

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- Le Conservatoire numérique communément appelé le Cnum constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - http://cnum.cnam.fr](http://cnum.cnam.fr))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment possible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

Auteur(s)	Gillet de Valbreuze, Robert (1877-1953)
Titre	Notions générales sur la radiotélégraphie et la radiotéléphonie
Adresse	Paris ; Liège : Librairie polytechnique Ch. Béranger, éditeur, 1914
Edition	6e édition entièrement remaniée et mise à jour
Collation	1 vol. (VIII-475 p.) : ill., tabl. ; 25 cm
Nombre de vues	484
Cote	CNAM-BIB 8 Ca 361 ter
Sujet(s)	Télégraphie sans fil Téléphonie sans fil Électricité
Thématique(s)	Technologies de l'information et de la communication
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	21/01/2021
Date de génération du PDF	08/01/2024
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8CA361TER

NOTIONS GÉNÉRALES
SUR
LA RADIOTÉLÉGRAPHIE
ET
LA RADIOTÉLÉPHONIE

NOTIONS GÉNÉRALES
SUR *8^e Ca 361 ter*
LA RADIOTÉLÉGRAPHIE
ET
LA RADIOTÉLÉPHONIE

PAR

R. DE VALBREUZE

Ancien Officier du Génie,
Ingénieur-Électricien.

6^e ÉDITION
ENTIÈREMENT REMANIÉE ET MISE À JOUR

PARIS ET LIÈGE
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER, ÉDITEUR
15, RUE DES SAINTS-PÈRES
LIÈGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE

1914

PRÉFACE DE LA 6^e EDITION

Depuis 1910, époque à laquelle nous avions entièrement remanié cet ouvrage pour sa 4^e édition, d'importants changements sont survenus dans la technique et la pratique de la Radiotélégraphie. L'emploi des émissions musicales, produites par différents dispositifs électriques ou mécaniques établis pour donner des étincelles fréquentes, s'est rapidement répandu, et ces nouveaux dispositifs ont supplanté presque partout les systèmes à étincelles raréfiées ; d'autre part, les appareils propres à engendrer des ondes entretenues, tels que les arcs de Poulsen, ont été beaucoup perfectionnés ; enfin différents ingénieurs sont parvenus à construire des alternateurs spéciaux à haute fréquence sur lesquels on fonde de grands espoirs. Du côté de la réception, les détecteurs à cristaux et les valves ont pris une importance prépondérante ; des relais et des galvanomètres de grande sensibilité, permettant un enregistrement photographique des signaux, ont été construits par plusieurs physiciens ; l'emploi d'antennes horizontales, tendues à faible distance du sol, a donné des résultats très intéressants. Des applications nouvelles,

telles que l'envoi régulier de l'heure aux navires en mer, la détermination des longitudes, l'emploi de phares hertziens et de compas radiotélégraphiques, etc., ont accru encore le champ d'utilisation des ondes électromagnétiques. Quelques projets grandioses, visant la constitution d'un réseau mondial de postes ultra-puissants semblent susceptibles d'une prochaine réalisation. Bref, la Radiotélégraphie a fait, depuis trois ans, des progrès si marqués que nous avons dû remanier à nouveau et compléter, pour sa 6^e édition, notre livre auquel le public a fait, jusqu'à présent, un si favorable accueil.

Le plan général de l'ouvrage est resté à peu près le même :

La Première Partie est consacrée à l'étude des Oscillations électromagnétiques. Elle débute par une *explication générale des mouvements vibratoires et des lois de la Radiation*, après quoi nous avons essayé de bien faire comprendre de quelle façon sont engendrées les *vibrations propres d'un circuit oscillant* et comment sont produites les *oscillations amorties ou entretenues*, puis nous avons étudié en détail les *oscillations complexes de deux circuits accouplés ensemble et les effets de résonance* qui se manifestent quand ces circuits ont même période propre de vibration. Enfin nous avons rappelé les *découvertes de Hertz* et indiqué de quelle façon ce savant est parvenu à produire des ondes électromagnétiques ou des *rayons électriques*.

La Deuxième Partie, de beaucoup la plus volumineuse, est relative à la Radiotélégraphie. Après avoir mentionné les *premiers appareils et dispositifs employés par divers expérimentateurs*, nous avons passé en revue les *principaux types*

de détecteurs d'ondes, étudié les modes de fonctionnement et d'utilisation des antennes transmettrices et réceptrices, exposé le principe des appareils utilisés pour la mesure des longueurs d'onde, décrit les perfectionnements apportés dans les dernières années aux appareils transmetteurs (systèmes à étincelles raréfiées, à étincelles musicales et à ondes entretenues), puis aux appareils récepteurs, et examiné les solutions proposées pour l'émission des ondes dans une direction unique et pour l'établissement de compas radiotélégraphiques. Enfin, nous avons donné des indications sur les différents appareils employés dans la pratique et décrit les installations de quelques grands postes radiotélégraphiques.

Dans la Troisième Partie, consacrée à la Radiotéléphonie, nous avons rappelé sommairement les conditions générales du problème de la transmission de la parole et l'application de ces conditions à la transmission par ondes électromagnétiques ; après quoi nous avons mentionné les premières expériences de téléphonie sans fil, passé en revue les différents émetteurs d'ondes employés, décrit les principaux microphones, et rappelé les montages qui peuvent être utilisés pour la réception.

L'Appendice I, destiné aux lecteurs qui n'ont aucune connaissance en Électrotechnique, leur permet d'acquérir rapidement et sans difficulté des notions nettes sur le potentiel, les phénomènes de charge et de décharge, le courant électrique, le champ magnétique, l'induction électromagnétique (induction mutuelle et induction propre), les générateurs électriques, les machines à courant continu et à courant alternatif, les bobines de self-induction et les transformateurs.

L'Appendice II donne le texte de la Convention Radiotélégraphique Internationale de 1912.

L'Appendice III mentionne quelques *applications nouvelles de la Radiotélégraphie : signaux horaires ; détermination des longitudes ; transmission d'un bulletin météorologique.*

Pour terminer, nous tenons à rappeler que ce livre a un caractère général : son but n'est pas d'énumérer et de décrire les nombreux appareils construits ou proposés jusqu'à ce jour, mais de donner une idée exacte des phénomènes sur lesquels repose la Radiotélégraphie ou la Radiotéléphonie, et des méthodes mises en jeu pour la transmission et la réception des signaux ou de la parole.

Comme tel, il s'adresse à tous ceux qui désirent s'instruire et se tenir au courant des progrès de la science. En outre, il peut être utile à bon nombre d'ingénieurs, et même de spécialistes, car il indique les résultats des études théoriques et expérimentales les plus récentes, grâce auxquelles la Radiotélégraphie et la Radiotéléphonie ont pu progresser d'une façon si remarquable.

Paris, septembre 1913.

NOTIONS GÉNÉRALES
SUR
LA RADIOTÉLÉGRAPHIE
ET
LA RADIOTÉLÉPHONIE

PREMIÈRE PARTIE

NOTIONS GÉNÉRALES SUR LA PRODUCTION
DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

CHAPITRE I

MOUVEMENT VIBRATOIRE ET RAYONNEMENT
RADIATIONS CHIMIQUES, LUMINEUSES, CALORIFIQUES
ET ÉLECTRIQUES

Les actions électriques et magnétiques sont dues à un mouvement vibratoire propagé par un certain milieu : il en est de même des phénomènes de radiation lumineuse, chimique et calorifique. Le milieu qui vibre et par l'intermédiaire duquel se propagent les vibrations est nommé *éther* : on suppose qu'il existe partout, dans l'espace interplanétaire, dans le vide, et au sein de tous les corps, solides, liquides ou gazeux.

Ces notions vont être expliquées et étudiées en détail.

1. — *Mouvement vibratoire.*

On dit qu'un point déterminé effectue un mouvement vibratoire quand il se déplace, sur une courbe ou sur une droite, de part et d'autre d'une position moyenne.

Un exemple mécanique fera comprendre cette définition.

Considérons (fig. 1) une lame plate d'acier A élastique



Fig. 1.

fixée par l'une de ses extrémités B dans un étau. Écartons de sa position normale l'autre extrémité C de cette lame et amenons la en C' par exemple, puis abandonnons la brusquement. La

lame se met à vibrer : l'extrémité libre retourne vers sa position normale C qu'elle dépasse pour aller jusqu'en C'' ; là, elle s'arrête, puis revient en arrière vers la position C qu'elle dépasse à nouveau, etc.

Si le mouvement de la lame ne rencontrait aucune résistance (telle que celle due au frottement de l'air) les vibrations pourraient continuer indéfiniment. Dans le cas dont il s'agit, elles vont en s'éteignant peu à peu et l'on dit que le mouvement est amorti.

Fixons notre attention sur un point de l'extrémité C de la lame : pendant les vibrations de celles-ci, ce point est animé d'un *mouvement vibratoire* et décrit la courbe C'C'' qui, pour une longueur suffisante BC de la lame, peut être assimilée à une droite. Le mouvement vibratoire du point considéré est caractérisé par le fait que la vitesse de déplacement de ce point est variable suivant les différentes positions qu'il occupe. En effet, la vitesse est nulle en C' et va en croissant peu à peu jusqu'en C ; au delà du point C', l'élasticité de la

lame agit pour ralentir le mouvement et la vitesse va en diminuant jusqu'au point C'' où elle s'annule. Ensuite le mouvement se produit en sens inverse, et la vitesse va en croissant jusqu'en C, pour décroître ensuite, etc.

On a donné le nom de mouvement vibratoire harmonique à ce genre de mouvement vibratoire, pour lequel la vitesse du point qui vibre atteint un maximum au moment du passage à la position moyenne, et va en décroissant de part et d'autre de cette position.

On appelle fréquence du mouvement vibratoire le nombre de vibrations complètes par seconde : par vibration ou oscillation complète, on entend la vibration totale de part et d'autre de la position moyenne, et l'on compte comme demi-vibration ou demi-oscillation le mouvement, aller et retour, qui a lieu d'un seul côté de la position moyenne.

On appelle période du mouvement vibratoire la durée d'une vibration ou oscillation complète. Le nombre qui exprime la période T est l'inverse de celui qui exprime la fréquence f : par exemple, s'il y a 1 000 vibrations par seconde ($f = 1\,000$), la durée d'une vibration est de un millième de seconde ($T = 1/1\,000$).

On appelle amplitude du mouvement vibratoire la distance d'une position extrême du point par rapport à la position moyenne (CC' ou CC'' par exemple), ou, autrement dit, la grandeur d'une demi-vibration ou demi-oscillation.

Si le mouvement est amorti, comme dans l'exemple indiqué, l'amplitude de chaque demi-vibration est plus petite que l'amplitude de la demi-vibration précédente ; on dit que *l'amplitude du mouvement va en décroissant, et cette décroissance est déterminée par un certain facteur, dit facteur d'amortissement, qui dépend du rapport de l'amplitude d'une demi-oscillation à celle de la demi-oscillation précédente.*

4 NOTIONS SUR LA PRODUCTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

On pourrait, en employant un procédé quelconque, par exemple en faisant agir sur la lame une force périodique convenable, empêcher les oscillations d'aller en s'éteignant et faire en sorte que leur amplitude conserve toujours la même valeur : le mouvement vibratoire serait alors un *mouvement entretenu*.

Enfin on pourrait aussi, par l'application d'une force périodique convenable, faire en sorte que l'amplitude des oscillations aille en croissant : il sera question de ce cas dans le chapitre III relatif à la Résonance.

En désignant par t le temps écoulé, à un instant quelconque, depuis le passage du point à sa position moyenne, et par T la durée ou période de la vibration, *on appelle phase du mouvement vibratoire une grandeur proportionnelle au rapport de t à T* .

On conçoit sans peine que, connaissant la phase, la période et la loi de variation du mouvement, on puisse en déduire la position du point à un instant t quelconque⁽¹⁾.

L'exemple mécanique qui précède permet de se rendre compte du mouvement vibratoire harmonique d'un point. Ce point peut être une particule d'un corps matériel quelconque, solide, liquide ou gazeux qui, sous l'action de certaines forces, effectue des vibrations, amorties ou non amorties. Il peut aussi représenter une particule d'un milieu particulier, nommé *éther*, dont il va être question.

(1) Dans le mouvement vibratoire harmonique, la distance d qui sépare le point de sa position moyenne au bout du temps t est liée à l'amplitude a et à la période T par la formule

$$d = a \sin \frac{2\pi}{T} t,$$

La phase a pour valeur $\frac{2\pi}{T} t$, ou $2\pi ft$, que l'on écrit pour abréger ωt

2. — *L'éther.*

L'étude de la lumière et des différents phénomènes qui s'y rattachent a conduit Huygens à formuler, depuis plus de deux siècles, l'hypothèse que la propagation des rayons lumineux est due à des vibrations d'un milieu particulier qu'il a appelé éther. Toutes les découvertes successives de la science ont confirmé cette manière de voir, et l'existence de l'éther est devenue presque certaine.

Il n'y a pas lieu de s'étonner de ce que l'éther soit répandu au sein de ce que nous appelons la matière (corps solides, liquides ou gazeux) puisque celle-ci est formée d'une agglomération d'atomes entre lesquels existent d'innombrables intervalles ou interstices, et que, d'après les théories les plus récentes, les atomes eux-mêmes semblent constitués par un assemblage de petits centres portant chacun une charge électrique (électrons). Les intervalles ou interstices sont de dimensions beaucoup trop faibles pour pouvoir être perçus par notre œil, même avec un puissant microscope, de même que les intervalles existant entre les hommes d'une troupe ne peuvent être perçus par un observateur placé dans un ballon à une certaine hauteur.

L'éther est donc un agent répandu dans tout l'univers, et les phénomènes lumineux (y compris les radiations chimiques et calorifiques, comme nous le verrons plus loin), ainsi que les phénomènes électriques ou magnétiques, consistent, soit en une vibration (effets de propagation, ou effets dynamiques), soit en une déformation (effets statiques) de l'éther, cette vibration ou cette déformation étant produite par l'action d'une cause extérieure.

La constitution réelle de l'éther n'est pas connue, mais

6 NOTIONS SUR LA PRODUCTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

certaines des propriétés principales de ce milieu ont pu être déterminées d'après les lois auxquelles obéissent les phénomènes lumineux ou électriques.

Nous allons voir comment les vibrations produites par une cause extérieure (source lumineuse, par exemple) peuvent se propager dans l'éther et donner lieu à une transmission de l'énergie.

3. — *Rayonnement.*

Supposons que l'éther soit formé d'un assemblage de particules qui, en temps normal, se tiennent toutes en équilibre sous l'action des forces mutuelles qu'elles exercent les unes sur les autres. Si l'une des particules, que, pour plus de commodité, nous appellerons dans la suite *particule initiale*, est écartée de sa position d'équilibre par l'action d'une cause extérieure, l'équilibre des forces mutuelles est rompu et les particules voisines de la particule initiale se mettent en mouvement pour chercher une nouvelle position d'équilibre. A leur tour, les particules voisines de celles qui se déplacent vont se mettre en mouvement, puis il en sera de même des suivantes, etc. (¹).

Cette transmission de proche en proche, ou propagation du mouvement imprimé à la particule initiale, est appelée rayonnement ou radiation.

Il est évident que la propagation du mouvement de la particule initiale a lieu dans toutes les directions autour de cette particule, toutes les particules qui l'entourent prenant part au mouvement. *On appelle rayon l'une quelconque des directions suivant laquelle se propage le mouvement.*

(¹) On suppose que le mouvement de chaque particule est de même nature que le mouvement de la particule voisine qui lui a donné naissance.

Supposons que le mouvement imprimé à la particule initiale c , située primitivement en C (fig. 2), soit un mouvement vibratoire harmonique de période T dirigé suivant la droite CC'' et ayant une amplitude constante CC' . Considérons un rayon CA suivant lequel le mouvement se propage de proche en proche. Les *vibrations* sont dites *transversales* parce qu'elles sont perpendiculaires au rayon, c'est-à-dire à la direction de propagation. Soient d la particule voisine de c dans cette direction, e la particule voisine de d , f la particule voisine de e , etc.

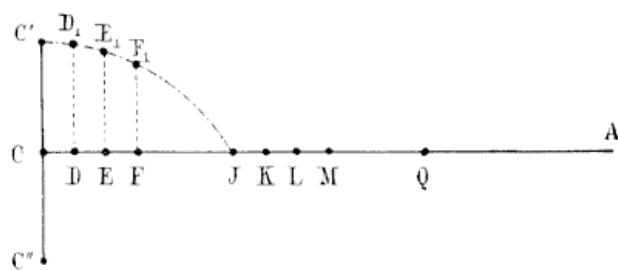


FIG. 2.

La particule initiale c se mettant en mouvement, la particule d va suivre peu après, puis e , puis f , puis..., etc. Quand la particule c est parvenue à la position C' qui marque le terme de son déplacement dans la direction CC' , la particule d , qui a commencé son mouvement un peu après elle, n'est encore qu'en D_1 ; la particule e n'est parvenue qu'en E_1 , la particule f a atteint la position F_1 , ..., etc. : la particule j , qui est au point J , n'a pas encore commencé son mouvement; il en est de même de toutes les particules situées à droite de J dans la direction JA . A ce moment, le temps t écoulé depuis le début du mouvement vibratoire de la particule c est égal à un quart de période, ou $T/4$, puisque la particule c a effectué la moitié d'une demi-oscillation, ou un quart d'oscillation complète.

8 NOTIONS SUR LA PRODUCTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Après avoir atteint la position C' , la particule c va revenir vers la position C : la particule d continue son mouvement pour atteindre la position qui correspond à l'amplitude maxima du mouvement vibratoire (égale, par hypothèse, à l'amplitude CC') : de même les particules e, f, \dots, j , etc. continuent à se déplacer dans la même direction qu'auparavant, et la particule j commence son mouvement. Un instant après, d , ayant atteint son plus grand déplacement, commence à revenir vers la position D , tandis que e, f, \dots, j continuent à se mouvoir dans le sens primitif, pour atteindre leurs positions extrêmes : la particule k , située au point K , se met en mouvement. Tour à tour, les particules e, f, \dots, j atteignent

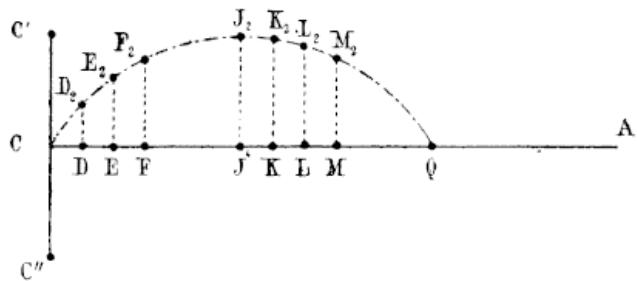


Fig. 3.

chacune leur position extrême puis reviennent en arrière, leur mouvement changeant de sens, tandis qu'à leur tour les particules l, m, \dots situées primitivement aux points L, M, \dots commencent leur mouvement.

Considérons le moment où la particule j atteint sa position extrême J_2 (fig. 3). Nous avons vu plus haut qu'elle commençait son mouvement au bout d'un temps $t = T/4$: il lui faut, comme cela a été expliqué, un quart de période ($T/4$) pour atteindre sa position extrême. A ce moment, il s'est donc écoulé, depuis le début du mouvement de la particule c , un intervalle de temps égal à deux quarts de période ($T/4 + T/4$) ou une demi-période ; par conséquent, la parti-

culle c repasse alors par sa position moyenne C après avoir effectué une demi-vibration ou oscillation. Les particules $d, e, f\dots$ descendent aussi vers leurs positions moyennes D, E, F ; elles sont en D_2, E_2 et $F_2\dots$; les particules $k, l, m\dots$ sont en $K_2, L_2, M_2\dots$ et continuent leur mouvement ascendant pour atteindre à leur tour leurs positions extrêmes; la particule q , située en Q , n'a pas encore bougé, mais elle va commencer son mouvement.

Après cet intervalle de temps égal à une demi-période, la particule c dépasse sa position moyenne C et se dirige

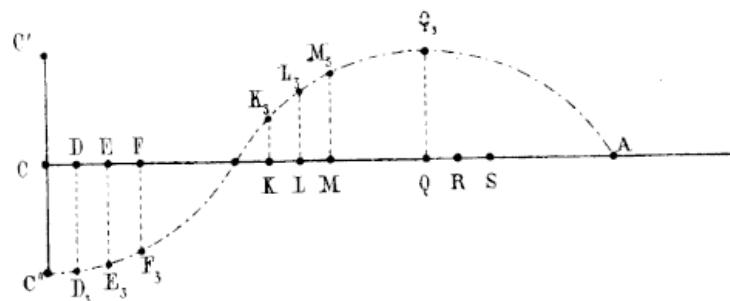


FIG. 4.

vers C'' : il en est de même, tour à tour, des particules $d, e, f\dots$ Au bout d'un nouveau quart de période, c'est-à-dire trois quarts de période après le début du mouvement de la particule c , cette particule atteint le point C'' (fig. 4); les particules $d, e, f\dots$ ont atteint les positions $D_3, E_3, F_3\dots$ et continuent leur mouvement vers le bas. La particule j se trouve à sa position moyenne J puisque, un quart de période auparavant, elle était à sa position extrême J_2 . Les particules $k, l, m\dots$ se dirigent vers leurs positions moyennes $K, L, M\dots$ et sont en $K_3, L_3, M_3\dots$: quant à la particule q , elle se trouve à sa position extrême Q_3 , puisqu'elle a commencé son mouvement au bout d'une demi-période et qu'il s'est écoulé depuis lors un temps égal à un quart de période. Enfin, la

10 NOTIONS SUR LA PRODUCTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

particule *a*, située en A, n'a pas encore bougé, mais va commencer son mouvement.

Après avoir atteint la position C'', la particule *c* remonte vers sa position moyenne C, les particules *d*, *e*, *f*... continuent leur mouvement pour atteindre leurs positions extrêmes inférieures : la particule *j* se déplace vers le bas ; les particules *k*, *l*, *m*... *q* redescendent ; les particules situées à droite de *q* continuent leur mouvement vers le haut pour atteindre à leur tour leurs positions extrêmes supérieures : la particule *a* commence son mouvement ; les particules qui

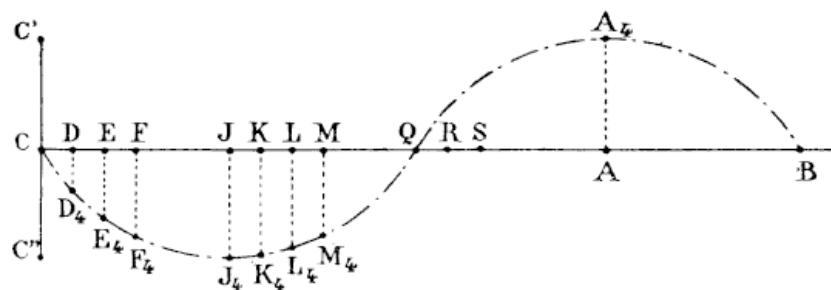


Fig. 5.

sont à droite n'ont pas encore bougé mais vont commencer tour à tour leur mouvement. Au bout d'un quart de période, c'est-à-dire quatre quarts de période ou une période entière T après le début du mouvement (fig. 5), la particule *c* est revenue en C ; les particules *d*, *e*, *f*... sont en *D*₄, *E*₄, *F*₄... etc., et se dirigent vers D, E, F : la particule *j* a atteint sa position extrême inférieure *J*₄ ; les particules *k*, *l*, *m*... sont en *K*₄, *L*₄, *M*₄... et continuent leur mouvement vers le bas ; la particule *q* est revenue en Q après une demi-oscillation et va se déplacer vers le bas ; la particule *a* a atteint sa position extrême supérieure *A*₄ et va redescendre ; les particules placées à sa droite continuent leur mouvement vers le haut ; la particule *b*, située en B, n'a pas encore bougé, mais va commencer son mouvement.

A partir de ce point B, tout va se passer identiquement de la même manière qu'à partir du point C, à la différence près que le mouvement aura commencé une période plus tard. Au bout d'un nouvel intervalle de temps T, c'est-à-dire au bout d'un temps $2T$ après le commencement du phénomène, le mouvement aura progressé d'une longueur égale à 2 fois la longueur CB; au bout d'un temps $3T$, il atteindra une particule située à une distance 3 CB du point C..., etc.

On voit que le mouvement vibratoire se propage, dans une direction donnée, sous forme d'une onde qui progresse de proche en proche, comme l'onde que produit sur une surface liquide le choc d'une pierre tombant dans ce liquide.

Les courbes tracées en trait-point sur les figures 2, 3, 4 et 5 donnent une idée de la propagation de cette onde.

On appelle longueur d'onde *la longueur dont progresse le mouvement vibratoire pendant une période T* c'est-à-dire *le chemin parcouru par la tête de l'onde pendant le temps T*. Ce chemin correspond, sur la figure 5, à la longueur CB qui représente, par conséquent, la longueur d'onde.

Il est évident que la longueur d'onde dépend de la *vitesse de propagation* du mouvement vibratoire. Si l'on désigne par v cette vitesse, on voit que le chemin parcouru par la tête de l'onde en un temps T a pour valeur vT . La longueur d'onde (que l'on désigne généralement par le symbole λ) est donc donnée par la formule

$$\lambda = vT$$

qui permet de déterminer la longueur d'onde quand on connaît la période ou, inversement, la période quand on connaît la longueur d'onde. Quant à la vitesse v , elle a une valeur constante, indépendante de la cause extérieure qui a provoqué le mouvement vibratoire de l'éther (phénomènes

lumineux ou phénomènes électriques). Cette valeur est voisine de 300 000 kilomètres ou 300 000 000 mètres par seconde dans l'éther libre⁽¹⁾.

Nous avons vu plus haut que la fréquence f du mouvement vibratoire (nombre de vibrations complètes par seconde) est égale à l'inverse de la période T : la longueur d'onde λ est donc liée à la fréquence par la formule

$$\lambda = v \left(\frac{1}{f} \right) \quad \text{ou} \quad \lambda = \frac{300\ 000\ 000}{f} \text{ en mètres.}$$

Par exemple, une fréquence de 1 000 000 (fréquemment employée dans les petits postes radiotélégraphiques) correspond à une longueur d'onde de 300 mètres. Inversement, une longueur d'onde de 5 dix-millièmes de millimètre, par exemple (0,0005 millimètre) telles que celle des vibrations lumineuses, correspond à une fréquence de 600 000 000 000 000, ou de 600 billions par seconde.

Comme on peut le voir d'après les figures 4 et 5, les déplacements de deux particules distantes d'une demi-longueur d'onde (par exemple des particules d et r , e et s , etc.), sont toujours égaux et de sens contraire.

Les phases⁽²⁾ des mouvements vibratoires de deux particules distantes d'une demi-longueur d'onde sont toujours égales et opposées.

Les phases des mouvements vibratoires de deux particules distantes d'une longueur d'onde sont toujours égales et concordantes, puisque, à partir du point B, tout se passe de la même manière qu'à partir du point C.

⁽¹⁾ C'est-à-dire dans l'espace, l'éther semblant posséder une densité un peu plus grande quand il est au sein de solides ou de liquides, et la vitesse de propagation étant, par suite, un peu plus faible.

⁽²⁾ La phase a été définie à la page 4.

4. — *Rayons lumineux, chimiques et calorifiques.*

Le mouvement vibratoire de l'éther se manifeste sous forme de phénomènes très dissemblables suivant la fréquence des vibrations. Ces phénomènes, appelés *phénomènes de radiation*, sont caractérisés par l'apparition d'effets chimiques, d'effets lumineux, d'effets calorifiques ou d'effets électriques et magnétiques.

Les *effets chimiques* correspondent à la radiation caractérisée par les plus petites longueurs d'onde (ou les plus grandes fréquences) : ces longueurs d'onde sont comprises à peu près entre 0,1 et 0,4 micron⁽¹⁾.

Les *effets lumineux* (accompagnés aussi, d'une façon plus ou moins marquée, d'effets chimiques et d'effets calorifiques) correspondent à la radiation caractérisée par des longueurs d'onde comprises à peu près entre 0,4 et 0,75 micron.

Les *effets calorifiques* correspondent à la radiation caractérisée par des longueurs d'onde comprises entre 0,75 et 60 μ environ.

Enfin les *effets électriques et magnétiques* correspondent à la radiation caractérisée par des longueurs d'onde comprises entre 4 millimètres (actuellement) et quelques kilomètres.

Les vibrations correspondant à des longueurs d'onde comprises entre 60 μ (0,06 millimètre) et 4 millimètres nous échappent actuellement.

Il y a lieu d'ajouter à cette énumération les rayons Röntgen et les rayons γ du radium⁽²⁾, dont la longueur d'onde s'abaisse jusqu'à un dix-millième de micron.

(1) Le micron, que nous désignerons dans la suite par la lettre μ , est une unité ayant pour valeur un millième de millimètre : 1 μ = 0,001 millimètre.

(2) Le radium émet simultanément plusieurs sortes de rayons nettement distincts, désignés par les lettres α , β , γ .

14 NOTIONS SUR LA PRODUCTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

La nature nous a dotés d'un appareil optique particulier, l'œil, qui, sous l'action d'un mouvement vibratoire dont la longueur d'onde est comprise entre $0,4$ et $0,75 \mu$, c'est-à-dire sous l'action de vibrations dont la fréquence est comprise entre 750 et 400 billions par seconde, perçoit une certaine sensation que nous appelons la lumière.

Une expérience de Physique bien connue consiste à faire passer à travers un prisme en verre un faisceau de lumière blanche. On constate alors, en plaçant un écran au delà du prisme, que ce faisceau de lumière blanche est décomposé en une bande de faisceaux lumineux de différentes couleurs rangées dans l'ordre suivant : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge.

Cela tient à ce que le mouvement vibratoire complexe qui donne à notre rétine la sensation que nous nommons lumière blanche est formé par la superposition de mouvements vibratoires simples de différentes longueurs d'onde, comprises entre $0,4$ et $0,75 \mu$. Autrement dit, le rayon de lumière blanche est formé par la superposition d'un certain nombre de rayons différents qui correspondent chacun à des vibrations d'une fréquence donnée. La présence du prisme en verre ayant pour effet de dévier d'une quantité différente chacun des rayons simples qui constituent le rayon complexe, ce dernier se trouve décomposé en ses éléments constitutifs, et l'on voit apparaître une série de rayons qui donnent à notre rétine des sensations individuelles variables, comprises entre ce que nous appelons lumière violette et ce que nous appelons lumière rouge.

A chaque mouvement vibratoire simple d'une longueur d'onde déterminée correspond une sensation, ou couleur, déterminée : le violet correspond à une longueur d'onde de $0,4 \mu$; le jaune correspond à la longueur d'onde de $0,54 \mu$; le rouge correspond à la longueur d'onde de $0,75 \mu$.

Les vibrations correspondant à des longueurs d'onde inférieures à $0,4\text{ }\mu$ ou supérieures à $0,75\text{ }\mu$ n'exercent aucune impression sur notre œil. Cependant on peut constater que, en deçà du violet, pour des longueurs d'onde inférieures à $0,4\text{ }\mu$, il existe dans les rayons solaires des rayons invisibles, appelés ultra-violets, qui produisent des effets chimiques, faciles à déceler, par exemple au moyen d'une plaque photographique. De même, au delà du rouge, il existe encore des rayons invisibles, dont les longueurs d'onde s'étendent entre $0,75$ et $60\text{ }\mu$, et qui produisent des effets calorifiques, faciles à déceler, par exemple au moyen d'un thermomètre recouvert de noir de fumée. Ces rayons sont appelés infra-rouges.

Il ne faut pas croire que les rayons chimiques, lumineux et calorifiques soient nettement distincts les uns des autres : ils forment toujours ensemble une radiation complexe et sont engendrés simultanément par tous les corps portés à l'incandescence⁽¹⁾.

Le soleil, formé de vapeurs et de gaz incandescents, est une puissante source lumineuse dont les radiations éclairent et chauffent la terre. Il était tout naturel que l'esprit des physiciens s'attachât à chercher les causes et les lois de ces radiations : c'est pourquoi la théorie des phénomènes lumineux et les lois de l'optique sont connues depuis un grand nombre d'années et nous sont, pour ainsi dire, devenues familières.

(1) L'énergie dépensée pour échauffer un corps met en vibration les molécules ou les atomes de corps. Plus la température à laquelle le corps est chauffé est élevée, et plus est grande la fréquence des vibrations, c'est-à-dire plus est courte la longueur d'onde des rayons émis. Aux températures inférieures à celle de l'incandescence, le corps émet seulement des rayons de grande longueur d'onde, c'est-à-dire des rayons calorifiques. A mesure que la température s'élève, il émet de plus en plus de rayons lumineux.

5. — *Rayons électriques.*

Tandis que les lois auxquelles obéissent les phénomènes lumineux étaient bien déterminées, celles auxquelles obéissent les phénomènes électriques l'étaient infiniment moins, et l'analogie entre ces deux sortes de phénomènes, quoique énoncée et étudiée théoriquement par un savant d'un admirable génie, Maxwell, n'avait pu être démontrée expérimentalement avant 1888.

Il y a un quart de siècle, un physicien allemand, H. Hertz, réussit à produire, au moyen d'un appareil que nous étudierons dans la suite, des oscillations électriques susceptibles de communiquer à l'éther un mouvement vibratoire ayant une longueur d'onde de quelques mètres.

Sur les *rayons électriques* ainsi engendrés, il renouvela, avec des appareils appropriés, les expériences fondamentales de l'optique (réflexion, réfraction, etc.) et constata que les rayons électriques obéissent exactement aux mêmes lois que les rayons lumineux. L'identité des deux mouvements vibratoires était ainsi nettement démontrée : la théorie électromagnétique de la lumière, énoncée par Maxwell, recevait une éclatante confirmation, et la Physique générale franchissait un grand pas.

Pour diminuer l'intervalle qui sépare les rayons électriques des rayons calorifiques, Hertz et différents expérimentateurs, parmi lesquels il convient de citer M. Righi, s'attachèrent à diminuer autant que possible la longueur d'onde du mouvement vibratoire ainsi produit, en augmentant la fréquence des vibrations électriques.

Ils sont parvenus à obtenir des ondes de 4 millimètres en-

viron de longueur d'onde, c'est-à-dire des vibrations électriques ayant une fréquence de 75 000 000 000.

En principe, il n'y aurait aucune impossibilité à ce que l'on obtienne des ondes encore plus courtes, mais, on est limité dans cette voie par des difficultés d'ordre mécanique et par la sensibilité des appareils employés pour déceler la présence des ondes électriques.

6. — *Énergie rayonnante.*

On appelle souvent *énergie rayonnante* l'énergie propagée par rayonnement, sans spécifier quels sont les effets produits par le mouvement vibratoire de l'éther. Comme nous l'avons vu, la nature de ces effets dépend uniquement de la longueur d'onde des rayons, ou de la fréquence des vibrations, et quels que soient ces effets, les ondes sont toujours de même nature.

Les mouvements vibratoires que nous connaissons correspondent à des longueurs d'onde comprises entre $0,0001 \mu$ et 60μ , puis entre 4 millimètres et l'infini, c'est-à-dire qu'ils ont des fréquences comprises entre 3 trillions et 5 billions, puis entre 75 milliards et zéro.

Notre œil est impressionné par les rayons de longueurs d'onde de $0,4$ à $0,75 \mu$, c'est-à-dire par des fréquences de 750 à 400 billions par seconde : c'est là une portion extrêmement faible de la gamme totale des vibrations.

Quant aux mouvements vibratoires de longueurs d'onde comprises entre 60μ (onde calorifique la plus longue) et 4 millimètres (onde électrique la plus courte), nous ne connaissons pas, à l'heure actuelle, leurs propriétés particulières, mais, suivant toute probabilité, ils sont semblables aux rayons électriques. D'ailleurs MM. Rubens et Aschkinass

ont pu isoler, par réflexions successives, des ondes calorifiques de 61μ de longueur d'onde et ont constaté qu'elles ressemblent beaucoup plus aux ondes électriques qu'aux ondes lumineuses.

Les mouvements vibratoires de l'éther se propagent non seulement dans l'espace libre, mais encore dans les corps solides, liquides ou gazeux, puisque ceux-ci sont comme imprégnés d'éther.

Dans certains de ces corps, ils subissent une absorption très considérable, parfois même une transformation, et sont ainsi arrêtés.

Dans d'autres, au contraire, ils ne subissent qu'une absorption très faible et semblent traverser librement.

Ainsi, comme on le sait fort bien, tous les corps opaques arrêtent les rayons lumineux, tandis que les corps transparents, comme le verre, les laissent passer avec une très faible absorption ; le verre arrête, par contre, les rayons ultra-violets, que le quartz laisse passer. Les rayons électriques sont arrêtés par les métaux et, en général, par les corps bons conducteurs de l'électricité : ils traversent librement, au contraire, les isolants, tels que le verre, le bois, la pierre, etc., etc.

On peut résumer les propriétés des corps matériels par rapport aux mouvements vibratoires de l'éther en disant que chacun d'eux absorbe fortement les rayons ayant certaines longueurs d'onde, et faiblement les rayons d'autres longueurs d'onde.

En outre, quelques corps ont la propriété curieuse de transformer les rayons d'une longueur d'onde donnée en rayons d'une longueur d'onde un peu différente : ces corps sont dits fluorescents : la rhodamine en est un exemple ; elle transforme les rayons violets en rayons rouges.

CHAPITRE II

PRODUCTION DES OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES (1)

La radiotélégraphie repose sur la production d'ondes électromagnétiques qui progressent dans l'espace. Pour obtenir de telles ondes, il faut engendrer, en un point donné, un mouvement vibratoire de l'éther au moyen de systèmes nommés *oscillateurs* ou *excitateurs*, dont le fonctionnement va être étudié dans ce chapitre.

7. — *Circuits oscillants.*

Formons un circuit électrique contenant un condensateur $\alpha\beta$ de capacité c (fig. 6), une bobine de self-induction L (2) et un appareil, nommé *éclateur*, composé de deux pièces métalliques A et B, généralement sphériques ou cylindriques (3), que sépare un certain intervalle d'air. Ces diffé-

(1) Les lecteurs qui n'ont pas étudié l'Electrotechnique trouveront, dans l'APPENDICE I, toutes les notions nécessaires pour la compréhension de ce qui suit. *Ils sont instamment priés de vouloir bien s'y reporter.* Ces notions sont exposées sous une forme tout à fait élémentaire.

(2) Comportant quelques tours de fil et ne contenant pas de fer.

(3) Ces pièces sont appelées *electrodes* de l'éclateur.

D'une façon générale, le mot *electrodes* est employé en électrochimie pour

rents appareils sont connectés ensemble par des conducteurs

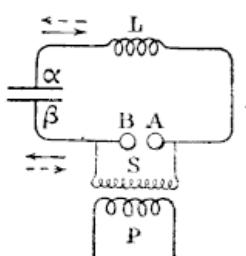


FIG. 6.

de très faible résistance électrique.

Relions les deux pièces A et B aux extrémités de l'enroulement secondaire d'une bobine de Ruhmkorff ou d'un transformateur (¹) capable de produire une différence de potentiel élevée. Le primaire P de cette bobine ou de ce transformateur est alimenté

par du courant intermittent ou par du courant alternatif produit par un générateur électrique.

Quand le primaire P est relié au générateur électrique, la différence de potentiel secondaire agit pour charger peu à peu le condensateur dont les deux armatures α et β prennent des potentiels croissants, égaux et de signes contraires. Pendant toute la durée de la charge, le circuit est parcouru par un certain courant, dont la valeur ne nous importe pas en ce moment. La différence de potentiel V, qui existe à un instant quelconque entre les deux armatures du condensateur, existe aussi entre les deux pièces A et B de l'éclateur, puisque chacune de celles-ci est reliée métalliquement à l'une des armatures(²). A un moment donné, cette différence de potentiel, qui va en croissant avec la charge du condensateur(³), atteint la valeur pour laquelle l'intervalle d'air com-

désigner les pièces métalliques (pointes, plaques, fils, etc.) plongées dans un liquide que l'on soumet à une certaine différence de potentiel et dont l'action sur ces pièces métalliques engendre une certaine différence de potentiel.

Par extension, on a pris l'habitude de désigner sous le nom d'électrodes les pièces constitutives d'un appareil quelconque, entre lesquelles existe une certaine différence de potentiel.

(¹) Voir APPENDICE I, § 99 et 100.

(²) En effet, deux corps conducteurs reliés ensemble par un fil métallique sont au même potentiel (Voir APPENDICE I, § 90).

(³) En effet, la charge Q d'un condensateur est proportionnelle à la capa-

pris entre les sphères A et B⁽¹⁾ de l'éclateur ne peut plus résister à la tension électrostatique qui agit sur lui. A ce moment, une étincelle jaillit en AB.

Cette étincelle électrique, formée de particules incandescentes entourées de gaz chauds, a une conductibilité électrique relativement bonne; elle établit donc entre les sphères A et B une jonction conductrice qui ferme le circuit. Le condensateur, qui se trouve alors relié au circuit ininterrompu zLDABz , se décharge dans celui-ci en donnant naissance à un courant dont la direction est, par exemple, indiquée par les flèches en trait plein (fig. 6). Mais la self-induction de la bobine L joue un rôle analogue à celui de l'inertie⁽²⁾: lorsque le courant de décharge prend fin, l'énergie absorbée par la self-induction, pour la création d'un champ magnétique au moment de l'établissement du courant, se trouve libérée et intervient pour prolonger le courant qui circule dans le circuit. Le nouveau courant, ainsi créé dans le même sens que le courant de décharge précédent, produit une recharge du condensateur en sens inverse de la charge prima-

cité C et à la différence de potentiel V. Pour une capacité donnée, la différence de potentiel entre les armatures va donc en croissant avec la charge que prend le condensateur. Normalement, si aucune autre cause n'intervient, la charge s'arrête lorsque la différence de potentiel V entre les armatures du condensateur est égale à la plus grande différence de potentiel qu'est capable de produire le transformateur, alimenté par le générateur électrique. La durée de la charge est toujours relativement très courte, si le circuit ne présente pas une résistance électrique anormalement élevée ayant pour effet de limiter l'intensité du courant.

(1) Cet intervalle d'air est nommé *distance explosive*, et sa valeur est réglée d'après la différence de potentiel que peut produire la source de courant. S'il est trop grand, l'étincelle ne peut pas jaillir; s'il est trop petit, la charge du condensateur est relativement faible lorsque l'étincelle jaillit. Au lieu d'air, il peut y avoir entre les boules de l'éclateur un diélectrique quelconque (gaz comprimé, ou raréfié; liquide isolant tel que le pétrole, etc.).

(2) Voir APPENDICE I, § 94.

tive⁽¹⁾. Quand le courant de self-induction prend fin, le condensateur rechargé se décharge à nouveau : le sens du courant de cette nouvelle décharge est inverse du précédent, et est indiqué sur la figure 6 par les flèches pointillées. Pendant cette décharge, la self-induction absorbe à nouveau de l'énergie pour la création d'un champ magnétique et la restitue, à la fin de la décharge, sous forme d'un courant induit : le condensateur se recharge donc en sens inverse, puis se décharge à nouveau, etc.⁽²⁾.

Ces phénomènes se passent pendant un temps très court, et *le circuit est le siège de courants alternatifs de grande fréquence nommés oscillations ou vibrations électriques*⁽³⁾.

Tout circuit électrique présentant de la self-induction et de la capacité, et capable de vibrer⁽⁴⁾ sous l'effet d'une excitation appropriée, est appelé circuit oscillant.

Dans le cas considéré, l'excitation est produite par les dé-

⁽¹⁾ C'est-à-dire que, si, par exemple, l'armature α était chargée à un potentiel positif et l'armature β à un potentiel négatif lors de la charge primitive, ces armatures vont être chargées à des potentiels inverses, celui de α devenant négatif et celui de β positif.

⁽²⁾ Faisons, en passant, une remarque qui pourra être utile.

Au fur et à mesure que le condensateur se charge, la différence de potentiel entre ses plaques α , β va en croissant, tandis que l'intensité du courant de charge va en diminuant : quand la charge prend fin, la tension au condensateur est maxima et le courant devient nul. Réciproquement, pendant la décharge, la différence de potentiel entre les plaques $\alpha\beta$ va en diminuant, tandis que l'intensité du courant va en croissant : à la fin de la décharge, la différence de potentiel est nulle tandis que le courant, qui a pris tout son élan, atteint son maximum.

On voit que, aux bornes du condensateur, la tension est nulle quand le courant est maximum et inversement : *la tension et le courant ne sont pas en phase* : on dit qu'ils sont *décalés d'un quart de période*.

⁽³⁾ Des phénomènes identiques de vibration ou d'oscillation existent en mécanique dans tout système possédant de l'inertie et de l'élasticité.

Ici l'inertie a son équivalent dans la self-induction et l'élasticité dans la capacité.

⁽⁴⁾ De vibrer *électriquement*, bien entendu.

charges jaillissant entre les boules de l'éclateur. Les oscillations électriques sont engendrées, comme cela vient d'être expliqué, par les phénomènes d'échange d'énergie⁽¹⁾ qui se manifestent entre la capacité et la self-induction.

Puisque tout courant électrique engendre un champ magnétique proportionnel à son intensité, *le circuit oscillant considéré est environné d'un champ magnétique oscillant, dont les variations sont identiques à celles du courant oscillant.*

De même, *entre les armatures du condensateur soumis à une décharge oscillante, il existe un champ électrique oscillant.*

Si la résistance ohmique⁽²⁾ des conducteurs qui constituent le circuit de la figure 6 était très élevée, au lieu d'être très faible, l'intensité des courants de charge ou de décharge du condensateur se trouverait limitée à une faible valeur: *le condensateur se déchargerait alors lentement jusqu'à ce que la différence de potentiel entre ses plaques devienne nulle: il ne pourrait pas se produire d'oscillations électriques.*

Un tel circuit (dans lequel il ne peut pas se produire d'oscillations) est dit apériodique.

Un circuit qui ne contient aucune capacité n'a pas de période propre d'oscillation et est également *apériodique.*

8. — Oscillations amorties.

Si, dans le mécanisme d'échange d'énergie entre la bobine de self-induction et le condensateur, il ne se produisait aucune perte, les oscillations électriques engendrées conser-

(1) L'énergie en jeu dans le circuit oscille entre la forme électrostatique (charge du condensateur) et électrocinétique (création d'un champ magnétique).

(2) Voir APPENDICE I, § 90.

2.4 NOTIONS SUR LA PRODUCTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

veraient une amplitude constante. Mais il n'en est pas ainsi : à chaque recharge, le condensateur reçoit une quantité d'électricité inférieure à celle de la charge précédente, car différentes pertes interviennent pour réduire peu à peu l'énergie en jeu dans le système oscillant. Ces pertes proviennent principalement de la résistance électrique (du circuit métallique et surtout de l'étincelle). C'est pourquoi, après un nombre relativement petit de décharges et recharges successives, la différence de potentiel agissant entre les sphères A et B de l'éclateur n'est plus suffisante pour maintenir l'étincelle : celle-ci cesse de jaillir, et le circuit est interrompu.

A ce moment, les parties constitutives du circuit oscillant se retrouvent dans les mêmes conditions qu'au début, et la différence de potentiel produite par le secondaire S du transformateur recommence à charger le condensateur : quand la charge est suffisante, la différence de potentiel entre A et B ayant atteint la valeur qui correspond à la rupture de la couche diélectrique interposée, l'étincelle jaillit à nouveau et les phénomènes décrits se reproduisent, en engendrant un nouveau groupe d'oscillations électriques.

Le phénomène par lequel est engendré un groupe d'oscillations électriques est appelé décharge oscillante.

Les oscillations électriques successives appartenant à un même groupe n'ont pas une amplitude constante mais vont en décroissant rapidement, puisque les recharges successives du condensateur sont de plus en plus faibles : *ces oscillations sont amorties. On dit que le circuit oscillant présente de l'amortissement* (1).

(1) Si l'amortissement est très faible, la décroissance des oscillations est peu rapide : on dit souvent alors que les *oscillations sont persistantes*.

Si, comme pour la représentation d'un courant alternatif, on porte sur une droite horizontale les valeurs du temps écoulé, et, sur les verticales correspondant à différentes valeurs du temps, les intensités du courant qui circule dans le circuit, on obtient, pour chaque groupe d'oscillations électriques, une courbe analogue à celles que montrent les figures 7 et 8 (*). L'amortissement est beaucoup plus fort dans le cas de la figure 8.

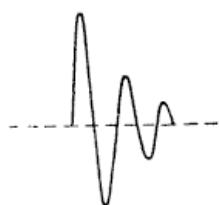


FIG. 7.

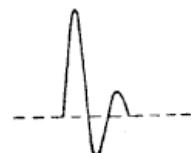


FIG. 8.

Quant au champ magnétique oscillant et au champ électrique oscillant, leurs variations suivent exactement celles des oscillations électriques : ils présentent donc l'un et l'autre le même amortissement qu'elles. On dit que *les oscillations électromagnétiques engendrées sont amorties*.

On appelle période des oscillations la durée d'une oscillation complète, et fréquence le nombre d'oscillations par seconde.

La fréquence des oscillations représentées par la figure 10 est environ trois fois plus grande que celle des oscillations représentées par la figure 9 (leur période est environ trois fois plus petite). Par exemple, les oscillations représentées par la figure 9 ont une fréquence de 10 000 par seconde,

(*) Pour plus de clarté, on a représenté sur ces figures des oscillations fortement amorties et de fréquences relativement faibles : dans un circuit oscillant fermé, l'amortissement est bien moindre, et un groupe comprend un beaucoup plus grand nombre d'oscillations.

26 NOTIONS SUR LA PRODUCTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

ou une période de un dix millième de seconde et les oscillations représentées par la figure 10 ont une fréquence de 30 000 par seconde ou une période de un trente millième de seconde.

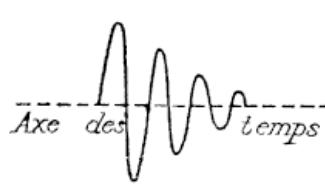


FIG. 9.

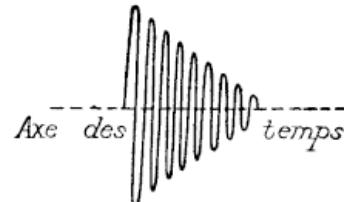


FIG. 10.

La fréquence des oscillations libres⁽¹⁾ d'un circuit, ou, autrement dit, la fréquence propre d'oscillation d'un circuit oscillant dépend des valeurs de la capacité et de la self-induction que présente ce circuit : elle est inversement proportionnelle à la racine carrée du produit de la capacité par la self-induction⁽²⁾.

Inversement, la période propre d'oscillation d'un circuit est proportionnelle à la racine carrée du produit de la capacité par la self-induction.

Cette période T est donnée par la formule :

$$T = 2\pi \sqrt{cl},$$

c et *l* désignant la capacité et la self-induction du circuit total, ou, en pratique, la capacité du condensateur et la self-

⁽¹⁾ On entend par *oscillations libres* ou *oscillations propres* les oscillations d'un circuit qui oscille librement et indépendamment de tout autre. Nous verrons plus loin qu'un circuit peut effectuer, dans certaines conditions, des *oscillations forcées* sous l'action d'une cause extérieure ayant pour effet de lui imposer un mouvement vibratoire dont la fréquence diffère de sa fréquence propre d'oscillation.

⁽²⁾ En négligeant la résistance du circuit, qui est généralement faible et joue un rôle minime dans la détermination de la fréquence d'oscillation du circuit.

induction de la bobine, puisque la capacité et la self-induction des fils de jonction ont des valeurs extrêmement faibles.

On voit immédiatement que, si l'on augmente la valeur de la capacité, ou de la self-induction, ou de ces deux grandeurs ensemble, on augmente la période des oscillations, et l'on diminue leur fréquence : inversement, pour obtenir des oscillations de très grande fréquence, il faut employer un circuit présentant une très faible self-induction et une très faible capacité. En général, pour une période donnée, il vaut mieux adopter la plus grande capacité possible et la plus faible self-induction possible.

La période ou la fréquence des oscillations peut être mesurée par le procédé suivant : l'étincelle qui jaillit entre A et B est une étincelle oscillante, puisqu'elle correspond au passage d'un courant oscillant. Au moment où ce courant oscillant s'annule pour changer de sens, l'étincelle cesse de jaillir pendant un temps très court et se rétablit aussitôt. Ce phénomène ne peut pas être perçu par l'œil à cause de la persistance des impressions rétinienennes, mais, si l'on regarde l'étincelle dans un miroir tournant autour d'un axe avec une rapidité suffisante, on la voit décomposée en une série de points lumineux séparés par des espaces obscurs⁽¹⁾. En photographiant cette image et en mesurant la vitesse de rotation du miroir, on peut déterminer la période des oscillations d'après l'écartement des points lumineux. On vérifie ainsi qu'elle correspond à la formule indiquée plus haut.

Nous avons vu qu'après une décharge oscillante, c'est-à-dire après la production d'un groupe d'oscillations amorties,

⁽¹⁾ Si l'étincelle était continue au lieu d'être oscillante, on verrait, dans le miroir tournant, une bande lumineuse ininterrompue.

l'étincelle cesse de jaillir et la charge du condensateur s'effectue à nouveau sous l'action de la différence de potentiel secondaire de la bobine : ensuite une nouvelle décharge se produit quand l'étincelle jaillit entre les sphères A et B, et ainsi de suite.

Les oscillations électriques ainsi engendrées sont, en quelque sorte, analogues aux vibrations acoustiques que l'on obtient en frappant une cloche à intervalles réguliers avec son battant : chaque choc donne lieu à un certain nombre de vibrations amorties, et ces groupes se succèdent, comme les chocs, à des intervalles réguliers.

On obtient donc dans le circuit oscillant une série de groupes d'oscillations amorties : le nombre de groupes produits par seconde est égal au nombre d'étincelles par seconde.

L'intervalle de temps qui s'écoule entre deux groupes consécutifs d'oscillations est très grand par rapport à la période d'une oscillation ou à la durée d'un groupe. Par exemple, en supposant que l'intervalle de temps soit de un millième de seconde (1000 étincelles par seconde) et la période de un millionième de seconde, et que chaque groupe comprenne deux ou trois oscillations complètes, la durée de production d'un groupe sera de deux ou trois millionièmes de seconde, tandis qu'il s'écoulera entre deux groupes consécutifs un intervalle de temps de 997 ou 998 millionièmes de seconde. L'intervalle entre deux groupes d'oscillations sera donc environ 1000 fois plus grand que la durée d'un groupe d'oscillation.

9. — Diverses causes d'amortissement.

L'amortissement des oscillations dans un circuit fermé

proviennent des *pertes d'énergie*, qui sont dues aux causes suivantes :

- I. — à la résistance électrique de l'étincelle ;
- II. — à la résistance électrique des conducteurs ;
- III. — aux courants parasites induits dans les conducteurs ;
- IV. — aux pertes dans le diélectrique des condensateurs ;
- V. — aux effluves qui prennent naissance sur les bords des armatures des condensateurs.

I. — *Amortissement dû à l'étincelle.* — La résistance électrique de l'étincelle est toujours relativement élevée, et c'est là la principale cause d'amortissement. L'étude de cette résistance est fort complexe car, contrairement à ce qui a lieu dans les conducteurs métalliques, *elle varie énormément avec l'intensité du courant*, et diminue quand celle-ci augmente. Elle dépend aussi des valeurs de la capacité et de la self-induction du circuit oscillant. Plus la capacité est forte, plus la résistance de l'étincelle est faible ; plus la self-induction est forte, plus la résistance de l'étincelle est grande.

Pour une intensité de courant invariable, la résistance électrique de l'étincelle dépend :

- 1^o de la distance explosive ;
- 2^o de la forme des électrodes ;
- 3^o de la natures des électrodes ;
- 4^o du milieu interposé (gaz ou liquide).

1^o Si l'on mesure la résistance de l'étincelle en augmentant progressivement la distance explosive d'un éclateur, sans que l'intensité du courant oscillant puisse varier, on trouve qu'elle augmente, d'abord lentement, puis rapidement. Si, au contraire, on modifie simplement l'intervalle explosif de l'éclateur qui sert à exciter un circuit oscillant, on constate une diminution, d'abord très rapide, puis plus

30 NOTIONS SUR LA PRODUCTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

plus lente, de la résistance quand la longueur augmente.

Ces deux résultats contradictoires peuvent être expliqués par le fait que, dans le second cas, les valeurs de l'amplitude de la tension et du courant dépendent de l'intervalle explosif de l'éclateur. Plus cet intervalle est grand, plus l'amplitude initiale du courant est grande. La résistance de l'étincelle diminuant quand le courant augmente, cet effet contrebalance l'augmentation de longueur, et prédomine dans les étincelles courtes.

Si, au lieu d'un seul éclateur, on emploie plusieurs éclateurs en série, c'est-à-dire si, pour une même longueur totale, on subdivise l'étincelle unique en plusieurs étincelles courtes (étincelle fractionnée) on constate que la résistance de l'ensemble est sensiblement plus élevée que celle d'une seule étincelle. On augmente donc l'amortissement en subdivisant l'étincelle (¹).

2^o La forme des électrodes exerce une grande influence sur la résistance de l'étincelle. Les résultats ne sont pas les mêmes si l'on emploie des pointes, des plateaux, des cylindres, ou des sphères. Dans ces deux derniers cas, la résistance diminue un peu quand on augmente la grosseur des électrodes.

3^o La nature du métal dont sont constituées les électrodes joue aussi un rôle. Le laiton semble donner la plus faible résistance d'étincelle ; l'emploi de zinc, au contraire, conduit à des résistances élevées.

4^o Le gaz interposé entre les électrodes exerce une action

(¹) Ce résultat est important à retenir. On en trouvera plus loin une application dans le dispositif Telefunken

très marquée. La présence d'hydrogène, dont la bonne conductibilité calorifique permet un rapide refroidissement de l'étincelle, provoque une augmentation marquée de la résistance. Dans un gaz comprimé, la résistance est plus grande que dans un gaz à la pression atmosphérique : l'inverse a lieu dans un gaz raréfié.

II. — *Amortissement dû à la résistance des conducteurs.* — Le passage d'un courant électrique dans un conducteur produit un échauffement d'autant plus grand que la résistance électrique est plus élevée. Cet échauffement correspond à une perte d'énergie.

Les courants alternatifs de grande fréquence ont une tendance à passer, non pas dans toute la masse des conducteurs, mais seulement dans les couches superficielles de ceux-ci. Plus la fréquence est élevée, plus cet *effet pelliculaire* est marqué.

Avec les très grandes fréquences utilisées en radiotélégraphie, le passage du courant s'effectue uniquement dans une couche superficielle extrêmement mince des conducteurs ; il faut donc, pour que la résistance électrique de ceux-ci ne soit pas trop élevée, employer des tubes⁽¹⁾ de grand diamètre ou des bandes métalliques larges et minces. C'est ce dernier procédé qui est généralement adopté.

III. — *Amortissement dû aux courants parasites induits dans les conducteurs.* — Si l'on se servait de gros conducteurs massifs, il pourrait s'y produire des courants de Foucault⁽²⁾, qui, occasionnant une perte d'énergie, provoqueraient une

(1) Un tube mince a une aussi bonne conductibilité qu'un conducteur plein de même diamètre, puisque le courant ne passe qu'à la surface.

(2) Voir APPENDICE I, § 96.

augmentation de l'amortissement. On emploie des câbles formés d'un très grand nombre de fils très fins torsadés ensemble.

D'autre part, il importe de veiller à ce qu'aucune partie du circuit ou des conducteurs de jonction employés ne forme de boucle fermée capable d'embrasser un flux magnétique oscillant : les courants induits qui y prendraient naissance occasionneraient encore une perte d'énergie.

IV. — Amortissement dû aux pertes dans le diélectrique des condensateurs. — Les variations du champ électrique oscillant dans le diélectrique compris entre les armatures des condensateurs produisent, dans ce diélectrique, un échauffement qui correspond à des pertes d'énergie⁽¹⁾.

