temps extrêmement courts, de l'ordre de un millionième de seconde, pendant lesquels la plaque du téléphone n'a pas le temps de revenir à sa position primitive.

*Donc un train d'ondes produit une seule vibration de la plaque du téléphone.*

Cette remarque est essentielle, car elle constitue le principe des émissions produisant des tonalités différentes à la réception.

Rappelons que les étincelles jaillissent à l'appareil émetteur, au passage de chaque branche de l'étoile devant l'éclateur. En admettant que tous les alternateurs employés tournent à la même vitesse, si nous employons des étoiles comportant des nombres de branches différents, nous réaliserons à l'éclateur des nombres d'étincelles différents d'une étoile à l'autre.

A chaque étincelle correspond un train d'ondes et à chaque train d'ondes une vibration de la plaque du téléphone. Par conséquent nous réaliserons au récepteur, autant de notes différentes que nous employerons d'étoiles différentes à l'émetteur.

Si l'on emploie, par exemple, six étoiles différentes on obtiendra six notes permettant de différencier par le son des appareils émetteurs ayant une même longueur d'onde. C'est le principe de l'étincelle musicale.

**Précautions qui doivent être prises pour faciliter le réglage du poste récepteur et pour éviter de brouiller les postes voisins.**

Nous exposerons ces précautions immédiatement pour le cas le plus complexe, qui est celui de postes émetteurs mobiles, travaillant au voisinage les uns des autres.

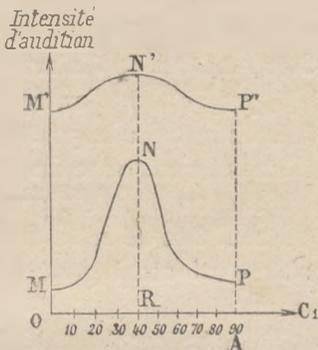
Pour nous rendre compte des précautions à prendre pour faire dans de bonnes conditions le réglage du poste récepteur nous devons analyser de plus près les phénomènes que comporte ce réglage.

Nous supposerons, pour fixer les idées, que le poste d'émission a une puissance d'une cinquantaine de watts, donc une portée maxima de dix kilomètres environ.

Un tel poste émettant à proximité du poste récepteur, supposons que, tout en l'écoutant, nous manœuvrions la manette du condensateur de la boîte de réception.

Représentons, développée en ligne droite la graduation du condensateur (*fig. 12*). Lorsque le condensateur a sa capacité minima nous n'entendons le poste émetteur que faiblement. Cette intensité d'audition sera représentée par l'ordonnée OM.

Déplaçons la manette. L'intensité d'audition croît à mesure que nous nous rapprochons de l'accord des deux appareils, émetteur et récepteur. Elle atteint son maximum RN lorsque la manette passe par la position R correspondant à la longueur d'onde propre de l'appareil émetteur. Puis elle va en diminuant jusqu'à la valeur AP.



C'est ce que l'on perçoit si le poste émetteur se tient à plus de 1 km. 5 et à moins de 3 kilomètres de l'appareil récepteur.

Mais supposons que celui-là vienne se placer à quelques centaines de mètres seulement de l'appareil récepteur. L'énergie recueillie par l'antenne de réception au choc de chaque train d'ondes est alors énorme (elle croît comme l'inverse du carré de la distance). La courbe d'audition devint alors  $M'N'P'$  c'est-à-dire que, quelle que soit la position de la manette, on entend le poste émetteur très fortement. L'oreille distingue alors

Fig. 12. — Courbes d'audition d'un appareil émetteur suivant la distance qui le sépare du récepteur.

difficilement le maximum d'audition  $RN'$ . Le réglage ne peut être fait de façon précise.

Au contraire, si le poste émetteur se trouve très loin du poste récepteur, à 5 ou 6 kilomètres il est entendu d'autant plus faiblement par celui-ci que les deux postes ne sont pas encore accordés ensemble. Pour peu que d'autres postes émettent dans son voisinage le poste récepteur n'arrive plus alors à entendre le poste avec lequel il veut s'accorder et ne peut, par conséquent, s'accorder avec lui.

Il est donc nécessaire que, pendant tout le réglage du récepteur, le poste émetteur se tienne environ 1.500 et 3.000 mètres de distance.

Il y a encore d'autres précautions à prendre :

1° Il faut que le poste émetteur se tienne à peu près à distance constante du poste récepteur, car s'il s'en approche ou s'en éloigne l'intensité de réception varie du seul fait de cette variation de distance et le télégraphiste est ainsi gêné dans la recherche de son maximum ;

2° De même il faut éviter de faire de brusques changements de direction qui provoquent à la réception de brusques variations d'intensité d'audition ;

3° Pendant toute la durée du réglage qui est au moins de deux à trois minutes (car nous n'en indiquons ici que le principe, mais les opérations sont en réalité plus compliquées que celles que nous avons décrites) il faut télégraphier sans interruption. Il faut en effet pour trouver le maximum d'audition au récepteur que l'émission soit continue ; si elle est intermittente la recherche du maximum devient impossible ;

4° Il faut enfin que, lorsque le poste émetteur s'éloigne une fois le réglage terminé, il continue à télégraphier,

car le réglage varie un peu avec la distance comme nous le verrons plus loin, et il faut que le télégraphiste puisse achever son réglage. Surtout si l'on ne prenait pas cette précaution, on verra plus loin que le *télégraphiste risquerait de perdre le poste émetteur* et de ne plus le retrouver tant qu'il resterait éloigné de l'antenne de réception.

#### Réglage de l'accouplement des deux circuits du poste récepteur.

Pour achever d'expliquer les précautions à prendre par le poste émetteur nous devons d'abord donner quelques détails complémentaires sur le réglage du poste récepteur.

Reportons-nous à la figure 10 qui représente les deux circuits de ce poste : circuit de l'antenne et circuit téléphone.

Ces deux circuits sont accouplés magnétiquement par l'intermédiaire des deux bobines  $B_1$  et  $B_2$  puisque nous avons vu que ce sont les ondes magnétiques émises par la première qui frappant la seconde y produisent les oscillations électriques perçues par le télégraphiste dans le téléphone.

Le télégraphiste peut, à volonté, faire varier l'intensité d'audition du téléphone. Pour la diminuer, par exemple, il n'a qu'à éloigner la bobine  $B_2$  de la bobine  $B_1$ . Les chocs magnétiques que celle-ci transmet à celle-là seront alors moins forts : on dit que leur accouplement est plus lâche.

Voyons l'avantage de cette variation possible de l'accouplement.

Supposons d'abord que, l'accouplement étant fort nous écoutons plusieurs postes qui émettent simultanément avec des longueurs d'ondes différentes de 100 mètres, 200 mètres et 300 mètres par exemple. Les courbes d'audition obtenues en déplaçant le curseur du condensateur réglable le

Intensité  
d'audition

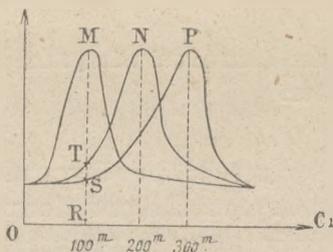


Fig. 13. -- Courbes d'audition de plusieurs appareils émetteurs de même puissance et de longueurs d'ondes différentes.

condensateur réglable le long de la graduation, sont représentées par la figure 13. Si par exemple le curseur occupe la position R pour laquelle le poste récepteur est accordé avec le poste de 100 mètres de longueur d'onde, nous entendrons ce poste avec le maximum d'intensité représentée par l'ordonnée RM. Mais en même temps

nous entendrons les deux autres postes dont les intensités de réception sont représentées par les ordonnées RT. et RS.

Supposons maintenant que nous diminuons le couplage jusqu'à ce que les courbes d'audition se réduisent à leurs pointes. Elles sont alors représentées par la figure 14. Si le curseur occupe encore la position R nous n'entendons plus maintenant qu'un poste celui avec lequel le poste récepteur est accordé. Nous l'entendons, il est vrai, beaucoup plus faiblement que dans le cas précédent, mais aussi beaucoup plus distinctement puisque nous l'entendons seul.