Ces pertes dépendent de la constitution chimique du diélectrique : elles ont une valeur nulle dans l'air, et très faible dans certains verres spéciaux, dans la paraffine et dans l'huile de paraffine ; au contraire, elles sont très élevées dans le verre ordinaire, dans le mica, dans l'ébonite, etc.

Les pertes dans le diélectrique des condensateurs dépendent aussi de la température et de la charge de ces appareils.

D'une façon générale, les pertes dans le diélectrique ne sont jamais négligeables dans les installations radiotélégraphiques, où l'on est obligé d'employer des condensateurs de grande capacité et de très fort isolement.

V. — Amortissement dû aux effluves sur les bords des armatures des condensateurs. — Dans la plupart des condensateurs en fonctionnement, on voit se former des séries d'aigrettes lumineuses ou d'effluves brillants sur les bords des armatures, où se manifeste le maximum de tension. Ces effluves

(1) Voir APPENDICE I, § 91.

entraînent une perte d'énergie et doivent être supprimés autant que possible. Pour cela, on évite soigneusement les angles aigus, les pointes, ou les bords minces dans les armatures des condensateurs : en outre on les immerge souvent dans un liquide isolant.

10. — *Oscillations entretenues.*

Le très fort amortissement des oscillations électriques produites par le mode d'excitation qui vient d'être décrit, et l'intervalle de temps important qui sépare deux groupes consécutifs d'oscillations, présentent certains inconvénients dont il sera question plus loin. Aussi plusieurs expérimentateurs ont-ils cherché à produire des oscillations régulièrement entretenues.

En 1892, M. E. Thomson imagina le dispositif que représente la figure 11. Une source de courant continu S alimente, par l'intermédiaire d'une bobine de self-induction réglable L' , un éclateur E sur lequel est branché un circuit contenant un condensateur C et une bobine de self-induction L. Un électro-aimant M, alimenté par une batterie P, agit sur l'arc qui jaillit en E pour le souffler et le rendre instable (¹). La bobine de self induction L' a pour effet de limiter l'intensité du courant à l'instant où l'arc jaillit.

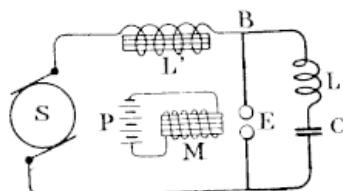


FIG. 11.

(¹) D'après les lois de l'induction, on sait qu'il existe, entre un flux magnétique et un conducteur parcouru par un courant électrique, de forces d'attraction ou de répulsion dont la valeur dépend de la valeur du flux et de l'intensité du courant. L'arc électrique, constitué par un conducteur (colonne de gaz chauds et de vapeurs conductrices) parcouru par un courant, est donc influencé par un flux magnétique transversal qui tend à le chasser de sa position. Ce phénomène est appelé *soufflage magnétique de l'arc*.

34 NOTIONS SUR LA PRODUCTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Peu après, M. Janet fit d'intéressantes expériences avec ce dispositif et constata qu'il existe une grande différence entre l'amortissement des oscillations ainsi produites et celui des oscillations engendrées avec le dispositif du § 7.

Il est douteux qu'on puisse obtenir des résultats satisfaisants avec un éclateur placé dans l'air : aussi M. Blondel a-t-il imaginé différents dispositifs dans lesquels un éclateur, muni d'électrodes simples ou multiples et plongé dans un liquide isolant (du pétrole par exemple), est alimenté par une source de courant continu à haute tension.

D'autre part, en 1900, M. Duddell signala que, si l'on fait jaillir entre deux crayons de charbon homogènes un arc

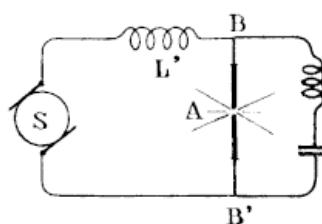


FIG. 12.

électrique A alimenté par une source S de courant continu (fig. 12), et si l'on branche en dérivation sur cet arc, comme dans le montage précédent, un circuit oscillant contenant une capacité C et une bobine de self-induction L, ce circuit est le siège d'oscillations électriques régulières entretenues dont la fréquence dépend, dans certaines conditions, de la capacité et de la self-induction du circuit oscillant.

Il est avantageux d'intercaler dans le circuit d'alimentation une bobine de self-induction L' dont l'effet est de s'opposer à toute augmentation brusque du courant dans l'arc.

Le dispositif de Duddell, appelé *arc chantant*, a été étudié minutieusement par M. Blondel, ainsi que par MM. Simon et Reich. Ces savants ont pu déterminer exactement les conditions dans lesquelles prennent naissance les oscillations électriques, dont la superposition au courant continu de l'arc donne lieu à des vibrations de la colonne gazeuse comprise

entre les charbons. La hauteur du son musical produit par ces vibrations dépend de la fréquence des oscillations. Cette fréquence est extrêmement variable, comme l'a reconnu M. Blondel.

Si l'arc A (fig. 12) est relativement long et si le circuit d'alimentation présente peu ou pas de self-induction, la fréquence des oscillations engendrées ne diffère pas énormément de la fréquence propre du circuit oscillant (qui dépend de la capacité du condensateur C et de la self-induction de la bobine L).

Si, au contraire, l'arc A est court par rapport à la tension aux bornes, et si le circuit d'alimentation contient une bobine de self-induction L relativement importante, la fréquence des oscillations engendrées n'a plus aucun rapport avec la fréquence propre du circuit oscillant.

La figure 13 montre les courbes représentatives du courant oscillant dans le condensateur C, obtenues par M. Blondel avec un arc relativement long.

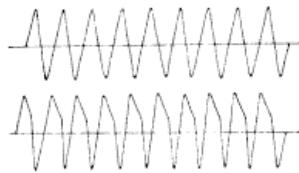


FIG. 13.

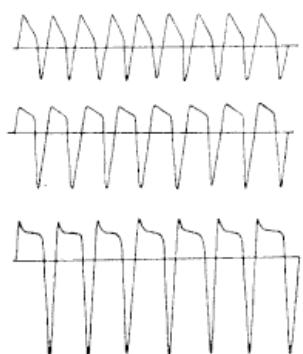


FIG. 14.

La courbe supérieure correspond au cas où la self-induction du circuit d'alimentation est nulle, et la courbe inférieure au cas où cette self-induction a une valeur moyenne.

La figure 14 montre les courbes représentatives du courant oscillant dans le condensateur C, obtenues par M. Blondel avec un arc relativement court. La courbe supérieure correspond au cas où la self-induction du circuit d'alimentation est nulle ; la courbe

intermédiaire, au cas où cette self-induction a une valeur moyenne ; et la courbe inférieure, au cas où elle a une valeur élevée.

Les courbes des figures 13 et 14 donnent une représentation très nette des oscillations entretenues engendrées par un arc chantant.

L'arc chantant de Duddell ne permet pas normalement de produire des oscillations de fréquence suffisamment grande pour que son emploi soit applicable à la radiotélégraphie.

Quelques expérimentateurs, parmi lesquels M. Blondel, l'auteur, MM. Simon et Reich, etc., ont songé à employer, au lieu d'un arc entre charbons, un arc entre électrodes métalliques, dans le but d'élever la fréquence des oscillations. Plus tard, M. Poulsen, et quelques autres praticiens ont réalisé, sur le principe de l'arc chantant, des appareils capables de produire des oscillations entretenues utilisables pratiquement en radiotélégraphie et en radiotéléphonie.

Dans tous ces appareils, dont certains seront décrits au chapitre x (1), on s'est efforcé, par différents artifices, de rendre l'arc aussi instable que possible.

11. — Production directe de courants alternatifs de grande fréquence.

Il est évident que, si l'on pouvait produire directement, au moyen d'un alternateur, un courant de très grande fréquence, ce courant pourrait être avantageusement utilisé en radiotélégraphie et en radiotéléphonie, pour l'excitation de l'antenne transmettrice.

La fréquence du courant produit par un alternateur dépend du nombre de variations du flux magnétique par seconde,

(¹) § 53.

c'est-à-dire de la vitesse de rotation de la partie mobile et du nombre de paires de pôles de l'inducteur.

Or, par suite des effets de la force centrifuge, il est impossible d'admettre des vitesses périphériques⁽¹⁾ supérieures à une limite déterminée : pour un diamètre donné de la partie mobile, on est donc limité à une vitesse de rotation maxima.

D'autre part, même en réduisant au minimum les dimensions des pôles inducteurs, il y a une limite au delà de laquelle il est impossible de porter le nombre de ces pôles pour le diamètre choisi.

Donc, dans l'établissement d'un alternateur à haute fréquence, si l'on cherche à augmenter le diamètre de la partie mobile afin de pouvoir augmenter le nombre de pôles inducteurs, on est obligé de réduire la vitesse de rotation pour ne pas dépasser la vitesse périphérique limite. Inversement, si l'on cherche à diminuer le diamètre afin de pouvoir augmenter la vitesse de rotation pour une vitesse périphérique déterminée, on est obligé de réduire le nombre de pôles inducteurs pour pouvoir les loger.

Comme on le voit, un alternateur à haute fréquence ne peut pas être établi comme une machine de construction normale : il a fallu recourir à des artifices spéciaux, dont il sera question au chapitre xi. Ces appareils ne sont d'ailleurs pas encore entrés dans la pratique courante.

(1) La vitesse périphérique est la vitesse avec laquelle se déplace la périphérie, c'est-à-dire la surface extérieure, de la partie mobile. Pour une vitesse de rotation donnée (nombre de tours par minute), il est facile de voir que la vitesse périphérique augmente avec le diamètre de la partie mobile. La vitesse périphérique s'évalue généralement en mètres par seconde.

CHAPITRE III

LA RÉSONANCE

Il est nécessaire, pour comprendre les actions qu'exercent entre eux plusieurs circuits oscillants, d'étudier une catégorie de phénomènes généraux, nommés *phénomènes de résonance* par analogie avec certains phénomènes de l'acoustique. Ces phénomènes de résonance se rencontrent dans toutes les applications de la Physique où il s'agit de mouvements vibratoires, et ils jouent toujours un rôle extrêmement important. Nous commencerons par l'étude de quelques cas relatifs à la mécanique, et nous étendrons ensuite la notion de résonance aux circuits oscillants électriques.

12. — Résonance mécanique.

Considérons un pendule composé d'une petite sphère très pesante fixée au bout d'une tige qui peut osciller autour d'un point de suspension. Écartons le pendule de la position verticale et abandonnons-le à lui-même. Il effectue un certain nombre d'oscillations, la sphère dépassant sa position d'équilibre, remontant au delà, s'arrêtant, redescendant pour dépasser à nouveau sa position d'équilibre, etc. Ces oscillations sont amorties : chacune d'elles est plus petite que la

précédente à cause du frottement de l'air sur le pendule et des frottements qui existent au point de suspension.

- Le mouvement oscillant du pendule libre présente une fréquence naturelle ou *fréquence propre d'oscillation* f , égale à l'*inverse de la période propre* T : la période est la durée d'une oscillation complète.

Faisons agir maintenant, sur ce pendule qui oscille librement, une force périodique de fréquence f' . Cette force périodique pourrait être obtenue par l'action intermittente d'un électro-aimant : supposons, pour simplifier, qu'elle consiste en chocs réguliers ou impulsions que l'on imprime avec la main au pendule, à des intervalles de temps égaux ; la fréquence f' d'une telle force périodique est égale au nombre d'impulsions par seconde.

Deux cas peuvent se produire :

ou bien la fréquence f' de la force agissante est différente de la fréquence propre f du pendule ;

ou bien la fréquence f' de la force agissante est égale à la fréquence propre f du pendule.

Dans le premier cas (f' différente de f), on se rend compte assez facilement que, après une période transitoire pendant laquelle la fréquence du mouvement résultant à une valeur mal déterminée, le pendule arrive à osciller avec la fréquence f' de la force périodique qui agit sur lui : on dit qu'il effectue des oscillations forcées. Ces oscillations forcées ont une amplitude d'autant plus faible que la fréquence de la force agissante diffère plus de la fréquence propre d'oscillation du pendule ; elles ont une amplitude d'autant plus grande que la fréquence de la force agissante se rapproche plus de la fréquence propre d'oscillation du pendule.

Dans le second cas (f' égale à f), chacune des impulsions agit pour augmenter l'effet de la précédente, et l'amplitude des oscillations du pendule devient extrêmement grande, même

40 NOTIONS SUR LA PRODUCTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

pour une valeur très faible de la force périodique agissante. On dit qu'il y a résonance entre les oscillations naturelles du pendule libre et la force périodique agissante.

A cet exemple mécanique correspond à peu près celui de la balançoire sur laquelle on fait agir une impulsion périodique provenant du mouvement des jarrets. Le système comprenant la balançoire et l'opérateur possède une fréquence propre d'oscillation qui est celle du mouvement de la balançoire. On sait fort bien que, pour atteindre une grande hauteur, il faut faire concorder la fréquence des impulsions périodiques avec la fréquence propre d'oscillation : dans ce cas, il y a résonance entre les oscillations naturelles du système et la force périodique agissante.

Un autre exemple est celui d'une troupe d'infanterie traversant au pas cadencé un pont métallique qui possède une certaine élasticité. Si la fréquence de la force périodique agissante (ici la cadence du pas) diffère de la fréquence propre d'oscillation du pont, ce dernier effectue des oscillations forcées qui sont d'autant plus petites que les fréquences sont plus différentes. Si, par hasard, la fréquence de la force périodique agissante est égale à la fréquence propre du pont, ou en est suffisamment voisine, il y a résonance, et les oscillations deviennent tellement grandes que le pont peut se rompre. Dans ce dernier cas, un pont établi, par exemple, pour résister à une charge normale de 10 tonnes peut être rompu par l'action périodique d'une charge de 1 tonne dont la fréquence est suffisamment voisine de sa fréquence propre d'oscillation.

Une application très intéressante des phénomènes de résonance a été réalisée dans certains appareils servant à mesurer la fréquence des courants alternatifs (fréquencemètres Hartmann-Kempf). Si l'on fait agir sur une lame élastique en

acier le champ magnétique d'un électro-aimant dont la bobine est parcourue par un courant alternatif, cette lame effectue des vibrations dont l'amplitude est d'autant plus grande que la fréquence du courant agissant se rapproche plus de la fréquence propre d'oscillation de la lame. Quand les deux fréquences sont égales, c'est-à-dire quand il y a résonance, l'amplitude des vibrations atteint un maximum très nettement accentué.

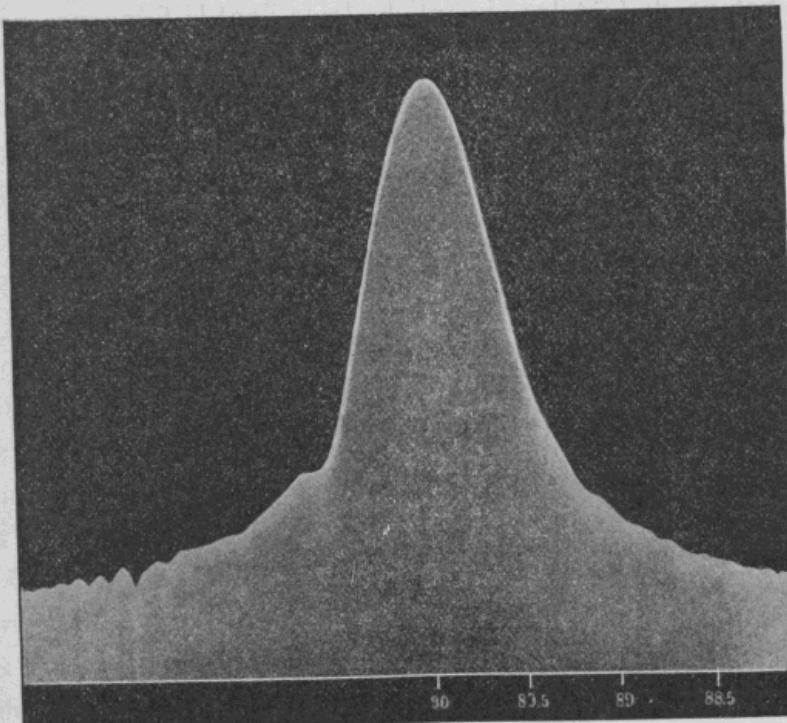


FIG. 15.

Par exemple, en faisant agir sur une lame vibrante, dont la fréquence propre d'oscillation était de 90 périodes par seconde, un électro-aimant dont la bobine était parcourue par un courant alternatif de fréquence variable, on a obtenu photographiquement la courbe de la figure 15 dans laquelle les longueurs horizontales sont proportionnelles aux valeurs

42 NOTIONS SUR LA PRODUCTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

de la fréquence du courant alternatif, et les longueurs verticales aux valeurs de l'amplitude des oscillations correspondantes.

Pour réaliser un fréquencemètre basé sur les phénomènes de résonance, on dispose, en face de l'un des pôles d'un électro-aimant (fig. 16) un certain nombre de lames vibrantes présentant des fréquences propres d'oscillation graduellement croissantes. Lorsqu'un courant alternatif parcourt la bobine de l'électro-aimant, la lame dont la fréquence pro-



FIG. 16.

pre d'oscillation correspond à la fréquence du courant alternatif, ou les deux lames qui possèdent les fréquences propres les plus voisines de la fréquence du courant alternatif, effectuent des vibrations dont l'amplitude est maxima. Par exemple, on voit sur la figure 16, d'après les amplitudes de vibration des lames, que la bobine de l'électro-aimant est parcourue par un courant alternatif dont la fréquence est comprise entre 100 et 101 périodes par seconde et se rapproche plus de 101 que de 100.

Les différents exemples qui précèdent montrent nettement les phénomènes de résonance mécanique qui peuvent se produire. D'une façon générale, tout système susceptible d'osciller peut être amené, dans certaines conditions, à présenter des oscillations de très grande amplitude sous l'effet de très petites forces périodiques agissant avec une fréquence égale à la fréquence propre d'oscillation du système.

13. — Résonance électrique.

Dans le domaine des oscillations électriques, les phénomènes de résonance jouent un rôle capital, sur lequel on ne saurait trop insister, car ils conduisent à des amplifications considérables.

1^e *Circuit isolé*. — Nous avons vu qu'un circuit oscillant, excité par les décharges d'un éclateur E (figure 6, page 20) entre en vibration et est parcouru par un courant oscillant. Ce sont là des *oscillations libres* du circuit : leur fréquence (qui dépend des valeurs de la capacité et de la self-induction) est la *fréquence propre d'oscillation* du circuit.

On peut aussi faire effectuer à ce circuit des *oscillations forcées*. Pour cela, il suffit d'enlever l'éclateur E et de relier les deux conducteurs à une source de courant alternatif : celui-ci circulera dans le circuit, auquel il imposera sa fréquence.

Supposons que le condensateur C et la bobine L soient réglables, et que l'on puisse augmenter la capacité et la self-induction jusqu'à des valeurs assez élevées pour que la fréquence propre d'oscillation du circuit s'abaisse jusqu'à la fréquence du courant alternatif agissant. Nous constaterons que, quand les valeurs des deux fréquences se rapprochent, l'amplitude des oscillations du circuit augmente ; *quand les*

44 NOTIONS SUR LA PRODUCTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

deux fréquences sont égales, le circuit est en résonance avec le courant alternatif, et l'amplitude des oscillations est maxima : quand les valeurs des deux fréquences s'éloignent, l'amplitude des oscillations diminue⁽¹⁾.

On peut suivre facilement le phénomène de résonance en branchant entre les plaques du condensateur C, ou entre les extrémités de la bobine L, un appareil capable de mesurer la différence de potentiel. On voit celle-ci croître, atteindre une valeur élevée, puis décroître, quand la fréquence propre du circuit oscillant est modifiée graduellement. Il n'est pas superflu de faire remarquer que cette augmentation et cette diminution de tension entre les plaques du condensateur ou entre les extrémités de la bobine n'ont rien à voir avec la valeur de la différence de potentiel produite par la source du courant alternatif, laquelle reste invariable.

Au moment de la résonance, l'amplification de tension est telle que, si le condensateur ou la bobine n'ont pas été spécialement établis pour cet usage, il se produit des ruptures de l'isolant.

2^e Circuits accouplés. — Considérons maintenant un circuit oscillant 2 (fig. 17) contenant un condensateur C₂ et une

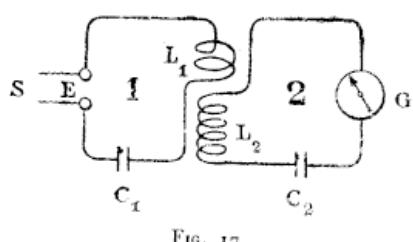


Fig. 17.

bobine de self-induction L₂ : mettons ce circuit en vibration en faisant agir sur lui, par induction magnétique, un autre circuit oscillant 1, contenant un condensateur C₁ et une bobine

de self-induction L₁, et excité par l'éclateur E relié à une source de courant S (transformateur ou bobine d'induction).

(1) On verra au chapitre IX le parti que l'on tire en radiotélégraphie de ce phénomène de résonance d'un circuit avec le courant alternatif agissant.

La bobine L_2 étant placée à proximité de la bobine L_1 de façon à embrasser une plus ou moins grande partie des lignes de force magnétiques qui émanent de celle-ci, les deux circuits se trouvent accouplés inductivement ensemble et les oscillations engendrées dans le circuit primaire 1 agissent sur le circuit secondaire 2.

Intécalons dans le circuit 2 un ampèremètre thermique G , mesurant l'intensité du courant oscillant, de façon à étudier les effets produits. Le condensateur C_2 est supposé réglable, c'est-à-dire qu'on peut modifier à volonté la valeur de sa capacité. Nous admettrons que l'amortissement est très faible dans chacun des circuits oscillants, c'est-à-dire que la résistance électrique de ceux-ci est très minime, ce qui est généralement le cas. Les oscillations électriques qui prennent naissance dans le circuit primaire sont alors persistantes.

Les circuits 1 et 2 possèdent chacun une fréquence propre d'oscillation : c'est la fréquence des oscillations qui prennent naissance lorsque l'un ou l'autre des circuits, n'étant pas accouplé avec le second, est mis en vibration au moyen d'un éclateur alimenté par une bobine de Ruhmkorff. Nous appellerons f_1 la fréquence propre du circuit primaire et f_2 la fréquence propre du circuit secondaire : cette dernière peut être modifiée à volonté par variation de la capacité du condensateur réglable. Nous supposerons d'abord que la fréquence f_2 est plus grande que la fréquence f_1 .

Les deux circuits étant accouplés inductivement ensemble, comme le montre la figure 17, on met en fonctionnement la source de courant S de façon à engendrer dans le circuit primaire des oscillations électriques. La déviation de l'ampèremètre G indique que le circuit secondaire est le siège d'un courant oscillant : il effectue des *oscillations forcées*.

Quand les fréquences propres f_1 et f_2 des circuits primaire

et secondaire sont sensiblement différentes, le courant oscillant secondaire a une faible intensité.

Si l'on augmente progressivement et d'une façon continue la valeur de la capacité du circuit secondaire, pour diminuer sa fréquence propre f_2 et la rapprocher de la fréquence propre f_1 du circuit primaire, on constate que l'intensité du courant secondaire, indiquée par l'ampèremètre G, va en augmentant. Cette augmentation d'intensité, d'abord très lente quand les valeurs des fréquences f_1 et f_2 diffèrent sensiblement, devient de plus en plus rapide lorsque les valeurs des deux fréquences propres sont suffisamment voisines. Ensuite, l'intensité du courant secondaire atteint une valeur maxima, correspondant au moment où les fréquences propres f_1 et f_2 sont égales, puis elle diminue, d'abord très vite et ensuite plus lentement, quand les deux fréquences s'écartent l'une de l'autre, la fréquence propre f_2 du secondaire étant plus petite que la fréquence propre f_1 du primaire.

En résumé, quand la fréquence propre f_2 du circuit secondaire est égale à la fréquence propre f_1 du circuit primaire, c'est-à-dire quand les deux circuits sont en résonance, l'intensité du courant oscillant secondaire atteint une valeur maxima, très élevée par rapport à la valeur qu'elle présentait peu auparavant : les deux circuits sont dits accordés ou syntonisés.

Si l'on porte sur une horizontale les valeurs de la capacité du circuit secondaire (en unités arbitraires), et sur les verticales correspondantes les intensités du courant oscillant, mesurées par l'ampèremètre G (également en unités arbitraires), on obtient une courbe dont la forme générale est analogue à celle de la figure 18 : une telle courbe est appelée *courbe de résonance* (¹).

(¹) On remarquera combien cette courbe, déterminée expérimentalement sur

On voit que, dans la portion de courbe située au voisinage de la résonance, une faible variation de la capacité du circuit secondaire détermine une très grande variation de l'intensité du courant oscillant secondaire ; au contraire, une modification de même grandeur relative de la capacité, quand les fréquences f_1 et f_2 diffèrent sensiblement, produit une faible variation du courant oscillant secondaire.

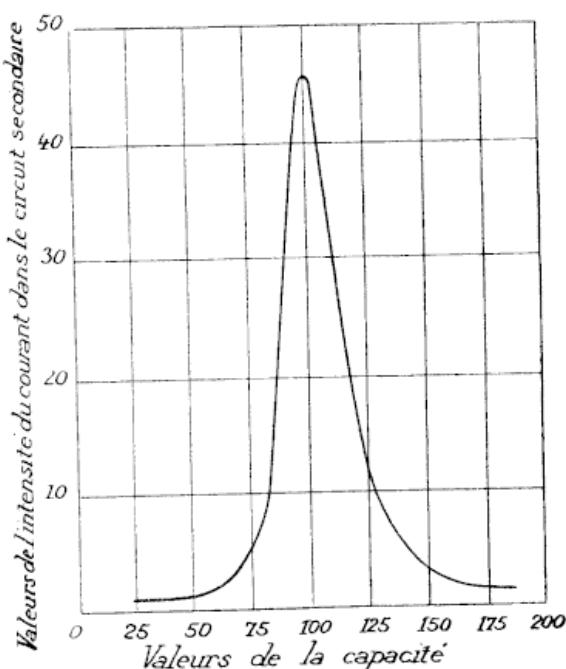


Fig. 18.

Si l'on introduit dans le circuit primaire une résistance de valeur relativement élevée, *de manière à augmenter l'amortissement, on constate que la résonance est moins nette, moins aiguë*. La courbe de la figure 18 devient beaucoup moins pointue : elle s'aplatit et s'élargit, et l'augmentation d'am-

un circuit électrique oscillant, est semblable à la courbe de la figure 15 qui représente la résonance mécanique d'une lame vibrante.

plitude du courant oscillant, due à la résonance, est beaucoup moins importante. Cela montre l'intérêt qu'il y a à réduire autant que possible l'amortissement dans les systèmes en résonance.

En examinant la courbe de la figure 18, on voit toute l'importance que présente le phénomène de résonance, puisqu'il permet d'obtenir, dans un circuit secondaire accordé, des oscillations dont l'amplitude est infiniment plus grande que dans un circuit secondaire non accordé. Il y a là une amplification remarquable dont on tire parti en radiotélégraphie.

14. — Accouplement de deux circuits par induction.

Étudions de plus près les phénomènes en jeu dans deux circuits accouplés, tels que ceux de la figure 17.

On sait⁽¹⁾ que l'accouplement inductif entre deux circuits est lâche (imparfait) ou rigide (serré) suivant qu'une faible partie ou la majeure partie des lignes de force magnétiques émanant de l'un des circuits est embrassée par l'autre circuit. La valeur du coefficient d'accouplement est égale au quotient du coefficient d'induction mutuelle par la racine carrée du produit des deux coefficients de self-induction.

Dans le premier cas (accouplement lâche), le circuit secondaire a une certaine indépendance par rapport au circuit primaire et réagit très peu sur celui-ci.

Dans le second cas (accouplement rigide), le circuit secondaire est intimement lié au circuit primaire et réagit fortement sur lui.

⁽¹⁾ Voir APPENDICE I, § 99.

I. — Supposons d'abord que l'*amortissement* de chacun des deux circuits soit *négligeable*.

On peut démontrer et vérifier que, dans un système constitué par deux circuits accouplés, il se produit deux groupes simultanés d'oscillations, ayant chacun une fréquence particulière (¹); ces deux fréquences diffèrent l'une et l'autre des fréquences propres d'oscillation de l'un et l'autre circuit.

1^o *Si les circuits sont en résonance*, c'est-à-dire s'ils avaient la même fréquence propre avant d'être accouplés ensemble, les fréquences des deux groupes d'oscillations qui prennent naissance après l'accouplement sont l'une supérieure et l'autre inférieure à la valeur commune de la fréquence propre



FIG. 19.

de chaque circuit. Les oscillations complexes, résultant de la superposition de ces deux groupes d'oscillations de fréquence différente, présentent des battements et répondent à peu près à la courbe de la figure 19.

Si l'accouplement entre les circuits est rigide, les fréquences des deux groupes d'oscillations diffèrent beaucoup de la fréquence propre commune des circuits.

Si l'accouplement est lâche, ces deux fréquences ont des valeurs voisines de la fréquence propre commune des circuits et tendent à se confondre pour un accouplement extrêmement lâche (²).

(¹) Cela est dû à la réaction que les deux circuits exercent l'un sur l'autre.

(²) Ces deux cas, importants pour la pratique de la radiotélégraphie, sont envisagés dans le chapitre VII, page 138, où la description d'un modèle mécanique (note 2) facilite la compréhension des phénomènes en jeu.

2^e *Si les circuits accouplés ne sont pas en résonance, c'est-à-dire s'ils possédaient, avant leur accouplement, des fréquences propres différentes, et si l'accouplement est rigide, les oscillations primaire et secondaire ont une seule fréquence commune, qui est intermédiaire entre les fréquences propres des circuits.*

II. — Supposons maintenant que les circuits présentent chacun un *amortissement non négligeable*.

Dans ce cas, le calcul montre que le circuit secondaire est le siège de deux groupes d'oscillations ; les unes, oscillations forcées, ont même fréquence et même amortissement que celles du circuit primaire ; les autres, oscillations libres, ont même fréquence et même amortissement que celles du circuit secondaire. Le courant oscillant dans le circuit secondaire résulte de la combinaison de ces deux groupes d'oscillations de fréquences différentes et d'amortissements différents. Plusieurs cas particuliers peuvent se présenter :

1^e *Les deux circuits sont complètement accordés, c'est-à-dire qu'ils ont même fréquence propre et même amortissement.*

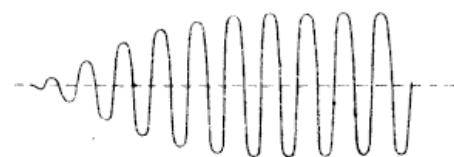


FIG. 20.

Dans ce cas, les oscillations du circuit secondaire vont en croissant jusqu'à une certaine valeur qu'elles conservent (fig. 20).

2^e *Les deux circuits ont même fréquence propre, mais n'ont pas le même amortissement.*

Dans le cas général, les oscillations du circuit secondaire croissent d'abord jusqu'à une certaine valeur, sensiblement plus faible que dans le cas précédent, puis décroissent en présentant des battements (fig. 21 et 21 bis).

Mais si le circuit primaire présente un très fort amortis-

sement et le circuit secondaire un amortissement beaucoup plus faible, on peut obtenir, même avec un accouplement assez rigide, un seul groupe d'oscillations dans le secondaire. Celles-ci ont pour fréquence la fréquence propre du circuit secondaire, qui semble effectuer de *oscillations libres* sous l'effet de *chocs* communiqués par le circuit primaire. Ce résultat, trouvé par M. Wien, provient de ce que le courant oscillant primaire a une durée extrêmement courte à cause du très fort amortissement : l'étincelle est rompue presque immédiatement après sa formation, et le circuit primaire, se trouvant ouvert, n'exerce plus aucune action sur

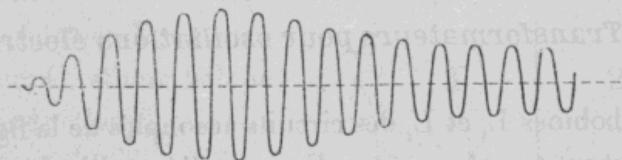


FIG. 21.

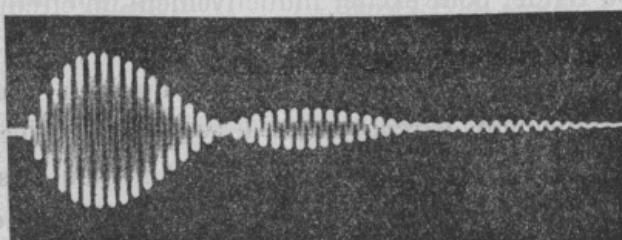


FIG. 21 bis (1).

le secondaire qui vibre comme s'il était seul. Cela n'a lieu, toutefois, que pour une valeur bien déterminée de l'accouplement, valeur qui dépend des constantes des circuits accouplés⁽²⁾.

(1) Cette belle photographie a été obtenue par M. Zenneck et publiée dans la *Physikalische Zeitschrift*, mars 1913.

(2) Cette question sera étudiée en détail au chapitre x, § 51.

3^e Les deux circuits ont des fréquences propres différentes et des amortissements égaux ou différents.

Les oscillations résultantes du circuit secondaire vont en croissant jusqu'à une valeur maxima, puis décroissent jusqu'à zéro pour croître à nouveau, et présentent des battements analogues à ceux qu'indique la figure 21 bis.

Ce dernier cas n'a pas d'intérêt en pratique, puisqu'on place toujours les circuits dans les conditions de résonance, ou au moins très près de ces conditions, pour obtenir le maximum d'effet.

15. — Transformateurs pour oscillations électriques.

Les bobines L_1 et L_2 des circuits accouplés de la figure 17 réalisent un transformateur. En radiotélégraphie, on fait très fréquemment usage de tels appareils, avec accouplement lâche ou rigide, pour exciter inductivement un circuit oscillant au moyen d'un autre⁽¹⁾.

Les actions réciproques qu'exercent l'un sur l'autre les deux enroulements parcourus par des oscillations électriques sont différentes de celles qui se manifestent dans les transformateurs ordinaires pour courants de basse fréquence, car, ici, les circuits sont généralement accordés ou syntonisés, c'est-à-dire en résonance.

Si le transformateur a un accouplement lâche et si les deux circuits, présentant un amortissement négligeable, sont en résonance, le rapport de transformation ne dépend pas du rapport des nombres de tours des bobines L_1 et L_2 : il dépend seulement du rapport des capacités des deux circuits.

(1) Ces transformateurs sont souvent appelés des « Tesla », du nom de M. Nikola Tesla qui en fait usage le premier.

Si, au contraire, l'accouplement est rigide et si les deux circuits ne sont pas accordés, le rapport de transformation dépend, comme pour les transformateurs ordinaires à basse fréquence, du rapport des nombres de tours secondaires et primaires.

16. — Accouplement direct de deux circuits.

Deux circuits oscillants peuvent être accouplés directement. Soient par exemple les circuits oscillants 1 et 2 (fig. 22) qui ont une portion commune AB. Le circuit 1 contient un éclateur E, un condensateur C_1 et une bobine de self-induction L_1 : le circuit 2 contient un condensateur C_2 et une bobine de self-induction L_2 .

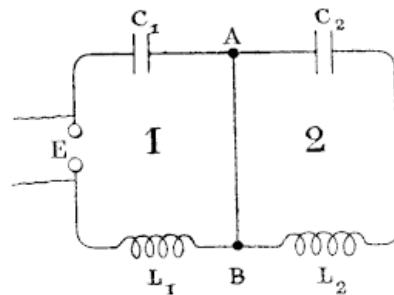


FIG. 22.

Si l'on met en vibration le circuit 1, en reliant l'éclateur E à une source de courant convenable (bobine ou transformateur), le circuit 2 entre aussi en vibration et effectue des oscillations forcées. En modifiant la valeur de la capacité ou de la self-induction de ce circuit, on peut l'amener à être en résonance avec le circuit 1, et l'on constate alors que les oscillations engendrées atteignent une amplitude maxima, comme dans le cas de l'accouplement inductif.

Soit z l'impédance (⁽¹⁾) de la portion commune AB. Si cette impédance a une faible valeur, la différence de potentiel entre les points A et B est faible, pour une intensité donnée i

(¹) Comme cela est expliqué à l'APPENDICE I, § 98, l'impédance qu'un circuit ou une portion de circuit oppose au passage d'un courant alternatif de fréquence f

54 NOTIONS SUR LA PRODUCTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

du courant oscillant primaire⁽¹⁾). Dans ces conditions, l'accouplement entre les deux circuits est lâche (imparfait).

Si, au contraire, l'impédance z de la portion commune AB a une valeur élevée, c'est-à-dire représente une portion importante de l'impédance totale du circuit 1 (ce qui a lieu, par exemple, si la majeure partie de la self-induction est contenue dans la portion AB, sous forme d'une bobine L, fig. 23), la différence de potentiel entre les points A et B a une valeur élevée, et l'accouplement entre les deux circuits est rigide.

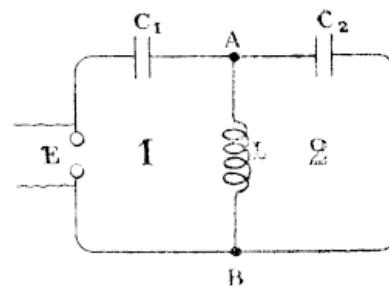


FIG. 23.

importante de l'impédance totale du circuit 1 (ce qui a lieu, par exemple, si la majeure partie de la self-induction est contenue dans la portion AB, sous forme d'une bobine L, fig. 23), la différence de potentiel entre les points A et B a une valeur élevée, et l'accouplement entre les deux circuits est rigide.

Nous avons rencontré déjà, dans les dispositifs capables d'engendrer des oscillations entretenues (fig. 11 et 12), un exemple de circuits oscillants accouplés directement. Dans ces dispositifs, le circuit oscillant a, avec le circuit principal, une portion commune contenant l'arc électrique.

dépend de la résistance ohmique r , de la self-induction L et de la fréquence f . Sa valeur z est donnée par l'expression

$$z = \sqrt{r^2 + \omega^2 L^2},$$

dans laquelle le symbole ω a pour valeur

$$\omega = 2\pi f.$$

(1) On sait (APPENDICE I, § 98), que, dans un circuit, l'intensité du courant est proportionnelle à la différence de potentiel agissante et inversement proportionnelle à l'impédance z du circuit, c'est-à-dire que l'on a

$$i = \frac{e}{z} \quad \text{ou} \quad e = zi.$$

Sous la seconde forme, cette égalité montre que, quand une portion de conducteur d'impédance z est parcourue par un courant d'intensité i , la différence de potentiel entre les extrémités de cette portion de conducteur est égale au produit de l'impédance par l'intensité du courant. Plus l'impédance est grande, et plus la différence de potentiel est élevée pour une intensité de courant donnée.

17. — Accouplement mixte de deux circuits.

On peut réaliser aussi des montages dans lesquels l'accouplement des circuits est en même temps direct et inductif.

La figure 24 en donne un exemple. Le circuit 1 contient une portion plus ou moins importante de la bobine L, (1) qui est intercalée en totalité ou en partie dans le circuit 2. La portion commune agit comme dans le cas précédent : en outre, la portion intercalée dans le circuit 1 et la portion intercalée dans le circuit 2 agissent inductivement l'une sur l'autre.

Ce montage est fréquemment employé en radiotélégraphie ; il permet des réglages commodes par modification de la longueur commune de la bobine L.

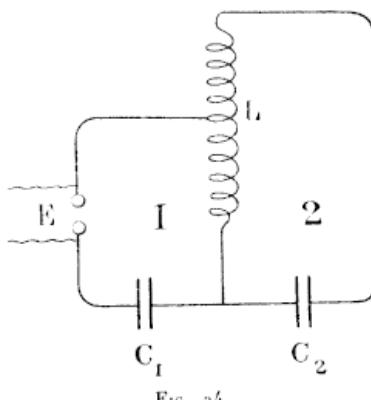


Fig. 24.

(1) Cette bobine est fréquemment appelée un « Oudin », du nom du Dr Oudin qui l'a employée le premier pour renforcer les effets des oscillations électriques dans les appareils médicaux.

CHAPITRE IV

PRODUCTION ET PROPAGATION DES ONDES ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES. — EXPÉRIENCES DE HERTZ

Comme cela a été dit au début, H. Hertz a fait une découverte capitale en parvenant à produire, au moyen d'oscillations électromagnétiques, un ébranlement périodique de l'éther, et en vérifiant que les rayons électriques ainsi engendrés obéissent aux mêmes lois que les rayons lumineux.

18. — Exciteur ou oscillateur.

Les circuits oscillants dont il a été question dans le chapitre précédent ne peuvent pas communiquer à l'éther qui les entoure un ébranlement intense. En effet, ces circuits sont fermés sur eux-mêmes et, sauf au voisinage du petit intervalle explosif de l'éclateur et dans la lame isolante très mince du condensateur, il n'existe dans l'espace environnant aucune ligne de force électrique. Pour obtenir des phénomènes de radiation, il faut employer, non plus un circuit fermé, mais un circuit ouvert produisant des lignes de force électriques qui embrassent une certaine portion de l'espace, comme nous allons le voir.

L'exciteur ou oscillateur utilisé par Hertz dans ses premières expériences comprenait deux sphères métalliques A

et B de 30 centimètres de diamètre situées à 1^m,50 l'une de l'autre (fig. 25). Un conducteur de 5 millimètres de diamètre, interrompu en ab par un éclateur, reliait ces deux sphères. Les deux boules de l'éclateur étaient connectées au secondaire S d'une bobine de Ruhmkorff.

Un tel système forme un circuit oscillant ouvert.

Les circuits oscillants fermés qui ont été étudiés précédemment comprennent une certaine self-induction, concentrée dans une bobine, et une certaine capacité, concentrée dans un condensateur.

Dans le circuit ouvert dont il s'agit maintenant, la self-induction est réduite à celle des conducteurs et la capacité est celle des deux sphères, qui forment, en quelque sorte, les deux armatures d'un condensateur.

Si l'on éloigne progressivement l'une de l'autre les deux armatures du condensateur d'un circuit fermé, on passe peu à peu au cas du circuit ouvert. Quand la distance entre les deux armatures est faible par rapport aux dimensions de celles-ci, le circuit doit être considéré comme fermé : quand la distance entre les armatures est grande par rapport à leurs dimensions, le circuit agit comme un excitateur de Hertz.

Lorsqu'un excitateur ouvert se charge sous l'effet de la différence de potentiel secondaire de la bobine, l'espace situé tout autour de lui est le siège de lignes de force électriques qui relient l'une des moitiés du circuit, chargée par exemple

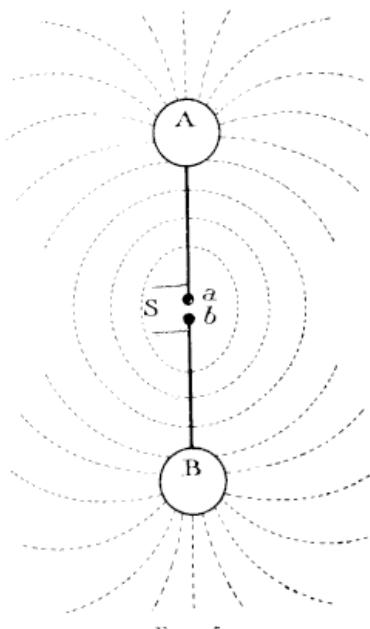


FIG. 25.

»

58 NOTIONS SUR LA PRODUCTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

au potentiel +, à l'autre moitié, chargée au potentiel -. Une partie de ces lignes de force est représentée schématiquement par des lignes pointillées sur la figure 25. Quand la charge a atteint une valeur suffisamment élevée, la différence de potentiel entre les boules *a* et *b* de l'éclateur est suffisante pour qu'une étincelle jaillisse entre elles.

A ce moment, une série d'oscillations électriques prend naissance dans le circuit, par suite des modifications alternatives de l'énergie en jeu, qui passe de la forme électrostatique à la forme électrocinétique et inversement, comme cela a été expliqué en détail dans le chapitre précédent. Les lignes de force existant dans l'espace qui environne l'excitateur subissent alors des oscillations correspondantes, puisque le potentiel de chaque moitié du système s'inverse périodiquement. Il en résulte une série de perturbations qui se propagent sous forme d'*ondes électromagnétiques*.

Pour étudier la formation des ondes électromagnétiques, il faut avoir recours à l'hypothèse des courants de déplacement de Maxwell⁽¹⁾. La charge ou la décharge du système AabB engendre dans le diélectrique environnant, c'est-à-dire *tout autour de l'excitateur*, des courants de déplacement variables qui, eux-mêmes, donnent naissance à un champ magnétique variable. Celui-ci induit dans l'espace situé un peu plus loin de l'excitateur d'autres courants de déplacement variables qui sont un peu en retard sur les premiers ; ces courants donnent naissance aussi à un champ magnétique variable qui engendre, à son tour, d'autres courants de déplacement un peu plus éloignés et un peu plus en retard, et ainsi de suite de proche en proche.

Si l'on trace le schéma de la figure 26, les courants de

(1) Voir APPENDICE I, § 91.

déplacement (ou les *forces électriques*) à un instant donné apparaissent, par exemple, *sur toute la surface* décrite par les courbes DD tournant autour de l'oscillateur comme axe. Un instant après, cette surface s'est dilatée tout entière : elle peut être représentée sur la figure par les courbes D'D' qui marquent son intersection avec le plan du papier : un instant

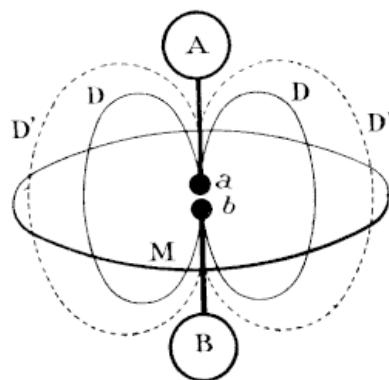


FIG. 26.

après, elle s'est encore dilatée tout entière..., etc. Quant à la *force magnétique*, elle est toujours perpendiculaire en chaque point à la direction de la force électrique ; les forces magnétiques apparaissent suivant une circonférence M qui embrasse la surface DD, D'D', etc., et qui se dilate avec elle. Tout l'ensemble du phénomène se propage avec une vitesse déterminée : tant que l'oscillateur est en action, il existe donc, en chaque point de l'espace environnant, des forces électriques oscillantes et des forces magnétiques oscillantes ; ces deux forces sont toujours perpendiculaires l'une à l'autre et perpendiculaires à la direction de propagation. La vitesse de propagation est égale, dans le vide, à celle de la lumière, soit 300000 kilomètres par seconde ; dans les diélectriques, la vitesse de propagation est égale à la vitesse de la lumière divisée par la racine carrée de la constante diélectrique⁽¹⁾.

Plusieurs savants, tels que Maxwell, M. Abraham, M. Blondel, etc., ont étudié théoriquement la propagation des

(1) Voir APPENDICE I, § 91. Le rapport des vitesses sert de mesure pour la valeur de l'*indice de réfraction*. L'indice de réfraction d'un diélectrique pour les ondes électromagnétiques est donc égal à la racine carrée de la constante diélectrique.

60 NOTIONS SUR LA PRODUCTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

forces électriques et sont arrivés à des résultats dont le schéma de la figure 27 donne une idée.

Pendant que l'oscillateur se charge, ses deux moitiés ont des potentiels égaux et de signe contraire. Nous savons que des lignes de force électriques apparaissent dans tout l'espace environnant, et que ces lignes de force ont leurs extrémités (leurs pieds) sur les charges de l'oscillateur. Supposons par

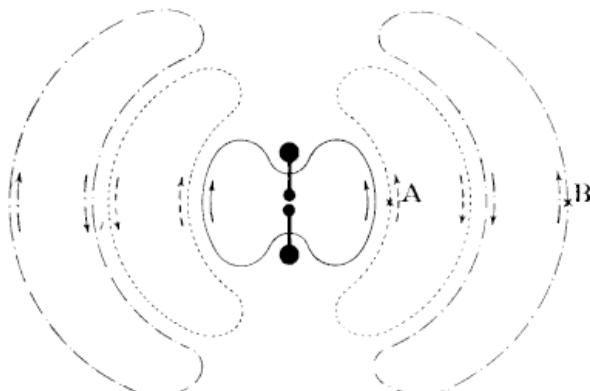


FIG. 27.

exemple qu'à un instant donné ces lignes se répartissent sur la surface dont le trait plein de la figure 27 indique la trace sur le plan du papier.

Quand la décharge oscillante se produit, le potentiel de chaque moitié de l'oscillateur diminue, s'annule, change de signe, croît en sens opposé, atteint son maximum, diminue, s'annule à nouveau, change de signe..., etc. Tout se passe comme si les charges d'une moitié passaient sur l'autre moitié et inversement, en se croisant à mi-chemin, puis retournaient à leur place primitive, pour se croiser à nouveau..., etc., l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux croisements consécutifs correspondant à une demi-période⁽¹⁾. Mais chaque ligne de force électrique a ses extrémités sur

(1) C'est-à-dire à une *alternance*.

deux de ces charges oscillantes : chaque fois que les charges se croisent, les extrémités se rencontrent et la ligne de force se boucle : elle constitue, à partir de ce moment, un circuit fermé sur lui-même (trait pointillé de la figure 27). L'ensemble de ces circuits fermés forme une bulle annulaire qui se détache de l'oscillateur et qui va en se dilatant, à la façon d'un anneau de fumée qui roule ou tourbillonne sur lui-même tout en s'élargissant. L'épaisseur de cet anneau reste constante, l'intervalle AB (fig. 27) correspondant à une longueur d'onde, mais l'anneau se dilate en hauteur à mesure que son diamètre grandit.

Pendant que ce premier anneau chemine, une autre « bulle » se forme sur les deux moitiés de l'oscillateur ; cette bulle est libérée à son tour au moment où les charges se croisent et forme un nouvel anneau roulant qui va en se dilatant, cependant qu'une nouvelle bulle se forme, et ainsi de suite.

Il est inutile d'insister longtemps sur ces phénomènes très difficiles qu'on connaît imparfaitement. Ce qui précède permet de se faire une idée de l'éclosion et de la propagation des ondes électromagnétiques et nous aidera, dans la suite, à entrevoir la façon dont un poste radiotélégraphique transmetteur peut influencer un poste récepteur.

En étudiant les circuits oscillants fermés, nous avons vu que toute perte d'énergie occasionne un amortissement des oscillations électriques produites. Les causes d'amortissement ont été indiquées en détail : la principale d'entre elles est due à la résistance de l'étincelle. Dans les circuits oscillants ouverts, tels que l'exciteur de Hertz, il se produit en outre une perte très importante d'énergie par suite du phénomène de propagation nommé *radiation*⁽¹⁾. Par conséquent,

(1) Cette énergie est perdue pour le circuit, mais ce n'est pas de l'énergie réel

62 NOTIONS SUR LA PRODUCTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

les oscillations électriques qui prennent naissance dans un circuit oscillant ouvert sont très fortement amorties : les ondes électromagnétiques qu'elles engendrent sont elles-mêmes amorties et d'une nature complexe.

La fréquence des oscillations dépend toujours des valeurs de la capacité et de la self-induction. Dans l'oscillateur de Hertz qui vient d'être décrit, les oscillations électriques avaient une fréquence de 56 millions par seconde environ. La longueur d'onde des ondes électromagnétiques produites était donc de 5^m,35 environ (1).

Afin d'obtenir des oscillations de plus grande fréquence et, par suite, des ondes de plus faible longueur d'onde, Hertz a réduit le plus possible la capacité et la self-induction dans un petit excitateur qui lui a servi pour un certain nombre d'expériences.

L'appareil qu'il a employé (fig. 28) était constitué simplement par deux cylindres métalliques, d'une douzaine de centimètres de longueur et de trois centimètres de diamètre, arrondis à une extrémité et placés dans le prolongement l'un de l'autre. Chacun d'eux était relié à l'une des extrémités du secondaire d'une bobine de Ruhmkorff. Les oscillations produites par cet excitateur avaient une fréquence de 450 millions par seconde ; les ondes engendrées avaient donc une longueur d'onde de 66^m,6 environ.

Différents savants, continuant les travaux de Hertz, se

lement perdue, au contraire, puisqu'elle reparait sous forme d'ondes électromagnétiques que l'on utilise. Il n'en est pas de même de l'énergie absorbée par la résistance du circuit, qui est dépensée en pure perte pour échauffer les conducteurs de ce circuit. Pour les applications de la radiotélégraphie, par exemple, on s'attache à augmenter le plus possible la première perte (radiation) et à diminuer autant que possible la seconde.

(1) Voir Chap. I, § 3, page 11.

sont efforcés d'augmenter encore la fréquence des oscillations produites. M. Righi a employé pour cela un excitateur composé exclusivement de deux petites sphères métalliques de 8 millimètres de diamètre placées à 1 millimètre environ l'une de l'autre et immergées dans l'huile. Il a pu obtenir ainsi des fréquences de 12 milliards par seconde, c'est-à-dire des ondes de 2^{cm}.5 de longueur d'onde. M. Böse est descendu plus bas et a obtenu des longueurs d'onde de 6 millimètres ; enfin M. Lebedew a obtenu des longueurs d'onde de 4 millimètres. La très faible intensité des oscillations d'aussi grande fréquence et l'extrême petitesse des effets qu'elles produisent rendent très difficile leur observation (¹).

19. — Résonateur.

Pour pouvoir étudier la propagation du mouvement vibratoire créé par son excitateur, il fallait à Hertz un appareil susceptible d'être influencé par les ondes électromagnétiques et de les déceler.

Cet appareil, nommé par Hertz *résonateur*, consistait simplement en un circuit oscillant formé d'une boucle de fil interrompue en un point par un éclateur dont les deux boules étaient très rapprochées (fig. 29).

Quand un tel appareil est convenablement orienté dans la zone d'action d'un excitateur, les ondes électromagnétiques qui le rencontrent exercent sur lui une action inductive alternative qui oscille avec une fréquence égale à

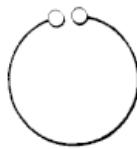


Fig. 29.

(¹) En effet, la quantité d'énergie en jeu dans un circuit est proportionnelle à la capacité de ce circuit. Pour obtenir de grandes fréquences d'oscillation, il faut réduire la capacité ; on réduit donc en même temps la quantité d'énergie en jeu.

64 NOTIONS SUR LA PRODUCTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

celle des oscillations de l'excitateur. Des étincelles jaillissent alors entre les deux boules sous l'effet de la différence de potentiel qui existe entre elles⁽¹⁾. Cet effet doit évidemment être maximum si les conditions de résonance sont remplies, c'est-à-dire si le résonateur a une fréquence propre d'oscillation égale à la fréquence des ondes agissantes.

Le résonateur constitue un *détecteur d'ondes* d'une sensibilité médiocre, mais néanmoins suffisante pour les expériences que Hertz avait à réaliser. On pourrait avantageusement y remplacer le petit éclateur par un appareil de mesure.

D'après ce qui a été dit précédemment sur l'amortissement, on voit que les vibrations ou oscillations électriques du résonateur de Hertz sont peu amorties, puisque la seule perte d'énergie dans ce circuit provient de sa résistance électrique, toujours très faible.

Au contraire, les oscillations de l'excitateur et, par suite, les ondes engendrées sont fortement amorties.

Dans ces conditions, les oscillations électriques qui prennent naissance dans le résonateur ont pour fréquence la fréquence propre d'oscillation de ce circuit, et non la fréquence des oscillations de l'excitateur. Il ne faut donc pas compter pouvoir déterminer, au moyen du résonateur, la fréquence des oscillations de l'excitateur ou la longueur d'onde réelle des ondes agissantes.

(1) Il peut exister une différence de potentiel entre ces deux boules, bien qu'elles soient reliées métalliquement entre elles, parce qu'il ne s'agit pas ici d'un régime permanent mais d'un régime variable. Les oscillations électriques rencontrent, dans le conducteur métallique qui relie les deux boules, une *résistance inductive* d'autant plus grande que la fréquence est plus grande. C'est à cause de cette résistance apparente qu'il existe entre les boules une certaine différence de potentiel quand le résonateur est en vibration.

Certaines modifications ont été apportées au résonateur de Hertz par différents expérimentateurs.

C'est ainsi que M. Blondlot a intercalé un condensateur dans la boucle de fil qui le constitue : il se servait d'ailleurs d'un circuit semblable comme excitateur, en reliant les deux boules au secondaire d'une bobine de Ruhmkorff.

M. Righi, pour déceler les ondes de son excitateur à très grande fréquence, a réalisé un résonateur extrêmement sensible. L'appareil consistait en une couche mince d'argent déposée sur une feuille de verre et ayant la forme d'un rectangle allongé ; cette couche était rayée transversalement par un trait de diamant extrêmement étroit. Quand l'exciteur était en fonctionnement, on observait au microscope les étincelles qui jaillissaient entre les deux bords voisins de la couche d'argent.

Actuellement, on possède des détecteurs d'ondes infinitésimement plus sensibles que le résonateur. Ces appareils reposent sur différentes catégories de phénomènes et seront décrits plus loin⁽¹⁾.

20. — Propagation des ondes électromagnétiques dans l'espace. Réflexion, réfraction et interférence.

En se servant du résonateur, Hertz a pu étudier la propagation des ondes dans l'air et constater que cette propagation suit les mêmes lois que celles des rayons lumineux. Nous allons revoir brièvement quelques-unes de ses expériences.

Réflexion. — Pour étudier la réflexion des ondes, Hertz prit deux surfaces paraboliques en zinc de 2 mètres de hau-

(1) Chap. vi, page 101.

66 NOTIONS SUR LA PRODUCTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

teur et de 1^m,20 d'ouverture qui devaient agir comme des miroirs pour concentrer les rayons électriques.

Dans l'un de ces miroirs (fig. 30) était disposé le petit excitateur à tiges décrit plus haut ; dans l'autre (fig. 31) était installé un résonateur ouvert rectiligne formé de deux fils A et B reliés à un petit éclateur *a*.

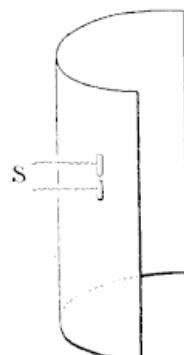


FIG. 30.

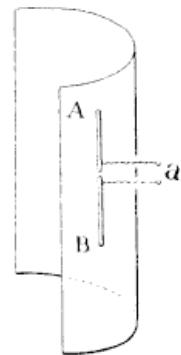


FIG. 31.

En plaçant les deux appareils en face l'un de l'autre et en mettant en fonctionnement l'excitateur, Hertz constata que les feuilles de zinc agissent bien comme des miroirs paraboliques vis-à-vis des rayons électriques. En effet, quand elles étaient disposées exactement en face l'une de l'autre, des étincelles apparaissaient à la coupure *a* du résonateur ; dès qu'on tournait autour de son axe l'une des deux surfaces, cette action cessait.

Hertz vérifia ensuite que, quand les rayons électriques tombent obliquement sur une surface plane métallique, ils sont réfléchis suivant un angle égal à l'angle d'incidence, comme les rayons lumineux.

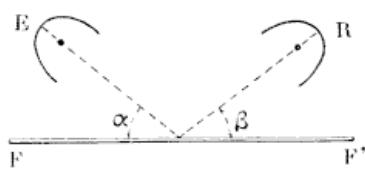


FIG. 32.

Pour cela il dirigea sur une grande feuille métallique FF' (fig. 32) le faisceau de rayons parallèles émanant du miroir parabolique de l'excitateur E.

et il constata que, pour recueillir sur le résonateur R les rayons réfléchis, il fallait placer le miroir parabolique de celui-ci dans une position telle que l'angle de réflexion β fût égal à l'angle d'incidence α .

Toute surface métallique agit donc bien comme un miroir vis-à-vis des rayons électriques, et les lois sont les mêmes que celles auxquelles obéissent les rayons lumineux.