On voit donc qu'une bonne syntonie est incompatible avec une forte audition. C'est pourquoi la plupart des

télégraphistes employent mal leur appareil récepteur, ils préfèrent garder toujours un accouplement fort qui leur assure une forte audition, et fatigue moins leur attention. Mais en même temps cette pratique les expose à de fréquents brouillages par les postes voisins qu'ils entendent en même temps. (Nous verrons aux annexes de cet ouvrage une deuxième raison importante d'employer un accouplement lâche pour avoir une bonne syntonie.)

En ce qui concerne le poste émetteur remarquons que, lorsqu'il a télégraphié pendant deux ou trois minutes à proximité de l'antenne pour permettre le réglage du poste récepteur, il doit ensuite s'éloigner en envoyant de temps en temps des signaux pour la raison suivante.

Intensité  
d'audition

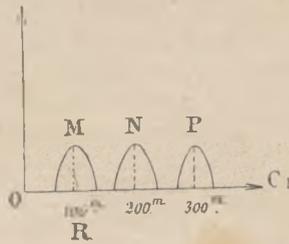


Fig. 14.

Si le télégraphiste a bien réglé son poste récepteur, lorsque l'émetteur était à proximité, il devait l'entendre très faiblement. Si l'émetteur s'éloigne alors sans télégraphier, lorsqu'il sera loin le télégraphiste ne l'entendra plus du tout. *Il faut, à mesure que le poste s'éloigne, que le télégraphiste augmente légèrement l'accouplement des circuits du récepteur, pour compenser ainsi l'affaiblissement d'audition dû à l'augmentation de distance. C'est pour cela que l'on doit continuer à télégraphier en s'éloignant.*

Lorsque le poste émetteur atteint sa distance maximale l'accouplement sera définitivement réglé et le télégraphiste n'y touchera plus.

Voyons maintenant pourquoi, dans le cas qui nous occupe, un poste émetteur qui télégraphie dans le voisinage immédiat des postes récepteurs, par exemple à moins de 1.500 mètres de distance, couvre tous les postes qui télégraphient en restant plus éloignés.

Reportons-nous aux courbes d'audition de la figure 14. Ces courbes sont tracées en supposant que les trois postes télégraphiant simultanément sont à peu près à la même distance de l'antenne de réception. Supposons

Intensité  
d'audition

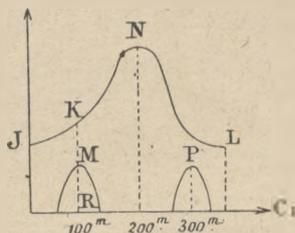


Fig. 15.

que l'un d'eux se rapproche à moins de 1.500 mètres de cette antenne, tandis que les autres restent à quatre ou cinq kilomètres. Que va-t-il se passer? L'énergie recueillie par l'antenne de réception sera énormément plus grande pour le poste le plus rapproché que pour les deux autres (1). Sa

courbe d'audition deviendra par exemple, la courbe JKNL (fig. 15), tandis que les courbes d'auditions des deux autres n'auront pas changé. Supposons que le curseur du condensateur soit toujours à la position R pour laquelle le poste récepteur est accordé avec le poste émetteur de 100 mètres de longueur d'onde. Quoique non accordé avec le poste de 200 mètres de longueur d'onde nous voyons que l'intensité d'audition de ce dernier représentée par l'ordonnée RK est très supérieure à l'intensité d'audition du poste émetteur M représenté par l'ordonnée RM.

(1) Elle croît comme l'inverse du carré de la distance qui sépare le poste émetteur du poste récepteur.

*Donc un poste émetteur qui se rapproche à faible distance des postes récepteurs en télégraphiant couvre tous les autres postes même ceux qui ont des longueurs d'ondes différentes de la sienne.*

#### Réglage complet du poste récepteur. Courbe d'étalonnage.

Le poste récepteur est un peu plus compliqué en réalité que celui, que nous avons décrit plus haut. Dans celui-ci le circuit du téléphone ne comportait pas de condensateur. Or, en réalité, le circuit secondaire (fig. 16) est, comme le circuit de l'antenne, un circuit oscillant comportant une bobine à plots et un condensateur à surface variable  $C_2$ . Ces 2 organes permettront de régler la longueur d'onde propre de ce second circuit pour l'accorder avec le circuit de l'antenne.

Le réglage correct se fait alors de la façon suivante : En ouvrant l'interrupteur  $i$  qui met hors circuit le condensateur secondaire  $C_2$  on rend le circuit secondaire « aperiodique » c'est-à-dire qu'il cesse provisoirement d'être un circuit oscillant. De cette façon on n'aura à régler pour commencer qu'un seul circuit oscillant : celui de l'antenne.

On rapproche le plus possible la bobine S de P pour entendre très fort tous les postes émetteurs et tâcher de distinguer celui qu'on veut écouter.

Ceci fait, on accorde comme nous l'avons vu, le circuit primaire avec ce poste émetteur.

Puis on écarte la bobine S de P de façon à entendre ce poste avec le minimum d'intensité compatible avec une bonne audition.

On ferme alors l'interrupteur  $i$  pour rendre le circuit secondaire oscillant, et on règle celui-ci comme on l'a fait pour le primaire, *mais sans plus toucher à ce dernier*. On diminue ensuite à nouveau l'accouplement magnétique des bobines S et P.

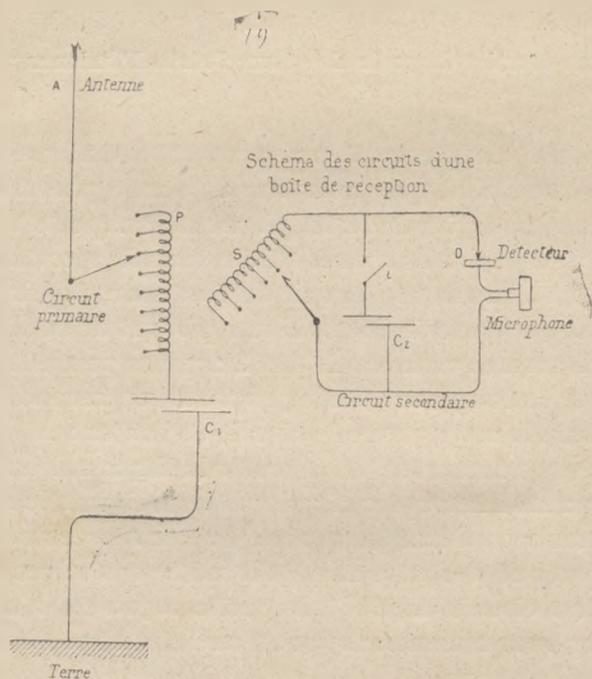


Fig. 16. — Poste récepteur complet.

Le réglage du circuit primaire opère un premier filtrage des émissions, ne laissant passer que faiblement les émissions qui ne sont pas accordées avec le poste récepteur.

Le réglage du secondaire achève de compléter ce filtrage.

On voit que ces opérations sont assez complexes. On peut les rendre automatiques par l'emploi des courbes d'étalonnage dont nous allons parler.

Considérons par exemple le circuit primaire. Plaçons le curseur de la bobine sur le plot marqué 10. Ceci fait, en déplaçant d'un bout à l'autre de sa course le curseur du condensateur, mesurons, pour différentes positions de ce curseur la longueur d'onde

correspondante du circuit primaire et traçons (fig. 17) la courbe d'étalonnage correspondante. Cette courbe nous montre que, lorsque le curseur de la bobine est au plot 10, si nous plaçons le curseur du condensateur sur le plot 30 la longueur d'onde propre du circuit de l'antenne est de

$\lambda$  Longueur d'onde propre  
du circuit primaire

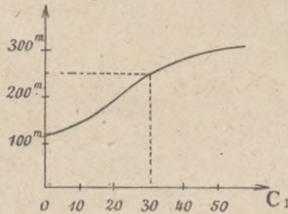


Fig. 17.

250 mètres. Cette courbe d'étalonnage nous permet donc, sans avoir besoin de faire les tâtonnements indiqués au début de ce paragraphe, d'accorder d'avance le circuit primaire avec un avion dont la longueur d'onde sera par exemple de 250 mètres. On peut tracer ces courbes pour les différents plots de la bobine (fig. 18).

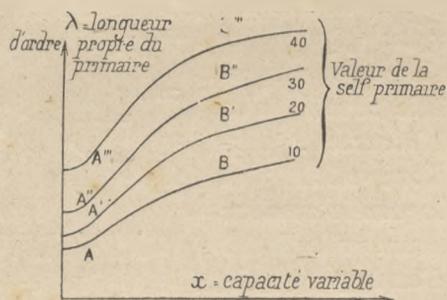
En traçant des courbes analogues pour le circuit secondaire on peut, d'avance, accorder les circuits primaires et secondaires avec un poste dont la longueur d'onde est connue d'avance du télégraphiste du poste récepteur.

*L'établissement de ces courbes, pour chaque poste récepteur est donc de la plus haute importance, car elles rendent le réglage du poste entièrement mécanique, et*

il peut ainsi être fait de façon parfaite même par un télégraphiste peu exercé.

Remarquons que cet étalonnage ne peut être fait que sur place et une fois le poste installé, car la façon dont l'antenne est installée à une grosse influence sur la forme des courbes du circuit primaire.

Cet étalonnage se fait au moyen d'un « contrôleur



Courbe d'étalonnage du circuit primaire

Fig. 18.

d'ondes » que nous ne décrirons pas ici. Nous dirons simplement qu'il se compose essentiellement d'un circuit oscillant étalonné d'avance, fonctionnant comme poste émetteur, et que l'on accorde avec le circuit à étalonner pour déterminer la longueur d'onde de ce dernier.

## CHAPITRE IV

### EMPLOI DES APPAREILS D'ÉMISSION A CIRCUIT OSCILLANT

L'appareil dit « à excitation directe » décrit au chapitre II permet de réaliser des longueurs d'ondes différentes par simples variations de la longueur d'antenne. Nous avons indiqué, en effet, que la longueur des ondes émises par cet appareil était de quatre fois la longueur de l'antenne.

On ne peut employer d'antenne inférieure à environ 35 mètres de longueur. En effet l'énergie rayonnée par ondes hertziennes devient très faible avec les petites antennes, et la portée devient insuffisante.

Dans le cas où l'on ne peut pas dépasser 100 mètres par exemple de longueur d'antenne on peut cependant réaliser des longueurs d'ondes supérieures à 400 mètres en employant des appareils plus compliqués dits à circuits oscillant ou à excitation indirecte.

L'antenne n'est plus séparée de la terre par l'éclateur, mais elle lui est reliée par deux bobines en série, l'une à plots S est appelée « variomètre » l'autre fixe B, qui sert à accoupler magnétiquement le circuit de l'an-

On ferme alors l'interrupteur *i* pour rendre le circuit secondaire oscillant, et on règle celui-ci comme on l'a fait pour le primaire, *mais sans plus toucher à ce dernier*. On diminue ensuite à nouveau l'accouplement magnétique des bobines S et P.

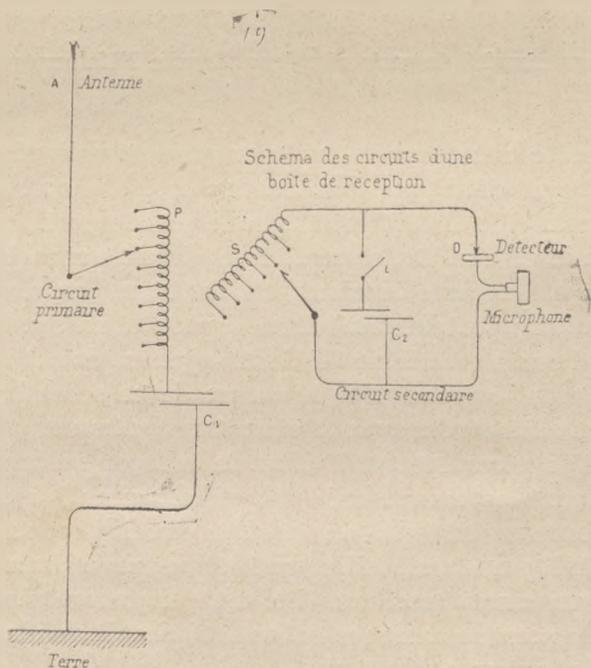


Fig. 16. — Poste récepteur complet.

Le réglage du circuit primaire opère un premier filtrage des émissions, ne laissant passer que faiblement les émissions qui ne sont pas accordées avec le poste récepteur.

Le réglage du secondaire achève de compléter ce filtrage.

On voit que ces opérations sont assez complexes. On peut les rendre automatiques par l'emploi des courbes d'étalonnage dont nous allons parler.

Considérons par exemple le circuit primaire. Plaçons le curseur de la bobine sur le plot marqué 10. Ceci fait, en déplaçant d'un bout à l'autre de sa course le curseur du condensateur, mesurons, pour différentes positions de ce curseur la longueur d'onde correspondante du circuit primaire et traçons (fig. 17) la courbe d'étalonnage correspondante. Cette courbe nous montre que, lorsque le curseur de la bobine est au plot 10, si nous plaçons le curseur du condensateur sur le plot 30 la longueur d'onde propre du circuit de l'antenne est de

$\lambda$  Longueur d'onde propre  
du circuit primaire

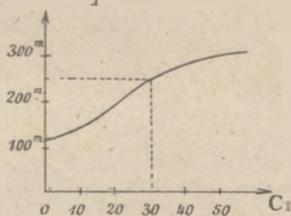


Fig. 17.

250 mètres. Cette courbe d'étalonnage nous permet donc, sans avoir besoin de faire les tâtonnements indiqués au début de ce paragraphe, d'accorder d'avance le circuit primaire avec un avion dont la longueur d'onde sera par exemple de 250 mètres. On peut tracer ces courbes pour les différents plots de la bobine (fig. 18).

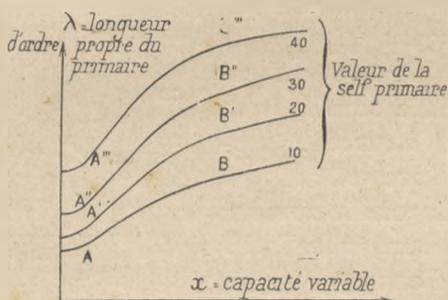
En traçant des courbes analogues pour le circuit secondaire on peut, d'avance, accorder les circuits primaires et secondaires avec un poste dont la longueur d'onde est connue d'avance du télégraphiste du poste récepteur.

*L'établissement de ces courbes, pour chaque poste récepteur est donc de la plus haute importance, car elles rendent le réglage du poste entièrement mécanique, et*

il peut ainsi être fait de façon parfaite même par un télégraphiste peu exercé.

Remarquons que cet étalonnage ne peut être fait que sur place et une fois le poste installé, car la façon dont l'antenne est installée à une grosse influence sur la forme des courbes du circuit primaire.

Cet étalonnage se fait au moyen d'un « contrôleur



Courbe d'étalonnage du circuit primaire

Fig. 18.

d'ondes » que nous ne décrirons pas ici. Nous dirons simplement qu'il se compose essentiellement d'un circuit oscillant étalonné d'avance, fonctionnant comme poste émetteur, et que l'on accorde avec le circuit à étalonner pour déterminer la longueur d'onde de ce dernier.

## CHAPITRE IV

### EMPLOI DES APPAREILS D'ÉMISSION A CIRCUIT OSCILLANT

L'appareil dit « à excitation directe » décrit au chapitre II permet de réaliser des longueurs d'ondes différentes par simples variations de la longueur d'antenne. Nous avons indiqué, en effet, que la longueur des ondes émises par cet appareil était de quatre fois la longueur de l'antenne.

On ne peut employer d'antenne inférieure à environ 35 mètres de longueur. En effet l'énergie rayonnée par ondes hertziennes devient très faible avec les petites antennes, et la portée devient insuffisante.

Dans le cas où l'on ne peut pas dépasser 100 mètres par exemple de longueur d'antenne on peut cependant réaliser des longueurs d'ondes supérieures à 400 mètres en employant des appareils plus compliqués dits à circuits oscillant ou à excitation indirecte.

L'antenne n'est plus séparée de la terre par l'éclateur, mais elle lui est reliée par deux bobines en série, l'une à plots S est appelée « variomètre » l'autre fixe B<sub>2</sub> qui sert à accoupler magnétiquement le circuit de l'an-

tenne au circuit oscillant. La première sert, comme nous le verrons, à accorder le circuit de l'antenne avec le circuit oscillant.