Réfraction. — Les lois de la réfraction purent être vérifiées de la même manière.

Hertz prit un prisme en substance isolante (résine ou asphalte) de 1^m,50 de côté, et l'intégra entre les deux miroirs des fig. 30 et 31. Il constata (fig. 33), en déplaçant le résonateur jusqu'à ce que celui-ci fût impressionné par les rayons électriques, que ces rayons avaient subi dans le prisme une déviation semblable à celles que subissent les rayons lumineux dans un prisme transparent.

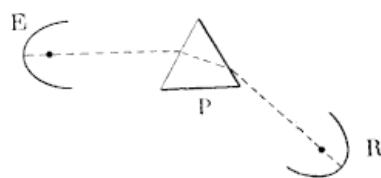


Fig. 33.

Interférence; ondes stationnaires. — Quand un rayon lumineux ou un rayon électrique tombe sur un miroir auquel il est perpendiculaire, il se réfléchit sur lui-même et revient en arrière. Le résultat produit est le même que si deux rayons, suivant le même chemin, mais en sens inverses, se superposaient l'un à l'autre. Le premier rayon, qui va vers le miroir, est dit *rayon incident*; le second rayon, venant du miroir, est dit *rayon réfléchi*.

Chaque rayon représentant la direction de propagation d'un mouvement vibratoire, on voit qu'il y aura *superposition de deux mouvements vibratoires de même fréquence et de même amplitude progressant en sens inverses*. Par conséquent,

chaque particule d'éther, située primitivement sur le chemin du rayon incident, va se trouver soumise à un mouvement qui résulte de la combinaison de deux mouvements vibratoires agissant simultanément sur elle.

Les phénomènes auxquels donne lieu la combinaison des deux mouvements vibratoires s'appellent phénomènes d'interférence.

Soit AB (fig. 34) le rayon perpendiculaire au miroir M, suivant lequel progressent, en sens inverses, les deux mouvements vibratoires dont il vient d'être question. Appelons I le premier mouvement, qui progresse dans la direction AB, et II le second mouvement, qui progresse dans la direction

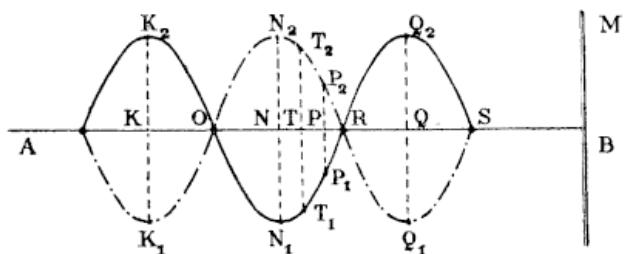


FIG. 34.

BA. Considérons une particule d'éther située primitivement sur la ligne AB et étudions le mouvement résultant auquel cette particule va être soumise.

Du fait de la propagation du mouvement vibratoire I, la particule doit se déplacer suivant une perpendiculaire à AB en effectuant un mouvement vibratoire harmonique. Du fait de la propagation du mouvement vibratoire II, la particule doit se déplacer encore suivant la même perpendiculaire en effectuant un second mouvement vibratoire harmonique. Ces deux mouvements vont se composer en un mouvement résultant dont l'amplitude dépendra de la différence des phases des deux mouvements composants.

Si les deux mouvements composants ont la même phase⁽¹⁾, ils sont concordants et leurs effets s'ajoutent : la particule est soumise alors à un mouvement vibratoire d'amplitude double de celle des mouvements composants.

Si, au contraire, les phases des mouvements I et II sont égales et opposées, ces deux mouvements se détruisent l'un l'autre à chaque instant et la particule reste toujours immobile.

Si enfin les phases des deux mouvements diffèrent d'une quantité quelconque, la particule effectue un mouvement vibratoire dont l'amplitude dépend de la valeur de la différence des phases : cette amplitude est d'autant plus grande ou d'autant plus petite que les phases se rapprochent plus de la concordance ou de la discordance.

Dans tous les cas, la fréquence du mouvement résultant de chaque particule est égale à la fréquence commune des mouvements vibratoires I et II.

Par exemple considérons une particule quelconque p , située au point P, pour laquelle les phases des deux mouvements vibratoires diffèrent d'une quantité quelconque. La différence des phases des mouvements vibratoires I et II en P a une valeur qui dépend uniquement de la position du point P par rapport à l'origine A du rayon. L'amplitude du mouvement vibratoire qu'effectue la particule p , située initialement au point P, est donc bien déterminée : elle a, par exemple, pour valeur (PP_1) .

Examinons le mouvement des particules successives qui sont à la droite de p . Quand on va vers B, la phase du mouvement vibratoire I augmente (puisque on s'éloigne de l'origine A), et la phase du mouvement vibratoire II diminue

(1) La notion de phase a été expliquée au chapitre 1, § 3, page 4.

70 NOTIONS SUR LA PRODUCTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

(puisque l'on se rapproche de l'origine B). L'une des phases augmentant, et l'autre diminuant⁽¹⁾, la différence des phases des deux mouvements composants varie rapidement quand on passe d'une particule à la suivante, et, par conséquent, l'amplitude du mouvement vibratoire de chaque particule diffère sensiblement de celle du mouvement vibratoire de la particule précédente. On arrive donc assez vite à une particule pour laquelle cette amplitude est nulle (les phases des mouvements vibratoires I et II étant égales et opposées), ou maxima (les phases des mouvements vibratoires I et II étant égales et concordantes).

Soit r la particule, située au point R, pour laquelle l'amplitude du mouvement vibratoire résultant est nulle, les phases des mouvements vibratoires I et II étant égales et opposées. La particule r n'effectue aucun mouvement et reste immobile.

Considérons les particules situées à une distance d'une demi-longueur d'onde de part et d'autre du point R: soient o et s ces particules, situées en O et S.

D'après ce qui a été dit au chapitre I, § 3, les phases des mouvements de deux particules distantes d'une demi-longueur d'onde dans chacun des mouvements vibratoires I et II sont égales et opposées. Donc, puisque les phases se trouvent inversées dans chacun des mouvements vibratoires I et II, elles sont encore égales et opposées en O et en S si elles étaient égales et opposées en R: les particules o et s sont donc immobiles, comme la particule r .

De même, les particules situées à $1, 1\frac{1}{2}, 2, 2\frac{1}{2}, 3\dots$, etc. longueurs d'onde de part et d'autre du point R sont immobiles.

(1) L'augmentation de l'une est d'ailleurs égale à la diminution de l'autre.

Les points O, R, S..., etc., où les particules restent immobiles, sont appelés des nœuds de vibration.

Il est facile de voir que, pour les particules situées primitivement à un quart de longueur d'onde des points O, R, S..., etc., les mouvements vibratoires composants ont des phases égales concordantes. Ces particules $k, n, q\dots$ situées primitivement aux points K, N, Q... effectuent donc des vibrations dont l'amplitude de $K_1K_2, N_1N_2, Q_1Q_2\dots$ est double de celle des mouvements vibratoires composants I et II.

Les points K, N, Q... etc., où les particules effectuent des mouvements vibratoires d'amplitude maxima sont nommés des ventres de vibration.

On voit qu'à mi-distance entre deux nœuds, il existe toujours un ventre, et qu'à mi-distance entre deux ventres, il existe toujours un nœud. *Deux nœuds ou deux ventres successifs sont séparés l'un de l'autre par une distance égale à une demi-longueur d'onde : un ventre et un nœud voisins sont séparés par une distance égale à un quart de longueur d'onde.*

L'ensemble des particules qui vibrent sous l'action des deux mouvements interférents et qui présentent des nœuds et des ventres de vibration, constitue une onde stationnaire.

Il faut bien se garder de confondre les mouvements vibratoires qu'effectuent les particules successives dans une onde qui se propage (chapitre 1) ou dans une onde stationnaire comme celle dont nous venons de déterminer l'existence. Dans la première, chaque particule effectue son mouvement après la particule voisine, et il se produit une sorte de déplacement latéral de l'onde⁽¹⁾. Dans l'onde stationnaire, au

(1) Ce déplacement est analogue à celui que l'on observe sur la surface de l'eau, par exemple, lorsqu'on laisse tomber en un point un caillou qui amène une perturbation brusque dans la position des particules liquides. L'onde qui prend naissance et qui se propage est bien visible sous forme de rides qui se dilatent et progressent en s'amortissant peu à peu.

contraire, chaque particule effectue toujours le même mouvement, dont l'amplitude est plus ou moins grande suivant que la particule considérée est plus ou moins rapprochée d'un centre. *La position des nœuds et des ventres est invariable dans l'espace.*

En employant un excitateur qui comprenait, au lieu de sphères, deux plaques carrées de 1600 centimètres carrés, et en plaçant, parallèlement à cet appareil, une grande feuille métallique, Hertz a constaté, au moyen d'un résonateur, que les rayons électriques donnent lieu aux mêmes phénomènes d'interférence que les rayons lumineux, et qu'il se produit une onde stationnaire présentant des nœuds et des ventres.

En réalité, ces expériences n'étaient pas très concluantes, à cause de l'intervention d'un phénomène complexe dû à la grande différence des valeurs de l'amortissement dans le résonateur et dans l'excitateur : elles ont été reprises depuis, et les résultats fondamentaux en ont été reconnus exacts.

21. — Propagation des ondes le long des fils.

Si l'on fait agir un excitateur sur un fil ouvert⁽¹⁾ *la perturbation se propage le long du fil et se réfléchit sur son extrémité : la perturbation directe et la perturbation réfléchie interfèrent et donnent lieu à une onde stationnaire, qui présente des nœuds et des ventres.*

Le courant⁽²⁾ étant forcément nul à l'extrémité libre du

(1) C'est-à-dire dont l'extrémité est isolée et n'aboutit pas à une capacité.

(2) On a coutume de dire brièvement « le courant » au lieu de « l'intensité de courant ». De même, on dit « nœud ou ventre de courant » au lieu de « nœud ou ventre d'intensité de courant », et « nœud ou ventre de tension » au lieu de « nœud ou ventre de potentiel ».

fil (¹) puisqu'il ne peut y avoir d'accumulation d'électricité en ce point, *il y a un nœud de courant à cette extrémité*. Donc il y aura d'autres noeuds de courant à des distances $l/2$, l , $3l/2$, $2l$, $5l/2$..., etc. de l'extrémité, l étant la longueur d'onde de la perturbation. Puisqu'il y a un nœud de courant à l'extrémité du fil, nous pouvons prévoir qu'*il y aura un ventre de courant à une distance $l/4$ de l'extrémité*, et d'autres ventres de courant aux distances $3l/4$, $5l/4$, $7l/4$... de l'extrémité.

C'est ce que l'on vérifie expérimentalement en utilisant un dispositif analogue à celui de la figure 35, employé par M. Lecher. L'excitateur comprend deux plaques métalliques carrées A et B reliées par un conducteur interrompu en son milieu par un éclateur E. En face des deux plaques A et B sont disposées deux plaques A' et B' formant avec elles deux condensateurs. Chaque plaque A' et B' est reliée à un fil, et les deux fils, soigneusement isolés à leur extrémité, sont tendus parallèlement l'un à l'autre.

En intercalant dans l'un des fils, en des points variables, un appareil de mesure (ampèremètre thermique par exemple), ou simplement une lampe à incandescence (²), on constate que l'intensité de courant est nulle en certains points (nœuds) et maxima en d'autres (ventres).

Il se produit aussi le long de ces fils des nœuds et des ventres de tension. On peut les rendre visibles au moyen d'un tube à gaz raréfié (³) placé transversalement entre les

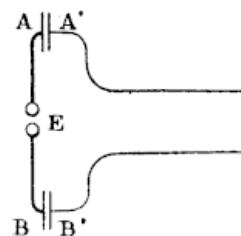


FIG. 35.

(¹) A moins que celle-ci n'aboutisse à une capacité.

(²) Le filament rougit en chaque point où il y a un ventre de courant et reste obscur en chaque point où il y a un nœud de courant.

(³) Le tube à gaz raréfié ou « tube à vide » est fréquemment utilisé dans les ondemètres (chapitre VIII) pour déceler le maximum de tension.

Il se compose d'un tube en verre fermé, d'une quinzaine de centimètres de

deux fils : ce tube devient lumineux aux points où il existe des ventres de tension et reste obscur aux points où il existe des nœuds de tension.

On constate ainsi que *les ventres de tension se trouvent aux points où il existe des nœuds de courant, et les nœuds de tension se trouvent aux points où il existe des ventres de courant*. Cela prouve que l'onde de courant et l'onde de tension ne sont pas en phase : leurs phases diffèrent d'un quart de période⁽¹⁾.

Ce phénomène est absolument analogue à celui que présentent, en Acoustique, les vibrations de l'air dans un tuyau sonore fermé à une extrémité. Le potentiel, ou la tension électrique, est analogue à la pression de l'air, et le courant électrique est analogue à la vitesse de l'air. Aux ventres de vibration, où la pression est forte, la vitesse est nulle ; aux

longueur, muni à chaque extrémité d'un renflement : dans chaque renflement est placée une électrode métallique, généralement une tige de platine, de nickel ou d'aluminium, traversant le verre auquel elle est soudée ou fixée par un mastic imperméable au gaz. Le tube, préalablement rempli d'air ou d'un gaz convenable, est placé sur une pompe appropriée qui y fait le vide par un petit appendice que l'on ferme ensuite au chalumeau. L'éincelle électrique passe beaucoup plus facilement dans un gaz raréfié que dans l'air à la pression atmosphérique : sous l'action d'une différence de potentiel suffisante, le tube est rendu lumineux par la décharge qui le traverse.

Les tubes les plus sensibles sont ceux qui contiennent comme gaz raréfié des traces de néon ou d'hélium.

(1) En effet, si l'onde de tension et l'onde de courant étaient en phase, les ventres de tension et les ventres de courant se trouveraient aux mêmes points.

Mais les phases de l'onde de tension et de l'onde de courant différant d'un quart de période, l'onde de tension se trouve d'un quart de longueur d'onde en arrière de l'onde de courant : donc les ventres de tension se trouvent à un quart de longueur d'onde en arrière des ventres de courant, c'est-à-dire qu'ils sont aux mêmes points que les nœuds de courant. De même les nœuds de tension, qui sont à un quart de longueur d'onde des ventres de tension, se trouvent aux mêmes points que les ventres de courant.

D'après la remarque (1) faite au chap. II, § 7, page 22, on devait s'attendre à ce que l'onde de courant et l'onde de tension soient décalées d'un quart de période.

nœuds de vibration, où la pression de l'air est nulle, la vitesse de l'air est maxima. D'après ce qui a été dit précédemment, on voit que l'amplitude du mouvement vibratoire à un ventre de tension est double de la valeur maxima de la tension alternative agissante.

M. Blondlot, qui s'était proposé de mesurer la vitesse de propagation des ondes dans les fils, excitait ceux-ci par induction d'après le dispositif que représente la figure 36.

Dans ce dispositif, un excitateur circulaire agit inductivement sur un fil qui l'entoure à très faible distance et dont les deux extrémités sont tendues parallèlement l'une à l'autre : la self-induction d'un tel circuit circulaire peut être exactement déterminée par le calcul ; de même, la capacité du condensateur intercalé dans ce circuit est connue. On peut donc, connaissant la valeur du produit cl (capacité et self-induction), déterminer exactement la fréquence des oscillations produites.

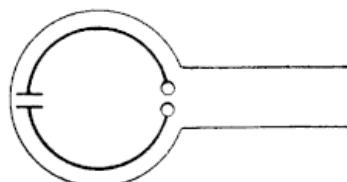


FIG. 36.

D'autre part, on peut facilement déterminer sur le fil la distance $\lambda/2$ qui sépare deux nœuds ou deux ventres et en déduire la valeur de la longueur d'onde λ . Or, comme nous l'avons vu au chapitre I § 3, la vitesse de propagation v , la fréquence f et la longueur d'onde λ sont liées par la relation

$$v = \lambda f.$$

On peut par conséquent déterminer ainsi la valeur de v .

Ces expériences, complétées par celles de MM. Trowbridge et Duane (¹), ont conduit à trouver pour la vitesse de pro-

(¹) Ces expérimentateurs déterminaient la fréquence des oscillations au moyen d'un miroir tournant, d'après la méthode indiquée au chapitre II, § 8, page 27.

76 NOTIONS SUR LA PRODUCTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

agation dans les fils la même valeur que pour la vitesse de propagation dans l'espace (¹), soit 300 000 kilomètres par seconde, vitesse de la lumière.

(¹) Dans le vide ou dans l'air.

DEUXIÈME PARTIE

LA RADIOTÉLÉGRAPHIE

CHAPITRE V

HISTORIQUE DE LA RADIOTÉLÉGRAPHIE

Les expériences de Hertz, décrites dans le chapitre précédent, permettent de réaliser des actions à distance et ont ouvert le champ à de nombreuses recherches. Mais l'énergie transmise par les ondes ainsi créées est très faible : d'autre part, le résonateur constitue un détecteur d'ondes très peu sensible. On ne pouvait donc pas songer à utiliser de tels appareils pour assurer des communications à distance.

Il est équitable de rappeler, en tête de ce chapitre, que M. Nikola Tesla, par ses admirables travaux sur les courants de haute fréquence et leurs actions à distance, a ouvert la voie aux chercheurs et a puissamment contribué à l'invention de la radiotélégraphie. Bien plus, il a, dès 1897, fait breveter divers dispositifs destinés à la transmission de l'énergie à distance, dispositifs tout à fait analogues à ceux qu'ont employés, dans la suite, la plupart des inventeurs.

22. — *Radioconducteur Branly.*

Plusieurs expérimentateurs, parmi lesquels on peut citer Varley (¹), avaient signalé qu'un tube rempli de limailles métalliques ou d'un mélange de poudres métalliques et de poudres non conductrices présente une résistance électrique extrêmement élevée lorsque ses extrémités sont soumises à une faible différence de potentiel, et une résistance électrique très faible lorsque la différence de potentiel agissante est grande.

D'autre part, le Pr^r Hughes s'aperçut, dans des expériences faites vers 1880, que la résistance d'un contact imparfait entre acier et charbon diminuait considérablement sous l'influence d'étincelles voisines.

Enfin M. Branly signala, en 1890, que *la résistance électrique d'une colonne de limaille métallique comprise entre deux électrodes métalliques est grandement influencée, à distance, par les étincelles d'une bobine de Ruhmkorff*. Parmi les limailles étudiées par lui, la majorité présentait une diminution de résistance et quelques-unes présentaient une augmentation de résistance.

Le *radioconducteur* de M. Branly consistait en un tube de verre T (fig. 37) contenant deux cylindres métalliques EE dont les bases étaient soigneusement polies : entre ces deux surfaces était placée la limaille métallique L. Les fils F et F', aboutissant aux deux électrodes EE', étaient reliés à une pile et à un appareil de mesure. En temps normal, aucun cou-

(¹) Les frères Varley avaient établi sur ce principe, en 1866, un parafondre pour appareils télégraphiques.

rant appréciable ne traversait le circuit, à cause de la résistance élevée de la limaille L comprise entre les cylindres E et E'. Au contraire, dès que l'étincelle de décharge d'une

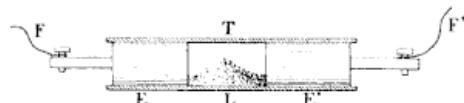


FIG. 37.

bobine de Ruhmkorff ou d'une bouteille de Leyde éclatait à quelque distance du radioconducteur, la résistance électrique de la limaille métallique L diminuait brusquement et l'appareil de mesure indiquait le passage d'un courant relativement important.

M. Branly étudia différentes sortes de limaille et différentes formes de contacts ; il trouva qu'un simple contact imparfait entre des tiges d'acier ou de cuivre oxydées présente les mêmes variations de résistance que les limailles métalliques.

23. — *Expériences de Sir O. Lodge.*

Après la découverte de M. Branly, Sir Oliver Lodge, qui travaillait à répéter les expériences de Hertz, eut l'idée d'employer, dans ses expériences, un tube à limaille comme détecteur d'ondes.

Le tube qu'il utilisa, et auquel il donna le nom de *cohéreur*⁽¹⁾, contenait de la limaille de fer ou de laiton placée

(¹) Sir Lodge a choisi ce mot de *cohéreur* à cause du phénomène par lequel il explique le fonctionnement des tubes à limaille. Comme on le verra plus loin, il admet en effet que la limaille s'agglomère, sous l'effet des ondes électriques, et forme de petites chaînes de particules juxtaposées que de microscopiques étincelles soudent ensemble. Un choc rompt ces chaînettes et décohère la limaille que les ondes ont précédemment rendue cohérente.

dans une atmosphère d'air ou d'hydrogène, ou bien dans le vide.

L'action des ondes avait pour effet de *cohérer* la limaille, c'est-à-dire de diminuer sa résistance électrique. Cette diminution de résistance de la limaille persistant après l'action des ondes électriques, il fallait imprimer une légère secousse au tube pour le *décohérer*, c'est-à-dire lui rendre sa résistance normale élevée. Pour cela, Sir Lodge communiquait au support du tube une trépidation régulière en faisant agir sur lui une petite roue en étoile entraînée par un mécanisme d'horlogerie. Il essaya aussi de faire agir sur ce support le marteau d'une petite sonnerie électrique, mais il trouva que les étincelles de rupture de cette sonnerie, produites à proximité du cohéreur, impressionnaient cet appareil.

Sir Lodge employa aussi comme cohéreur un appareil à contact imparfait unique, dans lequel une vis de réglage permettait de donner aux surfaces adjacentes la pression pour laquelle la sensibilité était maxima.

24. — Expériences de M. Popoff.

M. Popoff songea en 1895 à employer le cohéreur pour déceler et enregistrer les orages éloignés. Pour cela, il relia à un fil aérien vertical, soutenu par un mât en bois, un circuit récepteur comprenant un cohéreur et un enregistreur.

La façon dont était établi ce circuit récepteur est indiquée schématiquement par la figure 38.

Le fil aérien *a* était relié en A à l'une des électrodes du cohéreur dont l'autre électrode B était connectée à la terre⁽¹⁾.

(1) C'est-à-dire à une plaque métallique ou un réseau de fils métalliques enfouis

Le cohéreur faisait partie d'un autre circuit ADPEB, contenant la pile P et l'électro-aimant E. Lorsque, sous l'action des oscillations de grande fréquence produites par des décharges atmosphériques lointaines, la résistance du cohéreur tombait à une faible valeur, un courant circulait dans le circuit ADPEB, et l'électro-aimant E attirait

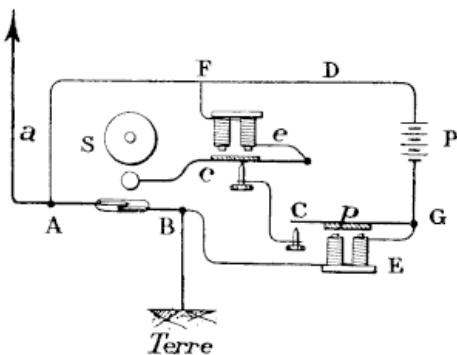


FIG. 38.

la palette p. Celle-ci portait une plume enregistreuse qui marquait un trait sur une feuille de papier portée par un cylindre. D'autre part, la palette p établissait en C un contact qui fermait le circuit PGpCceFDP contenant l'électro-aimant e d'une sonnerie. Le marteau de celle-ci, lorsqu'il vibrait sous l'action de l'électro-aimant e, frappait tantôt contre un timbre de sonnerie S, tantôt contre le support du cohéreur pour décohérer celui-ci.

Le dispositif de M. Popoff se montra très efficace pour enregistrer les ondes électriques provenant de décharges atmosphériques : il permettait ainsi de connaître l'existence d'orages éclatant à une grande distance, et de prévoir les perturbations météorologiques. Dans le compte rendu de ses expériences, M. Popoff concluait en indiquant que son dispositif pourrait parfaitement servir à recevoir les signaux d'un transmetteur éloigné, si l'on parvenait à créer avec un tel appareil des perturbations électromagnétiques suffisamment intenses.

assez profondément dans le sol, de préférence humide, de façon à obtenir un bon contact. Cette jonction avec le sol est appelée *une prise de terre* ou parfois simplement *une terre*.

*25. — Premières expériences de M. Marconi
(1896-1897).*

Le transmetteur capable de produire ces perturbations fut réalisé par M. Marconi, élève du P^r Righi. Cet appareil est basé sur l'emploi d'un conducteur isolé suspendu à peu près verticalement en l'air et relié à l'une des boules d'un éclateur alimenté par le secondaire d'une bobine de Ruhmkorff; l'autre boule de l'éclateur est connectée à une prise de terre. L'ensemble forme la moitié supérieure d'un radiateur de Hertz dont la moitié inférieure est remplacée par la terre.

Le fil ou réseau de fils disposé en l'air est appelé l'*antenne*, ou parfois l'*aérien*.

Nous allons décrire brièvement les premiers appareils utilisés par M. Marconi, appareils avec lesquels il a pu réaliser, en 1897, des communications atteignant 15, puis 22 kilomètres.

Transmetteur. — Le transmetteur comprenait (fig. 39) une



Fig. 39.

bobine de Ruhmkorff à trembleur dont le primaire était alimenté par une batterie d'accumulateurs B. Un interrupteur *i*, ayant la forme d'une clé télégraphique Morse, permettait de fermer ou d'ouvrir le circuit. Le secondaire de la bobine était relié à un éclateur E dont les boules étaient connectées d'une part à l'antenne A et d'autre part à une prise de terre T formée d'une plaque métallique enfouie dans le sol.

L'antenne était formée d'un fil unique isolé supporté par

un mât ou par un cerf-volant. A l'extrémité supérieure de ce fil était disposée une plaque métallique ou une surface présentant une certaine capacité ; dans le cas où un cerf-volant supportait le fil, il était recouvert d'une feuille d'étain⁽¹⁾. M. Marconi a aussi essayé différentes formes d'aériens, constitués par des plaques, des cylindres ou différentes surfaces métalliques placées à quelques mètres en l'air, ou des réseaux de fils de différentes formes.

L'éclateur E était d'abord un éclateur de Righi avec étincelles jaillissant dans l'huile ; dans la suite, M. Marconi employa un simple éclateur à boules placées dans l'air. En fermant l'interrupteur *i*, on mettait en fonctionnement la bobine de Ruhmkorff : des étincelles jaillissaient entre les boules de l'éclateur, et l'antenne entraînait en vibration.

Pour émettre des signaux brefs ou prolongés, il suffisait de fermer l'interrupteur *i* pendant un temps court ou long : on donnait ainsi naissance à des trains d'ondes d'une durée plus ou moins longue.

Récepteur. — Au poste récepteur, une antenne semblable à l'antenne émettrice était mise en vibration par les ondes électromagnétiques provenant du poste transmetteur. M. Marconi constata que, plus les antennes de transmission et de réception étaient élevées, plus la distance à laquelle on pouvait communiquer était grande. Il reconnut également qu'il était avantageux d'employer, au poste récepteur et au poste transmetteur des antennes de même hauteur ou tout au moins équivalentes.

L'antenne de réception aboutissait à l'une des électrodes d'un cohéreur dont l'autre électrode était reliée à la terre, comme dans le dispositif Popoff. En dérivation sur le cohé-

(1) L'emploi de cette capacité terminale a été abandonné dans la suite.

reur était branché un premier circuit contenant un élément de pile et un relais, dont le fonctionnement déterminait la fermeture d'un second circuit contenant un enregistreur Morse.

La figure 40 représente ce montage.

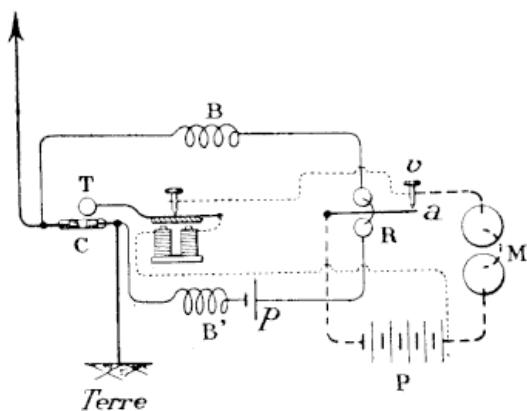


FIG. 40.

Le cohéreur C, employé par M. Marconi, consistait en un petit tube de verre de 4 à 5 centimètres de longueur et de 0,5 centimètre de diamètre environ. Les deux électrodes étaient formées par des cylindres en argent dont les extrémités étaient taillées en biseau comme le montre la figure 41. La limaille intercalée entre les deux électrodes était com-



FIG. 41.

posée de 94 parties d'argent et 6 parties de nickel : elle avait été passée au tamis de façon à présenter une grosseur

de grains bien régulière. Les fils de platine aboutissant aux électrodes étaient soudés dans le verre du tube fermé aux deux bouts : on faisait le vide dans l'appareil par une petite tubulure t, scellée ensuite au chalumeau.

Le cohéreur était intercalé entre l'antenne et la terre. En outre, il faisait partie d'un circuit contenant un élément de

pile p et un relais R très sensible (¹). Deux bobines de self-induction B et B' étaient destinées à empêcher, par leur grande résistance inductive, le passage des oscillations dans le circuit dérivé : la résistance ohmique de ces bobines étant faible, elles ne créaient pas d'obstacle au passage du courant continu de la pile p . Le deuxième circuit, que le relais fermait en *av* lorsque le premier circuit était parcouru par un courant, même très faible, comprenait une forte pile P et un enregistreur Morse ordinaire M à électro-aimants (²). Enfin un

(¹) Le relais est un appareil qui, agissant sous l'effet d'un courant extrêmement faible, a pour fonction de fermer un second circuit dans lequel peut passer un courant plus intense. Il comprend toujours un système fixe, formé d'électro-aimants ou d'aimants, et un système mobile, formé d'une palette aimantée ou d'un cadre portant un grand nombre de tours de fil. Le courant traverse soit les électro-aimants, soit le cadre mobile.

Sous l'effet des attractions et des répulsions électromagnétiques qui se produisent, soit entre les électro-aimants fixes et la palette mobile, soit entre les aimants fixes et le cadre mobile, le système mobile oscille et établit, dans ce mouvement, un contact qui ferme le second circuit. Dès que le courant cesse de passer dans le premier circuit, le système mobile revient à sa position normale en rompant le second circuit. Sur la figure, on a représenté le relais sous forme d'un double électro-aimant et d'une palette oscillante a .

(²) Pour transmettre télégraphiquement les différentes lettres de l'alphabet, Morse a imaginé de les remplacer par des combinaisons de traits et de points (par exemple la lettre *v* est représentée par 3 points et un trait). De là est né l'*alphabet Morse*, employé sur la plupart des lignes télégraphiques. Au poste transmetteur, un interrupteur, appelé souvent *manipulateur* ou élé Morse, permet d'envoyer sur la ligne des émissions de courant brèves ou prolongées, figurant les points ou les traits. Au poste récepteur, la ligne aboutit aux bobines d'un électro-aimant qui attire une palette de ferdoux pendant tout le temps que dure une émission de courant. Cette palette appuie, contre une molette encrée, une bande de papier qui se déroule d'un rouleau et s'enroule sur un autre rouleau mû par un mécanisme d'horlogerie. L'ensemble de l'électro-aimant, des rouleaux, et du mécanisme d'horlogerie constitue l'*enregistreur Morse*.

Quand le poste transmetteur fait une émission de courant brève ou longue, la palette de l'électro-aimant appuie, pendant un intervalle de temps court ou long, la bande de papier contre la molette encrée qui y trace ainsi un trait court (point) ou un trait long (trait). Quand le poste transmetteur ne fait pas d'émission, la bande de papier présente « un blanc » plus ou moins long.

troisième circuit, également fermé en *av* par la palette du relais R, permettait au courant de la pile P d'actionner le tapeur T pour décohérer le tube. Sur le schéma de la figure 40, les trois circuits ont été représentés différemment, pour plus de netteté, le premier étant indiqué en trait plein, le deuxième en trait interrompu, et le troisième en pointillé.

Avec ce dispositif, lorsque les trains d'ondes atteignent l'antenne, celle-ci se met à vibrer ; les oscillations, agissant sur le cohéreur C, abaissent considérablement la résistance électrique de celui-ci. Un courant produit par la pile p circule alors dans le circuit du relais : l'armature mobile oscille et ferme en *av* les deuxième et troisième circuits. L'enregistreur Morse est actionné par le courant de la pile P et inscrit un signal ; le tapeur est également actionné, et décohère le tube C. La résistance du cohéreur revenant à sa valeur primitive, le courant cesse de passer dans le circuit du relais ; l'armature mobile de celui-ci revient à sa position normale, et le courant est rompu dans les deuxième et troisième circuits. Si le train d'ondes agit encore sur l'antenne, le cohéreur est à nouveau influencé, et les mêmes phénomènes se reproduisent. Si l'action du train d'ondes a cessé, tout reste dans l'ordre normal jusqu'au signal suivant.

Si le poste transmetteur a émis un signal relativement long figurant un trait de l'alphabet Morse, le train d'ondes a une certaine durée : le cohéreur se cohère et est décohéré par le tapeur plusieurs fois de suite, et l'enregistreur Morse inscrit une série de points très rapprochés qui, par suite de l'inertie de la palette, forment un trait continu. Si le poste transmetteur émet au contraire un point, le train d'ondes dure peu de temps, le cohéreur se cohère et est décohéré

peu de fois, et l'enregistreur Morse inscrit un trait très court figurant un point.

Chaque poste ne possédant, en général, qu'une seule antenne, celle-ci est reliée tantôt aux appareils transmetteurs, tantôt aux appareils récepteurs suivant que le poste doit émettre ou recevoir des signaux. Pour protéger les appareils récepteurs contre l'action des ondes produites par le poste lui-même lors de la transmission des signaux, on enferme ces appareils dans un coffret métallique, relié à la terre, qui agit comme un écran.

Le poste récepteur est influencé, non seulement par les ondes provenant du poste transmetteur avec lequel il désire communiquer, mais aussi par les ondes provenant de postes étrangers plus ou moins voisins. Il est aussi influencé par une catégorie de phénomènes électriques dus aux décharges atmosphériques éloignées ou à l'accumulation de certaines charges d'électricité statique. Les pseudo-signaux qu'enregistrent les appareils récepteurs sous l'effet de ces phénomènes sont nommés *signaux parasites*: ils constituent une très grande gêne pour les communications radiotélégraphiques, quand on a recours aux dispositifs simples décrits ci-dessus; les dispositifs actuels permettent d'atténuer fortement les inconvénients dus à la présence de parasites.

26. — *Dispositifs Lodge, Slaby, Braun et Ducretet.*

En 1897, M. Slaby, qui avait assisté aux premières expériences de M. Marconi, imagina différents dispositifs destinés à améliorer l'accord du poste récepteur avec le poste transmetteur. Ayant reconnu qu'il fallait placer le

cohéreur à un ventre de tension, il connectait au pied de l'antenne réceptrice un fil horizontal de même longueur qu'elle et plaçait le cohéreur à son extrémité.

La même année, Sir O. Lodge perfectionna système le primitif de M. Marconi. Au transmetteur, des condensateurs accouplés à l'antenne avaient pour but de renforcer les effets : une bobine de self-induction variable, intercalée dans celle-ci, permettait d'effectuer les réglages. Au récepteur, le cohéreur était placé dans un circuit distinct accouplé à l'antenne, que des dispositifs convenables permettaient d'accorder avec le transmetteur.

C'était un acheminement vers l'excitation indirecte de l'antenne, qui a constitué l'un des plus importants perfectionnements apportés en radiotélégraphie. Ce mode d'excitation, déjà décrit dans le brevet Tesla de 1897, fut employé avec succès par M. Braun en 1898 : l'antenne transmettrice était mise en vibration par l'action d'un circuit oscillant auxiliaire accouplé avec elle. Ce dispositif offre deux avantages également importants : d'une part, l'amortissement des oscillations de l'antenne est beaucoup diminué par la suppression de l'étincelle, qui jaillit dans le circuit voisin ; d'autre part, la quantité d'énergie en jeu est beaucoup augmentée, parce que l'on peut placer une forte capacité dans le circuit oscillant⁽¹⁾.

Les figures 42, 43 et 44 indiquent les modes d'accouplements décrits par M. Braun dans son brevet : E désigne l'éclateur, C le condensateur, L la bobine de self-induction, B₁ et B₂ des bobines d'accouplement. On reconnaît les diffé-

(1) La capacité de l'antenne étant invariable, on doit, dans le premier montage Marconi, augmenter la tension pour augmenter l'énergie ($E = cv^2$) et, pour cela, il faut allonger l'étincelle. Or, plus celle-ci est longue, plus elle absorbe d'énergie en pure perte et plus l'amortissement est grand, sans compter que les longues étincelles ne donnent jamais de bonnes oscillations.

rents modes d'excitation étudiés au chapitre III à propos des circuits oscillants fermés. Dans ce brevet, il n'est pas question d'une prise de terre ; l'inventeur a indiqué par la suite que l'antenne devait être prolongée à son pied par un fil formant contrepoids ou par une capacité équivalente.

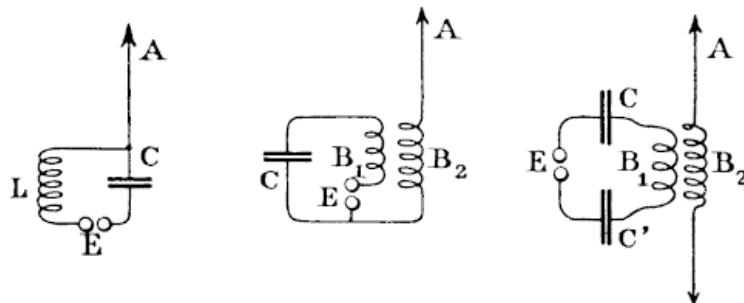


FIG. 42.

FIG. 43.

FIG. 44.

M. Braun a signalé aussi qu'il était bon d'augmenter le plus possible la capacité propre de l'antenne et, pour cela, de la constituer par plusieurs conducteurs aériens embrassant un certain espace.

En 1898 également, M. Ducretet a eu le mérite incontestable d'employer, pour la transmission, un dispositif à excitation indirecte avec accouplement mixte⁽¹⁾ réalisé au moyen d'un résonateur Oudin : il se servait, en outre, d'une bobine d'accord pour régler la période propre de l'antenne, cette bobine d'accord étant formée par une self-induction réglable placée au pied de l'antenne.

Pour la réception, M. Ducretet employait le dispositif de M. Popoff.

27. — *Expériences de transmission à travers la Manche (1899).*

En 1898, M. Marconi s'appliqua surtout à perfectionner

⁽¹⁾ Chapitre III, § 17 page 55.

ses appareils récepteurs pour obtenir une plus grande sensibilité. Dans le premier montage adopté, le cohéreur était directement embroché sur l'antenne au voisinage du sol, comme nous l'avons vu. Or *le cohéreur est un appareil influencé par la différence de potentiel qui agit entre ses électrodes*, et il est facile de comprendre que, la terre étant à un potentiel nul, l'antenne en vibration doit avoir un nœud de tension à sa base reliée à la plaque de terre (¹). Dans ces conditions, la différence de potentiel agissant sur le cohéreur est faible. Au contraire, si l'on peut, par un artifice, placer le cohéreur en un point où il existe un ventre de tension, on doit obtenir de bien meilleurs résultats. C'est ce que fit empiriquement M. Marconi en intercalant le cohéreur dans un second circuit accouplé par induction avec l'antenne et mis en résonance avec celle-ci.

Le montage adopté par M. Marconi est représenté par la

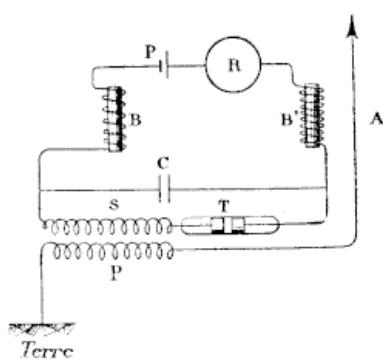


FIG. 45.

figure 45. Sur celle-ci, A représente le fil allant à l'antenne ; les bobines *ps* constituent un transformateur d'oscillations (²) ; C représente un condensateur, BB' deux bobines de self-induction, souvent appelées bobines de réactance, destinées à arrêter le passage des oscillations ; P est une pile et R un relais sensible. Le cohéreur T était placé dans le

(¹) La formation d'une onde stationnaire dans l'antenne, avec des nœuds et des vents de courant et de tension, sera étudiée plus loin (chap. VII, § 36, page 129). L'antenne a un nœud de tension à sa base et un ventre de tension à son extrémité supérieure : elle a un ventre de courant à sa base et un nœud de courant à son extrémité supérieure.

(²) Ces appareils ont été étudiés au chapitre III, § 15, page 52.

circuit oscillant sCT accordé de façon à présenter la même fréquence propre d'oscillation que l'antenne.

En 1899, M. Marconi adoptait le dispositif que représente la figure 46 et dans lequel le cohéreur est bien nettement à un ventre de tension.

L'enroulement primaire p du transformateur est intercalé entre l'antenne A et la terre : deux enroulements secondaires $s_1 s_2$, reliés entre eux par le condensateur C, aboutissent au cohéreur T. Le circuit oscillant $Ts_1 s_2 C$ est accordé sur la fréquence propre d'oscillation de l'antenne. En dérivation sur le condensateur C est branché le circuit à courant continu contenant la pile P, le relais R et les deux bobines de self-induction BB' qui arrêtent les oscillations.

Le condensateur C est absolument infranchissable pour le courant continu de la pile P, qui passe par le cohéreur T lorsque la résistance de celui-ci s'abaisse sous l'action des ondes électriques, et est interrompu quand cette résistance reprend sa valeur initiale.

Le relais R agit comme primitivement pour fermer un circuit contenant une forte pile et un enregistreur Morse.

Avec ce dispositif, M. Marconi réussit à établir une communication radiotélégraphique entre Wimereux et Douvres (50 kilomètres). Les antennes étaient de simples fils, sans plaque terminale, et avaient 46 mètres de hauteur : elles étaient supportées par des mâts en bois et isolées par plusieurs

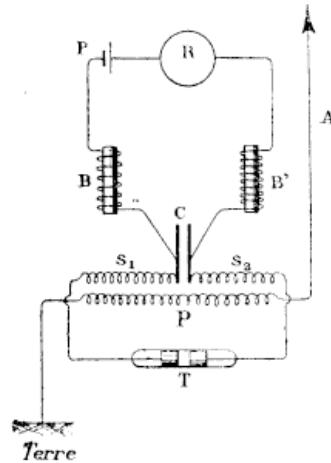


FIG. 46.

tiges d'ébonite. L'extrémité supérieure du fil était enroulée sur elle-même sous forme d'une bobine plate comprenant

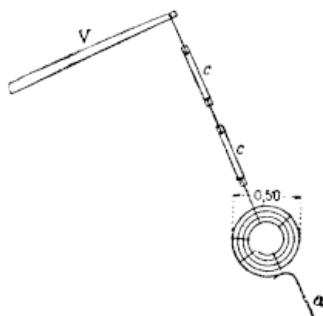


FIG. 47.

quatre ou cinq tours comme l'indique la figure 47, sur laquelle *cc* représentent des tiges isolantes en ébonite auxquelles était suspendue la partie supérieure de l'antenne *a*.

Le système transmetteur était le même que dans les premières expériences et consistait en une bobine de Ruhmkorff alimentant un éclateur à boules ordinaire embroché sur l'antenne.

Tous les appareils constituant le système récepteur (sauf l'enregistreur Morse) étaient placés dans une boîte métallique destinée à empêcher l'action des ondes lorsque le poste émettait lui-même des signaux pour la transmission.

La figure 48 montre les connexions des circuits. Le montage du cohéreur était le même que sur la figure 46 : le premier circuit à courant continu, fermé par le cohéreur, contenait la pile *p*, les deux bobines de self-induction *BB'* et le relais *R*. Le deuxième circuit, fermé en *x* par le relais *R*, contenait l'enregistreur Morse *M* et une pile *P* de plusieurs éléments. Le troisième circuit, fermé également en *x*, contenait le tapeur *T* : ce circuit était alimenté aussi par la pile *P*.

Des condensateurs ou des résistances étaient placés en dérivation sur les contacts où pouvaient se produire des étin-

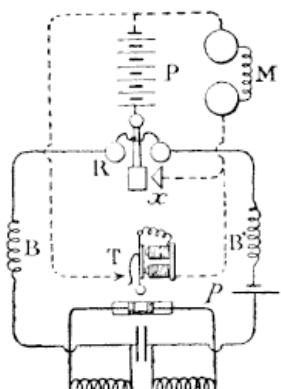


FIG. 48.

celles de rupture, de façon à empêcher la formation de celles-ci, qui auraient réagi sur le cohéreur.

28. — Dispositifs employés par différents expérimentateurs.

Dispositifs Lodge-Muirhead. — Dans leurs premiers brevets (1897), MM. Lodge et Muirhead ont décrit un transmetteur et un récepteur composés chacun de deux cônes métalliques creux placés verticalement et opposés l'un à l'autre par les sommets. Les deux moitiés symétriques de l'ensemble ainsi formé étaient soigneusement isolées du sol : au poste transmetteur, chacune d'elles était connectée à l'une des boules de l'éclateur ; au poste récepteur, chacune d'elles était reliée au circuit du cohéreur, qui contenait, comme récepteur-enregistreur, un siphon-recorder (¹).

Ensuite, ils ont employé, au circuit transmetteur et au circuit récepteur, un accouplement direct de l'antenne avec un circuit oscillant fermé, contenant un condensateur et une bobine de self-induction.

Le montage du poste transmetteur est indiqué par la figure 49 : l'antenne A est coupée par un condensateur C_1 , puis aboutit à l'une des armatures d'un condensateur C_2 de grande capacité, dont l'autre armature est connectée à la terre. Le circuit oscillant fermé LEC₁, comprenant l'éclateur E (alimenté par

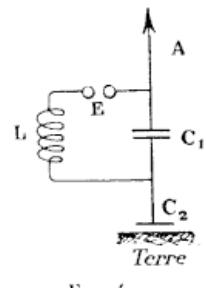


FIG. 49.

(¹) Le siphon recorder est un galvanomètre de grande sensibilité, muni d'un siphon encreur qui enregistre les déplacements du cadre mobile. Cet appareil est employé comme récepteur sur les câbles télégraphiques sous-marins.

une bobine), la bobine de self-induction L et le condensateur C_1 , est directement accouplé avec l'antenne et le réglage est fait de façon qu'il y ait résonance.

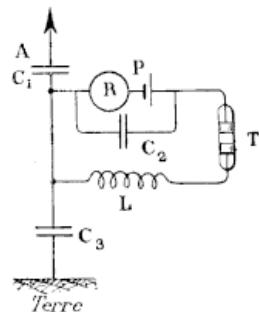


FIG. 50.

Au poste récepteur (fig. 50), l'antenne est coupée par un condensateur C_1 , puis aboutit, comme précédemment, à un condensateur de terre C_3 . Le circuit oscillant fermé, relié à l'antenne, comprend le condensateur

C_2 , le cohéreur T⁽¹⁾ et la bobine de self-induction L. Le relais R et la pile P sont montés en dérivation sur le condensateur C_2 .

Ce qu'il y a lieu de remarquer dans les montages employés par MM. Lodge et Muirhead, c'est que les antennes ne sont pas reliées directement à des prises de terre, mais aboutissent à des capacités reliées à la terre. En pratique, ces capacités sont formées de filets métalliques de grande surface posés sur le sol : le contact entre ces filets et la terre présentant une résistance électrique élevée, l'ensemble se comporte comme un condensateur dont une armature est constituée par la terre et l'autre par le filet métallique.

Des expériences, faites avec un filet isolé de la terre, ont montré que, dans ces conditions où l'on a bien réellement à faire à un condensateur, les résultats obtenus sont meilleurs que quand le filet est en contact avec le sol, et sont meilleurs aussi qu'avec une prise de terre médiocre. L'emploi de filets métalliques à la base des antennes est donc indiqué pour les

(1) On a représenté le détecteur sous forme d'un tube dans cette figure schématique, mais MM. Lodge et Muirhead employaient un détecteur formé d'une surface de mercure, recouverte d'une mince couche d'huile et contre laquelle frottait légèrement un disque en fer.

postes où, par suite de la nature du terrain (rocheux ou très sec), il n'est pas possible d'établir une bonne prise de terre : de même, pour les postes transportables, tels que ceux employés dans les applications militaires, ce dispositif est recommandable.

Quelquefois, MM. Lodge et Muirhead ont muni la partie supérieure de l'antenne d'une capacité superficielle semblable à la capacité inférieure et formée d'un réseau ou d'un filet métallique. Cette disposition permet d'obtenir des communications satisfaisantes avec une faible hauteur d'antenne.

Dispositif Rochefort. — M. Rochefort a employé, pour la transmission, des bobines d'induction de grande puissance décrites plus loin⁽¹⁾. Pour la réception, il a imaginé un cohéreur à trois électrodes disposé comme l'indique la figure 51. L'antenne A aboutit en un point d'une bobine dont la portion centrale P est embrochée entre elle et la terre. Les deux autres portions S₁ et S₂ de la bobine, agissant comme les secondaires d'un transformateur, sont reliées aux électrodes extrêmes du cohéreur C. Le milieu P de la bobine est relié à l'électrode centrale du cohéreur par une jonction qui comprend un élément de pile p et un relais R.

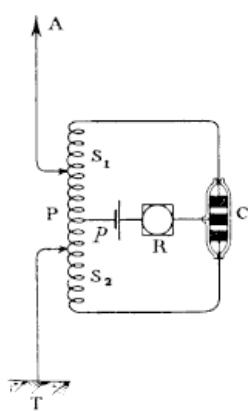


FIG. 51.

Dispositif Fessenden. — M. Fessenden a préconisé dès le début l'emploi d'une antenne multiple composée de plusieurs conducteurs aériens. Ses montages sont représentés par les

(1) Chapitre XIV § 62.

figures 52 et 53. L'antenne transmettrice comprenait un éclateur E alimenté sans interruption par une bobine de Ruhmkorff, et une bobine de self-induction B

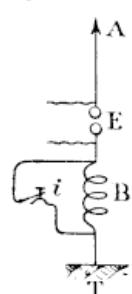


FIG. 52.

qu'un interrupteur *i* permettait de court-circuiter. Pour émettre des signaux, on manipulait l'interrupteur *i*, et, suivant que la bobine B se trouvait court-circuitée ou en circuit, les ondes produites avaient ou n'avaient pas la fréquence convenable pour impressionner le poste récepteur.

Le système récepteur comprenait (fig. 53) une antenne multiple A, un condensateur C, une détecteur thermique ou électrolytique D⁽¹⁾ relié à un récepteur téléphonique, et un conducteur de forte self-induction réglable B connecté à la terre. Comme il arrivait souvent que le détecteur en service fût détérioré par le passage d'un courant oscillant trop intense, on disposait sur un plateau un certain nombre de ces appareils, aboutissant à une série de contacts : il suffisait, lorsque l'un d'eux était avarié, de faire tourner le plateau pour en mettre un autre à sa place.

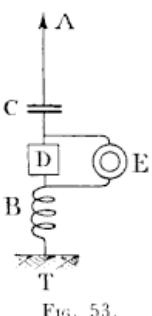


FIG. 53.

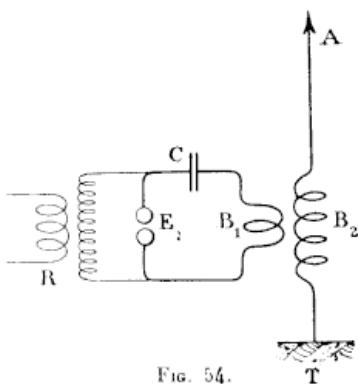


FIG. 54.

Dispositif Marconi (1900). — La figure 54 représente le montage par induction breveté en 1900 par M. Marconi. Une bobine de Ruhmkorff R alimente l'éclateur E qui excite le circuit oscillant CB₁ : celui-ci est accouplé en B₁B₂ à l'antenne A.

Dispositifs Slaby et Arco. — Les montages utilisés par ces

(¹) Ces appareils sont décrits au chapitre VI, § 30 et 32.

deux inventeurs à partir de 1900 sont représentés par les figures 55 et 56.

L'antenne transmettrice A (fig. 55), munie à sa base d'une bobine d'accord B, est reliée à un circuit comprenant un éclateur E⁽¹⁾, un condensateur réglable C, une bobine de self-induction réglable L, et une prise de terre T.

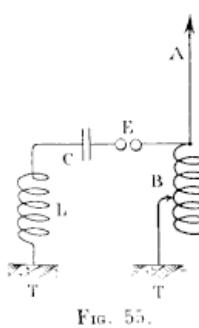


FIG. 55.

Au poste récepteur (fig. 56), l'antenne est reliée d'une part à une bobine d'accord B, d'autre part à un circuit contenant une bobine invariable L, une bobine d'accord L', le cohéreur D, une pile p, un relais R et une prise de terre T : un condensateur C, branché en dérivation sur la pile et le relais, offre un passage aux oscillations électriques.

En reliant à une même antenne deux circuits oscillants prévus pour des longueurs d'onde sensiblement différentes, MM. Slaby et Arco ont pu, grâce à un accord convenable, recevoir simultanément les signaux de deux postes transmetteurs distincts travaillant avec des longueurs d'onde différentes.

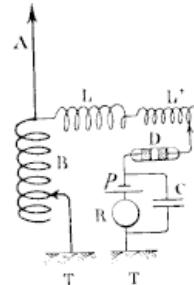


FIG. 56.

Dispositifs Fleming. — M. Fleming, collaborateur de M. Marconi, a contribué pour une large part aux études faites en vue de l'établissement des postes de grande puissance.

Le dispositif transmetteur qu'il a réalisé vers 1902 est représenté par la figure 57. Un circuit oscillant fermé est

(1) Alimenté par une bobine de Ruhmkorff.

alimenté par un transformateur industriel à haute tension SS' dont le primaire est relié à un alternateur A : ce dispositif permet de mettre en jeu une quantité d'énergie infiniment plus considérable qu'avec une ou plusieurs bobines de Ruhmkorff.

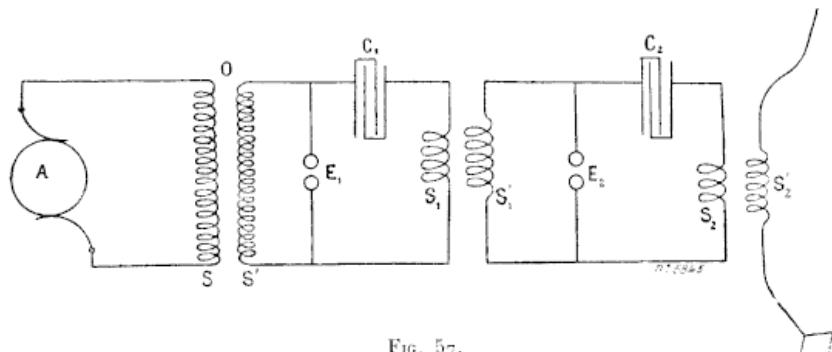


FIG. 57.

Le circuit oscillant comprend un éclateur E_1 , un condensateur C_1 et une bobine S_1 qui agit par induction sur la bobine S'_1 d'un second circuit oscillant fermé : celui-ci contient un éclateur E_2 , une capacité C_2 , et la bobine primaire S_2 d'un transformateur dont le secondaire S'_2 est embroché entre l'antenne et la terre.

En outre, le circuit primaire, c'est-à-dire le circuit qui comprend l'induit de l'alternateur et la bobine primaire S du transformateur, contient deux bobines dont on peut modifier la self-induction en y enfonçant plus ou moins des noyaux de fer. La self-induction de ces bobines a pour effet d'empêcher la formation, entre les boules de l'éclateur E_1 , d'un arc alimenté par le courant alternatif du générateur A⁽¹⁾ : en réalité elle joue un rôle plus important, qui sera étudié plus loin (chap. ix, § 49).

(1) Lorsqu'une étincelle jaillit en E_1 le secondaire S' du transformateur se trouve fermé sur le circuit conducteur constitué par l'éclateur et l'étincelle et

Pour l'émission des signaux, on ferme un interrupteur placé en dérivation sur l'une des bobines de self-induction. Lorsque l'interrupteur est ouvert, la self-induction de cette bobine est suffisamment élevée pour réduire à une faible valeur l'intensité du courant qui alimente le primaire du transformateur ; quand, au contraire, il est fermé, le courant passe par cette connexion directe, et il atteint l'intensité convenable pour que les oscillations engendrées donnent lieu à des ondes suffisamment puissantes.

Le circuit oscillant $S'C_1S_1$ est accordé sur la fréquence du courant produit par l'alternateur A. Le circuit oscillant $E_1C_1S_1$ est en résonance avec le circuit $S_1C_2S_2$, et le circuit $E_2C_2S_2$ est en résonance avec l'antenne qu'il excite par l'intermédiaire du transformateur S_2S_2' . Le condensateur C_1 , de forte capacité,

présentant une très faible résistance. Si le générateur A était relié directement au primaire du transformateur S_2 , l'intensité du courant qui circule dans le circuit secondaire $S'E_1$ atteindrait une grande intensité par suite de la faible résistance de ce circuit : toute la puissance que peut débiter la machine A serait absorbée pour le maintien de l'arc amorcé entre les boules de l'éclateur E_1 , et cet arc ne s'éteindrait plus. Par suite, la recharge du condensateur C_1 ne pourrait plus s'effectuer, et le dispositif n'engendrerait plus d'oscillations électriques. Si, au contraire, on intercale des bobines de self-induction entre le générateur A et le primaire du transformateur, l'action de ces bobines s'oppose, comme nous l'avons vu, à toute augmentation brusque du courant, et il ne peut pas s'établir en E_1 un arc suffisamment tenace pour empêcher le mécanisme d'échange d'énergie qui donne lieu, dans le circuit oscillant, à la production d'oscillations électriques.

Au lieu d'intercaler des bobines de self-induction, on peut employer un transformateur SS' présentant de fortes fuites (appendice I, § 99), qui agit comme une self-induction : un tel appareil est muni d'un circuit magnétique ouvert (c'est-à-dire un simple noyau de fils de fer, comme dans une bobine de Ruhmkorff) ou d'un circuit magnétique fermé. On pourrait aussi remplacer les bobines de self-induction par des résistances de valeur élevée, mais cela offrirait des inconvénients au point de vue des pertes d'énergie.

Si l'on n'emploie pas des bobines de self-induction ou des résistances de valeur élevée, il est très difficile d'éviter la formation d'un arc et d'obtenir des étincelles franchement oscillantes, à moins qu'on ne souffle l'arc en envoyant, entre les boules de l'éclateur, un violent jet d'air ou de gaz comprimé.

accumule l'énergie fournie par l'alternateur et se décharge avec une fréquence relativement faible, par exemple une vingtaine de fois par seconde, à travers l'éclateur E_1 , donnant ainsi naissance à des oscillations dans le circuit $E_1C_1S_1$. La bobine S_1 agissant par induction sur la bobine S' , ces oscillations déterminent à leur tour la charge du condensateur C_2 , lequel se décharge dans le circuit oscillant $E_2C_2S_2$ dont la bobine S_2 met l'antenne en vibration par induction.

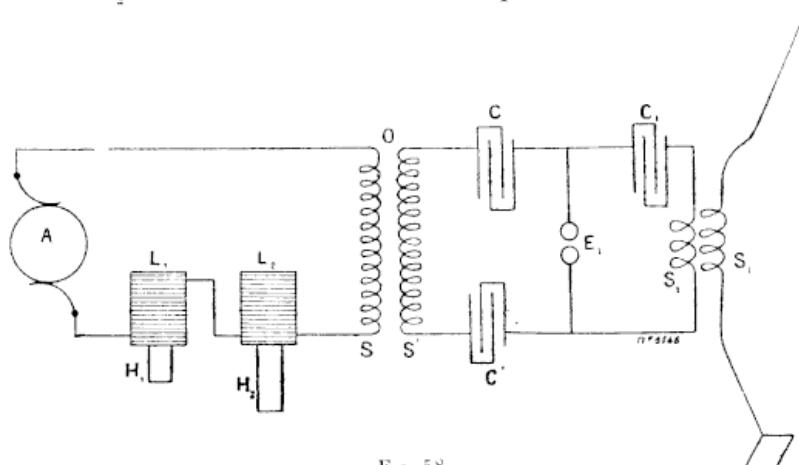


FIG. 58.

Le dispositif précédent a été modifié comme l'indique le schéma de la figure 58. L'alternateur charge, par l'intermédiaire du transformateur O, les condensateurs CC'C₁ jusqu'au moment où l'étincelle jaillit en E_1 : à ce moment, le circuit oscillant $E_1C_1S_1$ entre en vibration et agit inductivement sur l'antenne. Le circuit $S'C'C_1S_1C'$ est accordé sur la fréquence de l'alternateur : le circuit oscillant $C_1E_1S_1$ est en résonance avec l'antenne.

CHAPITRE VI

LES DÉTECTEURS D'ONDES

L'invention du cohéreur a rendu possible, comme nous l'avons vu, la réalisation pratique de la Télégraphie par ondes hertziennes, mais on peut dire que l'emploi de cet appareil a retardé pendant plusieurs années les progrès de la Radiotélégraphie, en ce qui concerne la portée des communications. Il a presque entièrement disparu maintenant pour faire place, dans les postes radiotélégraphiques, à des détecteurs nouveaux, basés sur des phénomènes physiques différents, qui donnent, au point de vue de la sensibilité et de la commodité, des résultats très supérieurs.

Avant de passer en revue ces appareils, il n'est pas inopportun de préciser quel est le rôle du détecteur. L'antenne réceptrice — ou le circuit oscillant accouplé avec elle — est le siège d'oscillations électriques qu'il s'agit de déceler. On possède bien des galvanomètres (¹), des

(¹) Les *galvanomètres* sont des appareils fréquemment employés pour mesurer l'intensité d'un courant continu de faible valeur.

Un galvanomètre comprend essentiellement un cadre mobile convenablement suspendu et un système d'aimants ou d'électro-aimants fixes entre les pôles desquels le cadre peut osciller. Un fil, enroulé en un certain nombre de tours sur le cadre, est parcouru par le courant à mesurer.

Quand le courant circule dans la bobine mobile, l'action électromagnétique qui s'exerce entre elle et le système fixe (aimants ou électro-aimants) la fait tourner d'un certain angle. La valeur de cet angle est mesurée par le déplacement d'une aiguille ou d'un rayon lumineux réfléchi par un petit miroir fixé au cadre : elle indique, par une lecture directe sur un cadran gradué, l'intensité du courant.

téléphones (¹) et d'autres appareils de grande sensibilité, capables de répondre à des variations de courant extrêmement faibles, mais ces appareils ne peuvent pas être impressionnés par des courants *alternatifs* de grande fréquence, parce que ceux-ci changent de sens avec une trop grande rapidité (²). On a donc eu recours au *détecteur*, qui joue en quelque sorte le rôle d'un convertisseur chargé de donner des courants toujours de même sens, soit par substitution d'un courant auxiliaire aux courants oscillants, soit par redressement direct de ceux-ci.

29. — Cohéreurs.

Aux débuts de la Radiotélégraphie, l'esprit inventif des expérimentateurs s'est attaché à réaliser différents types de cohéreurs, et le nombre d'appareils qui ont ainsi vu le jour est considérable.

Les tubes employés par Sir Lodge et par M. Marconi ont été déjà mentionnés dans le chapitre précédent. M. Marconi,

(¹) Un récepteur téléphonique comprend une petite bobine munie d'un noyau en fils de fer fins, et une membrane (disque très mince) en fer doux placée contre l'extrémité de ce noyau.

Quand la bobine est parcourue par des courants variables, le noyau présente des aimantations variables et attire ou repousse la membrane avec une force variable. Si les variations du courant correspondent aux modulations de la voix ou à un son, la membrane du téléphone reproduit ces modulations ou ce son. Si les variations sont quelconques, le téléphone fait entendre un bruit rappelant le bruit initial qui a donné lieu aux variations de courant.

En particulier, quand on emploie le téléphone dans les réceptions radiotélégraphiques, on perçoit dans cet appareil des crachements reproduisant le bruit des étincelles qui jaillissent dans l'éclateur du poste transmetteur. Une série prolongée de ces crachements indique un trait de l'alphabet Morse ; une série courte indique un point.

(²) L'inertie de la partie mobile de l'appareil (bobine du galvanomètre, membrane du téléphone, etc.), quelque faible qu'elle soit, est toujours beaucoup trop grande pour que cette partie mobile puisse suivre les inversions du courant.

pour augmenter la sensibilité de son cohéreur, ajoutait souvent à la limaille métallique quelques traces de mercure.

Le cohéreur utilisé par M. Popoff avait la constitution suivante (fig. 59) : deux électrodes en platine, formées cha-

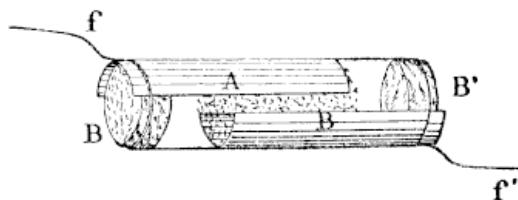


FIG. 59.

cune par une portion de cylindre métallique creux, étaient enfoncées dans un tube de verre et maintenues par deux bouchons BB' : entre les deux électrodes était placée de la limaille d'acier. Deux fils f et f' servaient à relier les électrodes au reste du circuit.

Le cohéreur de M. Dueretet est représenté par la figure 60. Un tube T en écaille contenait deux électrodes P' et P'': on

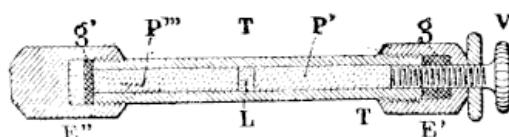


FIG. 60.

pouvait déplacer l'une d'elles au moyen de la vis V, de façon à régler la pression supportée par la limaille L. Deux calottes métalliques E' et E'', en contact électrique avec les électrodes en g et g' , fermaient le tube et étaient reliées au circuit récepteur par des ressorts à lames formant support.

Dans le cohéreur imaginé par M. Blondel, le tube en verre portait une tubulure latérale soudée vers son milieu. Cette tubulure, recourbée et fermée à son extrémité inférieure, contenait de la limaille que l'on pouvait faire passer

en plus ou moins grande quantité entre les deux électrodes.

Le même résultat était obtenu, d'une façon plus commode, dans le cohéreur Ferrié (fig. 61). L'une des électrodes E portait un évidement longitudinal *r* communiquant avec une gorge circulaire *H* qui contenait la réserve de limaille : l'évidement *r* permettait de faire passer de la limaille de *H* en *t* ou inversement, suivant les besoins. Les deux extrémités du tube étaient fermées par des pièces métalliques mastiquées sur le verre : ces pièces étaient reliées aux électrodes et portaient des vis V servant de bornes de contact. La limaille était en argent ou en or, les électrodes en acier poli.

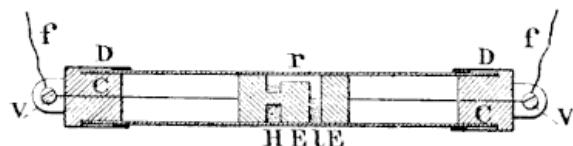


FIG. 61.

MM. Lodge et Muirhead se sont servis avec succès d'un disque de fer, tournant d'un mouvement continu et effleurant la partie supérieure d'une surface de mercure, recouverte d'une mince couche d'huile.

Quelques expérimentateurs, au lieu d'utiliser des limailles ou du mercure, ont eu recours à un ou plusieurs contacts imparfaits entre corps solides. On a ainsi employé, par exemple, deux ou plusieurs billes en acier poli placées côté à côté dans un tube incliné; des baguettes métalliques disposées en croix; des fragments de perles métalliques, etc. M. Branly a réalisé aussi un détecteur consistant en un trépied à branches pointues en acier posé sur une surface plane en acier poli.

Théorie du fonctionnement des cohéreurs. — Plusieurs explications, plus ou moins différentes, ont été données sur

le fonctionnement des cohéreurs. Chacune d'elles permet de se rendre compte d'une partie des phénomènes en jeu, mais est impuissante à expliquer la totalité des effets observés.

M. Branly a émis l'opinion que la nature de l'isolant compris entre les particules métalliques est modifiée par l'action des ondes qui augmente sa conductibilité : c'est pourquoi il a proposé, pour cette sorte d'appareils, le nom de radioconducteurs. Cette hypothèse est à rejeter, parce qu'aucun effet de ce genre n'a été observé dans les isolants, et, en outre, parce que le fonctionnement du cohéreur n'est pas modifié si l'on fait le vide dans le tube ou si l'on y introduit un gaz quelconque.

Sir Lodge croit que la conductibilité est due à la formation de très petites étincelles qui perçent les couches d'oxydes mauvais conducteurs recouvrant les particules, et qui établissent entre ces particules une continuité métallique, ou même une sorte de soudure. D'après cet auteur, l'attraction électrostatique qui s'exerce entre les particules faciliterait la production des étincelles en provoquant un rapprochement des particules. Cette théorie intéressante peut être vérifiée dans certains cas, mais il semble que l'on ait affaire alors à des effets secondaires, dus à l'échauffement que produit le passage du courant. Elle se trouve tout à fait en défaut dans certains autres cas, par exemple pour expliquer le fonctionnement des cohéreurs à grains de charbon.

M. Eccles suppose que les particules s'orientent sous l'action du champ électrique et s'agglomèrent pour former des chaînettes : cette théorie n'est applicable qu'aux cohéreurs contenant des grains de limaille très légers.

M. Shaw admet que les particules métalliques subissent, aux points de contact, une orientation déterminée qui assure le minimum de résistance. Cet auteur a trouvé que les phénomènes dépendent de la présence d'une mince couche formée

soit par de l'air raréfié, soit par de la vapeur d'eau raréfiée, soit par un oxyde métallique, et que la cohérence ne peut se produire que si cette couche est percée : ses expériences l'ont conduit, en outre, à admettre l'hypothèse d'une fusion superficielle aux points de contact.

Le commandant Ferrié pense que le diélectrique interposé entre les particules joue un rôle important. Le système composé de deux particules voisines et de la petite couche de diélectrique interposé constitue un petit condensateur. Celui-ci, sous l'action de la différence de potentiel permanente agissant aux bornes du tube par l'action de la pile, atteint la charge maxima qu'il peut supporter : si, à ce moment, une cause extérieure vient augmenter la valeur de cette différence de potentiel, la couche diélectrique est rompue, et il se produit une soudure entre les deux particules.

M. Blanc, après des expériences minutieuses, a été amené à penser que le diélectrique ne joue pas le rôle essentiel dans le fonctionnement des cohéreurs, pas plus que la présence d'oxyde ou de gaz condensé. Il a trouvé qu'il ne se produit ni fusion ni soudure des points en contact, mais que tout se passe dans les couches purement superficielles des corps juxtaposés. Il a constaté qu'il existe une grande analogie entre les phénomènes produits par la pression et les phénomènes de cohérence. L'explication qu'il donne est la suivante : quand le courant passe, il se produit une attraction entre les surfaces qui limitent la couche de passage; cette attraction peut être très considérable et agit comme une forte augmentation de pression. En outre, le passage du courant élève la température des couches superficielles, ce qui facilite le contact, et il doit se produire une diffusion d'une couche superficielle vers la couche adjacente.

Enfin, M. Guthe base l'explication des phénomènes sur la

théorie électronique d'après laquelle il existe dans tous les métaux des électrons libres (¹) en mouvement. Les ondes électriques ont pour effet de créer un champ électrostatique qui permet aux électrons de quitter le métal, et il apparaît un courant électrique dont ces électrons sont les véhicules. Une fois le courant établi, son intensité va en augmentant, et il se produit une jonction conductrice métallique.

Comme on le voit, d'après ce résumé rapide des principales théories, l'explication du fonctionnement des cohéreurs n'a pu être encore donnée d'une façon complète. En définitive, on doit se représenter le phénomène de la façon suivante : Entre les petites surfaces juxtaposées, il existe un mauvais contact qui est dû, soit à la présence d'une pellicule d'oxyde, ou de sulfure, ou de gaz, ou de n'importe quoi, soit, si les surfaces sont rigoureusement propres, à la très faible valeur de la pression qui les appuie l'une contre l'autre. Si, dans ces conditions, des oscillations électriques interviennent, le mauvais contact devient et reste bon, soit parce que la pellicule interposée s'est crevée, soit parce que les surfaces se sont trouvées appuyées l'une contre l'autre avec une pression plus forte, par suite de l'action électrostatique.

Au point de vue de la sensibilité, les cohéreurs, quel que soit leur type, sont bien inférieurs à la plupart des détecteurs dont il va être question. Mais ils présentent l'avantage très important que la variation de courant à laquelle ils donnent naissance, quand ils sont soumis aux effets des

(¹) Les électrons peuvent être, en quelque sorte, définis comme étant *les atomes constitutifs d'une charge électrique*. Voir APPENDICE I, § 90.

ondes électromagnétiques, est suffisante pour actionner un relais commandant un circuit dans lequel peut passer un courant relativement intense, capable d'actionner une sonnerie, un récepteur-enregistreur Mors, etc. Avec les autres détecteurs, au contraire, on est généralement obligé d'employer un récepteur téléphonique et de recevoir à l'oreille.

30. — *Détecteurs thermiques.*

Nous savons que le passage d'un courant électrique dans un conducteur produit un échauffement de celui-ci. Si le courant a une très faible intensité, il faut évidemment que le fil conducteur soit *extrêmement fin* pour que son échauffement soit perceptible.

Différents détecteurs d'ondes ont été basés sur ce principe dès 1890, et ont été employés, en particulier par M. Rubens, pour l'étude des oscillations électriques. Le lieutenant de vaisseau Tissot s'en est servi avec habileté dans plusieurs séries de mesures qu'il a entreprises, et a su en tirer d'intéressants résultats.

Le premier détecteur thermique qui ait été utilisé pratiquement dans des dispositifs de radiotélégraphie est celui de M. Fessenden, que représente la figure 62.

Pour obtenir un fil suffisamment fin, on opère généralement de la façon suivante : un fil très fin de platine, de moins de $0^{\text{mm}},1$ de diamètre, est recouvert d'une couche d'argent jusqu'à ce que son diamètre atteigne environ 2 millimètres, puis le fil bimétallique ainsi préparé est étiré jusqu'au plus petit diamètre possible, $0^{\text{mm}},05$ par exemple. On le replie alors sous forme d'un U dont on fixe les branches dans une petite rondelle isolante R, et l'on plonge la partie inférieure

dans de l'acide nitrique qui attaque l'enveloppe d'argent en laissant intacte l'âme de platine. On peut obtenir ainsi, sur une petite longueur, un fil de platine d'environ 1,5 micron ($0^{mm},0015$) de diamètre : on est même parvenu à fabriquer, par ce procédé, des fils de 1 micron de diamètre.

La boucle de fil F (fig. 62) est placée dans une petite capsule d'argent C que ferme la rondelle isolante R : cette capsule a pour effet de diminuer autant que possible le rayonnement de la chaleur. L'ensemble est disposé dans un récipient V en verre dans lequel on fait le vide. Les deux conducteurs A et B, qui aboutissent à la boucle de fil fin, traversent le récipient dans la paroi duquel ils sont mastiqués ou soudés.

Le détecteur est intercalé entre l'antenne réceptrice et la prise de terre. Quand l'antenne est mise en vibration par les ondes électromagnétiques provenant du poste transmetteur, les oscillations électriques traversent le fil fin F et celui-ci s'échauffe, même si l'énergie en jeu est très faible. Pour déceler cet échauffement, on s'appuie sur la propriété commune à tous les métaux, que leur résistance électrique augmente quand la température s'élève. Il suffit d'intercaler le détecteur dans un circuit local permettant de mesurer cette variation de résistance. On peut aussi, pour les applications radiotélégraphiques, brancher en dérivation sur le détecteur un circuit contenant un récepteur téléphonique et une pile : dès qu'il se produit une variation de la résistance du fil fin, l'intensité du courant qui circule dans le circuit local varie, et le récepteur téléphonique fait entendre un son.

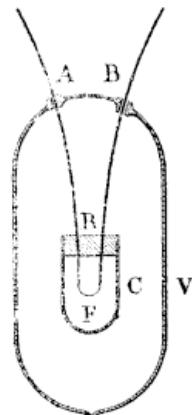


FIG. 62.

31. — DéTECTEURS thermo-électriques.

Les détecteurs thermo-électriques sont basés sur les propriétés des thermo-éléments⁽¹⁾: ils ont été employés vers

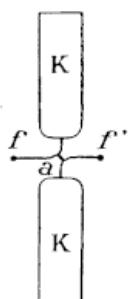


FIG. 63.

1892 par M. Klemencic dans ses expériences sur les oscillations électriques. Deux bandes de laiton K d'une dizaine de centimètres de largeur et d'une trentaine de centimètres de longueur (fig. 63) portaient chacune, soudé à son extrémité, un fil très fin en platine pur pour l'une, et en alliage de platine pour l'autre. Ces deux fils se croisaient en *a* et étaient coudés chacun à angle droit en ce point: leurs extrémités *f*' étaient reliées à un galvanomètre de grande sensibilité. Quand des ondes agissaient sur des bandes KK, les courants oscillants qui traversaient le point de croisement *a* y déterminaient un échauffement qui donnait naissance à un courant thermo-électrique.

Au cours de ses remarquables travaux sur l'amortissement, Drude a utilisé un thermo-élément semblable à celui de Klemencic (fig. 64). Une croix en ébonite E portait quatre tiges D soutenant des fils de

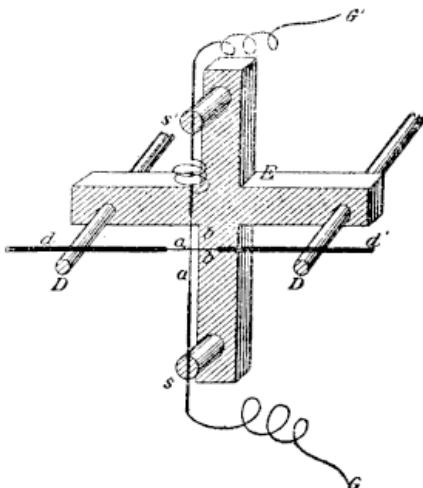


FIG. 64.

(1) Appendice I, § 95.

cuivre $dd's'$ auxquels était fixé le thermo-élément formé d'un fil de constantan⁽¹⁾ aa et d'un fil de fer ou de cuivre bb de cinq centièmes de millimètre de diamètre. Un ressort assurait un bon contact permanent au croisement. Les fils dd' étaient reliés au circuit oscillant, et les fils ss' au galvanomètre.

M. Lebedew a pu augmenter la sensibilité du détecteur thermo-électrique en le plaçant dans une ampoule vide d'air : M. Brandes et M. Schaefer ont fait de même.

M. Duddell a construit un appareil très sensible qui tient à la fois des détecteurs thermiques et des détecteurs thermo-électriques.

Cet appareil, nommé *thermogalvanomètre*, comprend un puissant électro-aimant EE et un petit élément thermo-électrique T formé d'un fil de bismuth et d'un fil d'antimoine (fig. 65). Ce thermo-élément est supporté par une boucle de fil très légère B aux extrémités de laquelle il est connecté : celle-ci est elle-même suspendue par un fil de quartz F, entre les deux pôles de l'électro-aimant E. Un tout petit miroir M est fixé au fil. D'autre part, une lame métallique L très mince et très étroite est traversée par les oscillations électriques : elle s'échauffe sous l'effet du courant oscillant, et la chaleur rayonnée par elle agit sur l'élément thermo-électrique suspendu librement entre les pôles de l'électro-aimant. Le courant qu'engendre le thermo-élément réagit sur le champ magnétique produit par l'électro-aimant, et le système mobile tourne d'un certain angle : la valeur de cet angle dépend du courant que produit le thermo-élément et qui est proportionnel à la chaleur dégagée, c'est-à-dire à l'in-

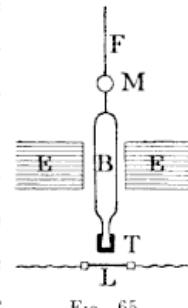


FIG. 65.

⁽¹⁾ Alliage de cuivre, de zinc et de manganèse.

tensité du courant oscillant. L'énergie électrique des oscillations est donc d'abord convertie en chaleur dans la lame chauffante, puis cette chaleur est à nouveau convertie en énergie électrique, mais sous forme de courant continu. L'appareil, considéré comme convertisseur de courant alternatif en courant continu a évidemment un bien mauvais rendement, mais il est précieux pour les mesures relatives à la radiotélégraphie, grâce à sa grande sensibilité et à son exactitude.

32. — *Détecteurs électrolytiques.*

En plongeant deux fils métalliques dans de l'eau additionnée d'une petite quantité d'un acide ou d'un sel qui la rend conductrice (de l'acide sulfurique par exemple), et en reliant ces deux fils à un générateur électrique capable de produire une certaine différence de potentiel, on réalise un appareil nommé *voltamètre*. Si la différence de potentiel agissante est inférieure à une valeur déterminée, nommée *tension critique*, aucun courant ne traverse le voltamètre ; si, au contraire, elle est supérieure à cette valeur, un courant peut le traverser. Des bulles d'oxygène apparaissent alors sur le fil relié au pôle positif de la source de courant (ce fil est nommé électrode positive, ou *anode*) et des bulles d'hydrogène apparaissent sur le fil relié au pôle négatif (électrode négative, ou *cathode*). Ce phénomène est appelé *électrolyse* : le liquide interposé entre les électrodes est nommé *électrolyte*. Pour exprimer que les électrodes se couvrent d'une couche gazeuse, on dit qu'elles se polarisent, ou qu'il y a *polarisation*.

En 1899, M. Pupin s'aperçut qu'un voltamètre ayant

l'une de ses deux électrodes formée par une pointe fine agit, vis-à-vis des courants alternatifs de grande fréquence, comme une soupape ou un redresseur (¹).

En 1900, le C^t Ferrié, qui ignorait d'ailleurs la constatation faite par M. Pupin, signalait au Congrès international de physique que l'on peut réaliser un détecteur d'ondes électriques en plongeant, dans de l'eau étendue d'acide sulfurique une électrode positive formée d'une pointe de platine extrêmement fine et très courte, et une électrode négative formée d'un fil relativement gros. Si l'on relie ces électrodes à une pile dont la différence de potentiel est très légèrement supérieure à la tension de décomposition de l'eau, il passe dans le liquide un faible courant dont l'effet est de produire une polarisation des électrodes : dans ces conditions, quand des oscillations électriques agissent sur la pointe positive, elles provoquent une modification importante de la polarisation, et cette modification se traduit par un accroissement du courant local qui traverse l'appareil. L'accroissement du courant peut, quand l'appareil est bien réglé, atteindre vingt fois la valeur du courant primitif.

En 1903, M. Schloemilch réalisa sur ce principe un détecteur extrêmement sensible dont l'emploi s'est beaucoup répandu.

On peut employer comme électrode positive une pointe de platine fixée à une vis réglable et effleurant le niveau du

(¹) De tels appareils, dans lesquels les électrodes sont dissymétriques, ne peuvent être traversés que dans un sens par le courant électrique, c'est-à-dire qu'ils présentent une résistance faible au courant d'un sens déterminé, et une résistance élevée au courant de sens opposé. Cette propriété est connue généralement sous le nom de *conductibilité dissymétrique ou unipolaire*. Si l'on introduit un tel élément dans un circuit à courant alternatif, il se comporte comme une soupape ou un clapet, en laissant passer les alternances du courant alternatif qui ont un sens déterminé, et en arrêtant les alternances de sens contraire. On peut réaliser ainsi un redresseur de courant alternatif.

liquide, ainsi que le montre la figure 66, l'électrode négative

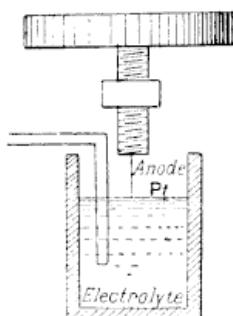


Fig. 66.

étant constituée par une lame ou un fil, ou par le récipient lui-même fait d'un métal inattaquable à l'eau acidulée.

En pratique, l'électrode positive est généralement formée d'un petit tube de verre capillaire T (fig. 67) immergé dans le liquide et portant à son extrémité une pointe de platine p extrêmement fine et très courte. Pour obtenir

une pointe très fine, on opère de la façon suivante : on soude un fil fin de platine dans un tube capillaire en verre, puis on chauffe ce dernier et on l'étire vivement jusqu'à ce qu'il se rompe. Le fil de platine s'étire en même temps que le tube, et, après rupture de l'ensemble, une très petite pointe de platine dépasse l'extrémité du verre fondu. La pointe est en contact, à l'intérieur du tube capillaire T, avec du mercure dans lequel passe un fil qui permet d'assurer la liaison électrique. L'électrode positive ainsi obtenue est placée dans le liquide avec une électrode négative P, formée d'un fil ou d'une lame de platine.

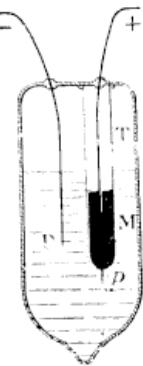


Fig. 67.

Le montage du détecteur électrolytique dans un circuit récepteur de radiotélégraphie est représenté schématiquement par la figure 68. L'antenne réceptrice A est reliée à la pointe positive du détecteur, dont l'électrode négative est connectée à la terre T. En dérivation sur le détecteur est branché un circuit contenant un récepteur téléphonique E et un dispositif, nommé *potentiomètre*, qui

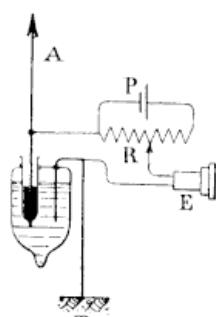


Fig. 68.

permet de régler exactement la différence de potentiel agissante (¹).

Le détecteur électrolytique peut être employé sans différence de potentiel auxiliaire, c'est-à-dire sans pile ni potentiomètre, mais, dans ce cas, sa sensibilité est beaucoup moindre que dans le cas précédent.

M. Jégou a établi un détecteur électrolytique spécial qui fonctionne sans différence de potentiel auxiliaire. La grosse électrode est formée d'un amalgame de mercure et de zinc. Elle occupe le fond du récipient en verre traversé par un fil de platine qui assure le contact. Au-dessus d'elle est versée l'eau acidulée, dans laquelle trempe la petite électrode. Celle-ci est, comme dans les autres détecteurs, une pointe très fine de platine. Dans cet appareil, il se produit évidemment une action chimique lente qui crée la faible différence de potentiel nécessaire à l'obtention d'une grande sensibilité. Le circuit du détecteur contient simplement le récepteur téléphonique et la bobine d'accouplement avec l'antenne.

Les détecteurs électrolytiques utilisés en Allemagne sont souvent construits pour deux sensibilités différentes : les uns sont établis avec une pointe positive relativement grosse : ils permettent d'obtenir dans le récepteur téléphonique des sons intenses, mais ils présentent une sensibilité

(¹) Le potentiomètre repose sur le principe suivant : une pile est fermée sur une résistance R dont une plus ou moins grande partie est reliée au circuit dérivé qui contient le téléphone ; la différence de potentiel produite par la pile P est absorbée par la résistance R, dans laquelle elle fait circuler un certain courant ; entre deux points quelconques de cette résistance R, il existe donc une certaine différence de potentiel, d'autant plus grande que les deux points sont plus éloignés l'un de l'autre. En déplaçant le point de contact du circuit dérivé sur la résistance R, on peut régler à volonté la différence de potentiel agissante, et obtenir ainsi le maximum de sensibilité du détecteur.

réduite : les autres ont une pointe très petite, et donnent des sons moins intenses dans le récepteur téléphonique, mais leur sensibilité est plus grande.

Différentes hypothèses ont été formulées pour expliquer le fonctionnement des détecteurs électrolytiques. Leurs propriétés ont été attribuées soit à des phénomènes électrolytiques (M. de Forest), soit à un dégagement de chaleur produit par le passage des ondes (M. Fessenden), soit à des phénomènes de polarisation des électrodes (MM. Reich, Dieckmann, Ives, Rothmund et Lessing, Macku).

Il semble que ces propriétés soient dues à plusieurs actions simultanées, action thermique, action chimique, action électrostatique à travers la mince pellicule gazeuse qui recouvre l'électrode, et enfin *action de dépolariation d'après laquelle le détecteur fonctionne comme redresseur pour les courants alternatifs.*

Cette dernière action semble être la plus importante, ainsi que l'ont montré des études très complètes de M. Pierce. Quand un courant oscillant atteint la pointe polarisée positivement, il détermine une dépolariisation de celle-ci, d'où résulte un accroissement de l'intensité du courant local circulant dans le circuit du récepteur téléphonique. Étant donné la faible valeur de l'énergie oscillante en jeu dans l'antenne réceptrice, on comprend facilement que la pointe doive être extrêmement petite pour que l'action exercée soit suffisamment importante.

33. — Détecteurs à cristaux.

Dans les débuts, plusieurs expérimentateurs ont utilisé certains détecteurs, nommés alors *cohéreurs autodécohérents*,

qui reprenaient d'eux-mêmes, *sans aucun choc*, leur résistance primitive dès que l'action des ondes cessait. Ces appareils comprenaient, pour la plupart, des contacts imparfaits entre charbon et métal, ou quelquefois entre du mercure et un métal.

En 1906, M. Dunwoody a réalisé un détecteur d'ondes avec un fragment de carborundum (¹). Les meilleurs résultats étaient obtenus quand il employait un simple cristal placé entre deux électrodes de cuivre contre lesquelles s'appuyaient ses bords. Le circuit était complété par un récepteur téléphonique et un potentiomètre. Pour que la sensibilité atteignit le maximum, il fallait mettre en contact avec les électrodes les bords minces du cristal. Les surfaces juxtaposées étaient alors extrêmement petites et, dans ces conditions, il suffisait d'un courant très faible pour produire un échauffement notable des points de contact. Aussi l'inventeur a-t-il d'abord admis que ce détecteur agit comme un détecteur thermique, par l'abaissement de la résistance de passage des contacts sous l'effet de la chaleur, mais il constata ensuite que l'appareil peut fonctionner sans pile auxiliaire.

Après avoir étudié le détecteur Dunwoody, M. Pickard a construit un appareil beaucoup plus sensible formé d'une pointe métallique appuyée sur une surface de silicium polie ou sur un fragment de zincite, de chalcopyrite ou de molybdénite (²).

D'innombrables détecteurs à cristaux ont été construits dans ces dernières années, utilisant différents minéraux ou diverses dispositions. Un bon modèle est celui du cap^e

(¹) Le carborundum est un *carbure de silicium* qui a presque la dureté du diamant. Il existe à l'état naturel et peut être fabriqué artificiellement au four électrique.

(²) Zincite == oxyde de zinc; chalcopyrite == pyrite de cuivre; molybdénite == minéral de molybdène.

Brenot, employé sans pile : cet appareil comprend un ou plusieurs cristaux de carborundum naturel, enchâssés dans un socle métallique, contre lesquels s'appuie une petite surface de platine que porte une tige articulée à piston, poussée par un ressort à boudin.

La figure 69 représente un détecteur Helsby, comprenant six cristaux de galène (¹) dont l'un quelconque peut être amené au contact d'une pointe aiguë qu'un ressort et une vis de réglage permettent d'appuyer contre le cristal avec une pression convenable.

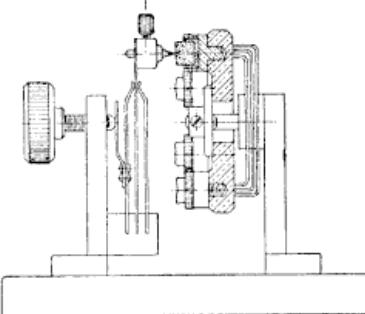


FIG. 69.

M. Pierce a consacré d'importants travaux aux détecteurs à cristaux, sur lesquels il a fait de très nombreuses expériences. Ses résultats montrent très nettement que *ce n'est pas un phénomène thermo-électrique qui intervient au contact : c'est uniquement un phénomène de conductibilité unipolaire qui détermine l'action des détecteurs à cristaux*. Cet expérimentateur a prouvé que le courant de nature thermo-électrique qui prend naissance n'excède pas la cinq cent millième partie du courant redressé : il a même constaté que l'effet thermo-électrique est souvent opposé à l'effet de conductibilité unipolaire.

Le cap^e Brenot et le com^t Tissot sont, de leur côté, arrivés à des conclusions analogues.

Les détecteurs à cristaux sont des appareils très sensibles et commodes, mais ils sont facilement détériorés par les parasites et exigent de fréquents réglages.

(¹) Les cristaux de galène (sulfure de plomb) donnent les meilleurs résultats, surtout s'ils sont préparés artificiellement.

34. — *DéTECTEURS magnétiques.*

Plusieurs savants ont signalé que le courant oscillant provenant de la décharge d'un condensateur exerce une action sur des noyaux de fer préalablement aimantés.

En 1896, M. Rutherford utilisa cette propriété des oscillations pour établir un détecteur d'ondes : dans cet appareil, les oscillations électriques traversaient une bobine enveloppant un noyau de fils de fer, et produisaient une diminution de l'aimantation de ce noyau. La diminution d'aimantation était mesurée au moyen d'un magnétomètre.

En 1902, M. Marconi construisit un appareil basé sur le principe suivant :

Quand on soumet un morceau de fer à l'action d'un champ magnétique variable, on constate que les variations d'aimantation sont en retard sur les variations de champ magnétique qui leur donnent naissance : c'est le phénomène de l'*hystérésis magnétique*⁽¹⁾. Or les oscillations électriques produisent, sur le fer doux, une action équivalente à la suppression de l'hystérésis, d'où résulte une variation brusque d'aimantation dans un noyau soumis à un champ magnétique variable.

Le premier appareil construit sur ce principe par M. Marconi était établi de la façon suivante : un noyau de fer est placé dans une bobine de fil de cuivre dont les extrémités sont reliées d'une part à l'antenne et d'autre part à la terre : il est soumis au champ magnétique périodiquement variable produit par un aimant qui tourne d'un mouvement uniforme autour d'un axe vertical. La bobine primaire, qui traversent les oscillations électriques engendrées dans l'antenne par l'action des ondes provenant du poste trans-

(1) Voir APPENDICE I, § 9².

metteur, est entourée elle-même d'une bobine secondaire reliée à un récepteur téléphonique. Lorsque, sous l'action des oscillations, il se produit une brusque variation d'aimantation du noyau, une force électromotrice induite prend naissance dans la bobine secondaire et engendre un courant dans le circuit du récepteur téléphonique, qui fait alors entendre un son.

Au lieu de faire varier, par la rotation de l'aimant, le champ magnétique qui agit sur un noyau fixe, on peut employer un champ magnétique fixe, produit par un aimant immobile, et déplacer le noyau de fer. C'est ce qu'a fait ensuite M. Marconi, en utilisant un dispositif dans lequel le noyau est constitué par un fil ou câble de fer sans fin passant sur deux poulies qui l'entraînent d'une façon continue.

La figure 70 donne une vue schématique de cet appareil.

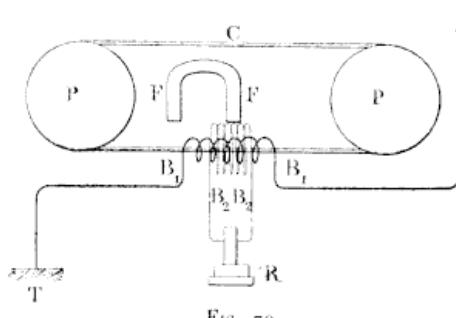


FIG. 70.

Le noyau est formé par le câble sans fin C, en fils de fer très fins isolés, que portent deux poulies à gorge PP, dont l'une tourne à une faible vitesse sous l'action d'un mécanisme d'horlogerie. Ce câble

sans fin se déplace longitudinalement en face des pôles de l'aimant FF', suivant l'axe d'un tube isolant qui porte une bobine primaire B₁B₁ embrochée entre l'antenne et la terre : sur cette bobine est disposée une bobine secondaire B₂B₂, d'un grand nombre de tours de fil fin, reliée à un récepteur téléphonique R.

L'aimant exciteur FF est disposé de telle façon que l'un des pôles soit placé en face du milieu des bobines, et l'autre pôle en face de l'une ou l'autre de leurs extrémités. On peut aussi, pour augmenter la sensibilité, employer deux aimants

ayant chacun un pôle (de même nom) en face du milieu des bobines ; les seconds pôles correspondent aux deux extrémités de la bobine primaire B_1 (fig. 71).

Le fonctionnement de cet appareil peut être expliqué de la façon suivante :

En raison des phénomènes d'hystérésis, l'aimantation que prend le fer mobile en face du pôle N de l'aimant persiste plus longtemps qu'elle ne devrait, et chaque portion du câble successivement aimantée se déplace jusqu'à une certaine distance du pôle avant que la désaimantation soit complète. Si, à ce moment, des oscillations électriques traversent la bobine primaire B_1 , et agissent sur le câble qui forme le noyau de celle-ci, les phénomènes de retard à la désaimantation sont modifiés, et il en résulte une brusque variation de l'aimantation du câble au point considéré. Cette variation entraîne une variation du champ magnétique local : une force électromotrice est donc induite dans la bobine secondaire B_2 reliée au récepteur téléphonique ; celui-ci fait alors entendre un son.

Sous sa dernière forme, le détecteur magnétique est un appareil très sensible et relativement commode : son emploi est général dans les postes Marconi.

M. Fleming a construit un détecteur magnétique dans lequel le noyau fixe est aimanté par l'action d'un courant intermittent circulant dans quatre bobines reliées à un commutateur tournant. Deux autres bobines sont connectées à

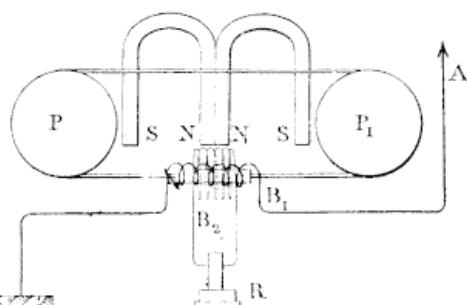


FIG. 71.

l'antenne et à la terre; enfin une bobine secondaire, reliée à un galvanomètre, recouvre le tout.

Un autre type de détecteur magnétique a été inventé par MM. Walter et Ewing.

Ces expérimentateurs ont trouvé que l'acier *dur* peut présenter un *accroissement d'hystérésis* s'il est traversé par des oscillations électriques pendant qu'il est soumis à un champ magnétique tournant.

Dans leur appareil, un électro-aimant tourne assez rapidement autour d'une bobine en fil d'acier dur isolé: pendant sa rotation, il tend à faire tourner, en vertu du couple dû aux phénomènes d'hystérésis, la bobine en fil d'acier convenablement suspendue: l'effort ainsi produit est contrebalancé par la torsion de la suspension élastique.

Quand des oscillations électriques traversent le fil d'acier, l'hystérésis de celui-ci est accrue et l'effort d'entraînement de la bobine par le champ tournant augmente: la bobine tourne donc d'un certain angle. Une aiguille, se déplaçant devant un cadran gradué, permet de mesurer l'intensité des oscillations électriques. On peut également fixer à la bobine un petit miroir et observer la déviation d'un rayon lumineux.

M. Walter a construit ensuite sur le même principe un appareil donnant des courants redressés que l'on peut mesurer au moyen d'un galvanomètre.

La figure 72 indique la disposition adoptée. Deux bobines de fil d'acier BB_1 tournent dans les champs magnétiques créés par les aimants fixes NS et N_1S_1 . Les extrémités de la bobine B_1 aboutissent à deux bagues métalliques que des frotteurs r permettent de mettre en communication avec le circuit récepteur; les extrémités de la bobine B sont isolées.

Deux paires de cadres perpendiculaires l'un à l'autre, WW' et $W_1W'_1$, portent des enroulements en fil de cuivre aboutissant à un petit commutateur quadruple C : ces cadres tournent en même temps que les bobines BB_1 et avec elles. Les balais qui frottent sur le collecteur C sont reliés à un galvanomètre sensible.

Les bobines B et B_1 sont semblables, et les enroulements équivalents des cadres WW' et $W_1W'_1$ sont connectés entre eux de façon que les forces électromotrices engendrées normalement par la rotation dans les champs magnétiques NS et N_1S_1 soient égales et opposées. Dans ces conditions, il n'existe aucune différence de potentiel entre les balais qui frottent sur le collecteur, et le galvanomètre reste au repos.

Mais si des oscillations viennent à traverser la bobine B_1 en fil d'acier, les conditions d'équilibre sont rompues entre les forces électromotrices induites dans les cadres WW' et $W_1W'_1$: un certain courant, redressé par le collecteur C , traverse alors le galvanomètre, dont la déviation mesure l'intensité des oscillations.

Un détecteur magnétique, différent des précédents, a été imaginé par M. Rossi.

Si l'on tend un fil de fer très fin parallèlement à deux aimants semblables ayant leurs pôles de même nom voisins (fig. 73), les deux moitiés de ce fil prennent des aimantations longitudinales égales et opposées. Si, alors, on fait circuler dans le fil un certain courant, le champ magnétique circulaire transversal, créé par ce courant, réagit sur le champ

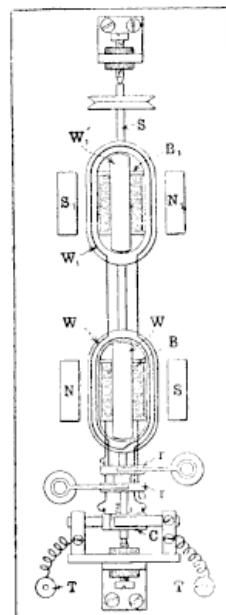


FIG. 72.

magnétique longitudinal et tend à faire tourner le fil sur lui-même en le tordant.

Si le courant qui traverse le fil est alternatif, l'effort de torsion change de sens à chaque demi-période du courant et le fil effectue des *oscillations de torsion*. L'amplitude de ces oscillations peut atteindre une valeur appréciable quand le fil est suffisamment fin; cette amplitude est considérablement augmentée si le courant a une fréquence égale à la fréquence propre des oscillations de torsion du fil: dans ce cas, il y a résonance.



Fig. 73.

Si, pendant que le fil effectue des oscillations de torsion comme cela vient d'être expliqué, des oscillations électriques agissent sur lui, il se produit une brusque variation des phénomènes d'aimantation, et l'amplitude des oscillations de torsion est modifiée.

Le détecteur de M. Rossi est représenté schématiquement par la figure 73. Un fil de fer *f* de deux dixièmes de millimètre de diamètre a une longueur telle que sa fréquence propre d'oscillation de torsion soit la même que celle du courant alternatif dont on dispose (42 ou 50 périodes par seconde, en général).

Il est maintenu tendu, parallèlement à un support isolant, par deux bornes *P* et *P'* munies de petits ressorts. Ces bornes servent en même temps à amener au fil le courant alternatif qui doit le traverser. Au support sont fixés deux barreaux aimantés semblables, *NS* et *N'S'*, parallèles au fil, ayant leurs pôles de même nom *N* et *N'* en regard l'un de l'autre.

Deux bobines semblables *BB'*, enroulées en sens opposés sur deux tubes de verre, entourent le fil *f* et sont reliées

d'une part à l'antenne et d'autre part à la terre. Elles peuvent également faire partie d'un circuit oscillant excité induc-tivement par l'antenne.

Enfin, un tout petit miroir M est fixé au fil *f* en son mi-lieu, et réfléchit un rayon lumineux projeté sur lui.

Quand le fil est parcouru par un courant alternatif, de fréquence égale à la fréquence propre du système vibrant composé du fil *f* et du miroir, le rayon lumineux réfléchi par ce dernier trace sur un écran une bande lumineuse d'une certaine longueur. Si, l'appareil étant ainsi réglé, des oscil-lations électriques traversent les bobines B et B', la longueur de cette bande varie brusquement. On peut donc suivre les signaux émis par le poste transmetteur ; il est même possible d'en obtenir l'enregistrement photographique.

On peut modifier cet appareil en remplaçant les bobines B et B' par un tube métallique fendu, dans lequel passe le courant alternatif excitateur. Le fil *f* est intercalé entre l'an-tenne et la terre. Le tube de cuivre agit sur le fil par effet électrostatique (capacité). Il semble probable que l'on pour-rait, sans abaisser beaucoup la sensibilité, supprimer les deux aimants NS et N'S'.

35. — *Détecteurs à vide.*

On a proposé depuis longtemps d'employer comme détec-teurs différentes sortes de tubes vides d'air. M. Righi, M. Tuma et M. Zehnder ont utilisé à cet effet, pour répéter certaines expériences de Hertz, des tubes de Geissler ou des appareils équivalents, qui s'illuminaiient sous l'action des ondes élec-triques. De tels détecteurs ont une faible sensibilité, et n'ont pu faire l'objet d'aucune application pratique.

En 1904 M. Fleming signala un phénomène très particu-

lier de conductibilité unipolaire que présentent certains tubes à vide, et utilisa ce phénomène pour l'établissement d'un détecteur nommé *Valve*.

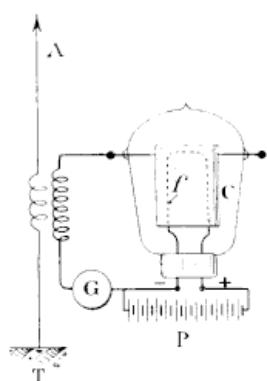


FIG. 74.

Si une ampoule vide d'air, semblable à une lampe (fig. 74), contient un cylindre métallique froid C, à l'intérieur duquel est disposé un filament incandescent *f*, un courant électrique peut passer de la partie froide (cylindre) vers la partie chaude (filament), mais non en sens inverse, l'appareil se comportant comme une soupape. Le montage d'un tel détecteur dans le circuit récepteur est indiqué schématiquement par la figure 74: une batterie P sert à maintenir le filament incandescent.

Par la suite, M. Fleming a employé un filament de tungstène (au lieu de charbon), entouré d'un cylindre froid en cuivre: le phénomène de conductibilité unipolaire est ainsi plus marqué.

En octobre 1906, M. L. de Forest a décrit un détecteur semblable à celui de M. Fleming, mais utilisé d'une façon différente. Cet appareil, nommé *Audion* (fig. 75), consiste en une ampoule vide d'air contenant un filament de charbon incandescent et deux feuilles de platine parallèles à ce filament. Un circuit comprenant une batterie B, un appareil de mesure G et un téléphone T est relié d'une part aux feuilles

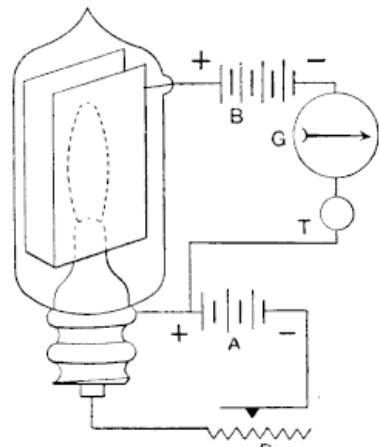


FIG. 75.

de platine (pôle positif de la batterie B), et d'autre part au filament incandescent⁽¹⁾. Dans ces conditions, un faible courant circule dans le circuit en passant des feuilles de platine au filament, et l'appareil de mesure G indique une certaine déviation.

Lorsque des oscillations électriques agissent sur l'audion, l'intensité du courant local produit par la batterie B augmente brusquement et le téléphone T fait entendre un son

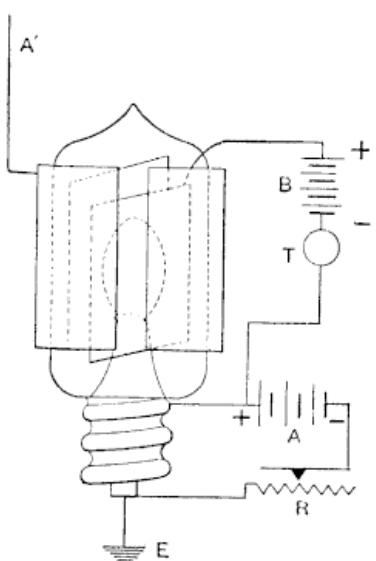


FIG. 76.

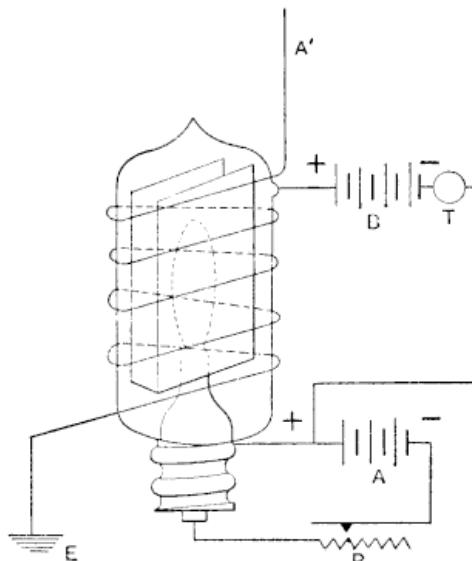


FIG. 77.

très net. Il suffit donc, pour employer ce détecteur dans un poste radiotélégraphique, de relier les feuilles de platine à l'antenne et le filament à la terre.

On peut également employer les montages qu'indiquent les figures 76 et 77. Dans le premier, l'extrémité de l'antenne est connectée à deux plaques métalliques placées sur la paroi extérieure du tube et formant un condensateur avec le filament qui est relié à la terre. Dans le second montage (fig. 77), les oscillations électriques traversent une bobine

⁽¹⁾ Alimenté par la batterie A.

de fil entourant le tube, ou bien une bobine plate placée contre le tube et ayant son axe perpendiculaire au filament.

L'inventeur a observé que la distance qui sépare les feuilles de platine du filament doit être réglée d'après la fréquence des oscillations de l'antenne, si l'on veut obtenir le maximum de sensibilité.

Sous sa forme actuelle, l'audion comprend une plaque de platine ou de nickel et une spirale en même métal, disposées de part et d'autre du filament incandescent.

M. de Forest a employé aussi une autre forme d'audion, dans laquelle l'ampoule contient de la vapeur de mercure sous une très faible pression. Comme le montre la figure 78.

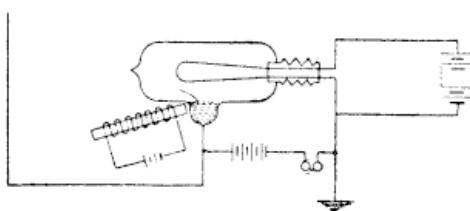


FIG. 78.

le détecteur comprend deux électrodes, l'une constituée par un filament incandescent, et l'autre constituée par du mercure dont la va-

peur remplit l'ampoule. Un champ magnétique, produit par un électro-aimant, agit dans la région comprise entre la surface du mercure et le filament ; par suite d'un phénomène particulier, la fréquence des oscillations pour laquelle le détecteur présente la plus grande sensibilité varie avec l'intensité du champ magnétique : on règle donc sa valeur pour obtenir le maximum d'effet.

Plusieurs expérimentateurs ont employé avec succès des détecteurs à vide contenant un fil de platine recouvert d'oxydes métalliques incandescents (de la chaux en général) et une ou deux feuilles de cuivre froides entourant ce fil.

Les propriétés des détecteurs à vide paraissent devoir être attribuées nettement au phénomène de conductibilité unipolaire. Ces appareils présentent l'avantage d'être d'un fonctionnement très régulier.

CHAPITRE VII

MODES DE FONCTIONNEMENT ET D'UTILISATION DES ANTENNES. — PROPAGATION DES ONDES

D'après ce qui a été dit au chapitre V, on voit que l'antenne joue, en Radiotélégraphie, un rôle absolument capital. Il y a donc lieu d'étudier en détail les phénomènes en jeu dans les antennes, et les modes d'accouplement de celles-ci avec les appareils ou les circuits excitateurs ou récepteurs.

36. — *Phénomènes en jeu dans les antennes transmettrices.*

Considérons l'antenne simple transmettrice *sans capacité terminale*, et examinons ce qui s'y passe quand cette antenne est excitée directement au moyen d'un éclateur embroché sur elle.

Le conducteur aérien A, l'étincelle qui jaillit entre les boules de l'éclateur E⁽¹⁾, et le fil de jonction à la terre T (fig. 79) constituent un conducteur ininterrompu.

(1) L'éclateur E peut être alimenté d'une façon quelconque : cela n'importe pas pour l'étude des vibrations de l'antenne.

D'après ce qui a été dit au chapitre iv⁽¹⁾, il doit se former dans ce conducteur des ondes stationnaires présentant des nœuds et des ventres distants les uns des autres d'un quart de longueur d'onde. Nous savons aussi que les nœuds de courant se trouvent aux mêmes points que les ventres de tension, et les ventres de courant aux mêmes points que les nœuds de tension. Or, dans une antenne simple, telle que celle que représente la figure 79, *le point où le fil inférieur pénètre dans le sol est évidemment un nœud de tension*, si la prise de terre est bonne, puisque le potentiel de la terre est nul par définition⁽²⁾. Il existe alors, en ce point, un ventre de courant.

Donc, *au pied d'une antenne en vibration reliée à la terre, il existe un nœud de tension et un ventre de courant.*

A l'extrémité supérieure de l'antenne, il existe forcément un nœud de courant, puisque l'intensité y est nulle, le conducteur étant interrompu et isolé. Il existe alors en ce point un ventre de tension. Donc, *à l'extrémité supérieure d'une antenne en vibration reliée à la terre, il existe un ventre de tension et un nœud de courant.*

Nous savons que les deux points singuliers ainsi déterminés — nœud de tension et ventre de courant; ventre de tension et nœud de courant — sont distants de un quart, trois quarts, cinq quarts..., etc., de longueur d'onde⁽³⁾. Le

(1) § 21, page 72.

(2) APPENDICE I, § 87.

(3) Aux points singuliers distants d'un nombre *impair* de quarts de longueur d'onde, les nœuds et ventres sont discordants, c'est-à-dire nœud de tension et ventre de courant pour le premier; ventre de tension et nœud de courant pour les suivants; c'est le cas qui nous occupe.

Aux points singuliers distants d'un nombre *pair* de quarts de longueur d'onde,



FIG. 79.

premier cas est le plus général : *l'antenne vibre en quart d'onde*, c'est-à-dire que la longueur d'onde des ondes émises est égale au quadruple de la longueur *réelle*⁽¹⁾ de l'antenne.

Dans les autres cas, l'antenne vibre en trois quarts, cinq quarts..., etc., de longueur d'onde : il existe alors, le long de l'antenne, d'autres points singuliers, distants les uns des autres d'un quart de longueur d'onde, où il apparaît des ventres et des nœuds de tension et de courant.

On peut figurer schématiquement la répartition de la tension le long de l'antenne. Par exemple, représentons par un trait vertical AB' (fig. 8o), une antenne vibrant en quart d'onde. Si l'on élève le long de AB des perpendiculaires ayant chacune une longueur proportionnelle à la valeur de la tension au point considéré de l'antenne, et si l'on réunit ensemble par une courbe (trait interrompu, fig. 8o) les extrémités de ces perpendiculaires, on obtient une représentation commode de la répartition de la tension le long de l'antenne.

On peut représenter de la même façon, si l'on veut, la répartition de l'intensité de courant le long de l'antenne : la courbe montrerait un ventre de courant au pied de l'antenne et un nœud de courant au sommet.

Pour vérifier expérimentalement la répartition de la tension, on peut déplacer le long de l'antenne un tube à vide



Fig. 8o.

les nœuds et les ventres sont concordants, c'est-à-dire, pour tous, nœud ou ventre de tension avec ventre ou nœud de courant.

(1) Par longueur *réelle*, il faut entendre la longueur comptée jusqu'au point où il existe un bon contact électrique avec la terre humide (prise de terre) et non la longueur comptée jusqu'à la surface du sol.

dont l'éclat est d'autant plus brillant que la tension a une valeur plus élevée : l'une des électrodes de ce tube est approchée de l'antenne en un point variable ; l'autre électrode est reliée à la terre. On pourrait également disposer au voisinage de l'antenne, en différents points, un certain nombre de tubes à vide, exactement semblables entre eux, dont les éclats différents simultanés montreraient la répartition de la tension. On pourrait enfin, au lieu de tubes à vide dont on observe l'éclat lumineux, employer de petits éclateurs à intervalle d'air réglable (¹), reliés d'une part à l'antenne et d'autre part à la terre : on observerait en chaque point la plus grande distance explosive pour laquelle des étincelles peuvent jaillir à travers l'éclateur, et on en déduirait la valeur de la tension.

Des mesures analogues de la répartition de l'intensité de courant pourraient être faites au moyen d'un appareil thermique embroché successivement en différents points de l'antenne.

On se rend compte simplement que la tension va en croissant depuis le pied de l'antenne jusqu'à son extrémité libre par les étincelles que l'on peut en tirer et dont la longueur augmente depuis la base jusqu'au sommet. La loi théorique d'après laquelle l'antenne vibre en quart d'onde est suffisamment vérifiée en pratique : cependant, la longueur d'onde des ondes engendrées est toujours un peu supérieure au quadruple de la longueur de l'antenne, à cause de certaines influences dont on ne peut tenir compte que dans une théorie rigoureuse et compliquée : la différence entre le résultat rigoureux et le résultat approché est d'ailleurs faible.

Au point de vue du fonctionnement de l'antenne, qui,

(¹) L'une des boules de chaque éclateur est, par exemple, fixée à une vis micrométrique qui permet de connaître avec exactitude l'écartement des boules.

prise isolément, constitue la moitié d'un circuit oscillant ouvert, la terre agit comme contre-partie. On dit souvent que la terre forme le *contre-poids* de l'antenne, ou qu'elle agit comme l'*image de l'antenne*, c'est-à-dire comme une seconde antenne symétrique de la première par rapport à la surface du sol.

Au lieu de relier le pied de l'antenne à une prise de terre, on peut le faire aboutir à une capacité convenable, ou à un réseau de fils formant l'armature d'un condensateur dont l'autre armature est constituée par la terre.

Quelquefois, il est impossible de relier l'antenne à une prise de terre : c'est le cas, par exemple, lorsqu'étant en ballon, on veut transmettre ou recevoir des signaux. On peut alors doubler la longueur d'antenne, c'est-à-dire employer une antenne de longueur égale à une demi-longueur d'onde : il se forme aux deux extrémités des nœuds de courant avec des ventres de tension et, au milieu de l'antenne, un ventre de courant

avec un nœud de tension. La figure 81, sur laquelle l'antenne est supposée isolée à ses deux extrémités, représente ce cas. Il y a un ventre de tension en A et en B, et un nœud en C, au milieu de l'antenne.

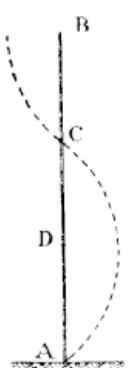


FIG. 82.

Si l'antenne vibre en trois quarts d'onde, il y a un nœud de courant avec un ventre de tension à l'extrémité supérieure ; un ventre de courant avec un nœud de tension un quart de longueur d'onde plus bas ; un nœud de courant avec un ventre de tension encore un quart de longueur d'onde plus bas ; et enfin un ventre de courant avec un nœud de tension au pied de l'antenne (prise de terre). Ce cas est représenté

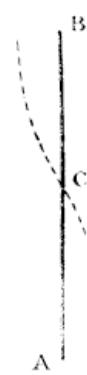


FIG. 81.

par la figure 82 sur laquelle la ligne en trait interrompu indique schématiquement la répartition de la tension.

37. — Modes d'emploi des antennes transmettrices.

I. Antenne excitée directement. — Le cas de l'antenne excitée directement est celui qui vient d'être étudié. Un

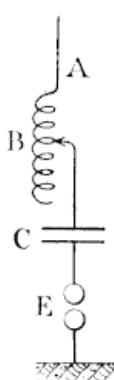


Fig. 83.