Celui-ci est composé d'un condensateur  $C_1$  et d'une bobine  $B_1$ . L'éclateur tournant se trouve intercalé dans ce circuit oscillant et les deux pôles de l'alternateur  $K$  sont reliés en permanence aux deux armatures du condensateur  $C$ , de façon à recharger celui-ci dans l'intervalle des étincelles (*fig. 19*).

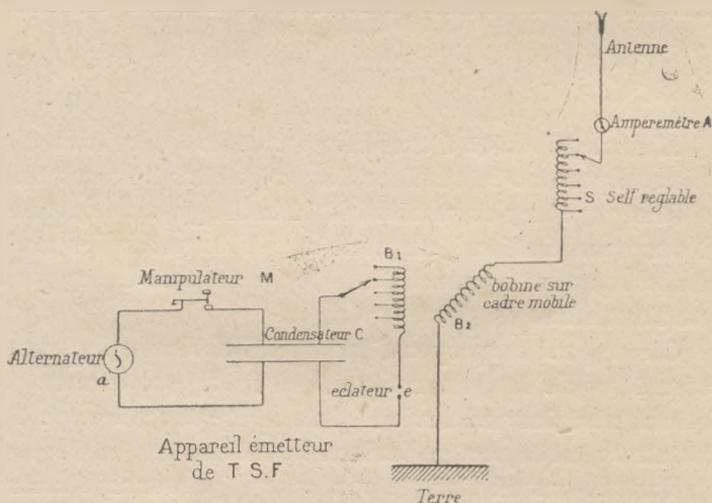


Fig. 19.

Le réglage se fait comme suit : le circuit oscillant est étalonné d'avance. On met donc le curseur de sa bobine  $B_1$  sur le plot correspondant à la longueur d'onde qu'on veut réaliser. Ceci fait, il reste à accorder avec celui-ci le circuit oscillant formé par l'antenne et la terre. Pour cela l'alternateur étant en marche, on

appuie sur le manipulateur. En même temps on fait tourner le bouton du variomètre en observant l'aiguille d'un ampèremètre A, intercalé sur l'antenne. Comme nous l'avons vu dans le réglage du poste récepteur, au moment où le circuit de l'antenne à la même longueur d'onde propre que le circuit oscillant, les oscillations propres de l'antenne sont renforcées par les oscillations « forcées » que lui imprime le circuit oscillant. *Les oscillations résultantes, mesurées par l'ampèremètre, passent alors par un maximum.*

L'avantage du circuit oscillant réside en ce qu'il permet d'allonger la longueur d'onde propre de l'antenne en mettant en série avec elle la bobine B<sub>2</sub> et la bobine du variomètre S.

On peut ainsi avec une antenne de 100 mètres réaliser des longueurs d'ondes de plus de 400 mètres.

Toutefois, on ne peut allonger ainsi au delà de certaines limites la longueur d'onde de l'antenne, car entre autres raisons, une partie de l'énergie est consommée dans les bobines B<sub>2</sub> et S au détriment de l'énergie rayonnée par l'antenne. Si l'on employait des bobines trop importantes, la portée du poste émetteur serait donc trop faible.

*Nombre de longueurs d'ondes qu'on peut employer simultanément.* — Reproduisons la figure 14 qui représente les courbes d'audition de trois postes ayant des longueurs d'ondes différentes, lorsque l'accouplement des deux circuits du poste récepteur est assez lâche pour n'entendre qu'un seul de ces postes à la fois. L'expérience montre que, pour que cette condition puisse être réalisée sans qu'on soit obligé de diminuer l'accouplement d'une façon gênante pour l'intensité d'audition, la longueur d'onde d'un poste doit différer

d'au moins 15 0/0 des longueurs d'onde des postes immédiatement voisins. Lorsque cette condition est réalisée les courbes d'auditions se rencontrent sur l'axe des abscisses pour l'accouplement minimum entre les circuits du poste récepteur.

## CHAPITRE V

### POSTE A ONDES ENTRETENUES

Ces postes d'un emploi plus délicat que les postes à ondes amorties que nous venons d'étudier, offrent l'avantage important de pouvoir fonctionner sans troubler la T. S. F. des premiers car leurs signaux ne sont pas reçus par les postes récepteurs pour ondes amorties comme nous allons le montrer.

Leur principe est le suivant. — L'appareil émetteur, au lieu de produire des trains d'ondes successifs (*fig. 20*),



*Fig. 20.* — Trains d'ondes.

qui produisent chacun une vibration de la plaque du téléphone récepteur, produit une succession d'ondes ininterrompues, tant qu'on appuie sur le manipulateur du poste d'émission (*fig. 21*).

Ces ondes, traversant le téléphone d'un récepteur à ondes amorties attirent bien sa plaque, mais ne la lâchent plus ensuite comme cela se produit dans l'in-

tervalle de deux trains d'ondes amorties. *Cette plaque ne vibre donc pas sous l'action des ondes entretenues.*

Pour percevoir ces ondes, on doit employer un appareil émetteur auxiliaire, placé au poste récepteur, et

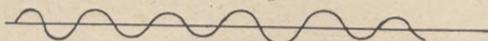
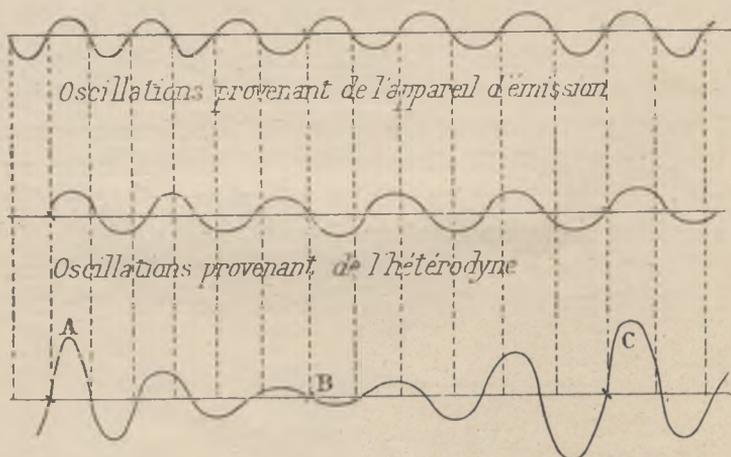


Fig. 21. — Ondes entretenues.

appelé « hétérodyne ». L'hétérodyne émet aussi des ondes entretenues dont la période peut être réglée à volonté par le télégraphiste du poste récepteur. On règle



Battements résultant des deux séries d'oscillations superposées

Fig. 22. — Réception par hétérodyne des émissions en ondes entretenues.

ces ondes de telle façon qu'elles aient une longueur très voisine de celle du poste émetteur que l'on veut écouter. Ces deux ondes se superposent alors dans l'antenne de réception en produisant ce qu'on appelle

des « battements », c'est-à-dire que l'onde résultante est très forte lorsque les deux ondes composantes sont de même sens et nulle lorsque ces deux ondes sont de sens opposé (*fig. 22*).

Donc, lorsque l'onde résultante passe les valeurs A, C elle attire fortement la plaque du téléphone ; elle l'abandonne lorsqu'elle s'annule en B.

L'emploi des ondes entretenues, outre l'avantage signalé plus haut, présente celui d'une syntonie parfaite, car on n'entend absolument que le poste émetteur dont la longueur d'onde diffère de moins de 10/0 de celle de l'hétérodyne (1). *Les autres ne sont pas entendus du tout*, car le phénomène des battements ne se produit pas entre les ondes provenant de ces postes et celles provenant de l'hétérodyne. Toutefois ces postes ne sont pas encore très employés, car leur réglage est difficile et demande un personnel très exercé. En outre ils sont plus délicats à construire et à entretenir que les postes à ondes amorties. Nous allons exposer maintenant le fonctionnement détaillé du poste émetteur et du poste récepteur à ondes entretenues.

*Lampe à trois électrodes.* — Ces postes comportent un organe nouveau qui est la lampe à trois électrodes. Nous allons montrer que cette lampe fonctionne comme une valve électrique automatique.

*Courant à l'intérieur de la lampe.* — Considérons d'abord une lampe à deux électrodes, l'une est constituée par un filament métallique *mn* porté au rouge par une petite batterie d'accumulateurs *b* (*fig. 23*), l'autre est constituée par une plaque métallique P. Relions cette plaque au pôle positif d'une batterie d'accumulateurs B,

(1) Au lieu de 15 0/0 pour les ondes amorties.

d'une centaine d'éléments et dont le pôle négatif est relié au filament  $mn$ . La plaque se charge alors d'électricité positive. Le filament porté au rouge émet alors des particules extrêmement ténues chargées d'électri-

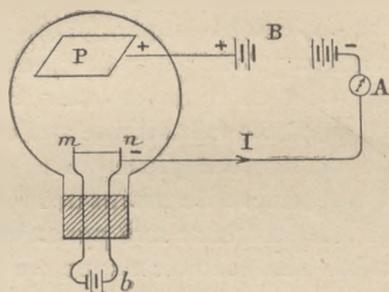


Fig. 23.

ité négative et appelés « électrons ». Ces électrons attirés par la plaque positive viennent la bombarder, fermant ainsi à travers l'éther de l'ampoule le circuit de la

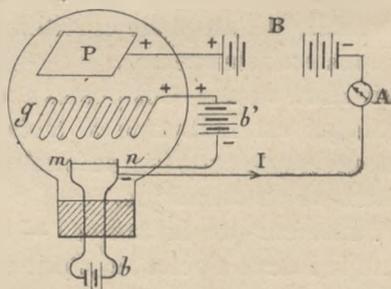


Fig. 24.

batterie B (1). On constate, en effet, si l'on place un am-

(1) Si l'on remplace la plaque par un moulinet et si l'on s'arrange pour que les électrons bombardent une pale seulement du moulinet, celui-ci se met à tourner dans le sens où les électrons le frappent.

pèremètre A sur le circuit de la batterie B, que celui-ci est parcouru par un courant I. Plaçons alors la troisième électrode (fig. 24). Celle-ci est constituée par une grille *g* intercalée entre le filament *mn* et la plaque P.

Supposons que nous chargions également cette grille d'électricité positive en la reliant au pôle positif d'une petite batterie d'accumulateur *b'* dont le pôle négatif est relié au filament *mn*. Cette grille chargée d'électricité positive renforce l'attraction exercée par la plaque P sur les électrons émis par le filament *mn*. On constate, en effet, par l'ampèremètre A, un renforcement du courant de la batterie (fig. 24).

Supposons maintenant que nous renversons les connexions de la batterie *b'* (fig. 25).

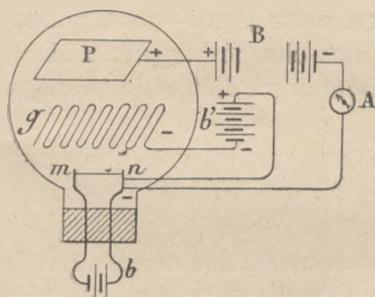


Fig. 25. — Lampes-valve à trois électrodes.

La grille se charge d'électricité négative. Elle repousse donc les électrons émis par le filament *mn* donc elle empêche ceux-ci de bombarder la plaque P elle coupe le courant de la grosse batterie B. L'aiguille de l'ampèremètre A revient au zéro.

*Principe de l'amplificateur.* — Remplaçons la batterie *b'* par une bobine accouplée magnétiquement avec une

bobine  $b'$  parcourue par les oscillations électriques d'une antenne de réception (*fig. 26*).

Ces oscillations sont transmises à la bobine  $b'$  par le flux magnétique d'accouplement. Chaque oscillation se

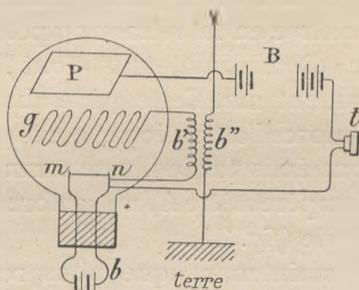


Fig. 26.

décompose en deux demi-oscillations. L'une de ces demi-oscillations charge la grille d'électricité positive, la suivante la charge d'électricité négative. La pre-

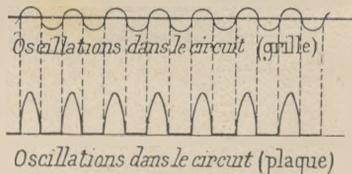


Fig. 27.

mière renforce donc le courant de la batterie B, la seconde le coupe (*fig. 27*).

Nous voyons donc que la lampe produit d'abord le rôle de détecteur, la grille fonctionne comme une valve qui laisse passer le courant dans un sens et l'arrête dans l'autre sens.

Donc un téléphonet placé sur le circuit de la batterie

B, vibrera à chacun des trains d'ondes reçu par l'antenne.

En outre cette lampe fonctionne comme amplificateur, car elle transforme les faibles oscillations de l'antenne en oscillations très fortes dans le circuit de la batterie et du téléphone (fig. 27).

On pourrait de nouveau amplifier les oscillations de ce circuit en les faisant passer dans la bobine grille  $b'$ , d'une deuxième lampe. On placerait alors le téléphone sur le circuit plaque-batterie de cette deuxième lampe. On a ainsi réalisé un amplificateur à deux étages. Avec  $n$  lampes en série, on réalise un amplificateur à  $n$  étages. On peut ainsi arriver à des amplifications de l'ordre de un million. On réalise ainsi des appareils hauts parleurs.

*Appareil d'émission à ondes entretenues (fig. 28). —*

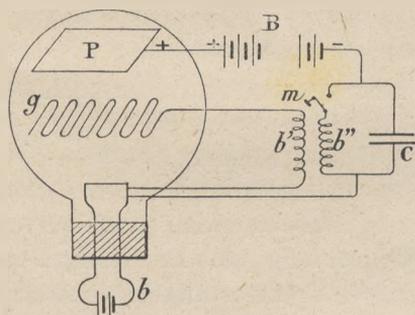


Fig. 28. — Appareil émetteur de télégraphie sans fil à ondes entretenues.

Plaçons toujours une bobine  $b'$  sur le circuit de la grille. Accouplons-là magnétiquement avec une bobine  $b''$  placée sur le circuit plaque P — batterie B. — filament  $mn$ . Aux bornes de la bobine  $b''$  plaçons un condensateur

C destiné à former avec  $b''$  le circuit oscillant indispensable pour produire les oscillations électriques. Plaçons enfin sur le circuit plaque-batterie-circuit-oscillant-filament un manipulateur  $m$ . Lorsque nous appuierons sur le manipulateur le courant de la batterie s'établira à travers la bobine  $b''$ . Le condensateur du circuit oscillant se chargera, puis, se déchargeant à travers la bobine  $b'$ , amorcera une série d'oscillations électriques. Ces oscillations réagissent sur la grille, par suite de l'accouplement magnétique des bobines  $b''$  et  $b'$ , de la façon suivante : la grille se charge d'électricité négative, donc coupe le courant de la batterie, toutes les fois que ce courant serait de sens opposé à la demi-oscillation qui traverse la bobine  $b''$  du circuit oscillant. Au contraire,

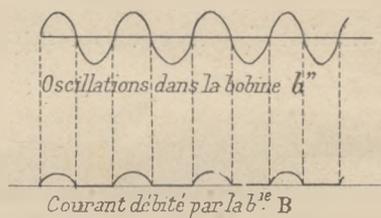


Fig. 29.

la grille se charge d'électricité positive et rétablit le courant de la batterie toutes les fois que celui-ci est de même sens que la demi-oscillation qui traverse la bobine  $b''$  du circuit oscillant (*fig. 29*).

Il en résulte que la batterie fournit au circuit oscillant, toutes les deux demi-oscillations, une petite quantité d'énergie électrique. Cette petite quantité compense exactement l'énergie perdue par le circuit oscillant par suite du frottement des courants oscillants sur la bobine de ce circuit. Par suite l'amplitude des

oscillations, au lieu de diminuer comme dans les appareils à étincelles reste constante, et le circuit oscillant produit des oscillations *sans interruption* tant qu'on appuie sur le manipulateur. C'est donc bien toujours le circuit oscillant qui, comme dans les appareils à ondes amorties, produit les oscillations. Seulement dans ceux-ci il fonctionne comme un simple pendule qui, chaque fois qu'on l'écarte de sa position d'équilibre, produit une série d'oscillations amorties.