éclateur E (fig. 83), alimenté par une bobine d'induction ou par un transformateur convenable, est embroché sur l'antenne A qu'il met en vibration. Une bobine de self-induction B, dont un nombre de tours variable est intercalé dans l'antenne, permet d'augmenter, en cas de besoin, la période propre d'oscillation de l'antenne et, par suite, la longueur d'onde des ondes engendrées. Au contraire, un condensateur C, de capacité réglable, peut permettre d'abaisser la période propre d'oscillation de l'antenne, et, par suite, de diminuer la longueur d'onde des ondes engendrées⁽¹⁾.

L'une des électrodes de l'éclateur est reliée, par un fil aussi court que possible, à la prise de terre T.

II. Antenne excitée par un circuit oscillant fermé. — Avec l'excitation directe de l'antenne, que représente la figure 83, on ne peut pas mettre en jeu une quantité d'énergie importante. En effet, cette quantité d'énergie est proportionnelle à la capacité du système, laquelle se réduit ici à la capacité de l'antenne, toujours forcément très faible.

(1) L'effet d'un condensateur placé *en série* avec l'antenne (c'est-à-dire embroché sur elle) est de *diminuer* la capacité.

Nous avons vu⁽¹⁾ que, pour augmenter la quantité d'énergie en jeu et les effets de résonance, plusieurs inventeurs ont accouplé l'antenne transmettrice avec un circuit oscillant fermé contenant une capacité de valeur convenable.

Cet accouplement peut être direct, inductif, ou mixte, comme pour les circuits oscillants fermés étudiés au chapitre II. En général, le circuit oscillant fermé et l'antenne accouplée avec lui doivent être accordés ensemble d'une façon très précise, pour que les conditions de résonance soient remplies et que le maximum d'effet soit obtenu.

1^o Accouplement direct. — Dans le cas de l'accouplement direct (fig. 84), rarement employé en pratique, le circuit fermé contient une bobine d'accouplement B et un condensateur C : l'antenne comprend la bobine B, le fil de jonction à la terre et le conducteur aérien. Il faut régler la capacité du condensateur C pour que la fréquence propre d'oscillation du circuit fermé soit égale à celle de l'antenne. Le circuit oscillant est mis en vibration par l'action de l'éclateur E excité par une bobine d'induction ou par un transformateur.

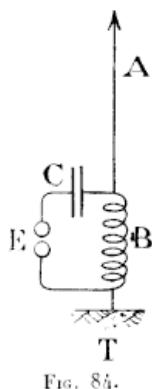


FIG. 84.

cité du condensateur C pour que la fréquence propre d'oscillation du circuit fermé soit égale à celle de l'antenne. Le circuit oscillant est mis en vibration par l'action de l'éclateur E excité par une bobine d'induction ou par un transformateur.

L'accouplement est plus ou moins serré suivant que la self-induction de la bobine B est plus ou moins grande.

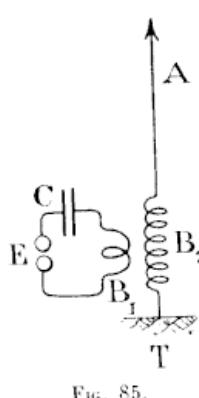


FIG. 85.

2^o Accouplement par induction. — Dans le cas de l'accouplement par induction (fig. 85), on peut réaliser un accouplement rigide ou un accouplement lâche, suivant que les

(1) Chap. V, § 26, page 87.

tours de la bobine secondaire B_2 embrassent la majeure partie ou une faible portion du nombre total des lignes de force magnétiques engendrées par la bobine primaire B_1 .

La valeur du coefficient d'accouplement joue un rôle extrêmement important.

Si le circuit oscillant et l'antenne accouplés n'ont pas la même fréquence propre, c'est-à-dire ne sont pas accordés ensemble, l'antenne présente, comme cela a été expliqué à propos des circuits oscillants accouplés, deux groupes d'oscillations de fréquence différentes : les unes, *oscillations forcées*, ont pour fréquence celle du circuit agissant ; les autres, *oscillations libres*, ont pour fréquence la fréquence propre de l'antenne. Les premières sont prédominantes pour un accouplement serré ; les secondes prédominent pour un accouplement lâche.

Ce cas est peu intéressant dans les applications pratiques, car, ainsi que cela a été expliqué, l'utilisation judicieuse des effets de résonance (accord entre l'antenne et le circuit oscillant) permet d'obtenir une amplification considérable des oscillations engendrées.

Si le circuit oscillant et l'antenne accouplés ont la même fréquence propre, c'est-à-dire ont été accordés, on peut leur appliquer les résultats indiqués au chapitre II pour deux circuits oscillants accouplés. L'antenne et le circuit oscillant ayant la même fréquence propre avant leur accouplement, il se produit, dans le système total, deux groupes d'oscillations de fréquences différentes. L'une des deux fréquences est plus petite et l'autre plus grande que la fréquence propre commune de l'antenne et du circuit.

Si l'on désigne par λ la longueur d'onde correspondant à la fréquence propre commune de l'antenne et du circuit os-

cillant excitateur, par λ_1 et λ_2 les longueurs d'onde correspondant aux fréquences des deux groupes d'oscillations qui prennent naissance dans le système formé par l'antenne et le circuit accouplés ensemble, les valeurs de λ_1 et λ_2 sont données par les formules :

$$\lambda_1 = \lambda\sqrt{1+k}; \quad \lambda_2 = \lambda\sqrt{1-k}$$

k étant le coefficient d'accouplement⁽¹⁾.

On voit immédiatement que, plus la valeur de k est faible, plus les deux fréquences se rapprochent l'une de l'autre. Pour $k=0$, les deux fréquences se confondraient, puisqu'on aurait

$$\lambda_1 = \lambda \quad \text{et} \quad \lambda_2 = \lambda.$$

Il n'y aurait plus qu'un seul groupe d'oscillations, dont la fréquence serait égale à la fréquence propre de l'antenne ou du circuit excitateur. Mais ce cas est irréalisable, puisque l'énergie transmise par le circuit excitateur serait nulle, et l'antenne ne vibrerait pas. En effet, la quantité d'énergie transmise par le circuit à l'antenne est proportionnelle au coefficient d'accouplement : plus l'accouplement est rigide, plus cette quantité d'énergie est grande ; plus l'accouplement est lâche, plus elle est faible.

Certains dispositifs, qui permettent d'obtenir une fréquence unique d'oscillation dans l'antenne, seront décrits chap. x. Il en a déjà été question à propos des circuits oscillants accouplés⁽²⁾.

(1) Rappelons que la valeur du coefficient d'accouplement k est donnée par la formule

$$k = \frac{m}{\sqrt{l_1 l_2}},$$

m étant le coefficient d'induction mutuelle du circuit excitateur et de l'antenne, l_1 le coefficient de self-induction de la bobine B_1 , l_2 le coefficient de self-induction de la bobine B_2 .

Pour plus de détails, voir APPENDICE I, § 99.

(2) Chap. III, § 14, page 48.

En pratique, on s'efforce de rapprocher autant que possible l'une de l'autre les fréquences des deux groupes d'oscillations, en employant un accouplement aussi faible que possible, mais néanmoins suffisant pour que l'énergie transmise à l'antenne par le circuit excitateur soit suffisante.

Cette question d'accouplement présentant une importance capitale, il n'est pas superflu d'insister longuement sur elle.

Quand l'accouplement est très lâche, l'antenne oscille à peu près librement sans réagir sur le circuit fermé qui l'excite inductivement : les fréquences des deux groupes d'oscillations sont très voisines l'une de l'autre et se confondent presque ; malheureusement, l'énergie transmise à l'antenne par le circuit fermé est faible.

Pour que le circuit oscillant cède beaucoup d'énergie à l'antenne, il faut que l'accouplement soit rigide. Mais, dans ce cas, il se produit une forte réaction du secondaire (antenne) sur le primaire (circuit fermé) : les fréquences des deux groupes d'oscillations qui prennent naissance dans le système sont très différentes, et l'action exercée sur l'antenne réceptrice est beaucoup moins nette⁽¹⁾.

Avec l'accouplement rigide, les amplitudes initiales des oscillations de l'antenne sont grandes, mais l'amortissement est rapide ; avec l'accouplement lâche, les amplitudes initiales des oscillations sont sensiblement plus faibles, mais l'amortissement est beaucoup moins rapide⁽²⁾.

⁽¹⁾ On est obligé d'accorder cette antenne, ainsi que le système récepteur, sur une seule des deux fréquences d'oscillation du système transmetteur.

⁽²⁾ M. Franck a établi, pour illustrer les phénomènes en jeu dans le circuit oscillant et dans l'antenne, un modèle mécanique tout à fait intéressant.

Comme nous l'avons vu dans l'étude des circuits oscillants, la capacité joue, au point de vue électrique, le même rôle que l'élasticité, et la self-induction joue le même rôle que l'inertie.

Dans le modèle du Dr Franck, le circuit oscillant fermé est représenté par une

M. Howe a publié, dans « The Electrician » des courbes intéressantes qui illustrent nettement l'effet de la valeur de l'accouplement. Ces courbes sont reproduites sur les figures 86, 87 et 88. Dans chacune d'elles, la courbe supérieure représente le courant dans le circuit oscillant et la courbe inférieure le courant dans l'antenne. La figure 86 se rapporte au cas d'un accouplement très lâche (5 pour 100) : l'antenne oscille librement, mais l'énergie transmise est faible ; les

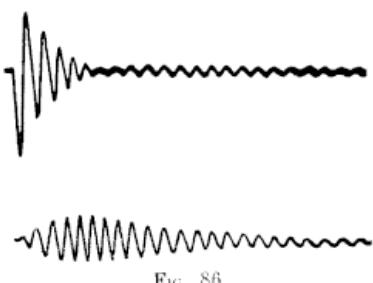


FIG. 86.

lame de ressort verticale, pincée dans une mâchoire à son extrémité inférieure et portant, vers son extrémité supérieure, une masselotte de plomb. L'antenne est représentée par une planche mince élastique, trois ou quatre fois plus haute que la lame vibrante, placée verticalement à quelque distance de celle-ci et fixée à sa base sur le support commun. Un ressort, plus ou moins rigide ou lâche, fixé à quelque distance de la base, relie la lame vibrante à la planche ; il réalise entre ces deux systèmes oscillants un accouplement rigide ou lâche. En déplaçant convenablement la masselotte portée par la lame vibrante et fixée par une vis, on peut régler la fréquence propre d'oscillation de celle-ci et lui donner une valeur exactement égale à la fréquence d'oscillation de la planche.

Les deux systèmes oscillants étant ainsi accordés, on les relie l'un à l'autre par un mince ruban de caoutchouc (accouplement lâche), et l'on met en vibration la lame élastique en écartant de sa position la masselotte de plomb : on voit alors la planche se mettre à vibrer peu à peu et effectuer des oscillations de même période et d'amplitude peu considérable. Après avoir atteint un maximum, l'amplitude des oscillations des deux systèmes va en décroissant lentement. C'est le cas de la résonance simple, obtenue avec un accouplement lâche.

On remplace ensuite le ruban de caoutchouc par un ressort à boudin moyennement rigide, et l'on voit, en faisant vibrer la lame élastique, que la planche entre aussitôt en vibration. Les deux groupes d'oscillations qui se produisent, et qui, pour cet accouplement moyennement rigide, ne diffèrent pas considérablement l'un de l'autre, produisent des battements visibles ; l'amplitude des vibrations de chacun des deux systèmes oscillants devient nulle au bout d'un certain nombre d'oscillations, tandis que l'amplitude des vibrations de l'autre système est maxima, puis les rôles s'inversent : le phénomène s'amortit et s'éteint sensiblement plus vite que dans le cas précédent.

Enfin si l'on remplace le ressort par une liaison rigide (accouplement rigide),

courbes des figures 87 et 88 sont relatives à des accouplements de plus en plus rigides : on voit nettement la réaction de l'antenne sur le circuit oscillant et les battements qui en résultent : la proportion d'énergie transmise à l'antenne est plus grande, mais la fréquence est irrégulière.



FIG. 87.

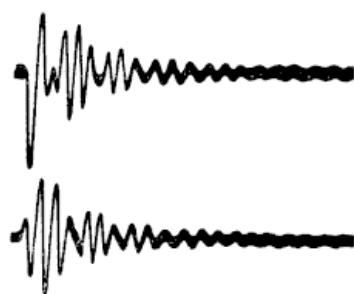


FIG. 88.

La quantité d'énergie que peut absorber une antenne dépend beaucoup de la valeur de l'amortissement et du coefficient d'accouplement. Pour une antenne présentant un fort amortissement, il est généralement meilleur d'employer un accouplement relativement rigide ; pour une antenne présentant un faible amortissement, on a avantage à employer un accouplement très lâche.

Pour obtenir le maximum d'effet, il est nécessaire d'accorder entre eux les différents circuits constituant le système transmetteur.

Pour accorder l'antenne A avec le circuit excitateur, on y intercale (fig. 89) un certain nombre de tours d'une bobine

la planche présente, dès le début, des oscillations d'amplitude beaucoup plus grande, mais le phénomène s'amortit très rapidement. Le mouvement irrégulier de la planche et les battements qui se produisent montrent nettement l'existence de deux groupes d'oscillations de fréquences sensiblement différentes.

de self-induction B' , et, au besoin, un condensateur C' de capacité variable. On règle le nombre de tours actifs et aussi, au besoin, la capacité du condensateur C' de façon à amener l'antenne en résonance avec le circuit oscillant excitateur. Pour reconnaître le moment où la résonance est obtenue, on peut intercaler au pied de l'antenne (ventre d'intensité) un ampèremètre thermique M : l'accord est réalisé au moment où l'aiguille de cet appareil indique un maximum.

Une fois que cet accord est obtenu, on règle la valeur de l'accouplement en éloignant plus ou moins l'une de l'autre les bobines B_1 et B_2 ou en modifiant le nombre des spires de la bobine B_2 intercalées dans l'antenne. On détruit ainsi plus ou moins l'accord primitivement réalisé, et il y a lieu de parachever le réglage en modifiant à nouveau le nombre de tours de la bobine B' . Après quelques tâtonnements successifs, on arrive à réaliser un accord convenable.

On pourrait aussi, en cas de nécessité, accorder le circuit oscillant excitateur sur l'antenne, en modifiant les valeurs de la self-induction et de la capacité de ce circuit.

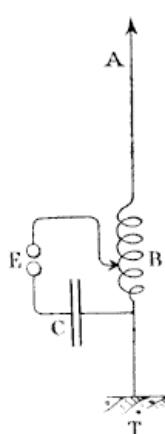


FIG. 89.

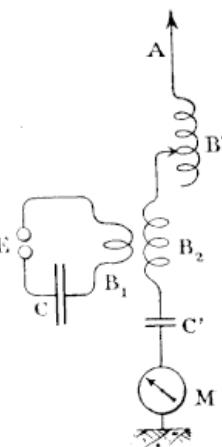


FIG. 89.

3^e Accouplement mixte. — Comme cela a été dit à propos des circuits oscillants, on peut réaliser un accouplement mixte, agissant comme un accouplement direct et comme un accouplement inductif.

La figure 90 montre ce mode d'accouplement, qui est commode et fréquemment employé en pratique. Une por-

tion plus ou moins importante de la bobine B, intercalée dans l'antenne, fait aussi partie du circuit oscillant exciteur. La liaison entre le circuit et l'antenne est doublement réalisée, d'une part par la portion commune de la bobine B (accouplement direct), d'autre part par l'action inductive qu'exercent, sur la totalité de la bobine, les tours intercalés dans le circuit exciteur.

Il n'est pas possible, avec ce mode de liaison, de réaliser des accouplements très lâches entre le circuit exciteur et l'antenne, mais cela n'est pas un inconvénient, puisque en

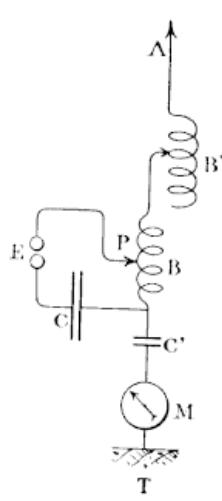


FIG. 91.

Radiotélégraphie, il n'est pas possible de descendre au-dessous d'une certaine limite si l'on veut mettre en jeu une quantité d'énergie suffisante. Au contraire, l'accouplement mixte permet de faire varier très commodément la valeur de l'accouplement en modifiant simplement le nombre de tours de la bobine B intercalés dans le circuit exciteur.

La figure 91 indique comment on effectue l'accord.

Au moyen de la bobine B', dont on modifie le nombre de tours agissant dans

l'antenne et, au besoin, au moyen du condensateur réglable C', on amène l'antenne en résonance avec le circuit oscillant exciteur. On peut reconnaître, au moyen de l'ampèremètre thermique M, le moment où l'accord est obtenu. Ensuite on modifie à volonté la valeur de l'accouplement du circuit exciteur et de l'antenne, en déplaçant sur la bobine B le point de contact P du circuit oscillant. Enfin, on rétablit à nouveau l'accord de l'antenne en agissant sur la bobine B ou sur le condensateur C', puis après quelques tâtonnements, on arrive à un accord convenable.

Tout ce qui a été dit, à propos de l'accouplement inductif, sur l'existence des deux groupes d'oscillations de fréquences différentes et sur les valeurs les plus avantageuses du coefficient d'accouplement, s'applique sans restriction au cas de l'accouplement mixte.

Remarque. — Avec les trois modes d'accouplement décrits ci-dessus (direct, inductif et mixte), il est possible, au lieu de faire vibrer l'antenne en quart d'onde, de la faire vibrer en trois quarts d'onde, comme l'indique la figure 82.

Il suffit pour cela de régler convenablement le circuit exciteur, de façon que sa fréquence propre soit trois fois plus grande que la fréquence propre de vibration de l'antenne, c'est-à-dire qu'elle corresponde à des ondes dont la longueur d'onde soit le tiers de la longueur d'onde propre de l'antenne.

Par exemple, une antenne ayant une longueur d'onde propre de 900 mètres peut être excitée par des oscillations correspondant à une longueur d'onde de 300 mètres.

Ce cas n'est guère intéressant en pratique, où l'on s'efforce d'utiliser des longueurs d'onde aussi grandes que possible, c'est-à-dire des fréquences aussi basses que possible. Néanmoins il peut se présenter assez fréquemment dans des postes côtiers puissants qui, pour communiquer avec des bateaux ou pour se conformer à certains règlements, sont conduits à employer des longueurs d'onde de 300 ou de 600 mètres.

38. — *Phénomènes en jeu dans les antennes réceptrices.*

Au poste récepteur, l'antenne, impressionnée par les

ondes électromagnétiques émises par le transmetteur, entre en vibration à son tour. Elle présente un ventre de tension avec un nœud de courant à son extrémité supérieure, et un nœud de tension avec un ventre de courant à sa base : elle peut vibrer en quart d'onde (cas général), ou bien en trois quarts d'onde, cinq quarts d'onde, etc.

On obtient le maximum d'effet entre l'antenne transmettrice et l'antenne réceptrice quand il y a résonance, c'est-à-dire quand les deux antennes ont la même fréquence propre d'oscillation. Avec des antennes simples formées d'un seul fil aérien, il faut, pour que les fréquences propres d'oscillation soient les mêmes, que les longueurs actives soient égales.

Si les longueurs des deux portions aériennes ne peuvent pas être égales, par suite des hauteurs différentes des supports dont on dispose, on est conduit à ajouter, à l'antenne la plus courte, une certaine longueur de fil enroulé sous forme d'une bobine. Cette bobine peut porter un curseur mobile, permettant de modifier le nombre de tours de fil mis en circuit : on réalise ainsi une *bobine d'accord*.

On peut également, au lieu d'ajouter des tours de fil à l'antenne la plus courte, intercaler dans l'antenne la plus longue un condensateur de capacité convenable, dont la présence a pour effet de diminuer la capacité et d'abaisser, par suite, la fréquence des vibrations.

L'antenne réceptrice vibre en trois, cinq... etc., quarts d'onde, si la longueur d'onde des ondes agissant sur elles correspond à une fréquence trois, cinq... etc. fois plus grande que sa fréquence propre. Par exemple, une antenne ayant 1 800 ou 3 000 mètres de longueur d'onde propre peut servir pour la réception de signaux émis au moyen d'ondes de 600 mètres de longueur d'onde. Ce cas est intéressant

pour les postes puissants qui travaillent normalement avec de grandes longueurs d'onde, et qui peuvent ainsi recevoir les signaux émis par les petits postes, tels que ceux des bateaux, travaillant avec une courte longueur d'onde (600 ou 300 mètres).

Ceci dit, étudions en détail les phénomènes en jeu dans l'antenne réceptrice.

Pour cela, faisons fonctionner d'une façon continue un poste transmetteur, de façon à émettre des ondes sans interruption, et examinons ce qui se passe dans une antenne réceptrice dont nous faisons varier graduellement la fréquence propre d'oscillation depuis une valeur inférieure à la fréquence des ondes agissantes jusqu'à une valeur supérieure à cette fréquence.

Afin de pouvoir mesurer commodément l'intensité du courant oscillant engendré dans l'antenne réceptrice, *qui n'est supposée reliée à aucun appareil détecteur ni à aucun circuit oscillant*, intercalons à la base de celle-ci un ampèremètre thermique de très grande sensibilité⁽¹⁾.

I. — Supposons d'abord que l'antenne transmettrice soit une antenne à excitation directe (fig. 79).

Nous constatons, en modifiant graduellement la fréquence propre de l'antenne réceptrice⁽²⁾, que l'intensité du cou-

(1) Par exemple, prenons un appareil analogue au détecteur thermique de M. Fessenden (chap. vi, § 30, page 108) et plaçons son fil chaud dans le réservoir d'un thermomètre à air : l'échauffement du fil est proportionnel au carré de l'intensité du courant oscillant qui le traverse, et cet échauffement détermine une dilatation de l'air du réservoir thermométrique ; en observant le déplacement de la colonne liquide du thermomètre, on peut déterminer les valeurs relatives du courant oscillant.

(2) Cette variation graduelle de la fréquence peut être obtenue soit par modification de la longueur de l'antenne, soit par modification du nombre de spires d'une bobine intercalée à sa base.

rant oscillant va en croissant lentement d'abord, puis très rapidement, pour atteindre un maximum aigu après lequel sa valeur diminue, rapidement d'abord, puis plus lentement.

La courbe obtenue est analogue à celle que représente la figure 92.

Le maximum d'intensité du courant oscillant correspond à la fréquence pour laquelle se produit la résonance.

II. — Supposons maintenant que l'antenne transmettrice soit excitée par un circuit oscillant fermé accouplé avec elle (fig. 84, 85 et 90). D'une façon générale, *elle émet deux groupes d'oscillations de fréquences distinctes*.

1^o Si l'accouplement entre l'antenne transmettrice et son circuit excitateur est rigide, ces fréquences diffèrent sensiblement. En modifiant graduellement la fréquence propre d'oscillation de l'antenne réceptrice, on constatera donc, comme l'indique la figure 93, la production d'un premier maximum du courant oscillant (correspondant à la résonance de l'antenne réceptrice sur la plus basse des deux fréquences du système transmetteur), puis d'un second maximum du courant oscillant (correspondant

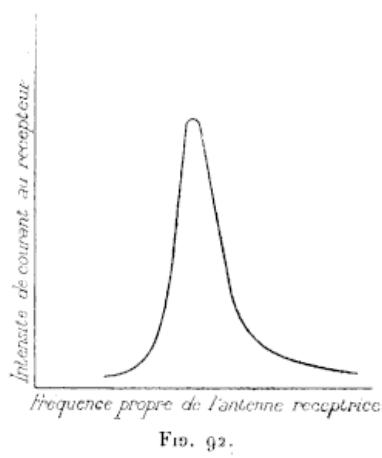


FIG. 92.

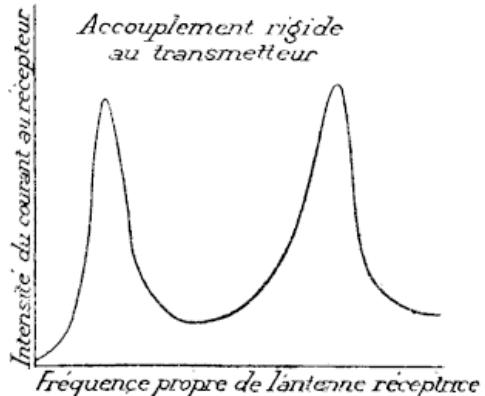


FIG. 93.

à la résonance de l'antenne réceptrice sur la plus élevée des deux fréquences du système transmetteur).

Il y aura lieu d'accorder l'antenne réceptrice sur une seule de ces deux fréquences. En général, on réalise l'accord sur la fréquence la plus faible, c'est-à-dire sur l'onde de plus grande longueur d'onde, parce que c'est elle qui s'amortit le moins vite. Quelques praticiens préfèrent cependant réaliser l'accord sur l'onde la plus courte, parce qu'elle a la plus grande énergie initiale.

2^e Si l'accouplement entre l'antenne transmettrice et son circuit excitateur est rendu de plus en plus lâche, les deux fréquences des oscillations qui prennent naissance dans le système se rapprochent l'une de l'autre; par suite, les deux maxima obtenus dans la courbe de résonance de l'antenne réceptrice se rapprochent l'un de l'autre.

Pour un accouplement suffisamment lâche, on obtient une courbe de résonance telle que celle de la figure 94: à la limite, pour un accouplement extrêmement lâche, on obtiendrait un seul maximum aigu tel que celui de la courbe de la figure 92, mais, comme cela a été déjà dit, ce cas est irréalisable dans la pratique, puisque l'énergie cédée à l'antenne transmettrice par son circuit excitateur serait nulle.

En pratique, les phénomènes sont beaucoup plus complexes qu'on ne pourrait le croire d'après l'exposé précédent.

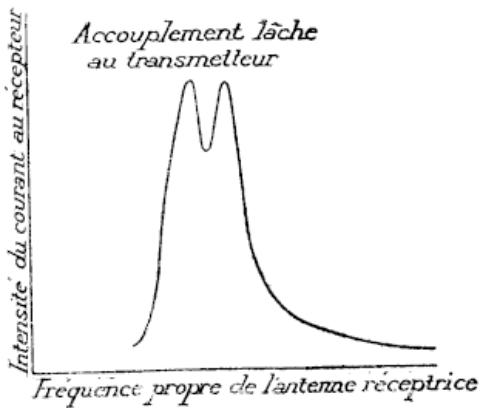


FIG. 94.

dent, à cause du rôle très important joué par l'amortissement.

Si l'antenne transmettrice émet des ondes fortement amorties, comme celles que produit le transmetteur simple à action directe de M. Marconi⁽¹⁾, on constate l'existence de phénomènes de résonance multiple : plusieurs antennes réceptrices, présentant des périodes propres très différentes les unes des autres, paraissent répondre presque aussi bien aux ondes émises que l'antenne accordée sur ces ondes⁽²⁾. Cela tient à ce que, sous l'action des ondes très amorties, l'antenne réceptrice, qui présente toujours un assez faible amortissement⁽³⁾, est le siège de deux groupes d'oscillations de fréquences différentes : les unes sont des oscillations forcées ayant même fréquence que les ondes agissantes ; les autres sont des oscillations libres ayant pour fréquence la fréquence propre d'oscillation de l'antenne. Si l'antenne réceptrice agit sur un circuit accordé contenant le détecteur, les oscillations forcées ont très peu d'action sur lui, tandis que les oscillations libres, qui ont pour fréquence sa fréquence propre, ont une forte action.

39. — Modes d'emploi des antennes réceptrices.

De même que les antennes transmettrices peuvent être excitées directement par l'éclateur, ou bien indirectement au moyen d'un circuit oscillant fermé, de même les an-

⁽¹⁾ La présence de l'étincelle intercalée dans l'antenne est une cause de fort amortissement, par suite de sa résistance électrique élevée.

⁽²⁾ C'est pourquoi l'emploi du montage à excitation directe pour la transmission a été interdit par la conférence internationale réunie à Londres en 1912 (voir APPENDICE II).

⁽³⁾ L'amortissement est beaucoup plus faible que dans l'antenne transmettrice identique, parce qu'il n'y a pas d'étincelle intercalée.

tennes réceptrices peuvent agir directement sur le détecteur, ou bien indirectement au moyen d'un circuit oscillant fermé auquel elles sont accouplées.

I. — Antenne à action directe. — Comme le montre schématiquement la figure 95, le détecteur D est embroché sur l'antenne. C'est le dispositif employé par M. Marconi dans ses premières expériences. Le circuit qui contient un relais, ou un appareil enregistreur, ou un récepteur téléphonique, est branché en dérivation sur le détecteur : sur la figure 95, P désigne une pile ou un potentiomètre, et R le relais, le téléphone, tout autre appareil convenable.

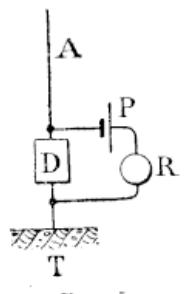


Fig. 95.

Pour accorder l'antenne réceptrice, on emploie une bobine B, dont on fait varier le nombre de tours intercalés dans l'antenne, et un condensateur C', dont on règle la capacité (fig. 96). On reconnaît que le meilleur accord possible est réalisé lorsque l'on obtient le maximum d'effet sur le détecteur.

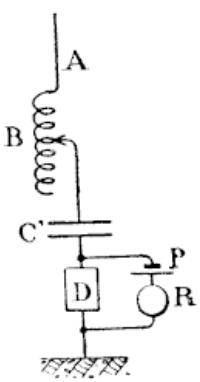


Fig. 96.

Il est très rare que l'on emploie, dans la pratique, une antenne réceptrice à action directe, car ce système n'est pas commode, se prête mal à l'emploi de certains détecteurs, et rend impossible toute tentative faite en vue d'éviter l'action des signaux parasites ou perturbateurs.

II. — Antenne agissant sur un circuit oscillant fermé. — Avec ce mode de montage, les vibrations de l'antenne réceptrice agissent sur un circuit oscillant accouplé avec elle et y engendrent des oscillations qui impressionnent le détecteur.

teur. Bien entendu, le maximum d'effet est obtenu quand le circuit oscillant est en résonance avec l'antenne. De même que pour la transmission, ce circuit peut être accouplé de trois façons différentes avec l'antenne.

1^o Accouplement direct. — La figure 97 indique ce montage, qui n'est presque jamais employé en pratique.

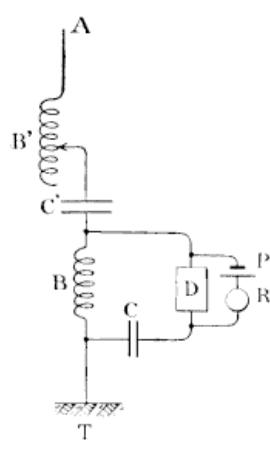


Fig. 97.

Sur l'antenne A est embrochée une bobine B, aux extrémités de laquelle est branché le circuit oscillant comprenant le condensateur C et le détecteur D, accompagné de son circuit dérivé qui contient une pile ou un potentiomètre P et un appareil récepteur R.

Avec ce dispositif, l'accouplement entre l'antenne et le circuit oscillant est plus ou moins rigide suivant que la bobine commune B contient plus ou moins de tours.

Pour accorder l'antenne sur les ondes agissantes, on règle le nombre de tours actifs de la bobine B' (fig. 97) et, au besoin, la capacité du condensateur C', puis on amène le circuit oscillant en résonance avec l'antenne en modifiant la valeur de la capacité du condensateur C. Les réglages sont effectués par tâtonnements successifs, et l'accord est bon quand on observe le maximum d'effet sur le détecteur D.

2^o Accouplement par induction. —

La figure 98 indique ce montage qui est le plus fréquem-

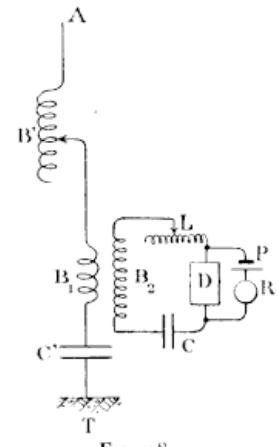


Fig. 98.

ment adopté en pratique à cause de son efficacité, de sa commodité, et de la facilité du réglage de l'accouplement entre l'antenne et le circuit oscillant. Sur l'antenne est embrochée une bobine primaire B_1 dont le secondaire B_2 fait partie du circuit oscillant contenant le condensateur C, le détecteur D, et une bobine de self-induction réglable L.

On peut faire varier commodément l'accouplement entre l'antenne et le circuit oscillant en déplaçant l'une par rapport à l'autre les deux bobines B_1 et B_2 . La première est, par exemple, formée d'un petit nombre de tours de fil enroulés sur un cadre disposé autour d'une carcasse sur laquelle est enroulée la bobine B_2 , formée d'un grand nombre de tours de fil. En déplaçant le cadre par rapport à la carcasse, par glissement ou par pivotement, on fait varier à volonté l'accouplement. On pourrait aussi modifier l'accouplement en modifiant le nombre de tours de la bobine B_1 , mais ce serait beaucoup moins commode.

Dans la pratique, on emploie généralement des accouplements aussi faibles que possible à la réception, pour éviter ou réduire la gêne due à la présence de signaux parasites, et aussi pour pouvoir obtenir des résonances bien nettes entre le circuit récepteur et l'antenne. En effet le système constitué par l'antenne et le circuit accouplé présente deux mouvements vibratoires dont les fréquences diffèrent d'autant plus que l'accouplement est plus rigide. Comme cela a été expliqué à propos des antennes transmettrices, on obtient des résonances d'autant plus nettes dans le circuit secondaire que l'accouplement est plus lâche, mais l'énergie transmise par l'antenne au circuit diminue avec la valeur de l'accouplement, ce qui oblige à ne pas descendre au-dessous d'une certaine valeur.

Pour obtenir un accord convenable, on réalise d'abord la

résonance de l'antenne sur la fréquence des ondes agissantes : pour cela, on règle le nombre de tours actifs de la bobine B' et, au besoin, la capacité du condensateur C' (fig. 98). Ensuite on accorde le circuit oscillant en modifiant la capacité du condensateur C et la portion active de la bobine de self-induction L .

Une fois ce réglage convenablement réalisé, on peut modifier l'accouplement, suivant les circonstances, de façon à obtenir la meilleure communication possible, puis on paracheve le réglage, si l'accord s'est trouvé en partie détruit par la modification de l'accouplement. Après un certain nombre de tâtonnements, on arrive à un réglage pour lequel l'action exercée sur le détecteur présente un maximum.

3^e Accouplement mixte. — La figure 99 indique ce mon-

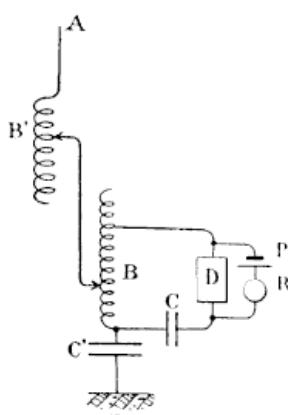


Fig. 99.

tage, un peu moins commode que le précédent en ce qu'il se prête moins facilement au réglage de l'accouplement et à la réalisation d'un accouplement très lâche.

L'antenne comprend une portion variable d'une bobine B intercalée en totalité ou en partie dans le circuit oscillant. On accorde l'antenne sur la fréquence des ondes reçues au moyen de la bobine B' et du condensateur C' , après quoi on amène le circuit oscillant

en résonance avec elle en modifiant la capacité du condensateur C et la longueur de la bobine B comprise dans le circuit : ensuite, on peut régler l'accouplement en modifiant la portion de bobine B intercalée dans l'antenne, puis on recommence le double réglage précédent, etc. Après un cer-

tain nombre de tâtonnements, on voit que le meilleur accord est réalisé quand l'action sur le détecteur présente un maximum. Si, à un moment donné, des signaux parasites viennent gêner la communication, on cherche à affaiblir l'accouplement autant qu'on peut le faire sans cesser de percevoir les signaux intéressants.

Il n'est pas inutile de faire remarquer que, avec les dispositifs ordinairement employés, on n'a pas besoin d'accorder d'une façon méticuleuse la période propre de l'antenne réceptrice sur la période des ondes agissantes car, à cause du très fort amortissement de celles-ci, la résonance ne peut jamais être très aiguë : il y a une assez grande marge d'accord.

Au contraire, dans le système constitué par l'antenne réceptrice et le circuit accouplé avec elle, l'amortissement est très faible, et l'accord doit être obtenu d'une façon très exacte, si l'on veut tirer un bon parti des effets de résonance.

40. — Remarques générales relatives à l'accouplement.

On ne saurait trop insister sur la question de l'accouplement des circuits primaire et secondaire dans le système transmetteur et dans le système récepteur.

1^o Si l'on veut mettre en jeu beaucoup d'énergie, il faut, comme cela a été dit, employer un accouplement rigide entre le circuit oscillant et l'antenne transmettrice. Celle-ci donne alors deux ondes de fréquences nettement différentes.

Au récepteur, on peut réaliser différents accords :

ou bien on emploie un accouplement rigide entre l'antenne réceptrice et le circuit oscillant, et l'on cherche à réa-

liser l'accord de telle façon que les deux oscillations engendrées dans le système aient les mêmes fréquences que les deux oscillations du transmetteur, ce qui est à peu près impossible à obtenir en pratique⁽¹⁾;

ou bien on emploie un accouplement lâche entre l'antenne réceptrice et son circuit oscillant. On peut alors accorder le système récepteur, dont les deux oscillations ont des fréquences très voisines, sur une seule des deux oscillations du transmetteur : c'est l'accord le plus souvent employé en pratique. On peut aussi accorder le système récepteur sur une fréquence intermédiaire, égale à la moyenne des fréquences des oscillations du transmetteur.

2° Si l'on veut pouvoir réaliser une résonance aiguë entre le transmetteur et le récepteur, on emploie, pour la transmission comme pour la réception, un accouplement aussi lâche que possible.

Dans ces conditions, il n'y a pas de réaction sensible du circuit primaire sur l'antenne (transmission) et de l'antenne sur le circuit secondaire (réception). Les deux groupes d'oscillations qui prennent naissance dans l'un et l'autre système ont des fréquences suffisamment voisines pour que l'on puisse obtenir des effets de résonance assez nets.

L'accord entre chaque antenne et son circuit oscillant doit être réalisé d'une façon très exacte. L'accord entre les antennes peut être moins précis, à cause de l'amortissement.

41. — Différentes formes d'antennes.

Dans les débuts de la Radiotélégraphie, on s'est servi

(1) Certains dispositifs (voir chap. XII), permettraient d'utiliser, au poste récepteur, l'énergie des deux ondes de fréquences différentes émises simultanément par le transmetteur.

d'antennes simples formées d'un fil unique suspendu verticalement ou obliquement. Mais on a été conduit, pour augmenter la portée des communications, à employer des antennes multiples composées d'un grand nombre de fils embrassant le plus d'espace possible.

On conçoit qu'une antenne de grande surface puisse ébranler une plus grande masse d'éther qu'une antenne simple formée d'un fil unique. D'autre part, l'augmentation du nombre des fils et de l'espace embrassé par l'antenne conduit à un accroissement de la capacité⁽¹⁾. Or il a été dit, au chapitre 1⁽²⁾, que la longueur d'onde λ de la perturbation créée est liée à la période T des oscillations (inverse de la fréquence) par la relation

$$\lambda = vT,$$

v étant la vitesse de propagation de la perturbation.

La période T est donnée par la formule

$$T = 2\pi\sqrt{cl}.$$

Par conséquent, en augmentant la capacité c ou la self-induction l de l'antenne, on augmente la période T et, avec elle, la longueur d'onde λ . Or les ondes de grande longueur d'onde franchissent plus facilement les grandes distances que les ondes de courte longueur d'onde parce qu'elles sont moins absorbées en cours de route.

Dans la pratique, on évite d'accroître la self-induction, et on cherche surtout à augmenter la capacité, pour accroître

⁽¹⁾ La capacité d'une antenne multiple est d'autant plus grande que l'écartement des fils est plus grand au voisinage du ventre de courant et que leur distance à la terre est plus faible. L'antenne en parapluie serait donc celle qui présente la plus forte capacité, mais, au point de vue de la radiation, cette forme d'antenne est moins bonne que l'antenne en pyramide renversée.

⁽²⁾ § 3, page 11.

l'énergie mise en jeu. En effet, celle-ci dépend de la charge prise par l'antenne, laquelle dépend de la capacité et de la tension de charge. Cette tension étant limitée, à cause des difficultés d'isolation de l'antenne et des circuits, la seule façon d'augmenter l'énergie en jeu consiste à augmenter la capacité de l'antenne et celle du circuit oscillant accordé sur elle.

Les formes d'antennes multiples employées dans la pratique dépendent beaucoup de l'espace disponible, de la hauteur, de la forme et du nombre des mâts, pylônes ou tours servant de supports au système aérien, et enfin de la puissance du poste qu'on se propose d'établir et de la portée que doivent atteindre les communications.

Plus l'antenne est élevée et offre une grande surface, plus la portée des communications est considérable.

Quand on dispose d'un seul support, on peut utiliser une antenne formée de quatre, cinq ou six fils tendus entre deux cadres (fig. 100), ou bien une antenne en forme de

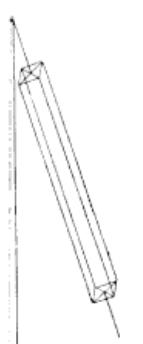


FIG. 100.

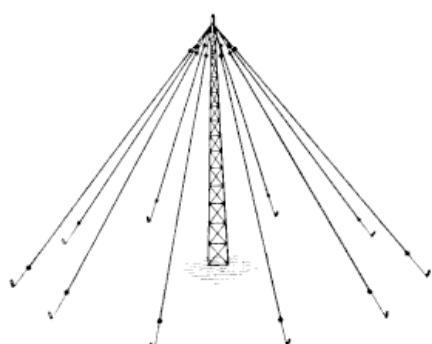


FIG. 101.

cône entier ou de portion de cône (fig. 101). Dans ce dernier cas (antennes en parapluie), un grand nombre de fils partent du sommet du support, et rayonnent obliquement.

Quand on dispose de deux supports, on peut établir l'antenne en forme de harpe ou d'éventail (fig. 102) ou en forme de T (fig. 103). Cette dernière disposition est fréquemment utilisée sur les navires, les deux grands mâts servant de supports à une antenne qui comprend trois, quatre ou cinq brins horizontaux et autant de brins verticaux réunis ensemble à leur partie inférieure.

Quand on dispose de trois ou quatre supports, on emploie des antennes de grande surface en forme de pyramide renversée (fig. 104) ou de nappe horizontale (fig. 105). Ces antennes permettent d'atteindre à une capacité très élevée et d'obtenir une grande longueur d'onde.

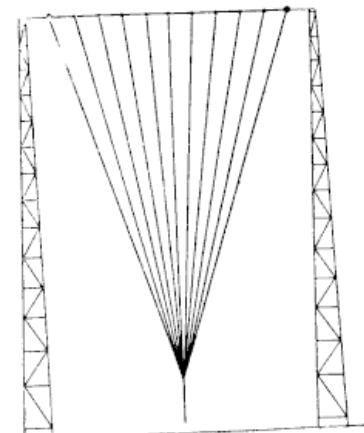


FIG. 102.

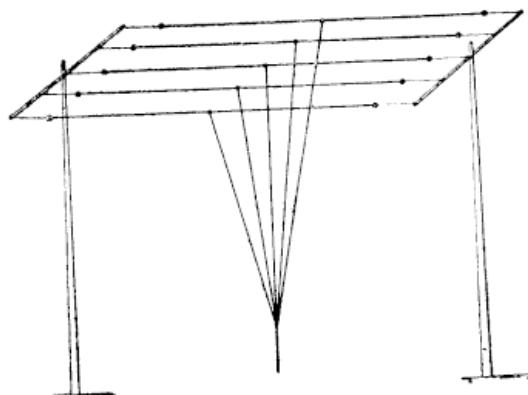


FIG. 103.

Il en est de même d'une antenne spéciale, que représente la figure 106, et dont le rôle sera étudié au chapitre XIII à propos des ondes orientées.

Quelle que soit la forme de l'antenne, les conducteurs aériens doivent être, à leur extrémité supérieure, parfaitement isolés du support auquel ils sont fixés. Pour cela,

on emploie des tiges d'ébonite, des chapelets d'isolateurs en porcelaine, etc. De même, dans les antennes disposées en

cône ou fraction de cône, les fils actifs doivent être parfaitement isolés des fils tendeurs qui les prolongent et les rattachent au sol.

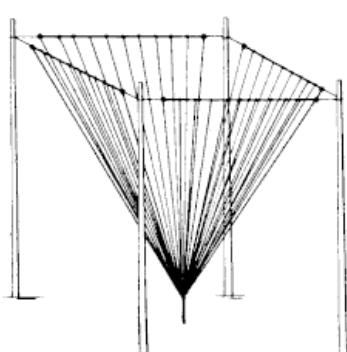


FIG. 104.

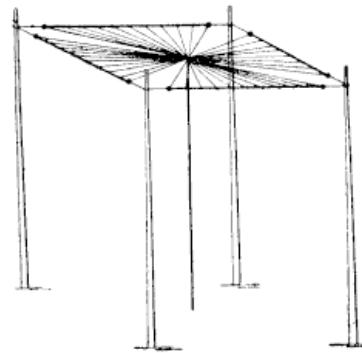


FIG. 105.

Quant aux conducteurs eux-mêmes, ce sont généralement des fils ou câbles en bronze de grande résistance mécanique. L'emploi de fils de fer ou d'acier doit être évité,

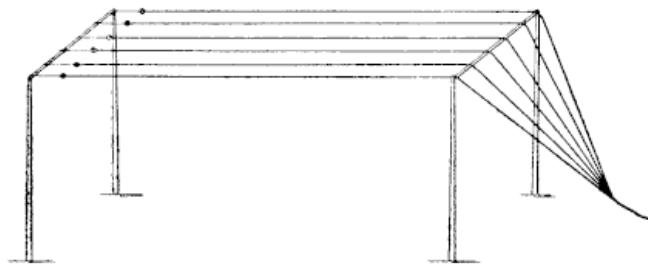


FIG. 106.

autant que possible, en raison de la forte résistance induc-
tive qu'ils présentent, et d'où résulte une augmentation de
l'amortissement de l'antenne.

42. — Remarque sur les prises de terre.

Tout ce qui a été dit sur les phénomènes en jeu dans les

antennes transmettrices et réceptrices repose sur l'hypothèse que le pied de l'antenne est relié à une bonne prise de terre, c'est-à-dire à une plaque ou à un réseau de fils enfoui dans un sol *bon conducteur* (terrain humide).

La mise à la terre du pied de l'antenne a pour effet de fixer en ce point un nœud de tension et un ventre de courant : si la terre n'est pas très bonne conductrice, c'est-à-dire s'il n'y a pas d'humidité ou d'eau au voisinage de la prise de terre, le ventre de courant est déplacé vers le haut, et est d'autant plus élevé que la terre est moins bonne conductrice.

Si la prise de terre est remplacée par un réseau de fils de grande surface placé à quelque distance du sol, ou posé sur lui, ou enfoui à une faible profondeur, il peut se présenter trois cas :

ou bien le sol est bon conducteur ;

ou bien le sol est mauvais conducteur, mais il y a une nappe d'eau à une certaine profondeur ;

ou bien le sol et le sous-sol sont mauvais conducteurs.

Dans le premier et le second cas, le réseau de fils agit soit comme une prise de terre, soit comme l'armature d'un condensateur de grande capacité dont l'autre armature est formée par le sol ou par le sous-sol humide. Dans le troisième cas, le réseau de fils agit comme un conducteur isolé de grande surface présentant, par lui-même, une capacité élevée.

Dans les trois cas, les résultats sont à peu près les mêmes, et sont équivalents à ceux que l'on obtient avec une bonne prise de terre : le ventre de courant est très voisin du pied de l'antenne.

43. — Propagation des ondes le long du sol.

Nos connaissances sur les phénomènes dont dépend la propagation des ondes employées en radiotélégraphie, ainsi que le rôle joué par la Terre, sont, à l'heure actuelle, tout à fait incomplètes. Néanmoins il est possible de se faire de la façon suivante une idée sommaire des phénomènes :

1^o Supposons d'abord que la surface le long de laquelle les ondes doivent cheminer soit parfaitement conductrice. La mer et les terrains fortement imprégnés d'eau se rapprochent beaucoup de ce cas idéal, car leur conductibilité est bonne.

L'antenne agit comme la moitié supérieure d'un oscillateur ouvert dont la moitié inférieure est remplacée par la terre. Le mécanisme de production et de propagation des ondes est le même que celui qui a été étudié au chapitre IV, § 18, figures 26 et 27 à propos de l'oscillateur de Hertz. On peut donc représenter schématiquement la formation et la

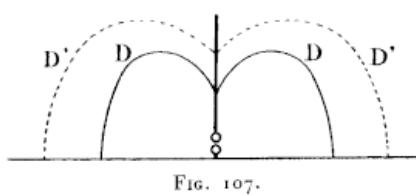


FIG. 107.

propagation des courants de déplacement, ou lignes de force électriques, comme l'indique la figure 107, semblable à la moitié supérieure de la figure 27.

Les ondes cheminent le long de la surface conductrice (¹) — la terre — dont elles suivent la courbure. Par suite du très grand rayon des boucles qu'elles forment, les lignes de

(¹) Elles ne pénétreraient pas du tout dans cette surface si celle-ci était parfaitement conductrice, puisque les courants de déplacement n'existent que dans les diélectriques : en réalité, elles pénètrent un peu dans l'eau de mer et dans les terrains mouillés parce que la conductibilité n'est pas parfaite.

force électriques peuvent être considérées comme sensiblement verticales en chaque point du sol. Quant aux lignes de force magnétiques, elles progressent comme précédemment (fig. 26) sous forme de circonférences qui se dilatent parallèlement au sol : elles sont perpendiculaires aux lignes de force électriques et au rayon de propagation considéré.

2^e Supposons maintenant que la surface suivant laquelle se propagent les ondes soit médiocrement conductrice : c'est le cas des terrains ordinaires. Les ondes, au lieu de cheminer sur la surface, pénètrent en partie dans les couches sous-jacentes, jusqu'à une profondeur d'autant plus grande que la conductibilité est plus faible. Mais nous savons (¹) que la vitesse de propagation n'est pas la même dans l'air et dans les différents diélectriques : elle varie comme l'inverse de la racine carrée de la constante diélectrique (²). Il en résulte que les portions des lignes de force électriques passant dans le sol « se font traîner », et que toutes les boucles de la figure 107 se trouvent plus ou moins inclinées et déformées : les lignes de force électriques ne sont plus perpendiculaires au sol.

D'autre part, les lignes de force électriques qui traversent le sol y engendrent des courants qui dissipent de l'énergie : *il y a donc absorption de l'énergie des ondes*, et cette absorption peut atteindre une très forte valeur dans les terrains secs. Au contraire, sur mer ou dans les terrains très humides, l'absorption est très faible.

Il est à remarquer que les ondes de grande longueur d'onde souffrent beaucoup moins de ces phénomènes d'absorption que les ondes de faible longueur d'onde. Il en

(¹) Chap. IV, § 18.

(²) APPENDICE I, § 91.

résulte que si les unes et les autres sont presque équivalentes, au point de vue de la portée, pour les communications sur mer, les premières ont, sur terre, une portée beaucoup plus grande que les secondes⁽¹⁾.

Pour mettre en lumière l'influence de l'absorption, M. Pierce, s'appuyant sur les équations de M. Zenneck, a dressé un tableau des portées théoriques correspondant à différents cas pour des ondes de 600 mètres de longueur d'onde. Ce tableau indique, entre autres, les chiffres suivants :

Un poste qui atteindrait une portée de 4000 kilomètres sur une surface parfaitement conductrice doit avoir une portée de 2970 kilomètres sur mer, 1700 kilomètres sur terrain très mouillé ou eau douce, 1200 kilomètres sur terrain mouillé, 430 kilomètres sur terrain seulement humide, 240 kilomètres sur terrain sec, et 80 kilomètres sur sol très sec.

Ce tableau montre aussi combien l'absorption croît vite avec la distance : ainsi un poste qui aurait une portée de 100 kilomètres sur une surface parfaitement conductrice doit avoir une portée de 30 kilomètres (soit 30 pour 100) sur un sol très sec ; tandis qu'un poste qui aurait une portée de 7000 kilomètres sur une surface parfaitement conductrice doit avoir une portée de 95 kilomètres seulement (soit 1,36 pour 100) sur un sol très sec.

Lorsque les lignes de force électriques qui se propagent comme l'indique la figure 107 rencontrent une antenne réceptrice, l'action inductive électrostatique des boucles

(1) Des expériences ont cependant paru montrer que, dans des terrains extrêmement secs, les ondes longues étaient presque aussi fortement absorbées que les ondes courtes.

successives qui passent change de sens avec une fréquence égale à celle du transmetteur. Cette action met l'antenne réceptrice en vibration, et l'amplitude de ces vibrations est d'autant plus grande que la longueur d'onde propre de cette antenne est plus voisine de la longueur d'onde des ondes agissantes (résonance).

On admet généralement, d'après les résultats obtenus, que la quantité d'énergie reçue varie à peu près comme le carré de la distance.

Certains phénomènes influent, d'une façon très importante et encore inexpliquée, sur la propagation des ondes. Les faits constatés peuvent être résumés de la façon suivante :

quand on emploie des ondes courtes, les distances franchies sont considérablement plus grandes la nuit;

quand on emploie des ondes longues, les portées sont à peu près égales; les communications sont même quelquefois meilleures le jour que la nuit;

les communications sont beaucoup plus faciles dans la direction nord-sud que dans la direction est-ouest;

des montagnes de grande hauteur, telles que les Alpes, offrent au passage des ondes courtes un obstacle très considérable pendant le jour et très faible pendant la nuit; sur les ondes longues, l'action est faible dans les deux cas;

quand deux postes communiquent ensemble pendant le jour, il arrive fréquemment que les signaux reçus s'affaiblissent brusquement, disparaissent, puis reparaissent avec la même intensité qu'auparavant;

certaines nuits, les transmissions sont extraordinairement bonnes; d'autres nuits, elles sont tout à fait mauvaises.

Plusieurs expérimentateurs, à la suite de M. Marconi, ont tenté d'expliquer ces divers phénomènes par l'action qu'exerce

le soleil sur les couches supérieures de l'atmosphère, cette action ayant pour effet de rendre l'air relativement conducteur⁽¹⁾ et d'occasionner ainsi une plus rapide absorption de l'énergie transmise par les ondes : il se formerait des vagues d'air conducteur jouant, vis-à-vis des ondes employées en radiotélégraphie, un rôle analogue à celui des vagues de brouillard vis-à-vis des rayons lumineux. D'autres savants ont cru pouvoir attribuer à la diffraction des ondes, ou bien aux variations de l'indice de réfraction des différentes couches de l'atmosphère et du sol, les anomalies constatées à maintes reprises. En réalité, aucune explication plausible n'a pu être fournie jusqu'à présent.

Dans les communications transatlantiques, on a constaté que, le matin et le soir, pendant les périodes de lever et de coucher du soleil, les réceptions sont difficiles. Ces périodes sont celles où, par suite de la différence de longitude, le jour ou la nuit s'étendent sur une partie seulement du trajet des ondes. M. Marconi a émis l'hypothèse que, en passant d'une région obscure dans une région éclairée ou inversement, les ondes subissent une sorte de réflexion.

Il est reconnu maintenant que l'absorption subie par les ondes est d'autant plus faible que la longueur d'onde est plus grande : cela a été démontré par la pratique de la radiotélégraphie et par de nombreuses expériences. On doit signaler cependant un fait curieux observé à Clifden et à Glace-Bay, lorsque ces stations étaient munies de leurs anciens appareils. Les deux ondes λ_1 et λ_2 engendrées simultanément par le système émetteur de chacun de ces postes

(1) Cette conductibilité est due à l'ionisation des molécules gazeuses sous l'effet des rayons ultra-violets contenus dans les rayons solaires. Ces rayons ultra-violets sont fortement absorbés dans les parties supérieures de l'atmosphère, et les couches d'air contenues dans ces régions sont plus fortement ionisées que les couches inférieures.

ayant des longueurs d'onde d'environ 4 165 et 4 900 mètres, on utilisait la plus longue pour le service normal : régulièrement, trois heures après le coucher du soleil à Clifden et trois heures avant le lever du soleil à Glace-Bay, l'onde la plus courte était seule perceptible pendant une heure environ.

CHAPITRE VIII

MESURE DES LONGUEURS D'ONDE

D'après ce qui précède, on peut juger de l'importance considérable que présente la connaissance exacte des longueurs d'onde et des fréquences d'oscillation : les appareils qui servent à leur mesure (*ondemètres*) ont donc une grande utilité et c'est pourquoi on en a créé d'assez nombreux modèles.

44. — Détermination approximative.

Au début de la radiotélégraphie, le C^r Ferrié mesurait la longueur d'onde d'une antenne simple en reliant à la base de celle-ci un fil horizontal dont il modifiait progressivement la longueur. Ce fil, prenant part au mouvement vibratoire de l'antenne, est le siège d'oscillations électriques : on y intercale, au voisinage de la jonction avec l'antenne, un ampèremètre thermique dont on note les indications au fur et à mesure que l'on augmente la longueur du fil (dont l'extrémité est isolée). La déviation maxima correspond à la résonance, et la longueur du fil horizontal est alors égale au quart de la longueur d'onde cherchée.

Cette méthode simple et commode donne des résultats seulement approximatifs, car la présence du fil horizontal

amène une modification de la longueur d'onde primitive, et le voisinage du sol influe sur les phénomènes en jeu dans le fil oscillant.

45. — *Ondemètres à circuit ouvert.*

Bobine de Seibt. — Nous avons vu (¹) qu'il se produit le long des fils conducteurs en vibration des nœuds et des ventres, séparés les uns des autres par une distance égale au quart de la longueur d'onde. Celle-ci dépend de la fréquence des oscillations et de la vitesse de propagation, les trois grandeurs étant liées entre elles (²) par la relation :

$$\lambda = \frac{v}{f}.$$

Or, la vitesse v de propagation des ondes dépend de la capacité et de la self-induction du conducteur : si l'on appelle c et l la capacité et la self-induction par unité de longueur, la vitesse v est inversement proportionnelle à la racine carrée du produit cl .

Il en résulte que, si l'on réalise artificiellement un conducteur présentant une forte capacité et une forte self-induction par unité de longueur, la vitesse de propagation des ondes dans ce conducteur sera considérablement diminuée, et la longueur d'onde correspondant à une fréquence donnée sera beaucoup plus petite que dans un fil rectiligne ordinaire. On pourra donc, avec un tel conducteur, déterminer la position des nœuds et des ventres d'oscillation sans être conduit à des dimensions d'appareil exagérées : la distance entre un nœud et un ventre étant égale au quart de la longueur d'onde, on

(¹) Chap. IV, § 21, page 72.

(²) Chap. I, § 3, page 12.

pourra en déduire cette grandeur, et, grâce à un étalonnage préalable, déterminer la valeur de la fréquence.

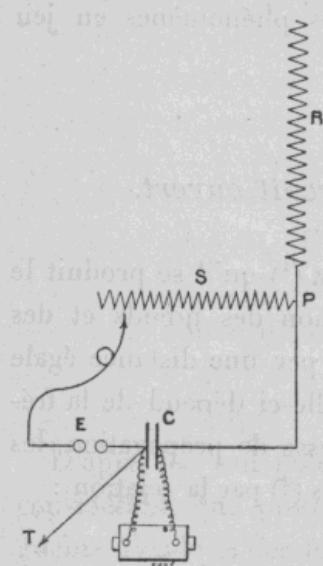


FIG. 108.

Le circuit oscillant comprend un condensateur C, un éclateur E et une bobine de self-induction réglable S. Le condensateur est relié au secondaire d'une bobine de self-induction ; l'une de ses armatures est connectée à la terre T (fig. 108).