Ici, au contraire, il fonctionne comme le pendule d'une horloge qui reçoit, par l'intermédiaire de l'échappement à ancre l'énergie nécessaire à chaque oscillation pour entretenir l'oscillation suivante. Le circuit oscillant remplit ici l'office du pendule et la batterie B. l'office du poids de l'horloge. La lampe-valve remplit l'office de l'échappement à ancre.

Comme dans les appareils à circuit oscillant on règle d'abord la période du circuit oscillant en faisant varier son condensateur ou sa bobine. Ensuite on syntonise l'antenne avec le circuit oscillant au moyen d'un variomètre.

On a vu plus haut comment on recevait les émissions à ondes entretenues par hétérodyne. L'hétérodyne est un petit appareil émetteur auxiliaire identique à celui que nous venons de décrire, et placé auprès de l'antenne de réception. Le télégraphiste règle le circuit oscillant de l'hétérodyne jusqu'à ce que les oscillations qu'elle produit dans l'appareil récepteur produisent des battements par leur interférence avec les ondes de l'appareil émetteur que l'on écoute.

*Téléphonie sans fil.* — Remplaçons dans le poste que nous venons de décrire, le manipulateur par un microphone *m* (fig. 30).

Écoutons alors avec un poste récepteur sans hétérodyne. Nous savons que la plaque de son téléphone est attirée par les ondes entretenues *mais ne vibre pas*.

Parlons alors devant le microphone du poste d'émission. Les vibrations sonores, transmises aux charbons du microphone, provoquent des variations de résistance du circuit oscillant. Chaque diminution de résistance entraîne un renforcement des ondes émises,

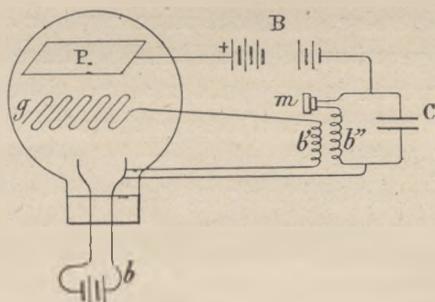


Fig. 30. — Appareil émetteur téléphonie sans fil à ondes entretenues.

chaque augmentation de résistance entraîne un affaiblissement de ces ondes. Les ondes émises présentent alors la forme représentée en trait plein sur la figure 31.

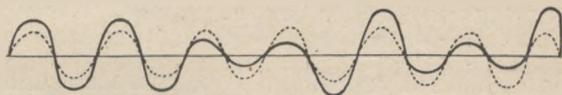


Fig. 31.

Ces ondes, en traversant le téléphone du poste récepteur, vont maintenant évidemment faire vibrer sa plaque, les ondes renforcées l'attirant plus fortement que les ondes affaiblies. Cette plaque vibrante repro-

duira ainsi exactement les vibrations du microphone émetteur, provoquées par les paroles prononcées devant lui.

Notons immédiatement que la réception téléphonique sera beaucoup plus faible que la réception télégraphique, à égalité de puissance de l'appareil émetteur (la portée est 3 à 4 fois moindre). En effet les vibrations téléphoniques sont dues à de simples renforcements ou affaiblissements d'onde (voir *fig. 31*), tandis que les vibrations télégraphiques sont dues à la suppression puis au rétablissement des ondes, donc correspondent à l'entière amplitude de celles-ci.

On devra donc recevoir généralement les communications téléphoniques avec un amplificateur. Remarquons que le téléphone sans fil ne présente pas la précision de syntonie que nous pouvons réaliser avec les ondes entretenues et l'hétérodyne pour le télégraphe.

## ANNEXE I

---

*Radiogoniométrie.* — Employons comme antenne de réception un fil conducteur enroulé sur un cadre de 1m. 50 à 2 mètres de côté et mobile autour d'un axe vertical. Accordons cette antenne avec un poste émetteur qui travaille par exemple à 20 kilomètres de là. Ceci fait faisons tourner notre cadre autour de l'axe vertical par lequel il est suspendu. Lorsque le poste émetteur se trouvera dans le plan vertical de ce cadre l'intensité d'audition passera par un maximum. On peut ainsi, au moyen d'une boussole fixée sur ce cadre, déterminer à 2 degrés près la direction du poste émetteur qui télégraphie.

En déterminant simultanément cette direction à deux postes éloignés l'un de l'autre et reliés par téléphone pour pouvoir se communiquer le résultat de leur mesure on peut déterminer très exactement sur la carte la position du poste repéré.

## ANNEXE II

### FONCTIONNEMENT DE DEUX CIRCUITS OSCILLANTS ACCOUPlés.

Nous avons indiqué plus haut l'une des raisons pour lesquelles, contrairement à la pratique courante parmi les radiotélégraphistes insuffisamment instruits, un réglage correct de l'appareil de réception exige l'emploi d'un couplage magnétique aussi lâche que possible entre les deux circuits oscillants de cet appareil. Nous allons en indiquer une seconde qui est non moins importante que la première.

Les deux circuits oscillants de l'appareil récepteur sont, au passage de chaque train d'ondes, le siège d'oscillations électriques amorties. Cet amortissement est dû à ce que, par suite du frottement de l'électricité sur les fils des deux circuits, l'énergie électrique recueillie par l'antenne se transforme peu à peu en chaleur.

Les courants oscillants qui, parcourent ces deux circuits en s'amortissant et qui réagissent l'un sur l'autre par le lien élastique que constitue le flux magnétique dans lequel baignent les deux bobines d'accouplement sont tout à fait comparables à deux pendules oscillant dans un milieu visqueux, lequel amortit par frottement leurs oscillations, ces deux pendules étant de plus reliés l'un à l'autre par un

fil élastique  $ab$  représentant le flux magnétique par lequel se fait l'accouplement (*fig. 32*).

Voyons donc comment oscillent ces deux pendules.

Puisque les deux circuits oscillants ont été réglés à la même période que les antennes de l'avion, nous devons comparer les deux courants oscillants à deux pendules de même longueur, qui auront par suite même durée d'oscillation.

Supposons que ces deux pendules soient, l'un en plomb l'autre en liège, et qu'on les écarte initialement du même angle (*fig. 32*) et du même côté de la verticale.

Supposons également qu'ils ne sont tout d'abord reliés

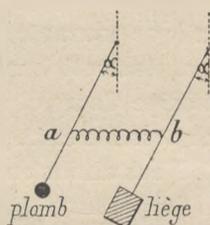


Fig 32.

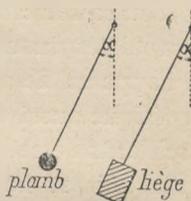


Fig. 33.

par aucun lien élastique (*fig. 33*). Abandonnons-les à eux-mêmes. Leurs oscillations auront la même durée, mais l'amplitude des oscillations du pendule de liège diminuera plus vite que celle du pendule de plomb puisqu'il frotte davantage sur l'air.

Ce cas est comparable à celui des deux courants oscillants qui sont produits dans deux circuits oscillants *sans accouplement magnétique entre eux*.

Recommençons la même expérience, mais en réunissant cette fois les deux pendules par un ressort initialement détendu. A partir du moment où les amplitudes des oscillations deviendront différentes pour les deux pendules, le

ressort sera alternativement tendu et détendu. Chaque pendule troublera ainsi, non seulement l'amplitude, *mais aussi la durée des oscillations de l'autre* (fig. 34 et fig. 35).

Ainsi quoique ces deux pendules aient mêmes durées d'oscillations lorsqu'ils oscillent seuls, à partir du moment où ils sont liés par un lien élastique leurs durées d'oscillations sont altérées, à cause de leurs différences d'amortissements.

Toutefois, si le ressort est très faible, la perturbation qui en résultera pour chacun d'eux sera très faible.



Fig. 34.

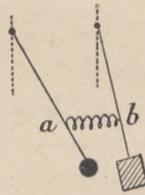


Fig. 35.

Les mêmes phénomènes se produisent pour les deux courants oscillants accouplés magnétiquement. Or pour que leurs oscillations propres soient renforcées par les oscillations « forcées » dues aux chocs répétés des ondes provenant de l'avion, *il faut que la durée de chacune des oscillations propres reste aussi voisine que possible de celle des oscillations forcées, ceci n'est possible d'après ce que nous venons de voir que lorsque l'accouplement magnétique entre ces deux circuits est aussi faible que possible.*

Remarquons en outre que si les deux pendules oscillaient dans le vide, leurs oscillations garderaient toujours leur amplitude initiale, le frottement contre l'air ayant disparu. Elles ne seraient donc pas troublées par la présence d'un ressort d'accouplement. Il en est de même pour les deux

courants oscillants ; moins les circuits oscillants qu'ils parcourent offrent de résistance à leur passage, plus l'amortissement de ces courants est faible et par suite, moins leur période propre est troublée par la présence de l'accouplement magnétique.

Une bonne syntonie exige donc :

1° Des circuits oscillants peu résistants. (Conditions à réaliser par le constructeur.)

2° Un accouplement magnétique aussi lâche que possible (condition à réaliser par le télégraphiste).

### ANNEXE III

#### POSTE ÉMETTEUR A EXCITATION INDIRECTE ET A IMPULSION

Nous venons de voir dans l'annexe II, que deux circuits oscillants amortis, accouplés magnétiquement réagissaient l'un sur l'autre de telle façon que chacun d'eux devient le siège d'au moins deux oscillations électriques de périodes différentes. On peut atténuer cet inconvénient en employant un accouplement faible entre ces deux circuits. C'est ce que l'on est obligé de faire avec les appareils émetteurs à excitation indirecte pour émettre une onde unique, ce qui est indispensable pour réaliser une bonne syntonie à la réception.

Mais l'emploi d'un accouplement faible présente un grave inconvénient : l'énergie transmise par le circuit oscillant à l'antenne est d'autant plus réduite que l'accouplement est plus faible.

On peut remédier à cet inconvénient, dans les postes émetteurs et conserver un accouplement fort par l'emploi de postes dits à impulsion, dont nous allons exposer le principe.

Nous avons vu que le courant alternatif produit par le condensateur était composé de trains d'ondes amorties. Cet

amortissement est dû surtout à la perte d'énergie par effet Joule dans l'étincelle de l'éclateur.

Il sera donc d'autant plus rapide que l'étincelle consommera plus d'énergie. Si l'on remplace l'étincelle unique par des étincelles en série jaillissant entre les bords de plu-

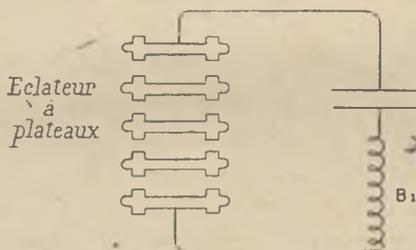


Fig. 36.

sieurs plateaux métalliques isolés les uns des autres (fig. 36) on obtient un très fort amortissement (fig. 37).

C'est-à-dire qu'en pratique l'étincelle cesse de suite après

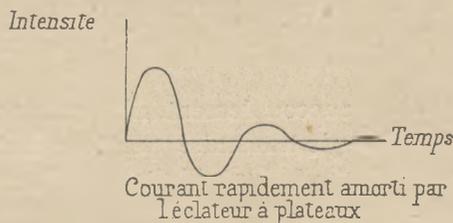


Fig. 37.

la première période du courant de décharge du condensateur. Donc, cette première période lance une seule impulsion dans l'antenne, après quoi le circuit primaire est coupé à l'éclateur où l'étincelle a cessé en attendant l'étin-

celle suivante, et le circuit de l'antenne vibre seul sans être influencé par le circuit primaire que ne parcourt aucun courant.

L'onde émise par l'antenne oscillant librement a alors rigoureusement la valeur  $\lambda_0$  propre au circuit de l'antenne.

## ANNEXE IV

### PRÉCAUTIONS A PRENDRE POUR INSTALLER UN POSTE RÉCEPTEUR

1° *L'emplacement de ce poste* doit tout d'abord être choisi à l'abri du bruit, pour ne pas gêner l'audition, et à l'abri des ébranlements pour ne pas dérégler constamment le détecteur.

2° *L'antenne* doit être aussi élevée que possible au-dessus du sol. De plus si l'on peut la placer sur une colline elle n'en fonctionnera que mieux.

Elle doit être bien dégagée de tous les obstacles susceptibles de capter les ondes qui lui sont destinées (arbres, maisons, lignes électriques, etc.). Une antenne placée dans un bois est dans de mauvaises conditions pour la réception.

Elle doit être soigneusement isolée. En particulier si l'on ne peut éviter de l'installer dans un bois, elle sera en fil recouvert d'isolant à la gutta.

La meilleure antenne est l'antenne en parapluie qui, ayant des brins orientés dans toutes les directions, reçoit toutes les ondes avec leur maximum d'intensité.

Une antenne unifilaire au contraire reçoit avec une intensité moindre les ondes qui arrivent d'une direction perpendiculaire au fil de l'antenne.

Parfois on emploie une antenne en forme de V dont les deux branches embrassent les directions d'où proviendront les ondes.

Dans le cas où l'on emploie une antenne unifilaire la longueur du fil devra être égale au quart de la longueur d'onde moyenne à recevoir. En effet c'est dans ces conditions que la bobine ou le condensateur à mettre en série avec l'antenne pour recevoir des ondes plus grandes ou plus petites que l'onde moyenne auront les valeurs les plus faibles. Comme une partie de l'énergie reçue est consommée dans cette bobine et ce condensateur il y a intérêt à réduire leur importance au minimum, pour ne pas trop affaiblir la réception. Si l'on doit recevoir une grande échelle de longueurs d'onde, la longueur de l'antenne sera le quart des plus petites longueurs d'onde.

Pour les antennes à 2 fils ou à plusieurs fils, la longueur totale de fil à employer sera d'autant supérieure au quart de l'onde à recevoir que le nombre de fils sera plus grand.

Le fil qui va de l'antenne au poste récepteur doit être soigneusement isolé, en particulier à l'endroit où il traverse la paroi du poste.

3° *La boîte de réception* doit être à l'abri de l'humidité, car si elle s'imprègne d'humidité il se produit par celle-ci des déperditions d'énergie qui diminuent considérablement l'intensité de la réception. On doit donc placer cette boîte dans un appartement sec. Si l'appartement est humide on y fera du feu pour le dessécher. S'il n'est pas possible d'y faire du feu on n'y laissera séjourner la boîte que le temps nécessaire à la réception. On pourra dessécher la boîte, lorsqu'on ne s'en servira pas, en plaçant à l'intérieur du chlorure de calcium dans une coupelle, ou encore de la chaux-vive. En outre on empêchera l'humidité de se déposer sur les organes de la boîte en les enduisant de pétrole.

4° *La prise de terre* sera composée d'une vaste surface métallique (par exemple une toile métallique) enfoncée dans la terre humide. Il ne faut pas la placer dans une nappe d'eau pure qui est peu conductrice. Le choix de l'emplacement de la prise de terre a une très grosse influence sur la puissance de la réception.

Le fil qui relie la boîte de réception à la prise de terre sera aussi court que possible. Il n'a pas besoin d'être isolé.

5° *Les contacts* aux points de jonction de deux fils ou d'un fil et d'une borne doivent présenter le minimum de résistance. On les fera donc avec soin en nettoyant et serrant fortement les deux surfaces en contact.

## ANNEXE V

### FORMULE DE THOMSON

*Démonstration de la formule de Thomson. Longueur d'onde propre d'un circuit oscillant.* — Un circuit oscillant comprend une self et une capacité en série. Chargeons le condensateur de capacité  $C$  à une tension  $V$ . Il prend la charge (fig. 38).

$$Q = CV$$

Relions ses armatures par une self  $L$ . Il se décharge à

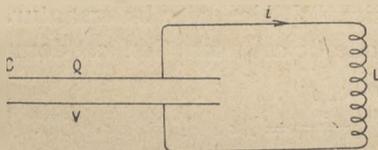


Fig. 38.

travers cette self en produisant un courant alternatif d'après le mécanisme que nous avons étudié au chapitre I.

A un instant quelconque de la décharge il reste sur le condensateur une charge  $q$ . A l'instant  $t + dt$  la charge a diminué de la quantité  $dq$ . L'intensité  $i$  du courant qui circule à cet instant dans la self a pour valeur :

$$i = \frac{dq}{dt}$$

Ce courant produit dans la bobine de self un flux  $\Phi$  ayant pour valeur  $\Phi = Ki$ .