En modifiant la valeur de la self-induction S, on peut produire, dans le circuit oscillant, des oscillations électriques de fréquence telle que la perturbation qui se propage dans la bobine R ait une longueur d'onde égale à quatre fois la longueur de la bobine. Il y a alors un ventre de tension au sommet de la bobine, où apparaissent de brillantes aigrettes lumineuses.

Cette méthode a été employée par M. Seibt. Un fil très fin, légèrement isolé, est enroulé, sous forme d'une hélice à tours juxtaposés, sur une tige de bois ou de verre : la bobine ainsi formée constitue le conducteur de forte self-induction et de forte capacité par unité de longueur⁽¹⁾. Cette bobine R est reliée à sa base à un circuit oscillant comprenant un condensateur C, un éclateur E et une bobine de self-induction réglable S. Le condensateur est relié au secondaire d'une bobine de self-induction ; l'une de ses armatures est connectée à la terre T (fig. 108).

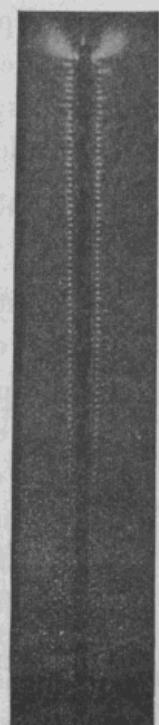


FIG. 109.

⁽¹⁾ Il faut bien remarquer que ce n'est pas la longueur du fil constituant la bobine qui intervient, mais la longueur de la bobine elle-même, qui, pour les ondes, se comporte comme un conducteur cylindrique creux de self-induction et de capacité déterminées.

Inversement, si la fréquence des oscillations engendrées par le circuit est invariable, on peut, en modifiant la longueur active de la bobine, trouver une valeur pour laquelle un ventre de tension se manifeste à son sommet : la longueur de la bobine est alors égale au quart de la longueur d'onde de la perturbation qui s'y propage.

On peut placer, parallèlement à la bobine et à quelques centimètres de sa surface extérieure, un fil relié à la terre : au voisinage du ventre de tension, on voit jaillir entre la bobine et le fil une série d'étincelles d'autant plus lumineuses et plus serrées qu'elles sont plus proches du ventre de tension. On peut encore coller à intervalles réguliers sur la bobine, au moyen d'un peu de cire, des petits fils de cuivre nu qui servent de points de départ à des aigrettes lumineuses, lorsqu'ils sont à proximité d'un ventre de tension. La figure 109 montre la photographie des aigrettes ainsi obtenues, pour une longueur de bobine égale au quart de la longueur d'onde.

Multiplicateur Slaby. — Un tube isolant, en verre ou en ébonite, porte un nombre considérable de tours de fil très fin juxtaposés : pour exciter cette bobine, on place son extrémité libre à proximité de l'antenne, puis, avec une tige métallique tenue à la main, ou bien avec un fil relié à la terre et muni d'une pointe de contact, on modifie sa longueur active.

La production d'un ventre de tension au sommet de la bobine est mise en évidence au moyen d'un écran fluorescent au platino-cyanure de baryum, qui paraît lumineux quand il est soumis à une forte excitation électrique.

L'appareil est gradué par comparaison avec un ondemètre étalon.

Cymomètre Fleming. — Un noyau d'ébonite de 2 mètres

de longueur et ¼ centimètres de diamètre porte 5 000 tours de fil nu très fin juxtaposés et légèrement isolés les uns des autres. L'une des extrémités de cette bobine est reliée soit au circuit oscillant SCT, qui excite l'antenne, soit à l'antenne elle-même (fig. 110). Un contact glissant S_L, qui frotte sur les tours de fil, est relié à la terre par un conducteur et permet de mettre en circuit une longueur plus ou moins grande de la bobine. Les nœuds et les ventres de tension qui se

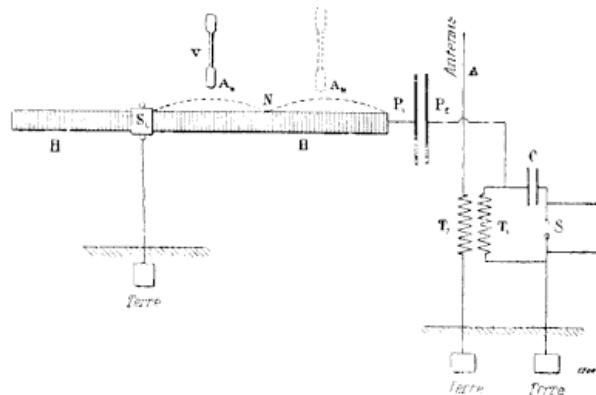


FIG. 110.

produisent le long de la bobine sont mis en évidence au moyen d'un tube à vide V, qui s'illumine quand il est au voisinage d'un ventre de tension.

Les ondemètres à bobines présentent deux graves inconvénients : leur amortissement est trop grand pour qu'on puisse obtenir une résonance aiguë ; d'autre part, leur capacité varie beaucoup dès qu'un objet quelconque est placé à proximité de la bobine.

46. — Ondemètres à circuit fermé.

Ondemètre Fleming. — Cet appareil comprend deux tubes de laiton T₁T₂ (fig. 111), séparés par un tube d'ébonite

mince, et mobiles l'un dans l'autre comme ceux d'une lunette : l'ensemble constitue un condensateur dont on peut facilement modifier la capacité en enfonçant plus ou moins le tube intérieur.

Parallèlement à ce double tube est placée une bobine B de

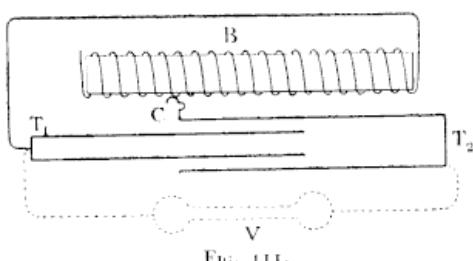


FIG. III.

fil de cuivre nu, enroulé sur un cylindre d'ébonite : le tube extérieur T_2 porte un contact C qui frotte sur les tours de la bobine, et le tube intérieur T_1 est relié à une extrémité de celle-

ci. Le nombre de tours de fil actifs de la bobine et, par suite, la self-induction agissante, varie donc en même temps que la capacité du condensateur tubulaire : l'ensemble forme un circuit oscillant de capacité et de self-induction simultanément réglables.

Pour employer cet ondemètre, on le soumet à l'action des ondes, et, en déplaçant le tube T_2 , on modifie en même temps le nombre de tours de la bobine et la capacité du condensateur tubulaire jusqu'à ce que le circuit oscillant de l'appareil soit en résonance avec l'antenne ou le circuit étudié. On reconnaît que la résonance est réalisée au maximum d'éclat d'un tube à vide V , relié aux armatures du condensateur.

Ondemètre Döntz. — La plupart des ondemètres actuellement employés consistent en un circuit oscillant fermé, dont la bobine de self-induction ou le condensateur sont réglables. Si les valeurs de la self-induction et de la capacité sont bien connues, grâce à un étalonnage préalable, il est facile d'en déduire la fréquence.

L'appareil de M. Dönitz (fig. 112) comprend un circuit oscillant fermé contenant une bobine de self-induction et un condensateur de capacité variable. Le nombre de tours de la bobine de self-induction peut être modifié, par adjonction ou suppression d'une ou plusieurs couronnes de fil. Le condensateur est formé d'une série de plaques métalliques fixes *f*, en forme de secteurs de cercle, entre lesquelles peut venir se placer une série de plaques mobiles *b*, également en forme de secteurs de cercle, portées par un axe vertical *a*. Les bornes du condensateur sont en *p₁* et *p₂*. L'ensemble est plongé dans l'huile.

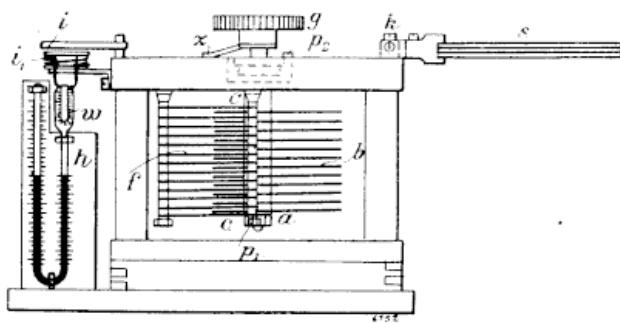


FIG. 112.

Suivant qu'on tourne plus ou moins un bouton moleté *g* fixé à l'axe vertical, les plaques mobiles pénètrent plus ou moins entre les plaques fixes, et la capacité a une valeur plus ou moins élevée : cette valeur est indiquée par un index *z*, fixé au bouton, qui se déplace au-dessus d'une graduation tracée sur le couvercle de l'appareil.

Le circuit oscillant comprend aussi une bobine plate *s* formée d'un certain nombre de tours de fil isolé qui sert à l'accouplement inductif de l'ondemètre avec l'antenne ; cette bobine est amovible et est reliée au circuit par les contacts *k* ; on peut, en la changeant et en variant son orientation, modifier la longueur d'onde et l'accouplement. Enfin, un tour

de fil i induit dans la petite bobine i , un courant qui circule dans un fil fin w placé dans le réservoir d'un thermomètre à air h : l'échauffement de ce fil produit une dilatation de l'air, rendue visible par le déplacement d'une colonne liquide contenue dans un tube en U. Ce dispositif peut être remplacé par un ampèremètre thermique ordinaire.

Pour employer l'ondemètre, on modifie progressivement la capacité du condensateur, en tournant le bouton mobile, jusqu'à ce que l'intensité du courant oscillant atteigne un maximum indiqué par l'ampèremètre. A ce moment, le circuit oscillant est en résonance avec l'antenne, et il suffit de déterminer sa fréquence propre d'oscillation d'après les valeurs connues de la self-induction et de la capacité⁽¹⁾.

L'ondemètre de M. Dönitz, ou tout appareil similaire, permet de tracer la courbe de résonance en deçà et au delà de la résonance exacte, ce qui est souvent utile. La connaissance de cette courbe permet de déterminer l'amortissement des ondes par une méthode due à M. Bjerkness.

L'ondemètre Dönitz peut être modifié pour permettre son emploi pendant la réception. La figure 113 représente schématiquement le circuit oscillant de l'appareil, avec le condensateur G à capacité variable, la bobine de self-induction

⁽¹⁾ Plusieurs autres modèles d'ondemètres, qu'il serait fastidieux de passer en revue, sont analogues à l'appareil Dönitz. Tels sont, par exemple, l'ondemètre de la Cie Gén^e Radiotélégraphique et celui de la Cie Marconi qui comprennent chacun une bobine de self-induction invariable et un condensateur réglable. Dans ce dernier, il n'y a pas d'appareil de mesure: un circuit dérivé, branché sur le condensateur, contient un téléphone et un détecteur simple et robuste, formé d'un cristal de carborundum maintenu entre deux pinces métalliques.

L que l'on peut modifier, et la bobine d'accouplement B que l'on approche du circuit à étudier ou de l'antenne.

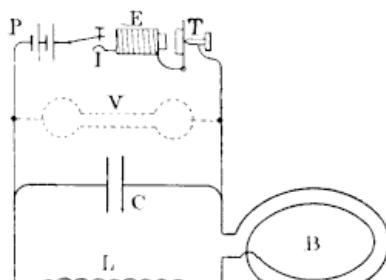


FIG. 113.

L'ampèremètre à air est remplacé par un tube à vide V branché sur le condensateur C.

Un circuit dérivé contient un interrupteur I, une pile P, et un électro-aimant à trembleur semblable à celui d'une sonnerie ordinaire.

Quand on ferme l'interrupteur I, le trembleur engendre dans le circuit dérivé un courant interrompu dont les intermittences produisent des charges et décharges successives du condensateur C, et le circuit oscillant de l'ondemètre entre en vibration (¹).

Pendant la transmission, on ouvre l'interrupteur I et on approche la bobine d'accouplement B de l'antenne ou du circuit excitateur. On règle le condensateur C et la bobine de self-induction L de façon à obtenir la résonance, qu'il indique le maximum d'éclat du tube à vide V. On détermine ainsi la longueur d'onde. Pendant la réception, on ferme l'interrupteur I de l'ondemètre et on approche la bobine d'accouplement B du circuit récepteur. Les oscillations engendrées dans le circuit oscillant de l'ondemètre agissent sur le circuit récepteur, et l'on règle la capacité du condensateur C et la self-induction de la bobine L jusqu'à ce que cette action atteigne un maximum dont on s'aperçoit au moyen du détecteur qui sert à la réception. A ce moment,

(¹) Plusieurs dispositifs de ce genre sont employés avec les différents ondemètres. Quelquefois on se sert d'un petit éclateur pour mettre en vibration le circuit oscillant de l'appareil.

le circuit de l'ondemètre est en résonance avec le circuit récepteur et l'on peut déterminer facilement la longueur d'onde.

Ondemètres divers. — Le C^t Ferrié a imaginé plusieurs ondemètres. Le premier (fig. 114) comprenait un condensateur C réglable, une bobine L munie d'un curseur D et un ampèremètre thermique A.

Dans la suite, la bobine L a été remplacée par une bobine de self-induction progressivement réglable (fig. 115). Dans un tube de cuivre cintré T formant un anneau fendu sur son pourtour extérieur, on dispose une vingtaine de tours de fil isolé, dont les deux extrémités sortent en FF'.

A l'extrémité du tube P est soudée une lame de cuivre K, qui aboutit au centre de l'anneau et porte, en ce point, un axe autour duquel peut tourner une autre lame en cuivre M, munie d'un bouton B. Cette seconde lame frotte sur le tube T. Au point de vue électrique, l'appareil représenté par la figure 115 constitue un transformateur ayant comme primaire la bobine intérieure et comme secondaire l'anneau extérieur. Nous savons⁽¹⁾ que, quand le secondaire est ouvert, le primaire agit comme une bobine de self-induction : or, dans la portion P'P'', variable suivant la position de la manette, le secondaire est ouvert⁽²⁾.

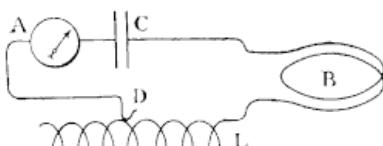


FIG. 114.

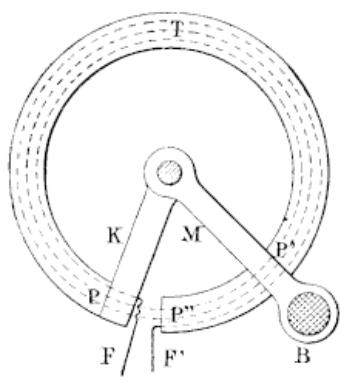


FIG. 115.

⁽¹⁾ APPENDICE I, § 99.
⁽²⁾ L'autre portion P''TP du tube constitue, avec les lames K et M, un secondaire.

Une autre disposition, proposée par le Com^t Ferrié, est indiquée par la figure 116. Un plateau métallique P en forme de demi-cercle est disposé parallèlement à une bobine de self-induction L formée d'une spirale plate et peut pivoter autour d'un axe O : il constitue en même temps l'armature d'un condensateur C

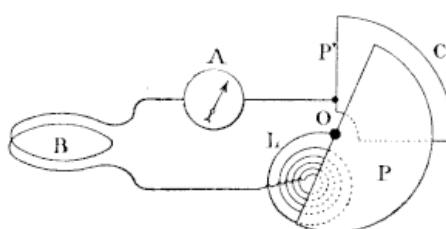


FIG. 116.

dont l'autre armature P' est fixe. Quand on fait pivoter le plateau P , on diminue ou on augmente simultanément la self-induction et la capacité (').

Le Cap^e Péri a utilisé un appareil analogue. Au-dessus du condensateur, semblable à celui de l'on demètre Dönitz, sont disposées deux bobines plates en forme de demi-disques : l'une est fixe, tandis que l'autre est portée par le même axe que les plaques mobiles du condensateur et participe à leur mouvement. Quand on fait tourner l'ensemble, la surface de recouvrement des bobines diminue pendant que la surface de recouvrement des plaques augmente, ou réciproquement.

M. Hirsch a construit un ondemètre qui permet la lecture directe de la longueur d'onde sans réglage ni tâtonnement. Sur les figures 117 et 118, L représente une bobine de self-induction et C' un condensateur variable constitué par deux plaques fixes C C et une plaque mobile C' en forme

daire fermé : la portion primaire correspondante ne présente donc pas de self-induction, comme cela a été expliqué au § 99.

(') En effet, quand le plateau tourne, par exemple vers le bas, la surface qu'il recouvre sur l'armature P' diminue tandis que la surface qu'il recouvre sur la bobine L augmente : or il joue vis-à-vis de cette dernière le rôle d'un circuit secondaire fermé.

de demi-cercle. La plaque mobile de ce condensateur tourne d'un mouvement continu autour d'un axe *a* et porte un tube à vide *T*: la rotation est assurée par un mécanisme d'horlogerie ou un petit moteur électrique. Par suite de la rotation continue de la plaque, la capacité varie périodiquement entre sa valeur maxima et sa valeur minima:

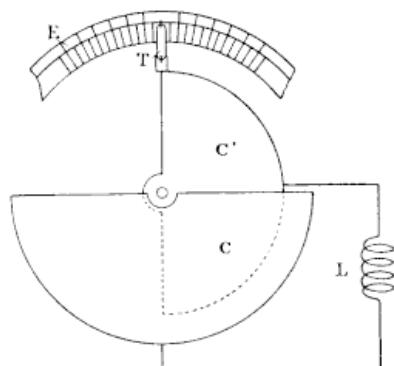


FIG. 117.

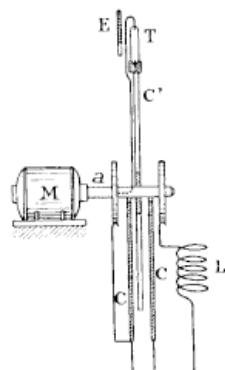


FIG. 118.

à chaque tour, l'appareil se trouve donc, pour une position déterminée de la plaque, dans les conditions de résonance avec l'onde à mesurer: cette position est indiquée par l'éclat du tube à vide *T* qui donne ainsi une tache lumineuse fixe dans l'espace. Un cadran *E*, gradué en longueurs d'onde, permet la lecture directe.

47. — Fréquencemètre Ferrié.

Cet appareil (fig. 119) permet de lire à chaque instant, sur un cadran gradué devant lequel se déplacent deux aiguilles, la fréquence des oscillations électriques. Une boucle *B* de un ou deux tours est approchée du circuit oscillant ou de l'antenne: elle est reliée, par deux fils, aux deux bornes *P* et *P'* de l'onduleur. À la borne *P* sont fixées les

extrémités d'une résistance R et d'une self-induction L aboutissant l'une en P_1 et l'autre en P_2 . A la borne P' sont fixées les extrémités de deux fils fins d'ampèremètres thermiques f_1 et f_2 aboutissant aussi en P_1 et P_2 . Aux milieux des deux fils fins sont noués des fils de soie $s_1 s_2$, qui, après être passés sur deux petites poulies, subissent une traction constante produite par les lames élastiques E_1 et E_2 .

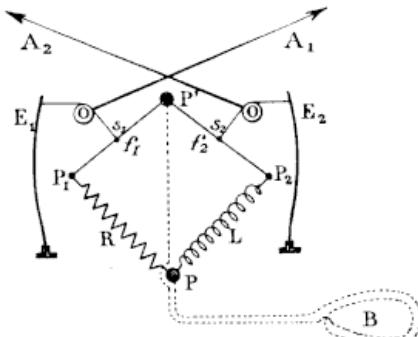


FIG. 119.

Dès que le passage d'un courant échauffe l'un ou l'autre des fils $f_1 f_2$, celui-ci se dilate et s'allonge ; la poulie correspondante tourne et, avec elle, l'aiguille A_1 ou A_2 .

Entre les bornes P et P' , il y a donc deux branches de circuit distinctes, l'une PP_1P' comprenant la résistance R et le fil f_1 , l'autre PP_2P' comprenant la bobine L et le fil f_2 . Par construction, la résistance R est complètement dépourvue de self-induction.

Soit l le coefficient de self-induction de la bobine L . La self-induction du fil f_2 étant négligeable, la branche totale PP_2P' a pour coefficient de self-induction l : nous désignerons par r_2 sa résistance ohmique totale. Quant à la branche PP_1P' , son coefficient de self-induction est nul par construction : nous appellerons r_1 sa résistance totale.

La boucle B étant soumise à l'action d'un circuit voisin, il se manifeste, entre les bornes P et P' , une certaine différence de potentiel u qui tend à faire passer dans chacune des branches un certain courant d'intensité i_1 ou i_2 . Nous savons⁽¹⁾

⁽¹⁾ APPENDICE I, § 98.

que l'impédance opposée par la branche PP_2P' au passage du courant oscillant i_2 a pour valeur $\sqrt{r_2^2 + \omega^2 l^2}$. Les intensités i_1 et i_2 ont les valeurs suivantes :

$$i_1 = \frac{u}{r_1}; \quad i_2 = \frac{u}{\sqrt{r_2^2 + \omega^2 l^2}}.$$

Si l'on divise l'une par l'autre ces deux expressions, le rapport des intensités a pour valeur

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{\sqrt{r_2^2 + \omega^2 l^2}}{r_1}.$$

Les résistances et la self-induction r_1 , r_2 , l , étant invariantes, on voit que la grandeur du rapport des intensités de courant dans les deux branches dépend uniquement des valeurs de ω , c'est-à-dire de la fréquence des oscillations⁽¹⁾.

Dans l'appareil imaginé par le C^t Ferrié, la grandeur de ce rapport est rendue immédiatement visible grâce à la disposition des deux fils fins agissant chacun sur une aiguille A_1 ou A_2 dont la déviation dépend de l'intensité I_1 ou I_2 . Les deux aiguilles A_1A_2 se déplacent devant le même cadran et, pour chaque valeur de la fréquence, elles se croisent en un point déterminé. C'est ce point de croisement qui indique, sur une graduation appropriée, la fréquence des oscillations ou la longueur d'onde.

48. — Remarques sur l'emploi des ondemètres.

Tous les appareils décrits dans ce chapitre peuvent rendre, en Radiotélégraphie, de grands services en permettant de mesurer la longueur d'onde des mouvements vibratoires

⁽¹⁾ Comme cela a été dit, le symbole ω représente $2\pi f$, f étant la fréquence.

engendrés. Mais, si la plupart d'entre eux sont d'un emploi rapide et commode, il ne faut pas perdre de vue que leurs indications ne sont pas rigoureusement exactes, les appareils étant étalonnés par comparaison avec d'autres. Pour les besoins de la pratique, ces indications sont suffisamment approchées, mais, pour des mesures théoriques, on est obligé d'avoir recours à des méthodes plus précises.

La base de ces méthodes est d'employer des circuits et des condensateurs de formes telles que l'on puisse déterminer exactement, par des calculs ou par des mesures de haute précision, les valeurs de la self-induction et de la capacité. Connaissant ces valeurs pour le cas de la résonance, on détermine la période par la formule

$$T = 2\pi\sqrt{cl},$$

et l'on en déduit la longueur d'onde

$$\lambda = vT.$$

CHAPITRE IX

PERFECTIONNEMENTS APPORTÉS AUX DISPOSITIFS EMPLOYÉS POUR LA TRANSMISSION

Avec les premiers dispositifs radiotélégraphiques, l'accord entre un poste récepteur et un poste transmetteur était très imparfait ou nul. Il en résultait de grands troubles dans les communications, une antenne réceptrice se trouvant influencée simultanément par plusieurs postes transmetteurs.

Les effets de résonance augmentent considérablement l'amplitude des oscillations qui prennent naissance dans les antennes et les circuits, et, par suite, la portée des communications : en outre, l'obtention d'une résonance aiguë permet aux postes récepteurs de se mettre mieux à l'abri des signaux parasites ou étrangers. On a donc cherché à utiliser le plus complètement possible ces effets, aussi bien entre les circuits et les antennes qu'entre les postes eux-mêmes. De nombreux dispositifs ont été imaginés dans ce but, mais, malgré la réalisation d'un bon accord, on n'a pas pu éviter qu'un poste récepteur soit gêné, et même quelquefois paralysé par l'action des ondes émanant de transmetteurs plus rapprochés ou plus puissants : c'est pourquoi les différents États ont été obligés de se mettre d'accord pour édicter certains règlements internationaux⁽¹⁾ destinés à réduire autant

(1) Voir APPENDICE II.

que possible les mélanges de signaux et à permettre l'échange de communications régulières.

Avant de décrire brièvement les principaux dispositifs employés dans la pratique, il est juste de rappeler que, outre les expérimentateurs dont les noms seront cités par la suite, certains savants, qui ne se sont pas spécialisés dans la pratique de la radiotélégraphie, ont néanmoins contribué pour une large part, par de remarquables études théoriques, aux progrès de la radiotélégraphie : tels sont : MM. Bjerkness, Blondel, Drude, Oberbeck, Pierce, H. Poincaré, Seibt, Tissot, Wien, Zenneck.

SYSTÈMES A ÉTINCELLES RARES

Dans les différents transmetteurs décrits au chapitre V, l'éclateur, alimenté par une bobine de Ruhmkorff (ou par un transformateur) est traversé au maximum par une trentaine d'étincelles par seconde. Jusque vers 1909, cette fréquence d'étincelles n'a pas été sensiblement dépassée. Dans les dispositifs ainsi établis, que nous désignerons sous le nom de *systèmes à étincelles rares*, le condensateur emmagasine de l'énergie pendant un temps considérable relativement à la période des oscillations produites, et cette énergie est libérée en un temps très court au moment où l'étincelle jaillit.

49. — *Alimentation du circuit oscillant : résonance primaire.*

Le circuit oscillant primaire, accouplé à l'antenne transmettrice, était alimenté au début par une bobine de Ruhmkorff.

Korff, M. Blondel et M. Fleming paraissent avoir été les premiers à préconiser, en radiotélégraphie, l'emploi d'un transformateur industriel relié à un alternateur ordinaire. Après quelques hésitations, cette façon de faire a été universellement adoptée.

Le montage de M. Fleming a été décrit au chapitre V⁽¹⁾ : la figure 120 reproduit le premier circuit de la figure 57.

Dans un dispositif analogue à ceux des figures 57 et 58, où un alternateur charge un condensateur par l'intermédiaire d'un transformateur, tout se passe comme si le condensateur était placé dans le circuit primaire et avait une capacité r^2 fois plus grande, r étant la valeur du rapport de transformation⁽²⁾. Ainsi, si le transformateur a pour rapport de transformations 40, un condensateur branché

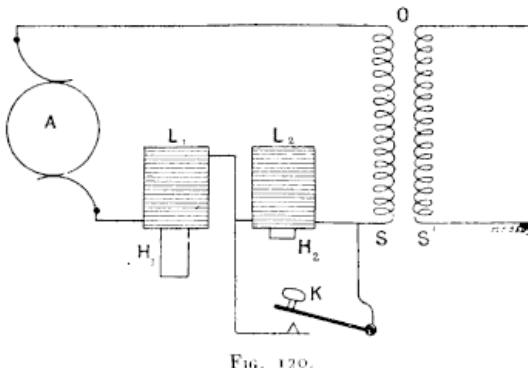


Fig. 120.

⁽¹⁾ § 28, fig. 57 et 58.

⁽²⁾ Cela tient à ce que l'énergie E accumulée dans le condensateur est proportionnelle au carré de la tension secondaire, laquelle est r fois plus grande que la tension primaire. — En appelant Q la quantité d'électricité dans le condensateur de capacité c , v_1 et v_2 les tensions primaire et secondaire, on a :

$$\begin{array}{ll} E = Qv_2. & \\ \text{Mais} & Q = cv_2 \\ \text{Donc} & E = cv_2^2. \\ \text{Or} & v_2 = rv_1 \quad (\text{APPENDICE I, § 99}). \\ \text{Donc} & E = cr^2v_1^2, \\ \text{ou} & E = (r^2c)v_1^2. \end{array}$$

Sous cette dernière forme, on voit que tout revient à supposer le condensateur dans le circuit primaire, avec une capacité r^2c .

sur le secondaire agit, vis-à-vis du primaire, comme si sa capacité était 160 fois plus grande.

Si la self-induction du circuit primaire est suffisante pour que la fréquence propre d'oscillation de ce circuit soit égale à la fréquence du courant produit par l'alternateur, le circuit primaire entre en résonance⁽¹⁾: la différence de potentiel entre les extrémités de la bobine primaire du transformateur va alors en croissant jusqu'à une valeur qui peut facilement atteindre dix fois la valeur initiale. On exprime généralement ce fait en disant qu'il se pro-

duit une *surtension* de dix fois la tension normale.

La surtension produite dans ces conditions conserve la même valeur tant que la résonance persiste et qu'aucune cause ne vient trou-

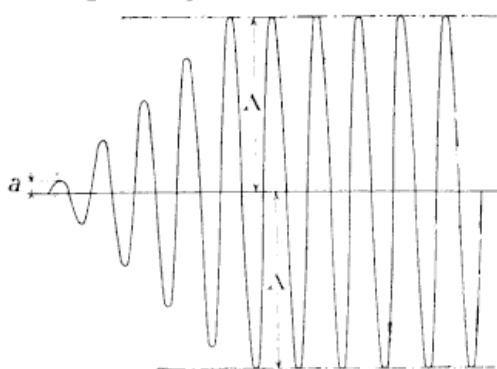


FIG. 121.

bler les phénomènes. La figure 121 représente, par exemple.

(1) Les courants alternatifs industriels ont une fréquence de 25 à 50 par seconde, c'est-à-dire une période de 1/25 à 1/50 seconde. Il faut donc que les valeurs de la capacité et de la self-induction du circuit soient très élevées pour qu'il y ait résonance. En effet on voit, d'après la formule de la période

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

que, pour que la valeur de T soit grande, la valeur du produit el doit être grande. La valeur de la capacité apparente c dans le circuit primaire est grande, puisqu'elle est égale à la valeur de la capacité réelle du condensateur multipliée par le carré du rapport de transformation. Quant à la valeur de la self-induction l , on peut la rendre grande, soit en employant un alternateur ou un transformateur à très fortes fuites magnétiques, soit en intercalant, comme l'a fait M. Fleming, une bobine de forte self-induction dans le circuit. Cette dernière méthode est commode, puisqu'il suffit de déplacer le noyau de fer pour modifier convenablement la valeur de la self-induction.

la courbe de la tension primaire du transformateur. La tension initiale a est celle de l'alternateur; dès que la résonance se produit, elle va en croissant rapidement et atteint une valeur limite A au bout d'un temps relativement court, égal par exemple à cinq fois la période (c'est-à-dire un dixième de seconde, si l'alternateur produit du courant à 50 périodes par seconde).

Par exemple, la différence de potentiel aux bornes de l'alternateur A (fig. 120) sera de 200 volts, et la différence de potentiel aux bornes du primaire S du transformateur sera de 2 000 volts, pour une surtension de dix.

Il est évident que la tension secondaire du transformateur suit l'exemple de la tension primaire, à laquelle elle est proportionnelle. Pour un rapport de transformation de 40, la différence de potentiel au secondaire sera de 80 000 volts dans le cas de la résonance primaire (alors qu'elle serait de 8 000 volts sans résonance). On voit l'intérêt que présente la résonance primaire, puisqu'*elle permet de charger le condensateur à une très haute tension* sans avoir un transformateur présentant un rapport de transformation anormalement élevé. *Bien entendu, l'isolement des bobines du transformateur devra être prévu pour résister aux tensions de résonance.*

Dans ce qui précède, nous avons considéré le cas où le transformateur charge un condensateur, en l'absence de tout circuit accouplé, ce qui revient à supposer les boules de l'éclateur suffisamment écartées pour que l'étincelle ne puisse pas jaillir sous la tension de résonance. Mais si l'on approche ces boules de façon que la distance explosive soit inférieure à la valeur de la tension limite A (fig. 121) multipliée par le rapport de transformation, des étincelles jailliront entre elles chaque fois que la tension atteindra une valeur suffisante (qui dépend de l'écartement des boules).

Étudions ce qui se passe dans le primaire (fig. 122). Par l'effet de résonance, la tension va en croissant pendant un certain nombre de périodes, quatre par exemple, jusqu'à ce qu'elle atteigne la valeur A' pour laquelle une étincelle jaillit à l'éclateur. A ce moment, les tensions secondaire et primaire tombent brusquement à une valeur à peu près nulle. Ensuite, elles recommencent à croître pendant quatre périodes jusqu'à la valeur A' de la tension primaire pour laquelle une étincelle jaillit à nouveau.

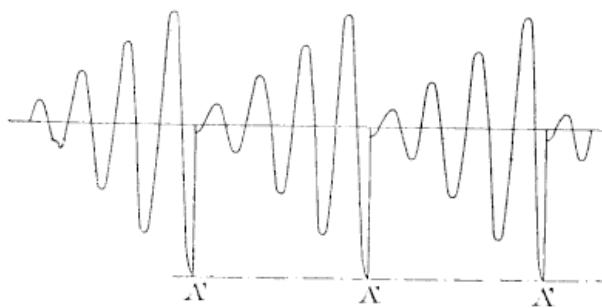


FIG. 122.

Dans l'exemple choisi, une étincelle (ou une décharge) éclate toutes les quatre périodes, c'est-à-dire qu'il y a une douzaine d'étincelles par seconde si le courant de l'alternateur a pour fréquence 50. *En écartant ou en rapprochant les boules de l'éclateur, on diminue ou on augmente le nombre d'étincelles produites par seconde, puisqu'il faut plus ou moins de temps pour que la tension ait atteint la valeur nécessaire au déclenchement de l'étincelle* (¹). De même, si l'on modifie l'ex-

(¹) Les phénomènes de résonance primaire, obtenus au moyen d'une bobine de self-induction réglable, ont été utilisés dès 1896 par le Dr d'Arsonval. En 1900, ce savant a fait à ce sujet des expériences frappantes avec un éclateur dont les deux électrodes étaient fixées à l'extrémité d'un bras tournant autour d'un axe comme une aile de moulin (ce dispositif permettait d'obtenir un soufflage énergique des étincelles). Par suite de la persistance des impressions lumineuses sur la rétine, on voyait un certain nombre d'étincelles fixes dans l'espace et réparties sur une circonférence. Ce nombre variait suivant que l'on modifiait la self-induction ou la distance explosive.

citation de l'alternateur pour faire varier la tension du courant qu'il débite. Dans les systèmes à étincelles rares, on cherche à avoir des étincelles peu fréquentes, de façon à obtenir la plus forte tension de charge possible du condensateur. La tension explosive étant bien supérieure à celle que produit normalement le transformateur (¹), et la raréfaction des étincelles évitant l'échauffement de l'air interposé entre les électrodes de l'éclateur, il ne se forme pas d'arc permanent, et les décharges sont franchement oscillantes.

50. — Modes d'excitation de l'antenne.

Les dispositifs décrits au chapitre V ont servi de base à tous ceux utilisés dans la suite. On s'est efforcé de diminuer l'amortissement, en réduisant au minimum la résistance des circuits oscillants et des connexions, les pertes dans les condensateurs et dans l'éclateur, etc. D'autre part, on a cherché à limiter autant que possible les réactions des circuits les uns sur les autres et à obtenir des oscillations de fréquence bien déterminée donnant naissance à une onde à peu près pure.

Dispositif J. Stone-Stone. — La figure 123 montre le montage adopté. Un premier circuit oscillant $E_1 B_1 L_1 C_1$ est accouplé en $B_1 B_2$ avec

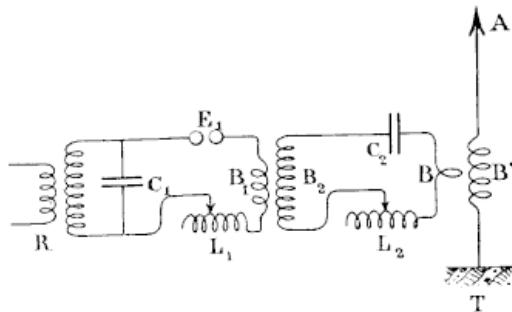
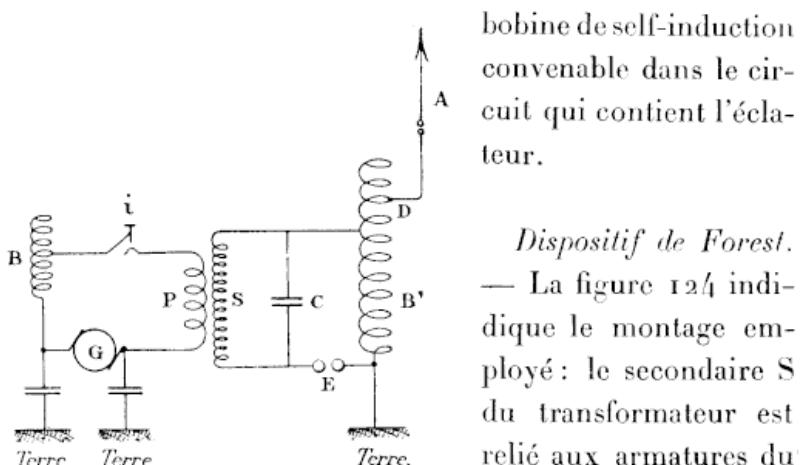


FIG. 123.

(¹) Les postes radiotélégraphiques à étincelles rares fonctionnent normalement avec des surtensions de 5 à 8 et avec des fréquences d'étincelles de 15 à 30 par seconde.

un second circuit oscillant $B_2C_2BL_2$ qui excite l'antenne par induction (accouplement BB'). Le circuit intermédiaire, qui ne contient pas d'éclateur, sert, d'après l'inventeur, à « filtrer » les oscillations complexes produites par le premier circuit. En réalité, son rôle est de diminuer notablement l'amortissement, comme l'a montré M. Bethenod dans une remarquable étude théorique des phénomènes en jeu.

Afin d'obtenir des ondes d'une fréquence unique, M. Stone emploie un accouplement très lâche entre l'antenne et le circuit oscillant accordés ensemble, ou bien il n'accorde pas l'antenne avec le circuit oscillant, et lui fait effectuer des oscillations forcées, en adoptant un accouplement rigide. En outre, il a indiqué que si, avec un accouplement rigide, l'antenne est accordée sur la fréquence propre d'oscillation des circuits excitateurs, on peut atténuer la réaction qu'elle exerce sur eux, en introduisant une



Dispositif de Forest.

— La figure 124 indique le montage employé : le secondaire S du transformateur est relié aux armatures du condensateur C : le circuit oscillant CEB' comprend une portion B' de la bobine intercalée dans l'antenne. Les deux condensateurs auxiliaires qui connectent à la terre les deux bornes de l'alternateur G ont pour effet de pro-

téger cette machine en éoulant vers le sol les oscillations à haute tension qui parviendraient jusqu'en ce point.

Dispositif Telefunken⁽¹⁾ (fig. 125). L'alternateur est relié, comme dans le montage précédent, au condensateur C : le circuit oscillant excite l'antenne par accouplement mixte, avec bobine de couplage L₁ et bobine d'accord L₂ : deux petits éclateurs et, au besoin, un condensateur sont embrochés sur l'antenne.

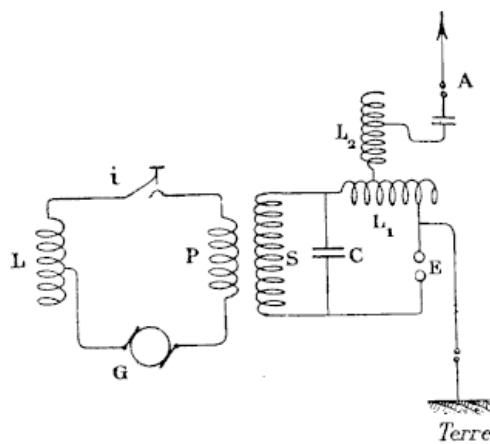


FIG. 125.

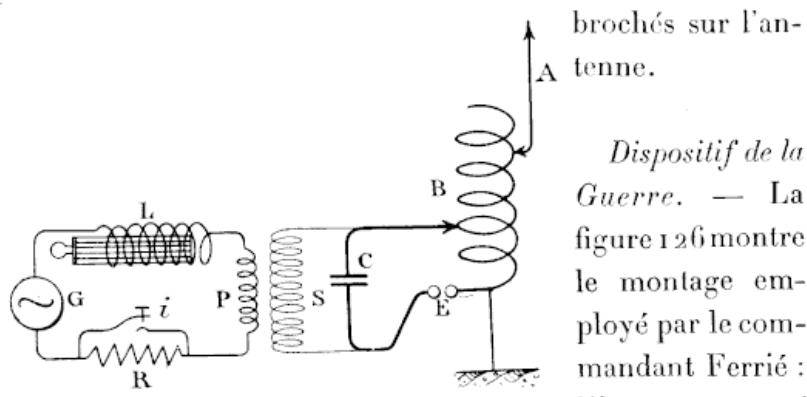


FIG. 126.

Dispositif de la Guerre. — La figure 126 montre le montage employé par le commandant Ferrié : l'interrupteur *i* qui sert à l'émission des signaux est placé en dérivation sur une résistance *R* : on évite ainsi les fortes étincelles de rupture

⁽¹⁾ Les dispositifs *Telefunken* sont exploités par la Gesellschaft für Drahtlose Telegraphie, formée par la fusion des sociétés exploitant les brevets Braun et Slaby-Arco.

nuisibles pour la bonne conservation des contacts. L'éclateur est formé de deux gros cylindres en zinc (¹).

Dispositif de la Marine. — Un alternateur G (fig. 127) ali-

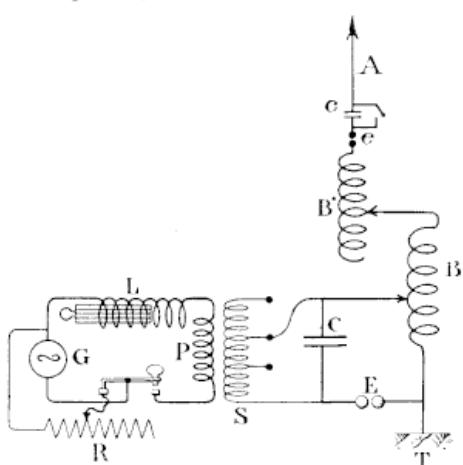


FIG. 127.

mente, par l'intermédiaire d'une bobine de self-induction réglable L, le primaire P d'un transformateur à fuites magnétiques (²). Un manipulateur à deux plots permet d'établir ou de couper le courant primaire et remplace, dans ce dernier cas, le circuit primaire par une résistance équivalente R de façon que le débit de l'alternateur n'ait pas à subir d'à-coups (³).

Le primaire du transformateur comprend deux bobines qui peuvent être reliées en parallèle ou en série suivant que la tension dont on dispose est de 120 ou de 240 volts. Le secondaire S_1S_2 est divisé en deux sections comprenant chacune deux bobines : ces deux sections peuvent être connectées en parallèle ou en série : les tensions de résonance correspondantes sont de 40 000 ou 80 000 volts. Le condensateur réglable C se décharge à travers l'éclateur E et quelques tours de la bobine d'accouplement B, dont l'extrémité supérieure est reliée à la bobine B' servant au réglage de l'antenne. Celle-ci contient un petit éclateur e et, au besoin,

(¹) Voir chapitre XIV.

(²) Cet appareil est à noyau droit dans les postes de faible et de moyenne puissance, et à circuit magnétique fermé dans les postes de grande puissance.

(³) Dans les postes de faible puissance, on a supprimé ce circuit équivalent.

un condensateur c qu'un interrupteur permet de court-circuiter. En réglant convenablement les valeurs de la capacité du circuit oscillant, et en intercalant dans l'antenne soit le condensateur c , soit la bobine de self-induction B' , on peut utiliser des longueurs d'onde de 300, 450, 600 et 750 mètres.

Dispositif de l'administration des Postes et Télégraphes.

— Les installations sont prévues pour pouvoir fonctionner soit avec du courant continu, soit par du courant alternatif. Dans

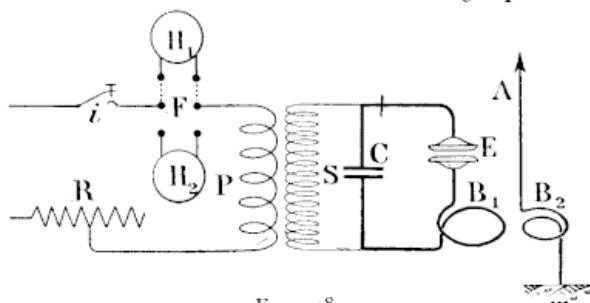


FIG. 128.

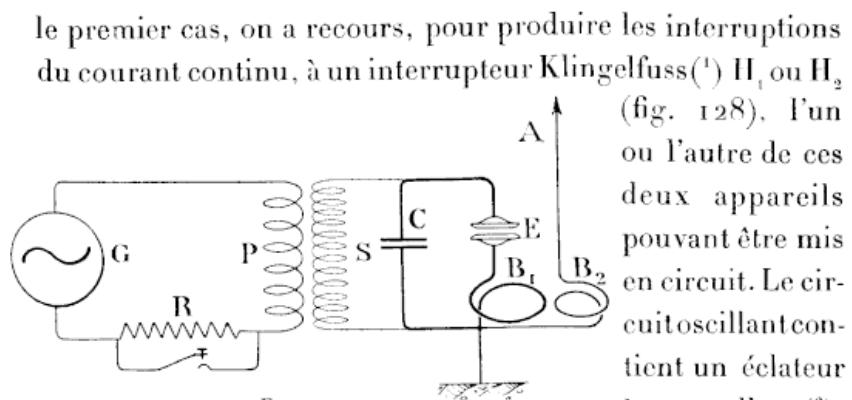


FIG. 129

(fig. 128). L'un ou l'autre de ces deux appareils pouvant être mis en circuit. Le circuitoscillant contient un éclateur à coupelles (2),

un condensateur C et une bobine d'accouplement de très grand diamètre (1^m, 10). Dans le cas de l'alimentation par courant alternatif, on emploie le montage qu'indique la figure 129.

(1) Voir chapitre XIV, § 62.

(2) Voir chapitre XIV, § 68.

CHAPITRE X

PERFECTIONNEMENTS APPORTÉS AUX DISPOSITIFS EMPLOYÉS POUR LA TRANSMISSION (*suite*).

SYSTÈMES A ÉTINCELLES FRÉQUENTES

Les dispositifs à étincelles rares présentent plusieurs inconvénients :

1^o Les ondes sont fortement amorties et de nature complexe;

2^o Les signaux perçus au poste récepteur sont entendus dans le téléphone sous forme de crachements qu'il est difficile de distinguer de ceux produits par les signaux parasites ;

3^o La vitesse de transmission se trouve limitée à une valeur relativement faible par suite de la raréfaction des étincelles.

Tous les perfectionnements récents apportés aux systèmes à étincelles ont été orientés vers la production de décharges plus fréquentes, dont M. Blondel avait envisagé l'emploi dès 1898. Ces dispositifs, que nous désignerons sous le nom de *systèmes à étincelles fréquentes*, offrent les avantages suivants :

1^o Le rendement (transformation de l'énergie primaire en énergie oscillante) est meilleur ;

2^o Les ondes sont moins amorties et plus pures ; elles permettent donc de meilleurs accords ;

3^o Les signaux perçus au poste récepteur ont, avec la

plupart de ces systèmes, une note propre caractéristique (note musicale) qui les distingue des signaux parasites ou étrangers et permet une meilleure sélection :

4^e On peut réaliser l'accord des postes transmetteur et récepteur non seulement sur la fréquence des oscillations, mais aussi sur la fréquence des groupes d'oscillation, ou fréquence des décharges (M. Blondel) ;

5^e Dans les très gros postes, où la puissance primaire n'est pas limitée, on peut mettre en jeu une quantité d'énergie beaucoup plus grande avec une même capacité et une même antenne, puisque le nombre des décharges par seconde est beaucoup plus considérable. Réciproquement, pour une puissance primaire et une tension de charge données, il faudra une capacité beaucoup plus faible (et, par conséquent, une batterie de condensateurs beaucoup moins volumineuse), puisque la quantité d'énergie à accumuler est celle qui correspond à chaque décharge ;

6^e La vitesse de transmission peut être aussi grande que le permet l'habileté des opérateurs ou la perfection des appareils employés.

51. — Dispositifs à étincelles étouffées.

Excitation par chocs. — Dans ses admirables expériences sur les courants de haute fréquence, M. Tesla a employé un éclateur subdivisé, dans lequel l'étincelle unique était remplacée par une série d'étincelles très courtes. Il a nettement reconnu et décrit, dès 1892, les avantages d'un tel procédé, dont l'effet est d'augmenter l'amortissement, ainsi qu'on l'a mis en évidence par la suite (¹).

(¹) Nous avons vu au chap. II, § 9, que la subdivision de l'étincelle produit un accroissement considérable de l'amortissement.

Vers 1907, M. Wien, faisant des expériences avec un circuit primaire dont l'éclateur avait une distance explosive extrêmement petite (0 mm. 15 environ) constata, dans le circuit secondaire accouplé, la présence de trois groupes d'oscillations dont l'un était nettement prédominant et les deux autres très affaiblis. En poursuivant ces études, notamment au moyen d'éclateurs à vide, il arriva à la conclusion que, *quand l'étincelle présente un très fort amortissement et est rompue aussitôt après son établissement, le circuit secondaire ne peut plus réagir sur le circuit primaire et vibre indépendamment avec sa période propre d'oscillation, sous l'effet des chocs successifs qu'il reçoit du circuit primaire à chaque étincelle.*

Les figures 130 et 131 montrent la différence qui existe entre le mode d'excitation ordinaire par induction et le mode d'excitation par chocs.

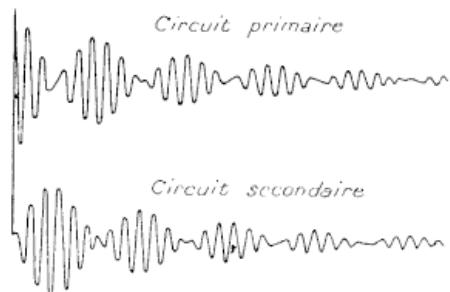


FIG. 130.

Dans le premier cas, l'énergie en jeu dans le circuit primaire passe entièrement dans le circuit secondaire (antenne),

puis reflue dans le primaire pour repasser à nouveau dans le secondaire, etc. Ce balancement d'énergie détermine une variation pendulaire des oscillations, caractérisée par les battements que représente la figure 130.

Dans le deuxième cas (étincelle fortement amortie et instantanément rompue), l'énergie passe du circuit primaire dans le circuit secondaire (antenne) et ne peut plus refluer dans le primaire, qui se trouve coupé: le secondaire vibre alors librement sous l'effet du choc qu'il a reçu (fig. 131). Pour que le phénomène se produise bien, l'accouplement

doit avoir une valeur nettement déterminée, comprise entre d'étroites limites qui dépendent de la nature des circuits et surtout de la constitution et de la distance explosive de l'éclateur. Il faut que l'accouplement soit assez rigide pour que l'antenne soutire rapidement l'énergie en jeu dans le circuit oscillant, et décharge ainsi l'éclateur : il faut aussi, d'autre part, qu'il soit assez lâche pour que les vibrations de l'antenne n'empêchent pas, par leur réaction sur le circuit oscillant, l'extinction de l'étincelle aussitôt après le premier battement. Pour des accouplements plus forts ou plus faibles que l'accouplement propice, l'excitation par chocs ne se produit plus, et le secondaire présente plusieurs groupes d'oscillations.

On réussit à produire l'excitation par chocs avec différents types d'éclateurs et divers dispositifs. Les distances explosives doivent être très minimes (de l'ordre du dixième de millimètre) ; les électrodes doivent rester toujours froides ; la nature du métal joue un rôle prépondérant (¹) ; la présence d'un gaz tel que l'hydrogène, ou l'absence d'air sont avantageuses ; enfin on a constaté qu'une dissymétrie des électrodes, propre à donner à l'appareil une conductibilité unipolaire, facilite la production du phénomène.

Dispositif de Lepel. — M. de Lepel a établi en 1907 un éclateur formé de deux disques de cuivre séparés par une

(¹) Le platine iridié, puis l'argent et le cuivre, donnent les meilleurs résultats.

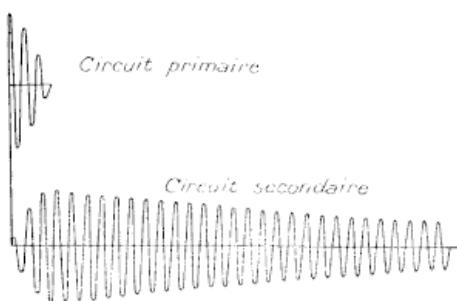


FIG. 131.

feuille de papier mince au centre de laquelle est ménagé un petit trou. Ces plateaux sont généralement creux et refroidis par une circulation d'eau. La figure 132 représente le montage adopté; l'éclateur E est intercalé dans l'antenne, qui vibre avec sa fréquence propre: en outre, le circuit oscillant B_1C_1 est accouplé en B_1B_2 avec l'antenne et présente une fréquence d'oscillation d'environ un millier par seconde: son action a pour effet d'imprimer aux oscillations de l'antenne un certain rythme et de donner ainsi, dans le téléphone du poste récepteur, une note musicale dont la hauteur dépend des valeurs de la self-induction et de la

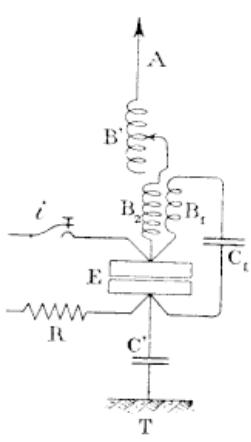


FIG. 132.

capacité dans le circuit auxiliaire B_1C_1 . Une bobine B' et un condensateur C' servent aux réglages.

Les propriétés essentielles de l'éclateur de M. de Lepel résident dans la très faible distance explosive et dans l'absence d'air. Les premières décharges passent par le trou central, puis le papier brûle peu à peu: on le change au bout de quelques heures de fonctionnement. Les disques portent, sur leur périphérie, une gorge qui empêche les décharges de passer à l'extérieur. Bien entendu, on ne peut pas employer de hautes tensions avec un seul éclateur, et l'inventeur avait prévu l'emploi de courant continu à 500 volts. Il est facile, pour utiliser de plus hautes tensions, de disposer plusieurs éclateurs en série.

Dispositif Telefunken. — La G. f. D. T⁽¹⁾ a cherché d'abord à réaliser l'excitation par chocs au moyen d'éclateurs

(1) Gesellschaft für Drahtlose Telegraphie.

à vide à électrodes de mercure, préconisés quelques années auparavant par différents expérimentateurs (¹). Dans un tel appareil, formé d'une ampoule de verre vide d'air munie de deux godets EE' (fig. 133), chaque étincelle est rompue presque instantanément après sa formation, ce qui limite à une valeur extrêmement faible la durée de la décharge. Malheureusement, il est à peu près impossible de maintenir le degré de vide constant dans les tubes à mercure, et la moindre variation du vide suffit pour modifier beaucoup les résultats.

Dans la suite, la G. f. D. T. a adopté une série d'éclateurs

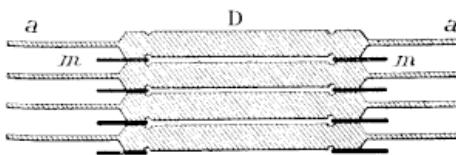


FIG. 133.

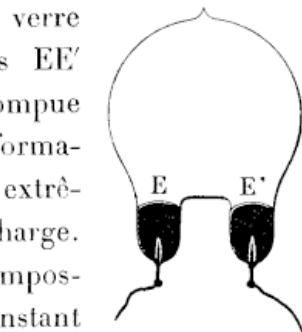


FIG. 134.

de Lepel juxtaposés. L'appareil comprend une pile de disques D (fig. 134) en cuivre pur ou argenté main-

tenus à très faible distance l'un de l'autre (environ un quart de millimètre) par des rondelles en mica *m*. Chaque disque est prolongé, sur toute sa périphérie, par une ailette mince *a* dont la grande surface de contact avec l'air assure un bon refroidissement. Les disques sont légèrement creusés dans leur partie centrale pour empêcher l'étincelle de jaillir au centre et de s'y immobiliser. L'action du champ magnétique produit par l'étincelle elle-même a pour effet de la chasser vers les bords, où elle se souffle rapidement.

Le nombre d'éclateurs partiels mis en série doit être proportionné à la puissance du poste, car l'extinction rapide des étincelles ne se produit que si l'énergie dissipée dans chacun

(¹) L'emploi des tubes à mercure en radiotélégraphie a été indiqué par l'auteur en 1902, puis par M. Cooper Hewitt, et par MM. Simon et Reich.

d'eux est relativement faible : ce nombre est considérable dans les postes de grande puissance.

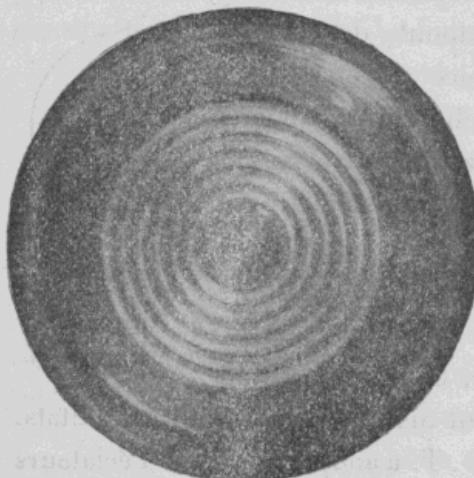


Fig. 155.

Les surfaces des disques actuellement employés par la compagnie Telefunken ne sont plus lisses, mais portent des rainures circulaires qui leur donnent l'apparence d'une série d'anneaux emboités les uns dans les autres (fig. 135).

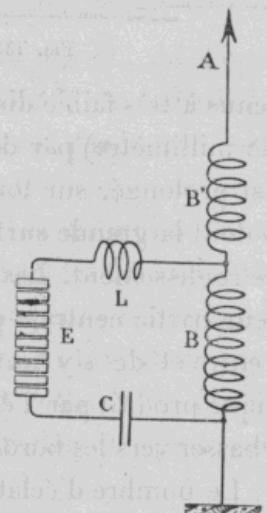
Le montage des cir-

cuits pour la transmission est indiqué par la figure 136.

L'éclateur subdivisé E est relié à un transformateur qu'alimente un alternateur produisant normalement 500 périodes par seconde : ce nombre peut être modifié par variation de la vitesse de rotation. Le réglage est fait pour qu'il y ait une décharge à chaque alternance, soit un millier de décharges par seconde.

Le circuit oscillant comprend l'éclateur E, le condensateur C, la bobine L et la bobine d'accouplement B dont la self-induction est réglable. L'antenne contient la bobine B(') et une autre bobine d'accord B'.

Les bobines B et B', dont la self-induction peut être mo-



E-20

⁽¹⁾ Le circuit oscillant et l'antenne sont accouplés directement ensemble.

difiée graduellement, sont nommées *variomètres*. Leur construction repose sur le principe suivant, indiqué en 1907 par le capitaine Péri : deux disques parallèles portent chacun une paire de bobines plates en forme de demi-disques $b_1 b'_1$ et $b_2 b'_2$ (fig. 137), et l'un d'eux peut effectuer une rotation complète autour de son centre. Quand la position du disque tournant est telle que les flux magnétiques produits par les quatre bobines soient concordants, la self-induction de l'ensemble est maxima ; si, au contraire, les flux sont opposés, elle est minima : pour toute position intermédiaire, elle a une valeur intermédiaire.

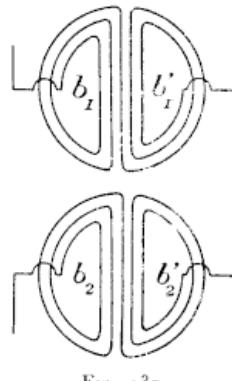


FIG. 137.