Ce flux variable induit dans la self une force électromotrice  $e$  ayant pour valeur .

$$e = L \frac{di}{dt}$$

Mais la tension aux extrémités de la self qui est égale à  $e$  est aussi égale à la tension  $v$  entre les armatures du condensateur, donc :

$$v = L \frac{di}{dt} \quad (1)$$

Mais  $v = \frac{q}{C}$  et  $i = \frac{dq}{dt} = C \frac{dv}{dt}$

Portons cette valeur dans l'équation (1). Il vient :

$$v = LC \frac{d^2v}{dt^2}$$

Cette équation différentielle a pour intégrale

$$v = V \sin \frac{t}{\sqrt{LC}}$$

$V$  étant la tension initiale entre les armatures du condensateur. La période de cette fonction est donnée par la formule :

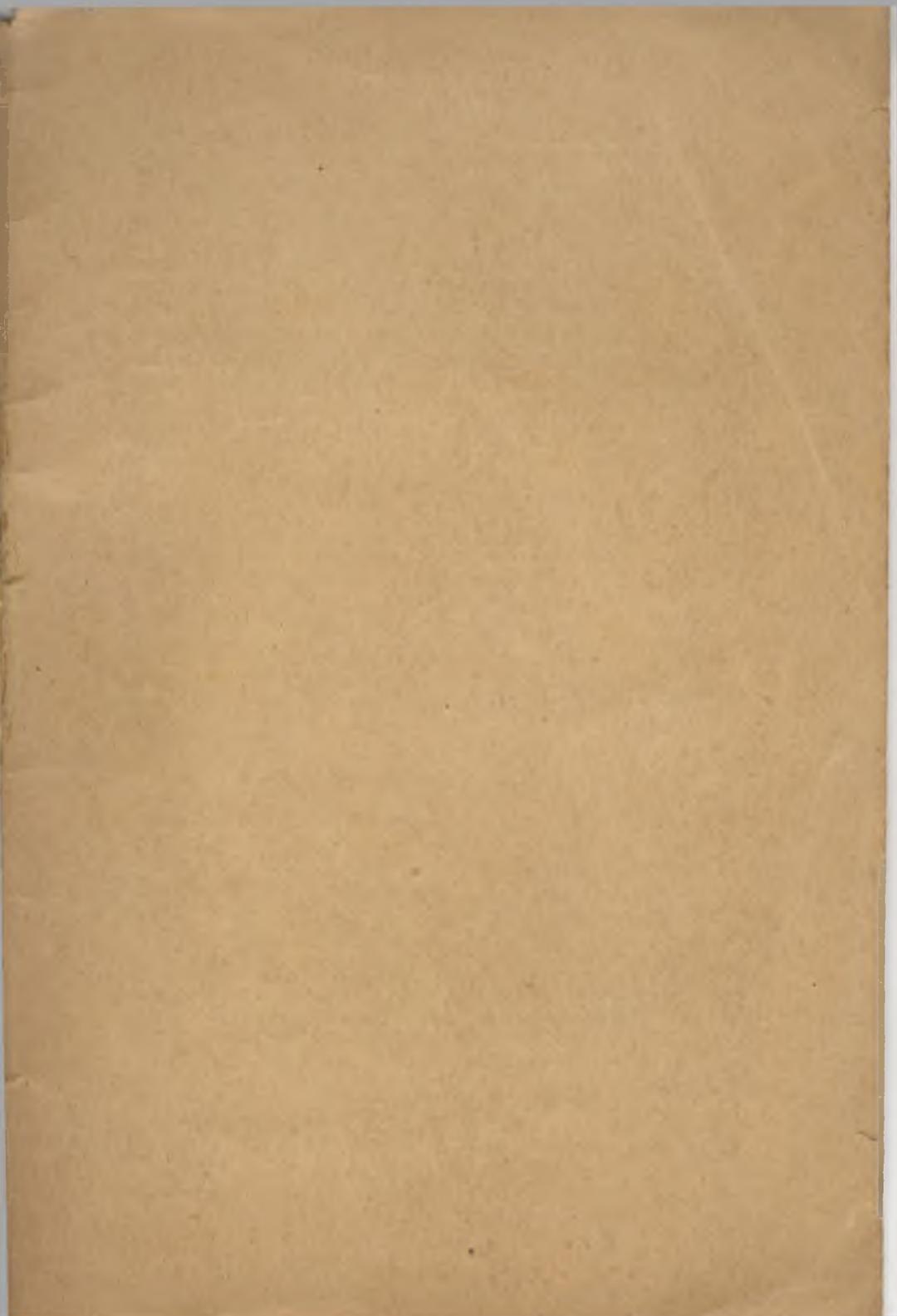
$$\frac{T}{\sqrt{LC}} = 2\pi \quad T = 2\pi \sqrt{LC}.$$

Le courant  $i$  sera un courant alternatif de même période. Il émet une onde dans l'espace environnant dont la longueur

$$\lambda_0 = 300.000 T$$

$$\lambda_0 = 2\pi \times 300.000 \sqrt{LC}$$

en kilomètres, 300.000 représente la vitesse de propagation des ondes hertziennes qui est égale à celle de la lumière.



En vente à la librairie H. DUNOD et E. PINAT, Éditeurs

47 et 49, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS PARIS (VI<sup>e</sup>)

- Manuel théorique et pratique de télégraphie sans fil**, par James Erskine MURRAY, professeur à l'Institut de Northampton (Londres), traduit sur la 5<sup>e</sup> édition anglaise, par Henri MAGNIEZ, ingénieur-électricien. In-8° 16 × 25 de XII-415 pages, avec 202 figures (1916). Broché, 18 fr. ; cartonné..... 20 fr.
- La télégraphie sans fil**, par le professeur Domenico MAZZOTTO, traduit de l'italien par J.-A. MONTPELLIER, rédacteur en chef de l'*Électri-cien*. In-8° 16 × 25 de X-432 pages, avec 250 figures. Broché, 12 fr. 50 ; cartonné..... 14 fr.
- La télégraphie sans fil, la télé mécanique et la téléphonie sans fil à la portée de tout le monde**, par E. MONIER, ing. ; préface du Dr E. BRANLY, 9<sup>e</sup> édition. In-16 12 × 18 de VIII-250 pages, avec 35 figures (1917)..... 3 fr.
- T. S. F. Postes récepteurs. Moyen de les construire soi-même pour recevoir à domicile les télégrammes de la tour Eiffel et des nations voisines. La télégraphie sans fil pendant la guerre**, par E. MONIER, ingénieur des Arts et Manufactures. 2<sup>e</sup> édition. In-16 12 × 18 de VI-116 pages, avec 17 figures (1917)..... 2 fr.
- Traité pratique de télécommunication électrique (Télégraphie-Téléphonie)**, par Ed. ESTAUNIÉ, ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur en chef des Télégraphes. In-8° 16 × 25 de 670 pages, avec 528 figures. Broché, 20 fr. ; cartonné..... 21 fr. 50
- Télégraphie pratique, traité complet de télégraphie électrique, à l'usage des agents des postes et télégraphes et des chemins de fer. des constructeurs d'appareils télégraphiques, etc.**, par L. MONTILLOT, inspecteur des postes et télégraphes. In-8° 16 × 25 de 624 pages, avec 356 figures et 6 planches. Cartonné..... 25 fr.
- Télégraphie. Cours sur l'appareil Hughes et les lignes souterraines**, par E. MONTORIOL, sous-chef de section, ancien chargé de cours au poste central des télégraphes. 2<sup>e</sup> édition. In-8° 14 × 22 de 480 pages, avec 284 figures. Broché, 5 fr. ; cartonné..... 6 fr. 50
- Téléphonie pratique à l'usage des agents des postes et télégraphes, des constructeurs, abonnés, etc.**, par L. MONTILLOT, inspecteur des postes et télégraphes. 2<sup>e</sup> édition, augmentée d'un second volume entièrement inédit. 2 vol. in-8° 16 × 25 de 948 pages, avec 723 figures et 10 planches. Cartonnés..... 30 fr.
- Majoration temporaire de 10 p. 100 sur les prix ci-dessus**