Dispositif Peuckert. — Dans l'éclateur utilisé par M. Peuckert, deux disques parallèles en cuivre rouge ou en cuivre argenté sont placés à un dixième de millimètre l'un de l'autre. L'un d'eux est fixe et l'autre tourne à la vitesse

de 800 tours par minute : ils sont séparés par une mince couche d'huile qui se renouvelle constamment. Le disque fixe est disposé sur la carcasse d'un petit moteur électrique dont l'arbre vertical porte le disque mobile : une vis de rappel permet de modifier l'écartement. Le contact

électrique entre le disque mobile et le circuit extérieur est assuré par une bague et un balai : un godet graisseur laisse

Comme cela a été expliqué au chapitre VII, § 37, le coefficient d'accouplement dépend de la valeur de la self-induction de la bobine commune B.

pénétrer l'huile, par l'intérieur de l'arbre, jusqu'à la surface de séparation des deux disques entre lesquels elle forme une mince couche.

L'appareil à deux disques convient pour une tension de 600 à 800 volts. Il peut être alimenté par du courant continu ou par du courant alternatif. Si l'on veut augmenter la tension il suffit d'employer plusieurs couples de disque successifs.

La figure 138 représente la montage adopté.

Dispositifs Galetti. — M. Galetti s'est proposé d'obtenir une grande fréquence d'étincelles en employant plusieurs circuits combinés dans lesquels l'étincelle jaillit à tour de

rôle. Ces circuits sont alimentés par du courant continu à haute tension.

Dans un premier dispositif (fig. 139), un certain nombre de circuits oscillants voisins sont reliés à la source de courant: chacun d'eux comprend un condensateur C_i , une bobine de self-induction B_i , et un éclateur $E_i E'_i$: chaque éclateur est muni d'une électrode auxiliaire reliée au circuit oscillant voisin.

Quand l'un des circuits, $B_3 E_3 C_3$ par exemple, est mis en vibration, l'électrode auxiliaire E''_3 amorce une étincelle dans l'éclateur $E_2 E'_2$ du circuit voisin; une décharge traverse alors cet éclateur et le circuit oscillant $B_2 C_2$ est mis en vibration. A son tour, l'électrode E''_2 détermine l'amorçage de la décharge dans l'éclateur $E_1 E'_1$; le circuit $B_1 C_1$ entre en vibration, et ainsi de suite. Si le premier éclateur

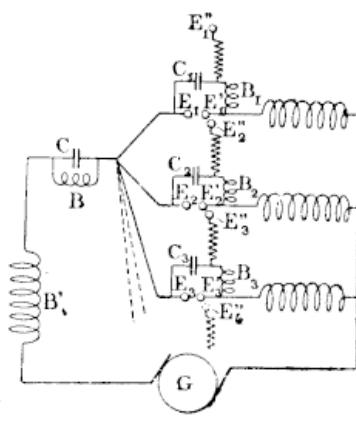


FIG. 139.

est associé avec le dernier circuit oscillant, les phénomènes se reproduisent indéfiniment et automatiquement.

Le circuit principal qui contient le condensateur C , associé avec la bobine de self-induction B , est mis en vibration par les décharges régulières qui passent successivement partout les circuits partiels : ce circuit peut être accouplé d'une façon quelconque avec l'antenne d'émission.

Dans un deuxième dispositif (fig. 140), quatre condensateurs identiques $C_1 C_2 C_3 C_4$ sont chargés par le générateur G . Deux d'entre eux, C_1 et C_3 sont reliés chacun à un éclateur E_1 et E_3 . Les petits circuits oscillants $C_1 E_1$, $C_3 E_3$, et le circuit général $C_1 L_1 C_1 C_3 L_2 C_2$ sont accordés sur la même fréquence.

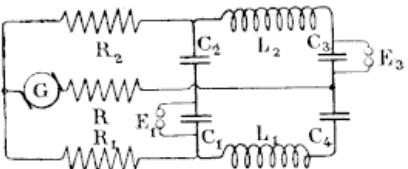


Fig. 140.

Si, par exemple, une décharge jaillit en E_1 , il se produit des oscillations dans le petit circuit $C_1 E_1$ et le circuit oscillant général $C_1 L_1 C_4 C_3 L_2 C_2$ entre en vibration. Comme il présente un faible amortissement, les oscillations y persistent après le passage de la décharge en E_1 , et la tension oscillante existant entre les armatures du condensateur C_3 détermine le passage d'une étincelle dans l'éclateur E_3 . Il se produit alors en E_3 une décharge qui met en vibration le petit circuit $C_3 E_3$, et aussi le circuit principal $C_3 L_2 C_2 C_1 L_1 C_4$. A nouveau, l'éclateur E_1 est traversé par une étincelle, et ainsi de suite : à la fin de chaque décharge en E_1 ou E_3 , il y a une tension oscillante maxima engendrée entre les boules de l'éclateur opposé.

Le dispositif employé en dernier lieu, dans de remarquables expériences faites à Lyon, est représenté par la figure 141. Un certain nombre de circuits partiels (quatre dans la figure) $e_1 B_1 C c_1$, $e_2 B_1 C c_2$, $e_3 B_1 C c_3$, etc., sont mis successivement

en vibration par les décharges des éclateurs $e_1 e_2 e_3 \dots$: ceux-ci sont alimentés (par l'intermédiaire des résistances et réactances $l_1 r_1, l_2 r_2, l_3 r_3 \dots$ etc.), par une source de courant continu à haute tension (34 000 volts dans les expériences dont il s'agit). Si les éclateurs sont bien équivalents, de même que les réactances $l_i r_i$ et les parties constitutives des différents circuits partiels, et si la capacité du condensateur C n'est pas trop grande en comparaison de celle des condensateurs $c_1 c_2 c_3 \dots$, les étincelles en $e_1 e_2 e_3 \dots$ se produisent

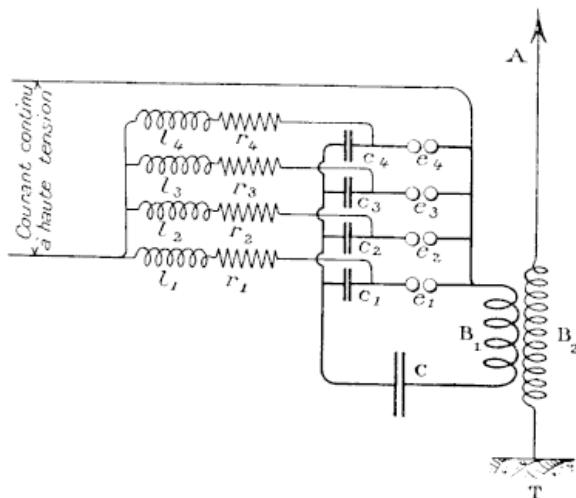


FIG. 141.

régulièrement et successivement. Les éclateurs sont formés chacun de 40 disques de cuivre séparés par des rondelles de mica.

Avec ce dispositif, M. Galetti a pu obtenir des fréquences d'étincelles atteignant 100 000 par seconde, la figure 142 montre une photographie, prise au miroir tournant (1), des étincelles jaillissant entre les boules d'un petit éclateur branché entre l'antenne et la terre, au régime de 100 000 décharges par seconde.

(1) Le principe de cette méthode est indiquée au chap. II, § 8.

Les mesures faites avec un thermogalvanomètre Duddell sur une antenne réceptrice située en Algérie ont montré que

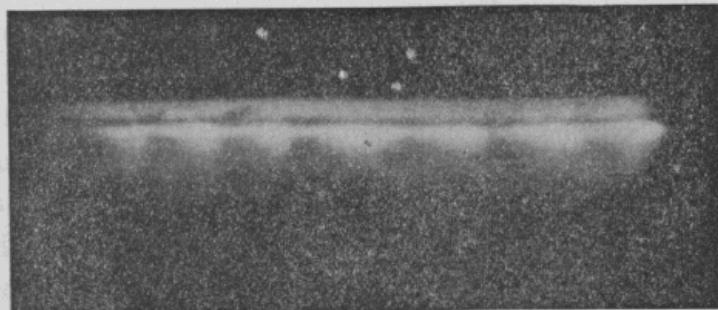


FIG. 142.

les résultats obtenus avec ce dispositif sont remarquables : l'intensité des signaux reçus était extrêmement forte.

Dispositifs divers. — Plusieurs expérimentateurs ont employé, pour étouffer l'étincelle, des éclateurs dissymétriques présentant une unipolarité marquée. Tel est le dispositif de M. Chaffee dont l'éclateur est établi avec une cathode en aluminium et une anode en cuivre, placées dans une atmosphère d'hydrogène à une distance de 0 mm. 04 à 0 mm. 09. Cet éclateur est alimenté par du courant continu à 500 volts et donne une fréquence de décharges extrêmement élevée. Il est représenté par la figure 143 : les électrodes sont munies d'ailettes de refroidissement ou sont refroidies par une circulation d'eau.

Les éclateurs des figures 144 et 145, employés par M. Eisenstein sont aussi dissymétriques : le second, formé de pointes et de plateaux, tourne d'un mouvement rapide autour

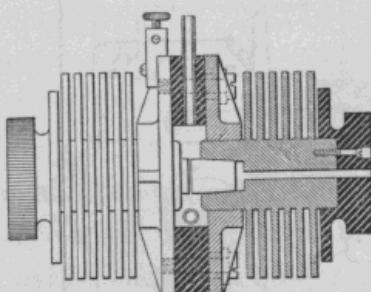


FIG. 143.

d'un axe, d'où résulte un soufflage énergique, comme dans les appareils dont il va être question.

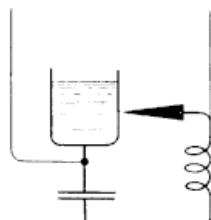


FIG. 144.

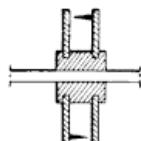


FIG. 145.

52. — Dispositifs à étincelles soufflées.

Dispositifs Marconi. — Dans tous ses postes actuels, la compagnie Marconi emploie des éclateurs tournants.

Le premier modèle (fig. 146) comprend un disque métallique D' tournant à très grande vitesse entre deux électrodes $D_1 D_2$ en cuivre : celles-ci sont constituées elles-mêmes par deux disques perpendiculaires au premier et animés d'un lent mouvement de rotation : des frotteurs appropriés $F_1 F_2 F'$ assurent les liaisons électriques.

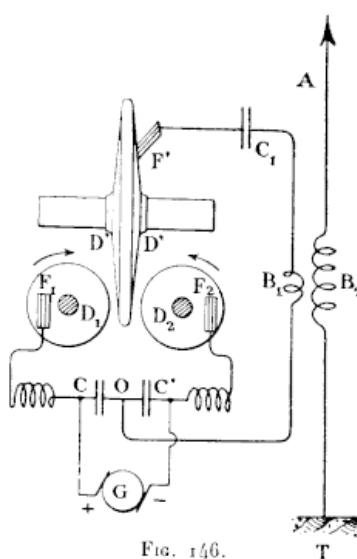


FIG. 146.

La figure 146 donne le schéma des connexions : G représente une source de courant continu à haute tension, 12 000 volts environ⁽¹⁾. Les étincelles

jaillissent entre les surfaces du disque D' et les tranches des

(1) La source de courant continu est une batterie d'accumulateurs de 6 000

électrodes $D_1 D_2$, que séparent des distances explosives réduites : elles sont immédiatement soufflées par suite de la très grande vitesse de rotation du disque D' et se succèdent avec une extrême rapidité.

Ce dispositif a été modifié par l'adjonction de saillies s sur les surfaces du disque D' : ces saillies sont constituées par des broches en zinc qui traversent le disque (fig. 147). ou qui sont fixées radialement sur sa périphérie. L'étincelle jaillit chaque fois qu'une broche passe en regard des électrodes $D_1 D_2$: la vitesse de rotation est réglée pour qu'il y ait environ 500 décharges par seconde. L'éclateur est alimenté par du courant continu à haute tension dans certains postes de grande puissance, et par du courant alternatif à basse fréquence dans les autres : la note musicale de l'émission est alors moins bonne. Les postes de moyenne puissance sont équipés avec un alternateur à 70 périodes tournant à 2 100 tours par minute : l'arbre de cette machine porte l'éclateur, muni de 16 broches, qui donne 560 étincelles par seconde, soit quatre par alternance.

Dans la suite, la compagnie Marconi a utilisé des alternateurs à 200 périodes (ou plus) : l'éclateur est calé sur l'arbre de la machine et réglé de façon qu'une étincelle jaillisse à chaque alternance au moment du maximum de ten-

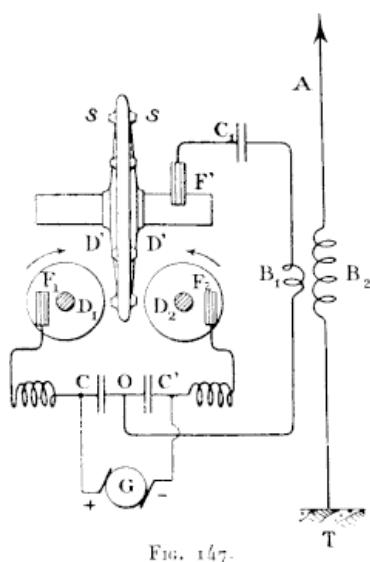


FIG. 147.

éléments chargée par trois dynamos à haute tension connectées en série, ou bien par des convertisseurs à vapeur de mercure qu'alimente un alternateur.

sion. Souvent une soufflerie lui est adjointe, pour activer, par un courant d'air, l'extinction des étincelles.

Le schéma des connexions est donné par la figure 148 : le transformateur d'alimentation est relié aux bornes du condensateur C ; le circuit oscillant comprend une bobine de réglage et une bobine d'accouplement ; sur l'antenne est branché un petit éclateur e formé de deux disques métalliques parallèles que sépare, vers leur centre, une feuille de mica. Cet éclateur auxiliaire joue le rôle suivant : quand le poste transmet, les étincelles le traversent facilement et relient directement l'antenne à la terre ; quand le poste reçoit, les oscillations

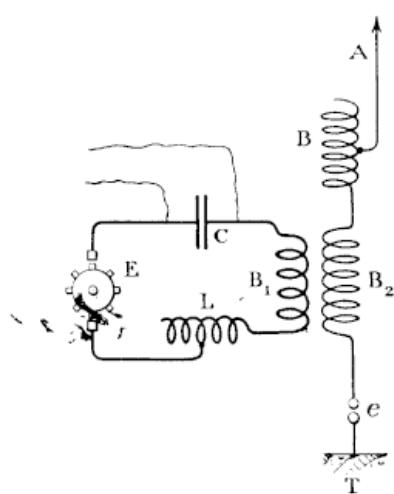


FIG. 148.

ne peuvent le franchir et passent par les circuits récepteurs. De la sorte, le radiotélégraphiste n'a pas besoin de connecter et de déconnecter l'antenne, et il peut s'arrêter de transmettre pour écouter, sans avoir à faire aucun changement.

Malgré la rapidité de la rupture des étincelles dans les éclateurs Marconi, le circuit oscillant secondaire ne vibre pas tout à fait librement et la courbe de résonance présente deux maxima très rapprochés : on emploie, pour cette raison, un accouplement lâche (environ 3 pour 100). Les éclateurs des petits postes consistent simplement en

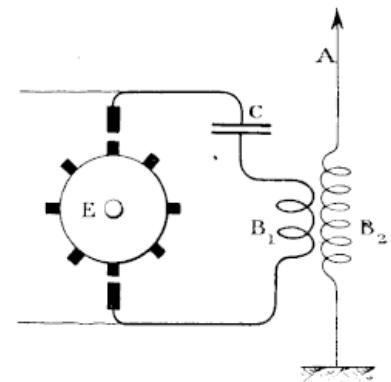


FIG. 149.

un disque d'ébonite portant à sa périphérie un cercle métallique sur lequel sont vissées des tiges radiales en nombre égal à celui des pôles de l'alternateur (figure 149). Les deux électrodes fixes sont diamétralement opposés, et leur position est réglée pour que les étincelles jaillissent au moment des maxima de tension.

Dispositif Fessenden. — La figure 150 montre schématiquement le dispositif actuellement employé par M. Fessenden. Un alternateur à 500 périodes porte, directement calé sur son arbre, un éclateur tournant formé d'un disque D en fibre ou en ébonite qui porte à sa périphérie un cercle métallique muni de 30 tiges radiales en laiton. L'ensemble tourne à la vitesse de 2 000 tours par minute. Les étincelles jaillissent entre les extrémités des tiges et deux électrodes fixes : la position de celles-ci est réglée pour que les décharges se produisent au moment du maximum de tension dans chaque alternance (1 000 décharges par seconde).

On emploie un accouplement lâche pour obtenir, dans l'antenne, une onde à peu près pure.

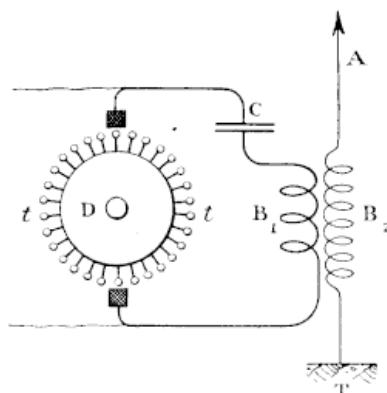


FIG. 150.

Dispositif Lodge-Chambers. — L'éclateur multiple de M. Chambers se compose (fig. 151) de deux groupes de disques en cuivre enfilés sur deux arbres parallèles qui tournent en sens inverses. Dans chaque groupe, les disques sont jumelés deux à deux par des connexions métalliques, et les plateaux doubles ainsi formés sont isolés les uns des autres.

L'ensemble est disposé de façon que deux disques jumeaux d'un groupe soient en regard de deux disques isolés de

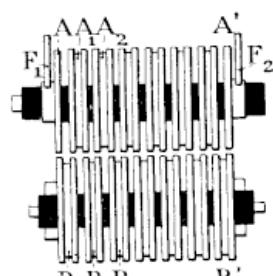


FIG. 151.

l'autre groupe : un intervalle d'air très réduit sépare les tranches des disques opposés : cet intervalle est réglé par une vis micrométrique qui commande la position de l'un des arbres. Deux frotteurs $F_1 F_2$ assurent la liaison électrique avec les deux disques extrêmes (simples) A et A' .

Chaque décharge franchit l'éclateur par une série d'étincelles courtes jaillissant entre les bords extérieurs des disques en AB_1 , BA_1 , A_1B_1 , B_1A_2 , ..., $B'A'$.

Pour éviter la réaction du secondaire (antenne) sur le circuit oscillant primaire, M. Chambers a imaginé un dispositif de désaccord automatique dont la figure 152 donne le schéma.

Une « bobine de désaccord » L est intercalée dans le circuit oscillant en parallèle avec un éclateur à boules très rapprochées e : l'éclateur principal est figuré schématiquement en E . Aussitôt que le circuit primaire entre en vibration, la différence

de potentiel entre les extrémités de la bobine L s'élève suffisamment pour qu'une étincelle jaillisse en e : cette étincelle met hors circuit la bobine de désaccord L , et, pendant que les oscillations se produisent, les circuits sont accordés. Mais dès que la décharge cesse de passer en E , l'étincelle auxiliaire se coupe en e , la bobine de désaccord L se retrouve intercalée dans le circuit primaire, qui n'est plus alors accordé avec le secondaire : la réaction de ce der-

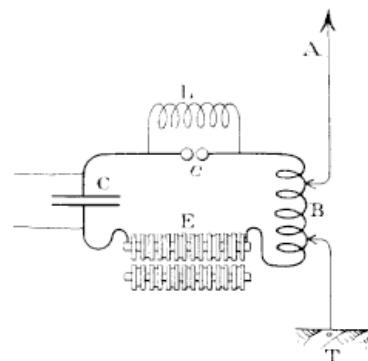


FIG. 152.

nier ne peut donc plus remettre le système en vibration.

Le schéma des connexions est indiqué par la figure 152 : le condensateur C est alimenté par un alternateur à 350 périodes, et l'éclateur E donne 700 étincelles par seconde. L'accouplement est du type mixte : la valeur qui donne les meilleurs résultats est de 20 pour 100 environ. La rotation des deux arbres de l'éclateur E est assurée par un petit moteur électrique.

Dispositif Béthenod (Société Française Radioélectrique). — M. Béthenod a conservé les avantages de la résonance primaire (¹) en employant un alternateur spécial dont la fréquence est plus élevée que celle des machines généralement utilisées dans les autres systèmes. Cet alternateur donne 1 000 périodes par seconde et présente de fortes fuites magnétiques, ce qui évite l'emploi de bobines de self-induction. L'éclateur est formé d'un tube et d'un plateau convexe (fig. 153) : les étincelles jaillissent entre la tranche du tube mince et le plateau, pendant qu'un violent courant d'air, produit par un ventilateur, sort du tube et balaie l'intervalle compris entre les deux électrodes. Pour que le soufflage soit encore plus énergique dans les gros éclateurs, on entoure le tube T qui sert d'électrode par un tube de plus grand diamètre T' amenant l'air : de la sorte, le courant d'air balaie

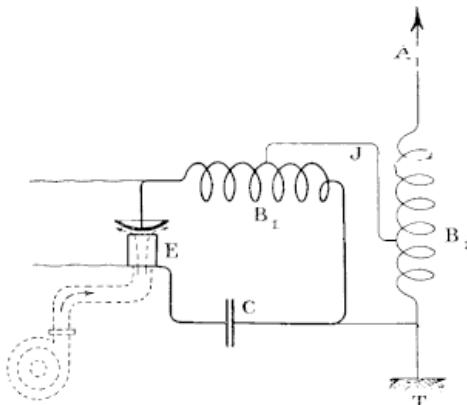


FIG. 153.

(¹) § 49.

la surface intérieure et la surface extérieure du tube-électrode T (figure 154). En modifiant la distance explosive ou la

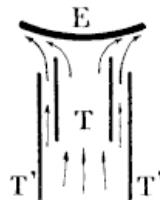


Fig. 154.

tension produite par l'alternateur (¹), on fait varier de 400 à 2 000 le nombre des étincelles qui éclatent par seconde, la vitesse de rotation de l'alternateur restant toujours la même.

Grâce à l'emploi de la résonance primaire, il ne peut pas se former d'arc tenace, comme cela a été expliqué au § 49, et l'éclateur ne

se détériore pas.

M. Béthenod s'est efforcé à réaliser un système à onde unique en employant un circuit intermédiaire *apériodique* (ne contenant pas de capacité). Au lieu d'utiliser le montage par induction de la figure 155, avec les circuits I (primaire), II (intermédiaire), et III (antenne), il a trouvé plus

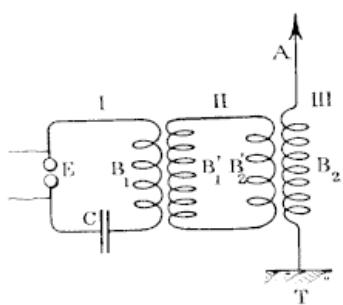


Fig. 155.

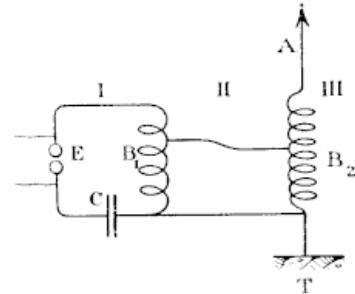


Fig. 156.

commode d'adopter le montage en dérivation que représente la figure 156. Pour que les bobines B_1 et B_2 n'exercent pas d'action inductive l'une sur l'autre, on les dispose rectangulairement, comme l'indique la figure 153 dont le schéma est équivalent à celui de la figure 156 : les contacts mobiles de la connexion J sur les bobines B_1 et B_2 permettent le réglage de l'accouplement.

(¹) Il suffit, pour cela, de manœuvrer le rhéostat d'excitation.

M. Howe a montré, par une étude théorique et expérimentale⁽¹⁾ que, si l'on veut employer des accouplements serrés, ce dispositif présente les mêmes inconvénients que les autres montages à circuits accouplés et ne donne pas une onde unique.

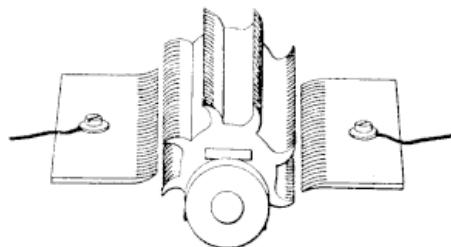


FIG. 157.

Dispositif Balsillie. — M. Balsillie a utilisé d'abord un éclateur tournant que représente la figure 157, dans lequel 8 peignes de 30 dents arquées passent entre deux peignes fixes également arqués. Cette disposition permet d'obtenir un courant d'air énergique.

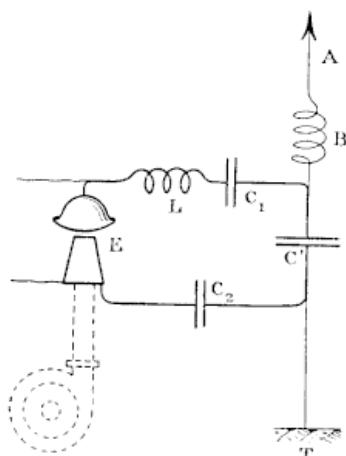


FIG. 158.

Par la suite, M. Balsillie a adopté un éclateur semblable à celui de la Société française radioélectrique, formé d'un plateau et d'une tuyère dans laquelle un ventilateur envoie un courant

d'air. Le schéma des connexions est représenté par la figure 158.

⁽¹⁾ *The Electrician*, 25 juillet 1913.

CHAPITRE XI

PERFECTIONNEMENTS APPORTÉS AUX DISPOSITIFS EMPLOYÉS POUR LA TRANSMISSION (*suite*)

DISPOSITIFS À OSCILLATIONS ENTRETENUES

Les systèmes à étincelles (rares ou fréquentes) produisent, comme cela été expliqué au § 8⁽¹⁾ des groupes successifs d'oscillations amorties, chaque groupe étant séparé du précédent par un intervalle de temps considérable par rapport à la fréquence.

Plusieurs inventeurs ont cherché à réaliser des générateurs capables de produire d'une façon ininterrompue des oscillations d'amplitude et de fréquence constantes : les oscillations de cette nature sont souvent appelées « non amorties » : nous les désignerons sous le nom d'oscillations entretenues.

Un alternateur à haute fréquence est évidemment le générateur idéal d'oscillations entretenues, si l'on parvient à le construire dans des conditions acceptables de prix de revient, de robustesse et de rendement, si l'on réussit à maintenir sa vitesse de rotation constante. Mais devant les difficultés que présente l'établissement d'une telle machine, les inventeurs ont d'abord tourné leurs efforts du côté de l'arc chantant⁽²⁾:

(1) Page 28.

(2) Chap. II, § 10, page 34.

la construction d'alternateurs industriels à haute fréquence n'a pu être abordée que depuis très peu de temps, et ces machines appartiennent à l'avenir bien plutôt qu'au présent.

53. — *Systèmes à arc.*

Il est très difficile de faire une séparation nette entre les systèmes à étincelles fréquentes donnant un très grand nombre de décharges par seconde, et les systèmes dits « à arc » basés sur les propriétés de l'arc chantant. Pour établir néanmoins une distinction, nous appellerons dispositifs à arc ceux dans lesquels il paraît exister un courant permanent entre les électrodes, courant auquel se superpose le courant ondulatoire qui prend naissance dans le circuit oscillant. Dans ces dispositifs, l'énergie convertie en oscillations est soutirée sans interruption à la source d'énergie extérieure : dans les systèmes à étincelles au contraire, l'énergie convertie en oscillations est empruntée au circuit oscillant lui-même, puisque c'est la quantité d'électricité contenue dans le condensateur qui entre en jeu pendant les phénomènes de la décharge, après quoi ce condensateur est rechargé par la source extérieure.

On sait assez mal ce qui se passe dans un arc comme ceux dont il va être question. On pensait au début qu'un tel appareil produirait des ondes entretenues de fréquence bien déterminée, mais on s'est aperçu que les oscillations prennent naissance sous forme de groupes discontinus irréguliers. Les phénomènes sont extrêmement complexes ; l'arc est peu stable, et son fonctionnement est troublé dès qu'on soutire au circuit oscillant une trop forte proportion d'énergie.

Dispositif Poulsen. — La disposition générale adoptée par M. Poulsen est représentée par la figure 159.

L'arc jaillit entre une électrode positive E en cuivre, formée d'un cylindre creux dans lequel circule un courant d'eau froide, et un cylindre de charbon massif E'. Ce dernier tourne lentement autour de son axe sous l'action d'un

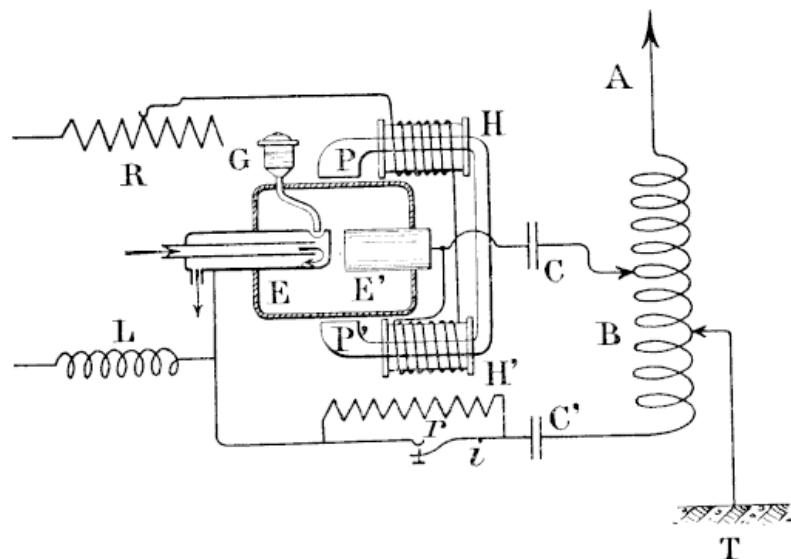


FIG. 159.

mécanisme d'horlogerie ou d'un petit moteur électrique. Les deux électrodes sont disposées à l'intérieur d'un récipient étanche en fonte dans lequel on introduit du gaz d'éclairage, ou un gaz hydrocarburé analogue. Dans les petits appareils, on emploie des vapeurs d'alcool : pour cela on ménage, sur l'électrode de cuivre E, une dépression dans laquelle vient tomber, goutte à goutte, l'alcool contenu dans le godet G. La volatilisation de ce liquide crée dans le récipient l'atmosphère nécessaire pour le fonctionnement de l'appareil.

Les gaz hydrocarburés jouent un triple rôle : d'une part, leur bonne conductibilité calorifique assure un refroidissement convenable de l'arc ; d'autre part, l'absence d'oxygène

dans l'atmosphère environnante réduit à une très faible valeur l'usure des charbons dont la seule diminution provient d'un effet de calcination et d'un phénomène de désintégration cathodique; en troisième lieu, la décomposition des hydrocarbures donne naissance à un dépôt de charbon qui atténue l'usure de l'électrode. On peut ajouter aussi que la présence d'une atmosphère dépourvue d'oxygène augmente la valeur de la différence de potentiel nécessaire au maintien de l'arc.

D'autre part, un puissant champ magnétique transversal est produit par les pôles P et P' d'un électro-aimant en fer à cheval dont les bobines II et II' sont parcourues par le courant même de l'arc.

Le circuit d'alimentation, relié à une source de courant à 400 ou 500 volts, contient une résistance de réglage R et une bobine de self-induction L.

En dérivation sur l'arc est branché le circuit oscillant qui comprend une portion de la bobine d'accouplement B, un condensateur C et une résistance r qui court-circuite l'interrupteur i servant à l'émission des signaux.

Avec les oscillations entretenues, on peut employer à volonté un accouplement lâche ou rigide entre l'antenne et le circuit oscillant: un bon moyen consiste, dans ce dernier cas, à embrocher l'arc directement sur l'antenne. L'accouplement rigide doit être généralement préféré: si l'accouplement a une valeur moyenne, la fréquence est mal définie et variable, l'arc prenant indifféremment l'une ou l'autre des deux fréquences qui peuvent exister.

Dans les systèmes à arc, on ne peut pas intercaler directement un interrupteur dans le circuit principal pour l'émission des signaux. En effet, la tension d'alimentation est insuffisante pour que l'arc jaillisse sans amorçage: si donc on ouvrait le circuit, l'arc s'éteindrait et ne se rallumerait pas

quand on fermerait l'interrupteur pour émettre un signal. Différentes dispositions peuvent être adoptées pour l'émission des signaux. Avec le montage de la figure 159, quand la résistance r est en circuit, l'amortissement est trop fort pour que les ondes soient efficaces ; quand, au contraire, l'interrupteur i est fermé, la résistance r se trouve court-circuitée.

En général, M. Poulsen emploie le montage de la figure 160, dans lequel l'arc est directement embroché sur

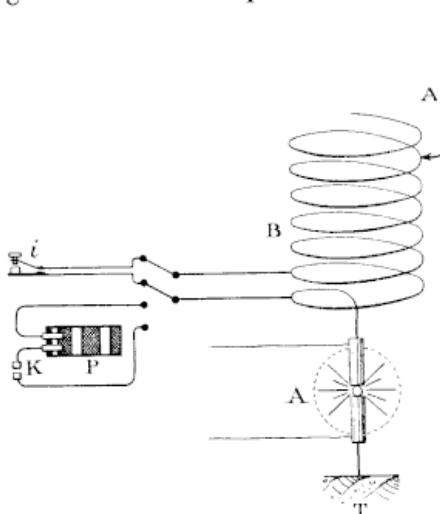


FIG. 160.

l'antenne qui contient une bobine B de forte self-induction, ayant pour effet de stabiliser et d'uniformiser la production des oscillations. Pour l'émission des signaux, on court-circuite, au moyen d'un manipulateur i ou d'un appareil automatique P , un ou deux tours de la bobine B , ce qui a pour effet de modifier un peu

la fréquence d'oscillation du système et, par suite, des ondes émises. Une variation de fréquence de 1 pour 100 suffit, si le poste récepteur est bien accordé, pour différencier nettement les signaux.

L'appareil automatique P , que l'on peut mettre en service à la place du manipulateur i , a été établi par M. Pedersen pour l'obtention de grandes vitesses de transmission (100 mots par minute et plus). Il comprend un commutateur tournant à disques dont les circuits K sont fermés ou ouverts par un dispositif à aiguilles qu'actionne une bande de papier

perforée : le commutateur ferme à son tour, pendant un intervalle de temps convenable (trait ou point), le circuit dérivé de la bobine B. La bande de papier est préparée à l'avance sur une machine à clavier qui fait des trous vers la droite pour représenter les points de l'alphabet Morse et vers la gauche pour représenter les traits.

Dispositif Moretti. — Dans ce dispositif, l'arc, alimenté par du courant continu à 500 volts, jaillit entre deux électrodes de cuivre, dont l'une est percée suivant son axe et amène au sein même de l'arc un faible courant d'eau : les électrodes sont enfermées dans une boîte métallique étanche. M. Béthenod, qui a perfectionné cet appareil, a établi un régulateur très précis ayant pour fonction de maintenir à une valeur constante l'écartement des électrodes. En outre, il emploie, pour l'alimentation de l'arc, une génératrice à courant continu dont la tension baisse fortement quand le débit augmente, et s'élève à vide : l'arc est ainsi grandement stabilisé sans qu'on aie besoin de recourir à des résistances additionnelles intercalées dans le circuit.

L'eau qui est vaporisée et décomposée dans l'arc produit une atmosphère d'hydrogène et abaisse la température des électrodes, deux conditions favorables à la production des oscillations, mais il est probable que celles-ci sont engendrées par des phénomènes particuliers d'intermittence, dus à la vaporisation et à la décomposition des gouttelettes d'eau : à ce point de vue, il est bien possible que l'appareil de M. Moretti soit plutôt un éclateur à étincelles très fréquentes, comme celui de M. Chaffee (§ 52, fig. 143) qu'un arc proprement dit. Quoi qu'il en soit, son fonctionnement est très régulier, et grâce à sa simplicité, il paraît susceptible d'une bonne utilisation dans les postes de faible puissance.

54. — *Alternateurs à haute fréquence.*

Il paraît évident que si l'on parvient à établir des machines assez puissantes, produisant directement le courant alternatif de haute fréquence nécessaire pour mettre l'antenne en vibration, on réalisera un progrès considérable. Une telle source d'oscillations régulières serait d'un emploi simple et commode pour l'excitation directe ou indirecte de l'antenne. Le manipulateur qui sert pour l'émission des signaux pourrait être intercalé dans le circuit d'excitation de l'alternateur, ou sur l'antenne, ou dans un circuit convenable accouplé avec elle.

La solution de ce problème, qui présentait des difficultés à peu près insurmontables il y a très peu d'années, paraît possible maintenant grâce à deux faits nouveaux : en premier lieu, parce que l'industrie est parvenue à livrer des tôles d'une remarquable qualité ayant trois à cinq centièmes de millimètre d'épaisseur⁽¹⁾ ; en deuxième lieu, parce que les radiotélégraphistes en sont venus à envisager l'emploi d'ondes de 8, 10 et même 15 kilomètres de longueur d'onde. La fréquence à obtenir n'est donc plus d'un million, pas même de 100 000, mais seulement de 20 000 à 40 000 périodes par seconde, et l'utilisation des tôles ultra-minces permet de limiter, pour des fréquences de cet ordre, les pertes dans le fer à des valeurs encore acceptables. Bien entendu, il ne peut être question d'établir des machines ayant un rendement comparable à celui des alternateurs industriels à basse fréquence : seules les pertes dues au frottement de l'air représentent déjà une valeur très élevée à cause de l'énorme

(1) Ces tôles coûtent près de 90 francs le kilogramme.

vitesse périphérique dont sont forcément animés les rotors des alternateurs à haute fréquence⁽¹⁾.

Bien que l'on puisse réduire les fréquences d'oscillation des antennes jusqu'à trente mille périodes par seconde environ, il ne paraît pas probable qu'un constructeur parvienne à établir un alternateur d'assez grande puissance donnant directement une fréquence de cet ordre de grandeur.

Les inventeurs ont donc dû recourir à certains artifices ayant pour but la multiplication de la fréquence initiale. L'un de ces artifices, utilisé par M. Béthenod, consiste à accoupler en cascade un certain nombre d'alternateurs ; l'autre, employé par M. Goldschmidt, consiste à renforcer dans un alternateur les courants parasites de fréquence supérieure dus aux actions réciproques successives de l'inducteur et de l'induit ; un autre encore, adopté par la compagnie Telefunken, consiste à renforcer les courants de fréquence supérieure qui peuvent prendre naissance dans les transformateurs lorsque le fer travaille dans des conditions d'aimantation dissymétrique. Bien entendu, la multiplication de fréquence, obtenue par l'un quelconque de ces moyens, est accompagnée d'une diminution de rendement.

Quelle que soit la solution adoptée pour l'établissement d'un alternateur à haute fréquence, on se heurte en pratique à de grosses difficultés pour maintenir la vitesse de rotation constante à moins de 0,1 pour 100 près de façon à assurer la constance de la fréquence. Cette constance est absolument nécessaire, puisque le principal avantage du système réside dans la possibilité de réaliser des accords très aigus, qui se trouvent entièrement détruits si la fréquence varie tant soit peu. Il est permis de penser que cette difficulté occasionnera beaucoup de déboires.

(1) Ces pertes croissent à peu près comme le cube de la vitesse.

Dispositif Fessenden. — Depuis quelques années, M. Alexanderson (¹) est parvenu à établir, pour M. Fessenden, un alternateur de faible puissance donnant *directement* une fréquence très élevée (jusqu'à 100 000 périodes par seconde). Dans cette machine, l'inducteur et l'induit sont tous deux fixes : un disque denté en acier vient fermer le circuit magnétique de l'inducteur et provoque ainsi, dans sa rotation, les variations de flux nécessaires pour la production d'une force électromotrice induite.

La disposition adoptée est indiquée en demi-coupe par la figure 161. Une carcasse creuse en fer C contient une bobine

inductrice annulaire B. Sur les bords intérieurs des joues de cette carcasse sont fixés, comme le montre la figure, des paquets de tôles très minces formant deux anneaux circulaires placés l'un en face de l'autre. Ces anneaux portent chacun 600 rainures radiales très rapprochées,

dans lesquelles est logé un fil de cuivre de 33 centièmes de millimètre, isolé à la soie vernie : le fil est plié en zigzag pour passer successivement dans toutes les rainures.

La bobine inductrice produit dans la carcasse un flux magnétique qui vient se refermer par l'espace compris entre les anneaux de tôles NS, et qui traverse ainsi l'enroulement induit constitué par le fil en zigzag. Entre les deux anneaux se déplace le disque R, de 30 centimètres de diamètre, portant 300 encoches et tournant à une vitesse qui peut atteindre 20 000 tours par minute. La vitesse périphérique est alors

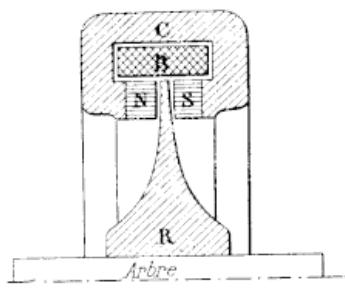


FIG. 161.

(¹) Ingénieur de la General Electric Co.

de 300 mètres par seconde (¹) : aussi le disque est-il taillé dans de l'acier chrome-nickel, avec un profil donnant le maximum de résistance contre la force centrifuge : les encoches sont remplies d'un métal non magnétique pour que les surfaces extérieures soient lisses et offrent le moins de prise possible à la résistance de l'air. Comme dans les turbines de Laval, l'arbre est flexible, et est soutenu par des coussinets supplémentaires aux vitesses intermédiaires (²) pour lesquelles la partie tournante présente des vibrations critiques.

Quand le disque tourne, le flux magnétique qui traverse l'enroulement induit varie périodiquement et y engendre une force électromotrice dont la fréquence est égale à la vitesse de rotation par seconde multipliée par le nombre de paires de pôles (300). Dans la suite, M. Alexanderson a employé un enroulement spécial avec lequel le nombre d'encoches est seulement égal aux deux tiers du nombre de pôles (soit ici 400 au lieu de 600) : il a pu ainsi augmenter la dimension des encoches.

Pour que la vitesse de rotation reste invariable, M. Fessenden a eu recours à un dispositif électromagnétique commandant le régulateur du moteur électrique qui entraîne l'alternateur. Un circuit oscillant, accouplé inductivement avec l'antenne, est accordé sur la fréquence que l'on désire maintenir constante, ou, plus exactement, sur une fréquence un peu plus élevée. Ce circuit, représenté à droite de la figure 162, comprend un condensateur C_3 , une bobine de self-induction réglable L_3 , et un relai H spécial à deux contacts. Si la vitesse de rotation augmente, l'amplitude des oscillations du circuit auxiliaire varie sous l'effet de la

(¹) Ou 1 000 kilomètres à l'heure.

(²) Lors de la mise en route.

résonance, la partie mobile du relais se déplace et ferme un circuit de réglage du moteur; si la vitesse diminue, la partie mobile du relais se déplace en sens inverse et ferme un second circuit de réglage; quand la vitesse est normale, les deux circuits sont ouverts.

On peut modifier à volonté la valeur de la fréquence que l'on désire maintenir constante: il suffit, pour cela, de faire varier la longueur active de la bobine L_3 en modifiant le point de contact d'un curseur qui se déplace devant une échelle graduée. La mise en circuit ou hors circuit d'un tour

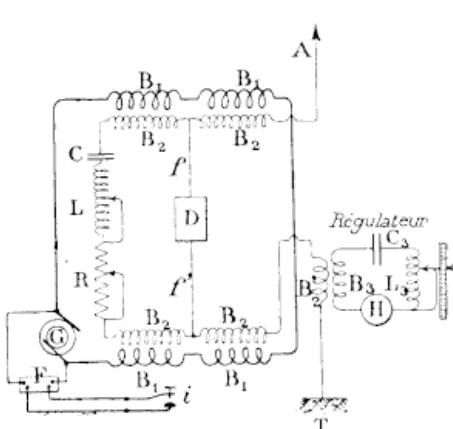


FIG. 162.

de la bobine L_3 correspond à une variation de fréquence de 0,25 pour 100.

Le montage employé par M. Fessenden est représenté schématiquement par la figure 162. L'alternateur à haute fréquence G est relié à un circuit contenant quatre bobines d'accouplement semblables B_1 . Ces bobines agissent inductivement sur un circuit secondaire contenant quatre bobines B_2 embrochées entre l'antenne et la terre. Entre deux groupes de bobines B_2 , le circuit secondaire contient, en outre, un « contre-poids d'antenne » comprenant un condensateur réglable C, une bobine de self-induction réglable L et une résistance réglable R: ce circuit est destiné à équilibrer l'antenne. Le détecteur D servant à la réception est branché entre les jonctions des deux paires de bobines B_2 .

La disposition indiquée par la figure 162 permet d'effectuer simultanément une transmission et une réception sans

modification des connexions et avec une seule antenne. Lorsque le contre-poids d'antenne est réglé de façon à équilibrer exactement celle-ci, les deux circuits situés de part et d'autre de la jonction médiane fDf' qui contient le détecteur sont parfaitement symétriques (d'une part l'antenne, la prise de terre, et deux bobines B_2 ; d'autre part le contre-poids d'antenne et deux bobines B_2). Quand l'alternateur fonctionne, aucun courant ne circule dans cette jonction fDf' et le détecteur n'est pas impressionné: le poste peut donc effectuer des transmissions sans inconveniente.

Pour l'émission des signaux, M. Fessenden emploie un interrupteur i qui ferme le circuit d'un appareil F ayant pour rôle de modifier légèrement la fréquence du courant alternatif. Quand l'interrupteur est abaissé, la fréquence a sa valeur normale et le détecteur du poste récepteur est impressionné; quand l'interrupteur est relevé, la fréquence est modifiée et le détecteur du poste récepteur n'est plus impressionné. Les ondes étant émises d'une façon continue et les variations de fréquence employées pour l'émission des signaux étant très faibles, les postes voisins ne sont pas gênés par les transmissions faites avec ce système, et ne peuvent pas troubler les communications.

Dispositif Béthenod (Société Française Radio-électrique).

— Si l'on prend une série d'alternateurs établis pour donner une fréquence f et si, le premier étant excité par du courant continu, on excite chacun des suivants par le courant engendré dans l'induit du précédent (accouplement en cascade), le deuxième alternateur donne une fréquence $2f$, le troisième une fréquence $3f$, le quatrième une fréquence $4f$, etc.

Ce principe a été appliqué par M. Béthenod à la construction d'un alternateur constitué par l'assemblage de

quatre machines montées sur le même arbre et réunies dans une carcasse unique. Les enroulements de ces quatre machines sont invariablement connectés entre eux ; l'inducteur de la première est excité par un courant extérieur et l'induit de la dernière produit le courant d'utilisation, dont la fréquence est le quadruple de la fréquence de chaque machine.

Pour améliorer la puissance spécifique (utilisation des matériaux) et le rendement, M. Béthenod a bobiné son alternateur en diphasé⁽¹⁾, une disposition appropriée lui permettant d'utiliser simultanément les deux phases pour l'excitation de l'antenne.

Le stator de la machine est formé de quatre anneaux en tôles minces $S_1 S_2 S_3 S_4$ (schéma fig. 163), et le rotor de quatre

disques en tôles minces $R_1 R_2 R_3 R_4$. Chaque anneau ou chaque disque porte à sa périphérie intérieure ou extérieure 240 encoches dans lesquelles est réparti un enroulement diphasé à 120 pôles. Les encoches, ainsi que les dents, ont 2 mm. 5 de largeur ; l'entrefer a 0 mm. 3 ; l'alésage du stator est de

380 millimètres : la vitesse de rotation est de 6000 tours par minute, correspondant à une vitesse périphérique d'environ 120 mètres par seconde. L'enroulement S_1 est alimenté par du courant continu : les enroulements R_1 et R_2 , S_2 et S_3 , R_3 et R_4 sont connectés ensemble, ou, pour mieux dire, chaque groupe de deux enroulements forme un seul bobinage avec connexions croisées entre les deux paquets de tôles. Les courants induits dans R_1 par S_1 ont pour fréquence

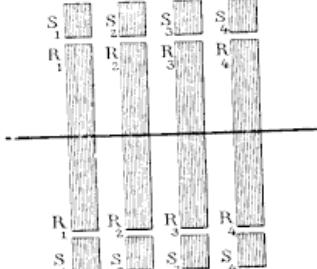


FIG. 163.

⁽¹⁾ C'est-à-dire que la machine produit deux courants alternatifs de même fréquence décalés de 90°. Voir APPENDICE I, § 96.

6 000 ; ceux induits par R_2 dans S_2 , 12 000 ; ceux induits par S_3 dans R_3 , 18 000 ; et enfin ceux induits par R_4 dans S_4 , 24 000. Ce sont ces derniers qui sont utilisés dans l'antenne.

La méthode employée par M. Béthenod pour utiliser les deux phases de l'alternateur est indiquée schématiquement par la figure 164. L'une des phases E_1 de l'enroulement S_4 est embrochée entre la terre T et l'antenne A ; l'autre phase E_2 agit inductivement sur l'antenne par les bobines B_1 et B_2 . Le circuit de la phase E_2 contient un condensateur C prévu pour contrebalancer le décalage du second courant débité par l'alternateur et l'amener, dans l'antenne, en phase avec le premier. En réglant l'accouplement des bobines B_1B_2 , on doit pouvoir équilibrer les puissances débitées par les deux phases.

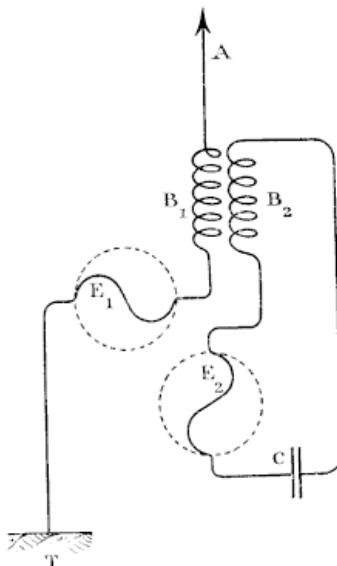


Fig. 164.

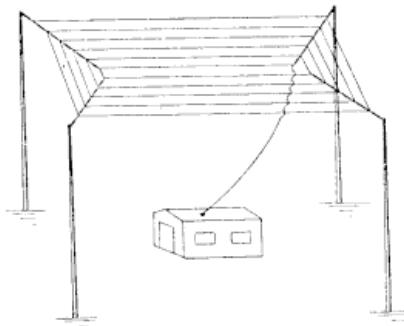


Fig. 165.

Pour utiliser une fréquence de 24 000 périodes par seconde, on a besoin d'une antenne ayant une longueur d'onde propre de 12 500 mètres. Or, les antennes les plus volumineuses employées jusqu'à présent correspon-

dent à des longueurs d'onde inférieures à 10 000 mètres. M. Béthenod pense avoir résolu le problème en adoptant

une nouvelle forme d'antenne (fig. 165) composée d'un ou plusieurs conducteurs verticaux et d'une ou plusieurs spirales horizontales (qui ne servent pas pour la radiation, mais dont la présence augmente la longueur d'onde).

Dispositif Goldschmidt. — D'après un théorème classique démontré par M. Boucherot il y a une vingtaine d'années, l'induit d'un alternateur monophasé est le siège d'un nombre infini de courants ayant chacun pour fréquence un multiple impair (3, 5..., etc.) de la fréquence fondamentale, et l'inducteur est le siège d'un nombre infini de courants ayant chacun pour fréquence un multiple pair (2, 4, 6..., etc.) de la fréquence fondamentale. Ces courants sont engendrés par les réactions successives de l'induit sur l'inducteur et réciproquement. Dans les machines normales, ils ont une intensité de plus en plus faible et sont étouffés par la self-induction, dont l'action est d'autant plus forte que la fréquence est plus grande, mais M. Boucherot a montré que, par l'utilisation des phénomènes de résonance, on pouvait renforcer, à l'aide de condensateurs, les courants d'une ou plusieurs fréquences supérieures. On peut ainsi, a-t-il dit⁽¹⁾, « obtenir des courants de fréquence très élevée et faire des machines donnant toutes sortes de fréquences, mais dont les courants d'une fréquence donnée seraient les plus intenses et pourraient, par conséquent, être considérés comme courants principaux ».

C'est sur ce principe qu'est basé l'alternateur de M. Goldschmidt. Par exemple, soient (fig. 166) S l'enroulement inducteur, R l'enroulement induit, $f = 10\,000$ la fréquence

(1) *Lumière électrique*, 25 mars 1893, page 554.

fondamentale. L'induit R est relié au circuit C_1L_1 accordé de façon que le circuit total RC_1L_1 ait pour fréquence propre 10 000 : les conditions de résonance se trouvent ainsi remplies pour le courant fondamental. Son action sur l'inducteur S y engendre un courant de fréquence 20 000, qu'il est possible de renforcer de même au moyen du circuit résonant L_2C_2 (fréquence propre de $SL_2C_2 = 20\ 000$). A son tour, la réaction de ce courant produit dans l'induit R un courant de fréquence 30 000 que l'on renforce au moyen du circuit résonant C_3L_3 , puis celui-ci produit dans le stator un courant de fréquence 40 000..., etc. Cet accroissement de fréquence par « réflexions successives » peut être poussé très loin, mais il en résulte, à chaque fois, une diminution de rendement par suite de l'augmentation des pertes. C'est pourquoi M. Goldschmidt se contente, en pratique, de quadrupler la fréquence fondamentale, la dérivation antenne-terre formant, avec l'inducteur S, le quatrième circuit résonant, accordé sur la fréquence 40 000.

Cette disposition, qui diffère en apparence du groupement de quatre alternateurs en cascade, est en réalité équivalente au point de vue du rendement et de la puissance

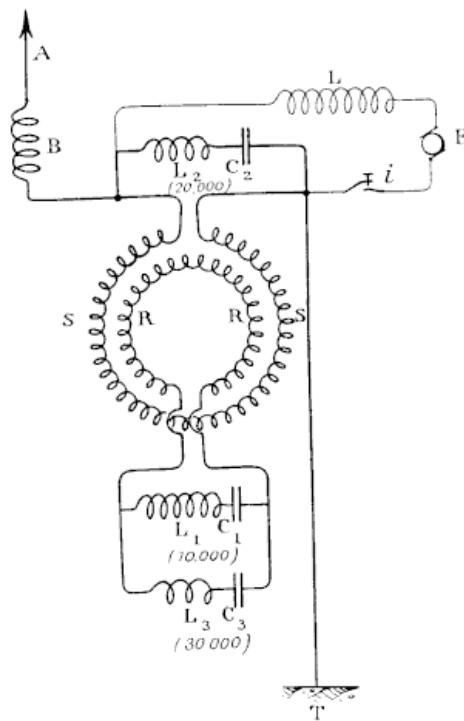


FIG. 166.

spécifique, comme l'a montré M. Latour⁽¹⁾. Les quatre inducteurs se trouvent confondus en un seul, de même que les quatre induits, mais l'unique inducteur et l'unique induit doivent être dimensionnés, au point de vue des courants et des flux, comme l'ensemble des quatre inducteurs et induits d'une machine quadruple, et les pertes dans le cuivre et dans le fer de la machine unique sont égales à la somme des pertes analogues dans les quatre machines particulières.

Le premier alternateur Goldschmidt, présenté à la Conférence radio télégraphique de Londres, a une fréquence fondamentale de 15 000, soit une fréquence utilisable de 60 000; la vitesse périphérique du rotor est de 150 mètres par seconde; les condensateurs sont formés de feuilles minces de cuivre séparées par du mica, et les bobines de self-induction par des spirales plates immergées dans l'huile.

Les nouveaux alternateurs de grande puissance (150 kilowatts) ont une fréquence utilisable de 40 000 périodes par seconde (fréquence fondamentale 10 000); le stator et le rotor portent chacun un enroulement réparti à 384 pôles; la vitesse de rotation est de 3 100 tours par minute. L'inducteur est excité par le courant de la machine E que protège la bobine de réactance L. Le manipulateur I est intercalé sur le circuit d'excitation: il est muni d'un contact auxiliaire chargé d'ouvrir ou de fermer un circuit de réglage du courant d'excitation du moteur électrique qui entraîne l'alternateur. Ce dispositif, convenablement réglé, permet d'éviter les variations de vitesse qui se produiraient au moment des émissions, l'alternateur tournant tantôt à vide, tantôt en charge. En outre, un relais automatique agit

⁽¹⁾ *Lumière électrique*, 22 juin 1912, page 355.

aussi sur l'excitation du moteur pour maintenir sa vitesse constante.

Dispositif Telefunken. — Le système Telefunken est basé sur la multiplication de la fréquence dans un transformateur statique. M. Epstein (1902) et Maurice Joly (1911) ont utilisé ou proposé des transformateurs doubleurs de fréquence dans lesquels une aimantation dissymétrique du fer (produite par l'adjonction d'un enroulement à courant continu) donne naissance à des courants parasites dont les fréquences sont des multiples pairs de la fréquence fondamentale. L'emploi de circuits résonants permet de renforcer ces courants et de les utiliser.

L'alternateur Telefunken est du type à fer tournant (comme celui de M. Alexanderson). La machine de faible puissance présentée à la Conférence radiotélégraphique de Londres tournait à 5 000 tours (vitesse périphérique 200 mètres par seconde) et produisait du courant à 30 000 périodes, qu'un appareil statique transformait en courant à 120 000 périodes. La machine actuellement construite a une puissance de 15 kilowatts et donne 10 000 périodes pour une vitesse périphérique de 100 mètres. Cette fréquence est quadruplée dans un groupe de transformateurs-doubleurs. D'autres alternateurs de grande puissance sont en construction.

55. — *Remarques sur les dispositifs à oscillations entretenues.*

Les ondes produites par les dispositifs à oscillations entretenues ont une fréquence trop grande pour que le téléphone du poste récepteur donne un son perceptible à l'oreille⁽¹⁾. On

(1) L'oreille est insensible aux vibrations ayant une fréquence supérieure à 30 000 par seconde.

a donc dû employer, pour la réception, des dispositifs spéciaux, chargés de couper le circuit 500 ou 1 000 fois par seconde de façon à donner une note dans le téléphone : il sera question de ces appareils au chapitre XII. Avec les alternateurs à haute fréquence, on a obtenu des résultats satisfaisants en introduisant, dans le circuit d'excitation un interrupteur tournant chargé de donner 500 à 1 000 interruptions par seconde, ou mieux en employant, pour l'excitation, du courant alternatif à 500 périodes au lieu de courant continu.

Les partisans des systèmes à ondes entretenues revendentiquent pour eux une meilleure utilisation de l'antenne (puisque l'antenne est maintenue en vibration d'une façon ininterrompue, au lieu d'être mise en vibration par saccades), un meilleur rendement, une plus parfaite réalisation des accords, une plus facile sélection par rapport aux signaux parasites ou étrangers, enfin une moindre absorption pour les transmissions à longue distance. Il semble plutôt que le principal et très important avantage de ces systèmes soit la suppression de l'éclateur.

Il est impossible, à l'heure actuelle, de porter un jugement sur des systèmes qui ont à peine fait l'objet de quelques essais. Les seuls résultats que l'on puisse signaler sont les suivants :

M. Eccles⁽¹⁾ pense avoir montré, par une étude théorique détaillée, que les dispositifs modernes à étincelles fréquentes permettent d'obtenir des effets de résonance aussi nets que ceux qu'on atteindrait avec un alternateur, et qu'il n'y a pas à attendre de perfectionnements sensibles au point de vue de la transmission de l'énergie de l'antenne émettrice à l'antenne transmettrice. La sélection acoustique qui résulte de

⁽¹⁾) *The Electrician*, 10 janvier 1913.

L'emploi d'étincelles musicales offre un grand avantage pour la différenciation des signaux.

Le comte Arco⁽¹⁾ indique qu'il a fait des essais comparatifs à Nauen avec des étincelles musicales et avec un petit alternateur à haute fréquence : il a trouvé que l'intensité des signaux reçus à différentes distances et à différentes heures du jour était équivalente, mais que, pendant les périodes où il se produit des décharges atmosphériques, l'intensité des signaux reçus avec les émissions musicales était bien supérieure.

M. Marconi⁽²⁾ dit avoir fait aussi des essais comparatifs avec des oscillations entretenues et avec les étincelles musicales et n'avoir trouvé aucun avantage à l'emploi des premières.

M. L. Preece⁽³⁾ estime, d'après ses calculs, que les systèmes à étincelles musicales consomment 50 pour 100 moins d'énergie que les systèmes à oscillations entretenues, pour une même vitesse de transmission.

M. L. W. Austin a décrit⁽⁴⁾ les expériences faites à Arlington avec un arc de Poulsen de 30 kilowatts en comparaison avec le système Fessenden à étincelles musicales (1 000 étincelles par seconde). Ces expériences ont montré que, à 530 et à 900 milles marins, les réceptions étaient équivalentes pour les deux systèmes ; par contre, à 1 800 milles marins, les signaux émis avec l'appareil à arc étaient perçus nuit et jour, tandis que les signaux émis avec les étincelles musicales étaient perçus seulement de nuit. Ces résultats ont été confirmés dans une autre série d'expériences. Il faut dire

(1) *Jahrbuch der Drahtlosen Telegraphie*, vol. 7, livre 1, mai 1913.

(2) Mémoire présenté en mars 1913 au comité d'études nommé pour l'examen des différents systèmes radiotélégraphiques.

(3) *The Electrician*, 10 janvier 1913.

(4) *Journal de l'Académie des sciences de Washington*, mai 1913.

que le type de détecteur employé (Récepteur hétérodyne Fessenden, § 57) est plus favorable aux ondes entretenues qu'aux émissions musicales.

Comme cela a été dit plus haut, il est impossible de porter actuellement un jugement comparatif sur les différents systèmes ; il faut attendre les résultats de la pratique.

CHAPITRE XII

PERFECTIONNEMENTS APPORTÉS AUX DISPOSITIFS EMPLOYÉS POUR LA RÉCEPTION

Au point de vue de leur mode de fonctionnement, on peut classer les différents détecteurs en deux catégories : les uns sont influencés par la *tension* des oscillations ; les autres sont influencés par l'*intensité* du courant oscillant.

Dans chaque catégorie, il faut faire encore une distinction : certains détecteurs répondent à la valeur maxima de la tension ou de l'intensité ; on peut les appeler *détecteurs d'effet maximum* ; les autres répondent au contraire à la valeur efficace de la tension ou de l'intensité ; on peut les appeler *détecteurs d'effet total*. L'emploi des premiers sera, par exemple, avantageux pour déceler les ondes fortement amorties, engendrées par des oscillations de grande amplitude initiale mais très rapidement éteintes, et produites par groupes espacés. L'emploi des seconds sera indiqué pour déceler les ondes entretenues, engendrées par des oscillations d'amplitude relativement faible, mais persistantes.

Parmi les *détecteurs influencés par la tension* des oscillations, on peut citer les différents cohéreurs, comme détecteurs d'effet maximum ; le détecteur électrolytique, les détecteurs à

cristaux, les détecteurs à vide, comme détecteurs d'effet total.

Parmi les détecteurs influencés par l'intensité du courant oscillant, on peut citer le détecteur magnétique, comme détecteur d'effet maximum ; les détecteurs thermiques et thermoélectriques, comme détecteurs d'effet total.

Pour obtenir une syntonie convenable, on adopte généralement un accouplement très lâche entre l'antenne et le circuit récepteur : dans ces conditions, il y a intérêt à utiliser des détecteurs d'effet total qui permettent de tirer le meilleur parti possible des effets de résonance.

Les dispositifs et les montages employés pour la réception doivent être établis en vue d'assurer au type de détecteur choisi le maximum d'effet utile. Ces dispositifs diffèrent peu les uns des autres, à part quelques exceptions, et il serait bien difficile d'en établir une classification. Dans la plupart d'entre eux, la réception est faite au son, au moyen de récepteurs téléphoniques. Le radiotélégraphiste de service doit toujours avoir l'écouteur à l'oreille pour guetter l'arrivée des signaux, et les télégrammes reçus ne sont enregistrés par aucun appareil, ce qui est fâcheux. Pour obvier à cet inconvénient, plusieurs compagnies ont utilisé avec succès des galvanomètres grande sensibilité équipés pour donner une inscription photographique des signaux, et ont pu ainsi augmenter considérablement les vitesses de transmission par l'emploi d'appareils automatiques chargés des émissions. Les résultats obtenus sont remarquables quand les conditions atmosphériques sont favorables, mais malheureusement les signaux enregistrés sont indéchiffrables dès qu'il y a des parasites, comme c'est le cas général avec les antennes volumineuses.

Lorsqu'on reçoit au son, on entend dans le téléphone des crachements pour les signaux émis par les systèmes à étincelles rares, et des notes caractéristiques ou des sifflements plus ou moins musicaux, pour les signaux émis par des sys-

tèmes à étincelles fréquentes (¹) : on n'entend rien pour les signaux émis par les systèmes à étincelles très fréquentes ou à oscillations entretenues, car l'oreille est insensible aux vibrations dont la fréquence dépasse vingt à trente mille par seconde (²). Dans ce dernier cas, on a recours à des artifices dont il sera question plus loin.

56. -- Dispositifs utilisables avec les transmetteurs à étincelles rares ou musicales.

Le nombre des montages employés ou proposés est considérable, mais beaucoup d'entre eux sont équivalents. Les figures 167 (de Forest), 168 (Telefunken), 169 (Ferrié)

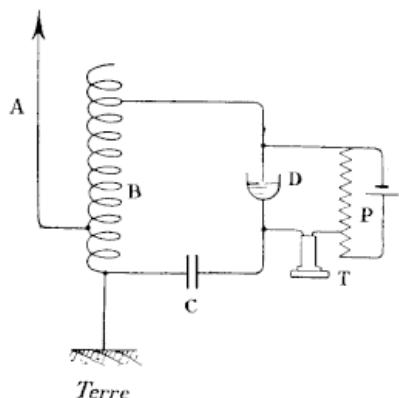


FIG. 167.

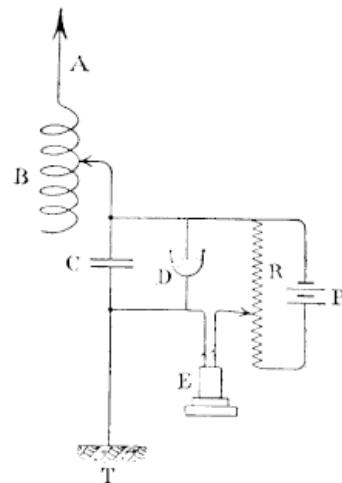


FIG. 168.

représentent trois schémas simples de réception avec détecteurs électrolytiques, dans lesquels BB₁B₂ sont des bobines

(¹) Ces crachements ou ces notes musicales ont une durée longue ou brève suivant que le signal transmis est un trait ou un point de l'alphabet Morse.

(²) Plus exactement, on entend un petit claquement au moment où le détecteur commence à être impressionné, et c'est tout.

d'accord ou d'accouplement, toutes réglables, CC' des condensateurs réglables; D le détecteur, dont le fonctionnement est assuré par le potentiomètre RP; E un ou deux écouteurs téléphoniques; A l'antenne et T la terre.

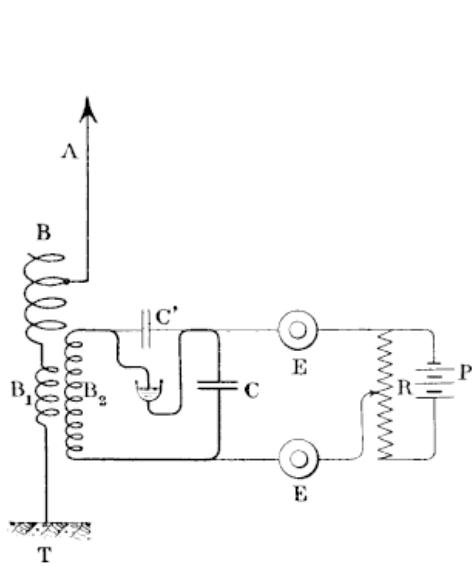


FIG. 169.

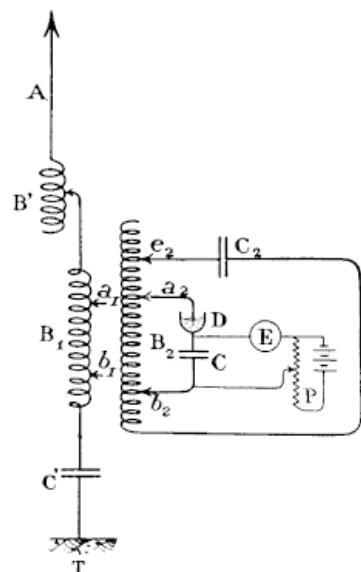


FIG. 170.

La figure 170 représente un montage plus compliqué (*Telefunken*), dans lequel la bobine d'accouplement porte deux prises de contact mobiles $a_1 b_1$ auxquelles peut être relié, par le jeu d'un commutateur, le circuit du détecteur D. La bobine secondaire d'accouplement B_2 forme, avec le condensateur réglable C_2 , un circuit oscillant : une prise de contact e_2 permet de modifier la portion active de la bobine B_2 intercalée dans ce circuit, qui doit être en résonance avec l'antenne. Entre les deux prises de contact mobiles a_2 et b_2 de la bobine B_2 est branché un circuit contenant le détecteur D, et le condensateur C. Un téléphone E (ou un galvanomètre de grande sensibilité), accompagné du potentiomètre P, est relié au condensateur C.

Pour la réception, on connecte d'abord le circuit du détecteur entre les contacts $a_1 b_1$ (accouplement rigide) et l'on règle la position de ces deux contacts pour percevoir nettement les signaux : ensuite, si l'on veut suivre une transmission sans être gêné, on branche le détecteur entre les points $a_2 b_2$ et on affaiblit autant que possible l'accouplement, tout en réglant la position des contacts $a_2 b_2$ pour obtenir le maximum d'effet.

La figure 171 (*C. G. R.*) indique schématiquement un montage ayant pour objet l'utilisation de l'énergie totale des oscillations au moyen de quatre détecteurs à conductibilité unipolaire. Les portions positives du courant oscillant passent, par exemple, par $D_1 f E f' D_3$ et les portions négatives par $D_4 f E f' D_2$; les courants circulant dans le circuit $f L E f'$ sont toujours de même sens.

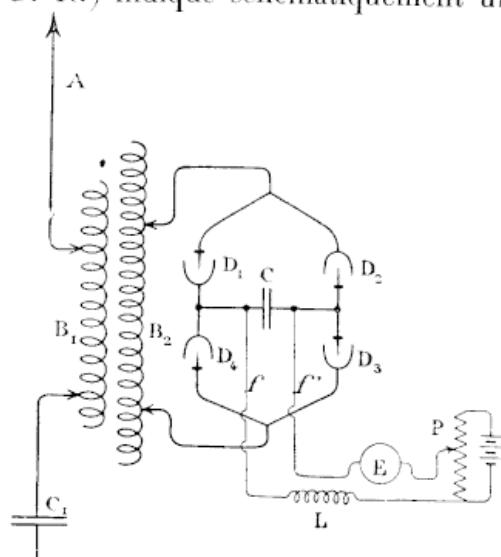


FIG. 171.

Le schéma de la figure 172 montre le montage employé par la *Marine* pour utiliser à volonté le cohéreur D_1 , le détecteur électrolytique D_2 ou le détecteur magnétique D_3 , le circuit pouvant être fermé sur l'une des bornes 1, 2 ou 3, après la bobine d'accord L .

Les dispositifs des figures 173 (*de Forest*), 174 et 175

(*Fleming*) se rapportent à l'emploi de détecteurs à vide (audion ou valve) : sur ces schémas, P désigne la pile destinée

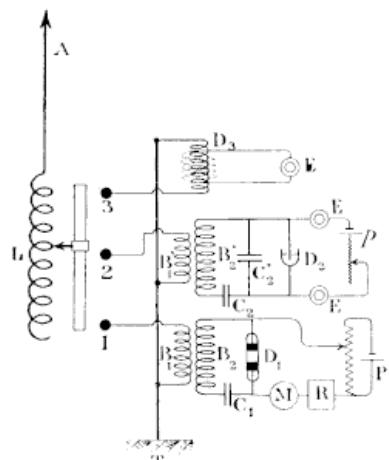


FIG. 172.

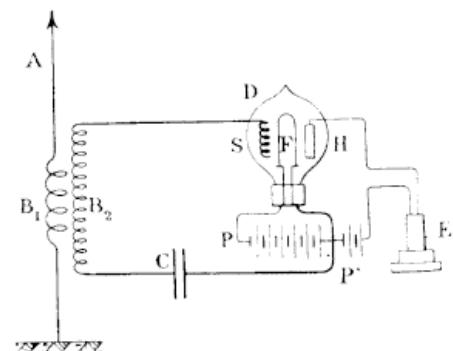


FIG. 173.

à maintenir le filament incandescent, D le détecteur, B₁B₂ les bobines d'accouplement, CC' des condensateurs réglables, E les écouteurs téléphoniques, AT l'antenne et la terre.

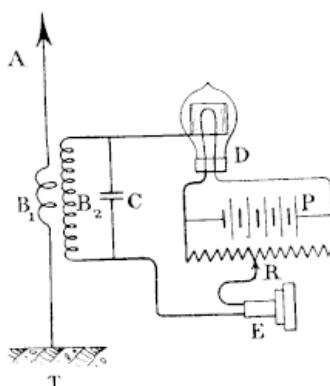


FIG. 174.

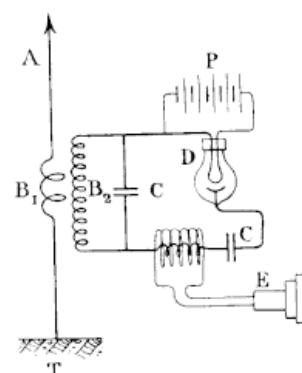


FIG. 175.

M. *Fleming* a proposé d'utiliser simultanément l'énergie des deux ondes émises par un transmetteur à excitation indirecte. L'antenne (fig. 176) aboutit à deux circuits récep-

teurs distincts ; l'un $C_1 B_1 L_1 T$, l'autre $C_2 B_2 L_2 T$. Chacun de ces circuits est accordé sur l'une des longueurs d'onde λ_1 ou λ_2 . Les bobines primaires B_1 et B_2 agissent, comme d'habitude, sur les bobines secondaires B'_1 et B'_2 intercalées dans les circuits des détecteurs D_1 et D_2 .

Chaque détecteur D_1 ou D_2 est relié à un téléphone E à double enroulement (¹), qui se trouve ainsi impressionné à la fois par les deux trains d'ondes émis par l'antenne transmettrice, et utilise l'énergie totale en jeu. Ce dispositif permettrait d'adopter, au transmetteur, un accouplement plus

rigide, puisqu'il n'y aurait plus d'inconvénient à ce que les fréquences des deux ondes émises diffèrent sensiblement. En pratique, on a constaté que l'utilisation des deux ondes offre des difficultés et ne présente aucun avantage.

Le dispositif de M. J. Stone est établi pour répondre aux ondes d'une fréquence unique bien déterminée et n'être pas influencé par les ondes de fréquence différente. Il comprend un certain nombre de circuits résonants (*circuits filtreurs*) accordés sur la fréquence convenable, et disposés comme l'indique la figure 177. L'antenne A aboutit à la bobine d'accouplement B qui agit par in-

(¹) Le noyau magnétique du téléphone porte deux bobines qui agissent simultanément sur lui. La force avec laquelle il attire la membrane vibrante dépend de l'action combinée des deux bobines.

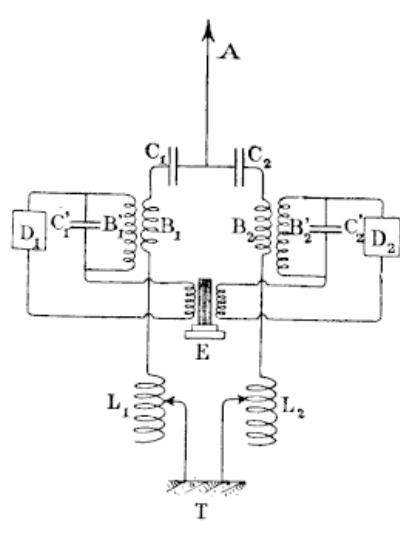


FIG. 176.

duction sur la bobine B' : celle-ci fait partie du circuit

oscillant $B'C_1B_1L_1$ accouplé inductivement, en B_1B_2 , avec le circuit $B_2C_2C_3L_2$. Enfin le détecteur thermique ou thermo-électrique D est relié aux armatures du condensateur C_3 intercalé dans ce circuit.

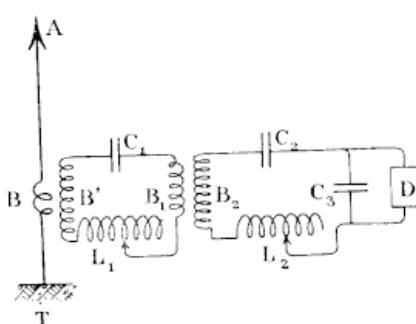


Fig. 177.

M. Béthenod emploie, pour la réception, un montage identique à celui qu'il utilise pour la transmission avec circuit intermédiaire apériodique.

Afin d'éviter la gène due à l'action des perturbations atmosphériques ou aux signaux parasites, la *Compagnie Marconi* a imaginé le montage qu'indique la figure 178. L'antenne A

aboutit à un circuit partiel comprenant une prise de terre T_1 , une bobine de self-induction L_1 et un condensateur C_1 : ce circuit aboutit lui-même à un deuxième circuit partiel comprenant une prise de

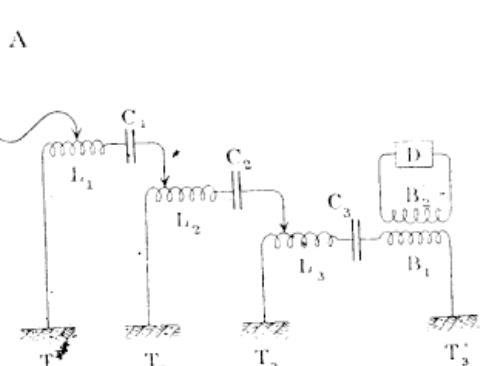


Fig. 178.

terre T_2 , une bobine de self-induction L_2 et un condensateur C_2 , etc., plusieurs circuits successifs semblables étant ainsi montés en cascade. Le dernier contient la bobine B_1 , qui agit par induction sur la bobine B_2 intercalée dans le circuit du détecteur D , et il se referme par la prise de terre T_3 .

Si l'antenne est influencée par une perturbation irrégulière ou par des signaux parasites dont la période diffère de la période sur laquelle le système a été accordé, les oscillations forcées engendrées dans l'antenne ne peuvent agir successivement sur toute la chaîne des circuits accouplés, pour mettre le dernier en vibration, et le détecteur n'est pas influencé.

Plus tard, la *Compagnie Marconi* a adopté le montage qu'indique la figure 179. L'antenne A aboutit à une bobine d'accord B, un condensateur C, une bobine réglable B_1 , et la prise de terre T. Un petit éclateur E et une bobine de self-induction L, placés en dérivation sur les circuits de réception et reliés à la terre, agissent comme parafoudres et les protègent contre des décharges ou des actions trop puissantes. La bobine B_1 , intercalée dans l'antenne, agit par induction sur la bobine B'_1 qui fait partie d'un circuit intermédiaire $B'_1C_1B'_2$, lequel met à son tour en vibration le circuit B'_2C_2D contenant le détecteur. Le coefficient d'accouplement entre les bobines $B_1B'_1$ et $B_2B'_2$, peut être modifié à volonté.

Un commutateur permet de relier directement le détecteur aux extrémités de la portion active de la bobine B_1 , comme l'indiquent les connexions tracées en pointillé sur le schéma de la figure 179. On utilise ces connexions directes pour voir si l'antenne est influencée, et l'on effectue des

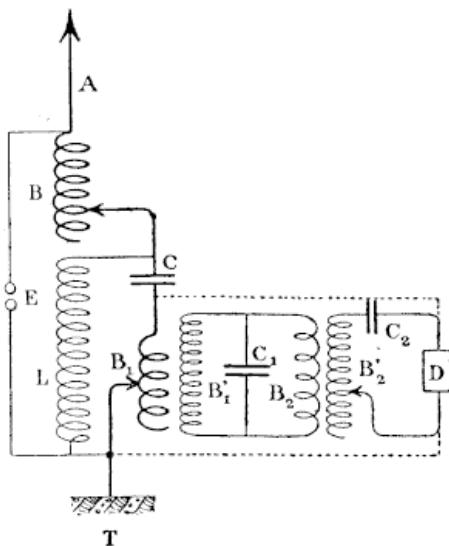


FIG. 179.

réglages rapides avec la bobine d'accord B et le condensateur. Si l'on veut alors conserver la communication avec le poste qui transmet, en souffrant le moins possible de la présence de signaux parasites ou étrangers, on rompt les connexions directes et l'on accorde les circuits successivement de façon à obtenir la résonance, puis l'on diminue autant que possible l'accouplement dans les deux transformateurs.

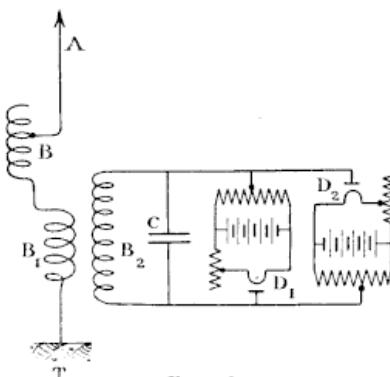


FIG. 180.

Pour éliminer les parasites la Compagnie Marconi et M. J. Round ont utilisé le dispositif de la figure 180. Deux détecteurs (valves) sont placés en parallèle en sens inverses. La sensibilité du détecteur D_1 est normale; celle du détecteur D_2 est affaiblie par diminution de la tension locale. Quand les signaux ne sont pas trop forts, le détecteur D_2 ne joue aucun rôle.

Si, au contraire, les oscillations deviennent intenses par suite d'un « parasite » le détecteur D_2 agit presque autant que le détecteur D_1 et annule l'effet de celui-ci dans le téléphone E qui n'est alors pas impressionné.

Ce montage peut être modifié par l'introduction d'un circuit intermédiaire. Sur la figure 181 les deux valves $V_1 V_2$ (dont on n'a pas représenté les batteries d'alimentation, pour plus de clarté) doivent être toutes deux insensibles aux signaux normaux, qui impressionnent le détecteur D seul. Quand un parasite arrive, les valves V_1 et V_2

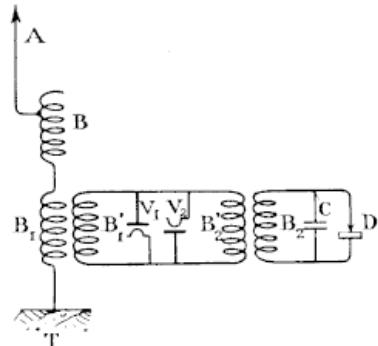


FIG. 181.

fonctionnent et forment un court-circuit. Le détecteur D peut être un détecteur à cristal, comme sur la figure, ou bien une troisième valve de grande sensibilité.

M. Hettinger, dans le but de sélectionner le plus complètement possible les signaux, a imaginé le montage qu'indique la figure 182. La base de l'antenne 1 est reliée à deux bobines de self-induction $L_1 L_1'$ toujours identiques. Les extrémités 2 de ces bobines sont connectées ensemble et reliées à la terre E. L'ensemble formé par l'antenne et les deux bobines vibre en quart d'onde. Un condensateur C_1 est placé entre les points 1 et 2, en dérivation sur les deux bobines L_1 . Sa capacité a une valeur telle que les deux circuits qu'il forme avec les bobines L_1 soient en résonance. Enfin, entre un tour de l'une des bobines et un tour quelconque de la seconde bobine, on branche un circuit contenant une bobine de self-induction L_2 et un condensateur C_2 de capacité telle que la condition de résonance soit encore remplie. Le détecteur D est relié au condensateur C_2 (si c'est un appareil impressionné par la tension), ou bien il est intercalé dans le circuit en un point convenable (si c'est un appareil impressionné par le courant).

Si l'on fait en sorte que l'amplitude des oscillations qui agissent sur le détecteur, lorsque le maximum de résonance est obtenu, soit juste suffisante pour impressionner cet appareil, les oscillations engendrées dans l'antenne par toute onde dont la fréquence diffère de celle pour laquelle a été réalisé l'accord, auront une amplitude trop faible pour

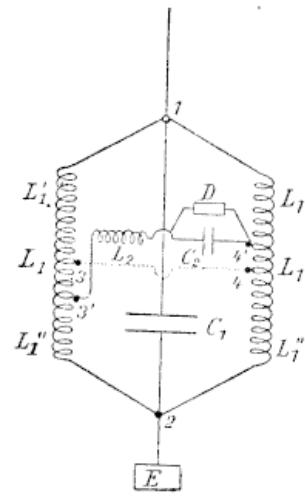


FIG. 182.

impressionner le détecteur, et ne troubleront pas la réception. Or, il est facile, avec la disposition adoptée, de réaliser le réglage convenable pour que l'amplitude des oscillations qui agissent sur le détecteur ait la valeur minima juste suffisante pour impressionner l'appareil. En effet, les deux bobines L_1 étant semblables et semblablement placées, deux points situés à la même hauteur sur ces bobines sont au même potentiel. Par conséquent si le pont formé par $C_2 L_2$ et le détecteur est relié à ces deux points (3 et 4 par exemple, fig. 182), il n'existe entre ses extrémités aucune différence de potentiel, et aucun courant n'y circule. Si on déplace l'un des contacts vers le bas, et l'autre contact vers le haut, en 3' et 4' par exemple, il existe, entre les extrémités du circuit qui forme un pont entre les deux bobines, une différence de potentiel d'autant plus grande que les points 3' et 4' sont plus éloignés des points 3 et 4. Il n'est donc pas difficile de trouver la position pour laquelle l'amplitude

des oscillations agissant sur le détecteur a la valeur minima nécessaire pour que la sélection soit obtenue.

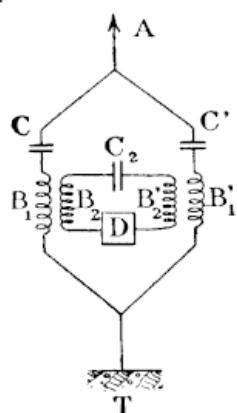


Fig. 183.

Parmi les systèmes analogues, on peut citer encore le montage employé par M. Fessenden (fig. 183).

La base de l'antenne A est reliée à deux dérivations contenant chacune un condensateur C, C' et le primaire d'un transformateur B_1, B'_1 : ces deux branches se rejoignent et sont reliées à la terre T. Les deux primaires $B_1 B'_1$ sont identiques. Les deux condensateurs ont des capacités légèrement différentes : l'un d'eux a une capacité telle que le circuit formé par l'antenne, sa dérivation et la prise de terre soit accordé exactement sur la fréquence

employée : la capacité de l'autre condensateur diffère de 5 pour 100 par exemple de celle du précédent. Les deux secondaires des transformateurs $B_2B'_2$ sont identiques et sont connectés en opposition dans un circuit contenant un condensateur C_2 et le détecteur d'ondes D .

Quand les ondes qui agissent sur l'antenne proviennent du transmetteur avec lequel on veut communiquer, c'est-à-dire quand la fréquence de ces ondes est la même que celle du circuit formé par l'antenne et l'une des dérivations, il y a résonance, et la majeure partie du courant oscillant engendré passe par cette dérivation ; le secondaire du transformateur correspondant produit alors une force électromotrice dans le circuit du détecteur, qui se trouve impressionné. Au contraire, si la fréquence des ondes reçues ne concorde pas avec celle de l'un des circuits formés par l'antenne et une des deux dérivations, le courant oscillant se répartit à peu près également entre celles-ci, les secondaires $B_2B'_2$ des deux transformateurs produisent des forces électromotrices égales et opposées, et le détecteur n'est pas impressionné.

La figure 184 montre l'application de ce montage dans la pratique : son emploi permet d'obtenir des accords très nets.

Les détecteurs à cristaux ont été beaucoup employés dans ces dernières années à cause de leur commodité. Malheureusement ils sont détériorés très facilement par l'action des décharges atmosphériques ou des ondes de grande intensité

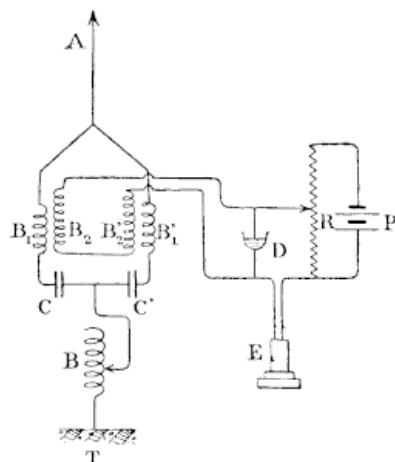


FIG. 184.

et exigent, par suite, des réglages fréquents. Ils peuvent être utilisés avec l'un quelconque des montages désirés, mais

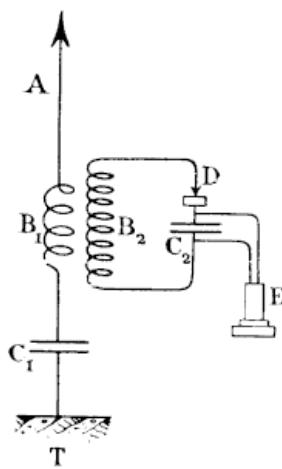


FIG. 185.

peuvent aussi fonctionner sans pile auxiliaire : le dispositif de la figure 185 (*Telefunken*) en donne un exemple. L'antenne A aboutit à une bobine d'accouplement B_1 , et à un condensateur variable C_1 . Le circuit oscillant comprend la bobine d'accouplement B_2 , le détecteur D qui fonctionne sans différence de potentiel auxiliaire, et le condensateur C_2 sur lequel est branché le récepteur téléphonique E. Le circuit du détecteur

n'est pas accordé sur la fréquence

d'oscillation de l'antenne : il effectue des vibrations forcées et l'antenne seule est syntonisée sur les ondes agissantes.

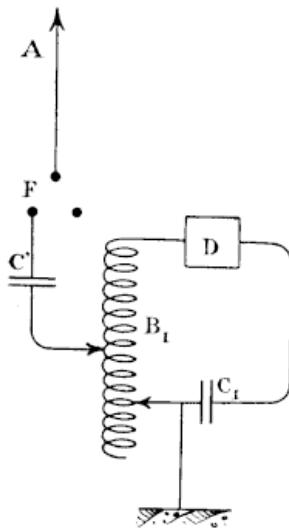


FIG. 186.

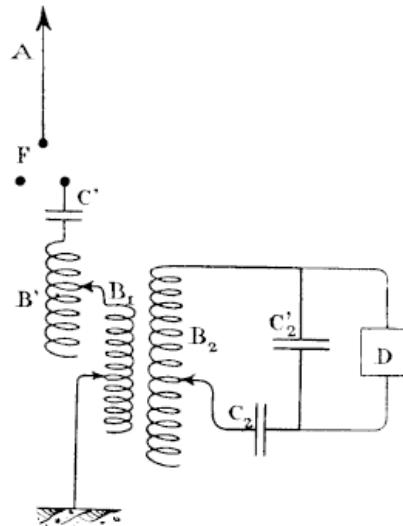


FIG. 187.

Au lieu d'employer un récepteur téléphonique E branché sur le condensateur C_2 , on peut intercaler dans le circuit

oscillant un relais de grande sensibilité chargé de fermer le circuit d'un enregistreur ou de tout autre appareil récepteur.

Les figures 186 et 187 montrent les montages employés par l'administration des Postes et Télégraphes avec des détecteurs à cristaux : le premier est utilisé comme dispositif d'attente, avec accouplement mixte, et le second comme dispositif de travail, avec accouplement par induction. On passe de l'un à l'autre en manœuvrant le commutateur F.

Dès 1898, M. Blondel a proposé de sélectionner les signaux en accordant les appareils récepteurs sur la fréquence des décharges du transmetteur⁽¹⁾. Cette méthode est appliquée avec succès depuis l'adoption des systèmes à étincelles musicales : pour cela, on emploie soit des téléphones, soit des galvanomètres ou relais dont la période propre de vibration est égale à la fréquence d'étincelles (nombre de décharges par seconde) du transmetteur⁽²⁾. On peut aussi accorder sur cette fréquence le circuit de réception, comme le montrent les deux exemples suivants :

Dans le dispositif *Balsillie* (fig. 188), l'antenne en forme

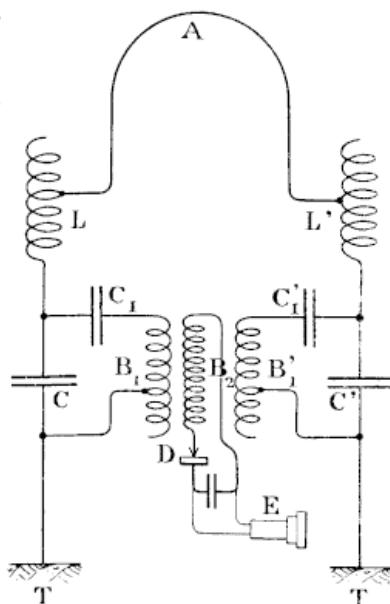


FIG. 188.

⁽¹⁾ A cette époque, la fréquence des décharges était égale au nombre de ruptures par seconde de l'interrupteur actionnant la bobine de Ruhmkorff.

⁽²⁾ Les récepteurs téléphoniques établis pour une fréquence de vibration unique ont été appelés *monotéléphones* par M. Mercadier. C'est lui qui, le premier, a réalisé de tels appareils dont il a proposé l'emploi pour sélectionner des courants de fréquences différentes superposés les uns aux autres (voir chapitre xv, § 74).

de boucle contient deux bobines de self-induction réglables L' , deux condensateurs réglables CC' , et aboutit aux deux prises de terre T . Deux circuits oscillants C_1B_1 , $C'_1B'_1$ sont

branchés sur les condensateurs CC' : les circuits partiels CC_1B_1 et $C'_1B'_1$, ainsi que l'ensemble de l'antenne, sont accordés sur la fréquence des ondes reçues: le circuit du détecteur, dont la bobine B_2 est accouplée avec celles B_1 et B'_1 , est accordé sur la fréquence des décharges du transmetteur.

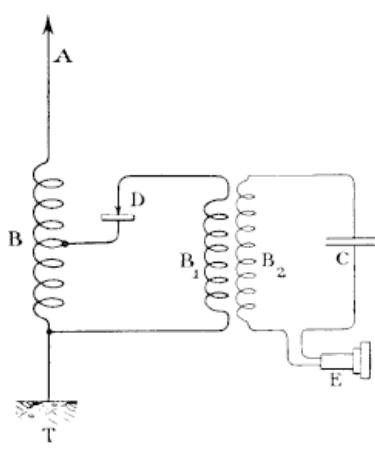


FIG. 189.

Dans le dispositif *Chambers* (fig. 189), le circuit du détecteur D , accouplé en B à l'antenne, agit par induction sur un circuit oscillant qui contient le téléphone E : ce circuit est accordé sur la fréquence des décharges du transmetteur ou sur un multiple de cette fréquence se rapprochant le plus possible de la fréquence propre de vibration du téléphone.

57. — Dispositifs utilisables avec les transmetteurs à ondes entretenues.

Tous les montages dans lesquels l'écouteur téléphonique est remplacé par un galvanomètre sont évidemment applicables. Les réceptions au téléphone sont possibles avec certains dispositifs dans lesquels on substitue à la fréquence du courant oscillant une fréquence artificielle plus basse, donnant un son dans le téléphone.

Dispositif Poulsen. — M. Poulsen adopte un accouple-

ment très lâche de façon à utiliser aussi complètement que possible les effets de résonance. Le montage employé est indiqué schématiquement par la figure 190. L'antenne A aboutit à un circuit oscillant C_1B_1 relié à la terre. La bobine B_1 excite par induction le circuit oscillant B_2C_2 . Sur le condensateur C_2 est branché, par l'intermédiaire d'un interrupteur-vibrateur V, un autre condensateur c accompagné du récepteur téléphonique E.

Il n'y a pas de détecteur.

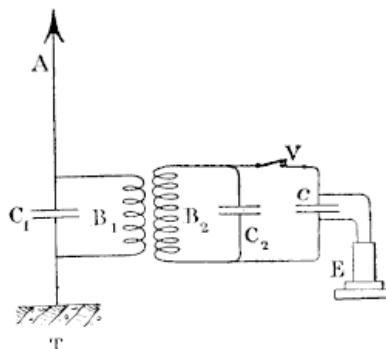


FIG. 190.

L'interrupteur-vibrateur V, nommé *tikker* par M. Poulsen, a pour fonction d'ouvrir et de fermer un certain nombre de fois par seconde (500 par exemple) le circuit du téléphone E. Lorsque l'antenne et le circuit C_2B_2 oscillent sous l'effet d'ondes entretenues, les contacts intermittents du vibrateur V permettent au condensateur C_2 d'agir à intervalles réguliers sur le circuit du téléphone, et la membrane de ce dernier fait entendre un son correspondant à la fréquence des contacts du vibrateur (son musical).

Le tikker V peut être constitué par un trembleur actionné par un électro-aimant, ou bien par une roue munie de contacts ou de dents sur lesquels frottent des ressorts, ou bien par tout autre dispositif. M. Poulsen a employé souvent deux fils d'or croisés mis en vibration par un diapason entretenu électriquement.

Dans la suite, M. Poulsen s'est servi d'un galvanomètre de grande sensibilité, avec un détecteur thermo-électrique, ou un détecteur à cristaux : il sera question de cet appareil au chapitre xv, § 74.

Dispositif Fessenden. — Pour obtenir une fréquence plus basse, M. Fessenden emploie, sous le nom de « système hétérodyne » une méthode qui consiste à superposer à la fréquence des oscillations une fréquence légèrement différente, de façon à produire des battements perceptibles dans le récepteur.

Par exemple, un téléphone est muni d'un noyau fixe formé de fils de fer très fins qu'entoure une bobine excitée par une source de courant alternatif à haute fréquence produit au poste récepteur⁽¹⁾. Une petite bobine, avec ou sans noyau magnétique, est collée contre un diaphragme mince en mica et est excitée par les oscillations engendrées dans l'antenne sous l'effet des ondes reçues. Quand une seule des deux bobines est parcourue par un courant alternatif de très haute fréquence, 50 000 par seconde par exemple, la membrane du téléphone entre en vibration, mais aucun son n'est perceptible. Si la seconde bobine est parcourue en même temps par un courant de fréquence 50500, les vibrations résultantes de la membrane présentent 500 battements par seconde, qui correspondent à un son musical. En service normal, on emploie donc, aux postes transmetteur et récepteur, deux fréquences légèrement différentes de façon à obtenir des battements dans le récepteur, et le détecteur ainsi réalisé présente une très grande sensibilité. Afin de sélectionner complètement les signaux, M. Fessenden a fait établir des membranes de téléphone dont la fréquence propre de vibration correspond à la fréquence normale des battements.

Le « système hétérodyne » a été appliqué aussi par M. Fes-

(1) Ce courant, extrêmement faible, peut être produit par un dispositif approprié, ou par une dérivation prise sur l'alternateur même à haute fréquence du poste, si l'on emploie un montage comme celui de la figure 162.

sendent à un électromètre composé de deux fils extrêmement fins FF' en quartz argenté placés parallèlement l'un à l'autre dans un tube vide d'air V (fig. 191) : ces fils sont maintenus tendus par l'action d'un électro-aimant extérieur E qui attire l'armature A . Deux gros conducteurs XX' sont placés très près des fils FF' et parallèlement à eux. Les fils FF' sont reliés au circuit oscillant accouplé à l'antenne (ils sont montés en dérivation sur le condensateur C) et les conducteurs XX' sont reliés à l'alternateur local G dont la fréquence diffère légèrement de celle des ondes reçues. Sous l'effet des oscillations électriques, les fils FF' exercent l'un sur l'autre des attractions qui les font vibrer avec la fréquence des ondes agissantes, mais l'action des conducteurs XX' produit dans les fils des vibrations de fréquence légèrement différente : il en résulte des battements, par lesquels l'amplitude maxima des vibrations est renforcée. Un dispositif convenable permet l'enregistrement photographique des battements.

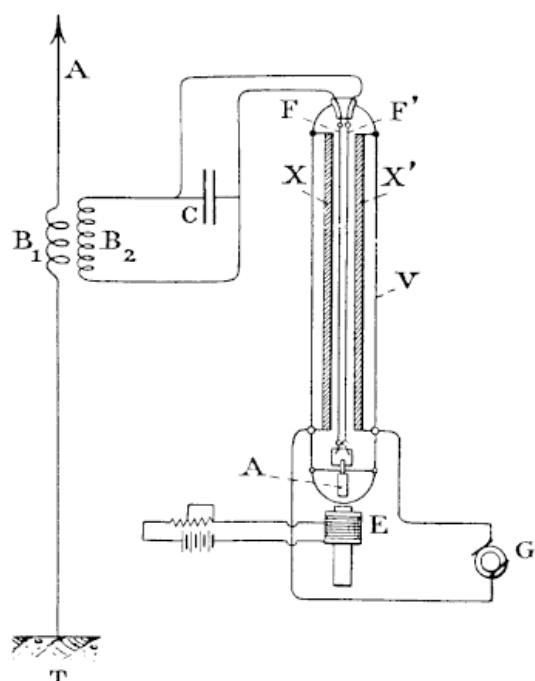


FIG. 191.

Dispositif Goldschmidt. — M. Goldschmidt a employé une tout autre méthode pour abaisser la fréquence : il utilise

une machine à champ tournant (moteur d'induction) dans laquelle l'enroulement du stator S est relié à l'antenne et l'enroulement du rotor R au circuit du téléphone (fig. 192).

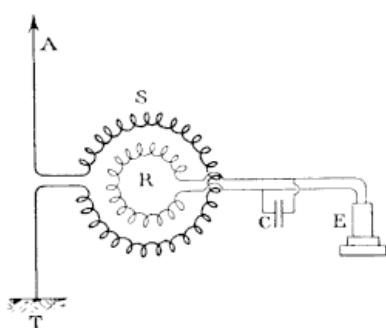


FIG. 192.

Les oscillations électriques engendrées dans l'antenne réceptrice produisent dans le stator un champ tournant dont la vitesse dépend de la fréquence des oscillations et du nombre de pôles de l'enroulement. Si l'on fait tourner le rotor à une vitesse un peu inférieure au synchronisme, son enroulement est le siège d'un courant induit dont la fréquence dépend du glissement⁽¹⁾. Par exemple,

si la fréquence des oscillations est de 30 000, et si le glissement est de 1,67 pour 100, la fréquence du courant engendré dans le rotor est de $30\,000 \times 0,0167 = 500$ périodes par seconde : le téléphone E fait entendre une note musicale.

Dans la suite, M. Goldschmidt s'est servi d'un appareil à collecteur (commutateur tournant) destiné à redresser les courants oscillants : le circuit du détecteur est alors parcouru par des impulsions de courant toutes de même sens.

(1) Différence de vitesse entre le champ tournant du stator et le rotor.

CHAPITRE XIII

SYSTÈMES PERMETTANT L'ORIENTATION DES ONDES

Un poste transmetteur ordinaire émet des ondes dans tout l'espace environnant : de même, un poste récepteur est influencé par les ondes provenant de n'importe quelle direction. Pour certaines applications de la radiotélégraphie, il est très important de pouvoir transmettre et recevoir uniquement dans une direction déterminée : en outre, les navigateurs auraient le plus grand intérêt à pouvoir connaître ou déterminer avec certitude la direction du poste transmetteur dont ils perçoivent les signaux. Ce difficile problème a reçu quelques solutions dont il va être question.

Dans ses premières expériences, Hertz a produit des *ondes dirigées* en plaçant le système émetteur et le système détecteur aux foyers de deux miroirs paraboliques constitués par des surfaces métalliques. Ce dispositif expérimental ne pouvait pas se prêter à des applications pratiques en radiotélégraphie, à cause des dimensions énormes qu'il aurait fallu donner aux miroirs. Cependant M. Marconi a fait quelques essais avec des surfaces paraboliques formées par des fils parallèles : après lui, M. S.-G. Brown a employé aussi un certain nombre de fils verticaux disposés suivant une surface parabolique et a eu l'ingénieuse idée de les relier tous à l'éclateur pour les faire participer à la radiation : enfin,

M. Braun s'est servi d'un dispositif analogue en excitant les fils au moyen d'oscillations de phases différentes.

58. — Dispositif à antennes conjuguées ou à cadres.

Dans ces dispositifs, on emploie un ou plusieurs groupes de deux antennes conjuguées excitées par des oscillations de même fréquence, mais de phase différente : les ondes émises interfèrent entre elles et produisent un champ dissymétrique.

Deux antennes conjuguées peuvent être remplacées par un cadre.

Dispositif Artom. — La figure 193 montre schématiquement la disposition des deux antennes AA' qui sont rectangulaires l'une à l'autre. Pour engendrer dans les deux antennes des oscillations déphasées, l'inventeur a eu recours à deux circuits oscillants combinés ensemble et reliés à un éclateur à trois électrodes :

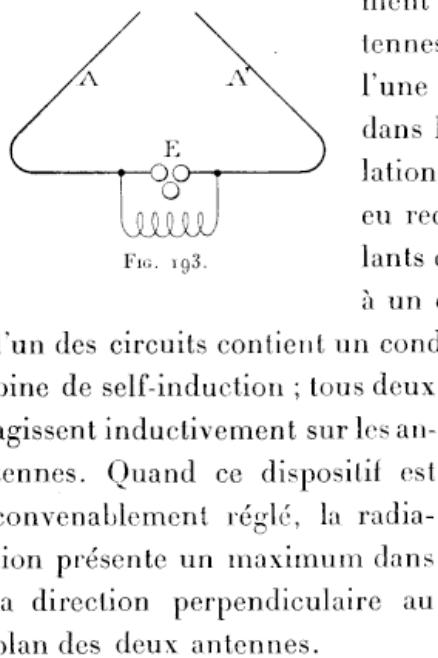


FIG. 193.

l'un des circuits contient un condensateur et l'autre une bobine de self-induction ; tous deux agissent inductivement sur les antennes. Quand ce dispositif est convenablement réglé, la radiation présente un maximum dans la direction perpendiculaire au plan des deux antennes.

Pour la réception, la disposition est analogue (fig. 194). Les deux antennes agissent

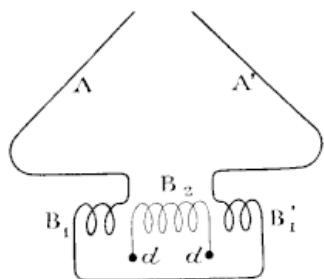


FIG. 194.

inductivement sur une même bobine B_2 aux extrémités dd de laquelle est relié le circuit du détecteur. On observe le maximum d'effet quand le plan des antennes est perpendiculaire à la direction du transmetteur dont on reçoit les signaux.

Dispositif Blondel. — Deux antennes verticales, dont la distance est égale ou inférieure à une demi-longueur d'onde, sont excitées par des oscillations présentant entre elles une certaine différence de phase. Cette différence de phase est produite commodément par une connexion reliant entre eux les pieds des deux antennes (*qui sont isolées du sol*), laquelle connexion est réglée pour absorber soit une demi-longueur d'onde, soit une longueur d'onde entière⁽¹⁾. Dans le premier cas (figures 195 et 196) les potentiels A et A' sont de même

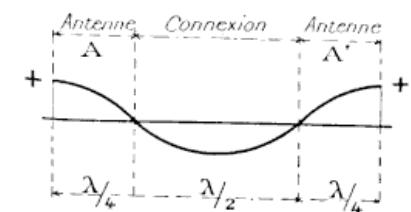


FIG. 195.

signe ; l'effet des deux antennes est concordant ; la radiation présente un maximum dans la direction perpendiculaire au plan des antennes et un minimum dans la direction de ce plan. Dans le second cas (figures 197 et 198), les potentiels en A et A' sont de signe contraire ; l'effet des deux antennes est discordant ;



FIG. 196.

est réglée pour absorber soit une demi-longueur d'onde, soit une longueur d'onde entière⁽¹⁾. Dans le premier cas (figures 195 et 196) les potentiels A et A' sont de même

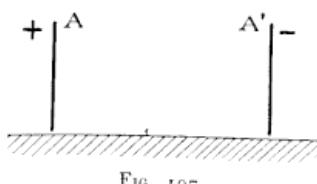


FIG. 197.

⁽¹⁾ Le fil de connexion contient à cet effet une ou plusieurs bobines de self-induction, de façon à être équivalent à un fil rectiligne ayant une longueur égale à une demi ou une longueur d'onde.

la radiation présente un maximum dans le plan des deux antennes et un minimum dans la direction perpendiculaire.

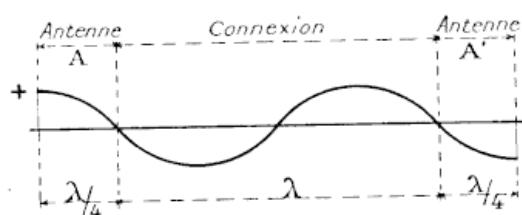


FIG. 198.

En pratique, cette seconde solution est la meilleure, le minimum étant beaucoup plus net. Bien entendu, la connexion peut être réglée pour absorber plusieurs longueurs d'onde au lieu d'une : le résultat est le même.

La connexion entre les deux antennes peut être établie à la partie supérieure : on a alors un dispositif formant un cadre.

C'est surtout pour la réception que les antennes conjuguées présentent de l'intérêt, en permettant de déterminer la direction du poste émetteur. Le détecteur, dont le circuit est accouplé inductivement avec le fil de connexion, présente un maximum d'effet quand les antennes conjuguées sont orientées dans la direction du transmetteur et un minimum (généralement nul) dans la direction perpendiculaire, ou bien l'inverse, suivant que les phases sont discordantes (fig. 197) ou concordantes (fig. 195).

Dispositif Bellini-Tosi. — Le système aérien est formé de deux couples d'antennes dont les plans sont perpendiculaires l'un à l'autre. La figure 199 représente schématiquement un des couples et la figure 200 l'ensemble des deux couples d'antennes, supportées par un pylône commun. La portée des communications est plus grande si l'on emploie deux cadres rectangulaires, supportés par quatre pylônes, au lieu de cadres triangulaires comme sur la figure 200. Les extrémités supérieures F des antennes sont isolées ; les ex-

trémités inférieures E aboutissent à des bobines reliées inductivement aux circuits transmetteur ou récepteur.

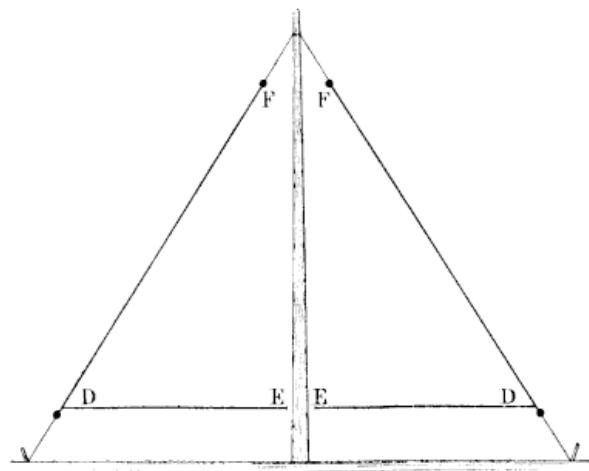


FIG. 199.

Si l'on excite un seul des couples, la radiation présente, pour un réglage convenable, un maximum dans le plan de ce couple et un minimum (généralement nul) dans la direction perpendiculaire. Si l'on excite simultanément les deux couples, la radiation présente un maximum dans un plan intermédiaire représenté en projection horizontale par la droite RR' sur la figure 201. Quand les excitations des deux couples sont équivalentes, le plan RR' est à égale distance des plans des couples : quand les excitations sont inégales, le plan RR' se rapproche du couple D_1E_1 ou D_2E_2 suivant que l'excitation de l'un ou l'autre est prédominante : si l'excitation du couple D_2E_2 est nulle, le plan RR' coïncide avec D_1E_1 ; si l'ex-

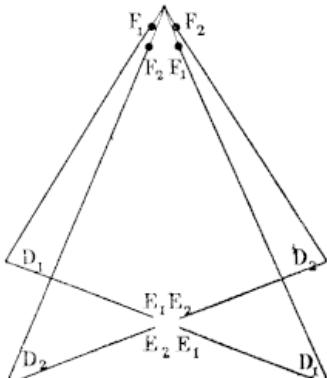


FIG. 200.

citation du couple D_1E_1 est nulle, le plan RR' coïncide avec

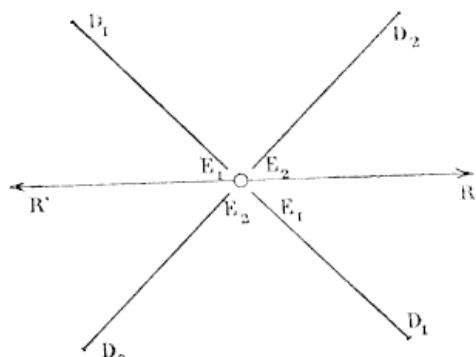


FIG. 201.

D_2E_2 . La courbe représentative de la répartition de l'énergie autour du système émetteur est indiquée par la figure 202.

D'après ce qui précède, on voit que, pour modifier la direction du plan RR' , c'est-à-dire

pour braquer vers un point déterminé la direction du maximum de radiation, il suffira de modifier convenablement les excitations des deux couples, de façon à créer entre elles la différence nécessaire. Les inventeurs ont résolu ce problème d'une façon ingénieuse au moyen d'un dispositif appelé *Radiogoniomètre*.

Le Radiogoniomètre comprend deux bobines fixes semblables, perpendiculaires l'une à l'autre, reliées chacune à l'un des couples au milieu de sa portion horizontale inférieure (fig. 203). A l'intérieur de ces deux bobines S_1S_2 est disposée une troisième bobine P , beaucoup pluspetite, qui peut pivoter autour du diamètre commun des bobines S_1S_2 . La bobine P , reliée à un circuit oscillant CEL, agit comme primaire sur les deux bobines secondaires S_1S_2 , intercalées dans les deux couples. La direction du maximum de radiation coïncide avec le plan d'enroulement de la bobine mobile P et tourne avec elle.

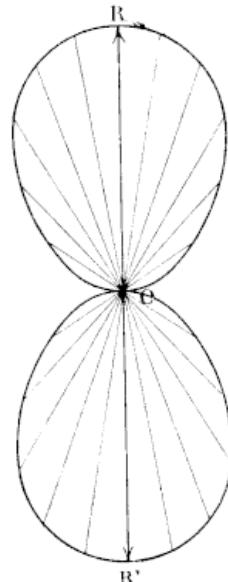
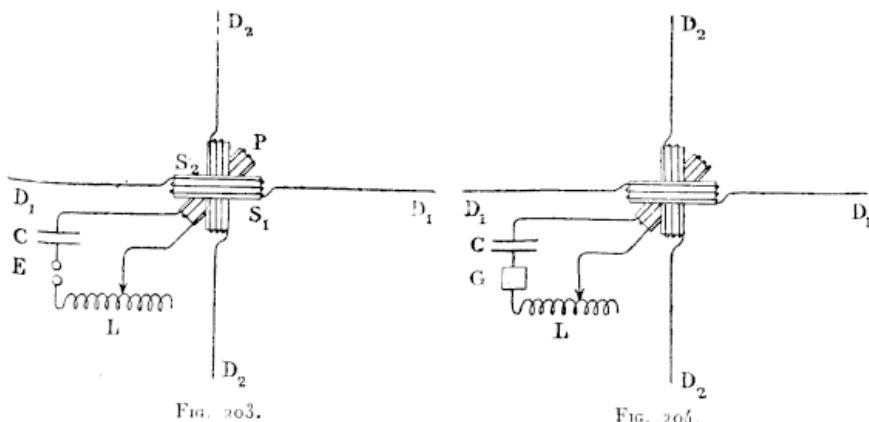


FIG. 202.

Pour la réception, le dispositif adopté est semblable au précédent. Deux bobines identiques, perpendiculaires entre elles, sont reliées chacune à l'un des couples : dans les parties superposées de ces deux bobines, agissant comme primaires, se déplace une petite bobine secondaire reliée au circuit du détecteur G (fig. 204). Quand les ondes prove-



nant d'un transmetteur mettent les deux couples en vibration, chaque bobine primaire agit sur la bobine secondaire, et les courants induits dans celle-ci ont une intensité d'autant plus grande que son orientation se rapproche plus de la direction du poste émetteur. Le détecteur indique donc un maximum d'effet quand la bobine mobile est orientée vers le poste émetteur, et un effet nul quand elle est perpendiculaire à cette position.

59. — Compas radiotélégraphiques.

Le compas radiotélégraphique a pour but de permettre à un bateau de déterminer sa position par rapport à deux postes fixes connus. Deux procédés peuvent être employés pour cela : ou bien les postes fixes peuvent être munis cha-

cun d'un certain nombre d'antennes conjuguées qui émettent successivement les signaux dans un ordre donné et avec un intervalle de temps donné, et le bateau est équipé pour pouvoir distinguer les signaux de chaque couple d'antennes, dont il connaît l'orientation ; ou bien les postes fixes sont munis d'antennes ordinaires et le bateau est équipé avec un dispositif qui permette de déterminer la direction des ondes.

Dispositif Telefunken. — Ce dispositif repose sur l'emploi du premier procédé. Chaque poste fixe comprend seize couples d'antennes conjuguées équidistants, formant une étoile à 32 bras. L'ensemble est supporté par un grand pylône central et 32 petits mâts équidistants répartis sur une circonférence ayant environ 200 mètres de diamètre. Un

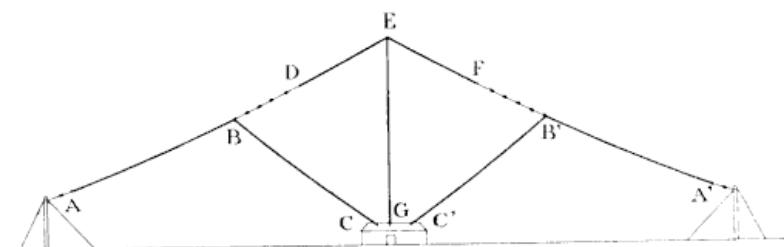


FIG. 205.

couple d'antennes conjuguées ABC, A'B'C' est représenté par la figure 205 ; l'antenne centrale GEFD, isolée des antennes conjuguées, est une antenne ordinaire en parapluie. Dans le poste, un appareil automatique, chargé de l'émission des signaux, comprend 3/4 contacts isolés répartis sur une circonference : les extrémités intérieures de chaque couple de deux antennes conjuguées sont reliées à deux contacts diamétralement opposés ; les 17^e et 34^e contacts sont connectés à l'antenne centrale. Un commutateur tournant, qui forme un diamètre de la circonference, est connecté au transmetteur et relie électriquement ce dernier avec deux con-

tacts diamétralement opposés, c'est-à-dire avec un couple d'antennes. Il tourne avec une vitesse déterminée dans le sens des aiguilles d'une montre et produit ainsi l'émission des signaux successivement par l'antenne centrale d'abord, puis par chacun des couples d'antennes, en commençant par l'orientation Nord-Sud. La figure 206, sur laquelle on a tracé seulement 12 flèches au lieu de 32, donne une idée de la rose des vents formée par les antennes conjuguées. Celles-ci sont excitées de façon à présenter le minimum de radiation dans leur plan.

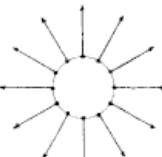


FIG. 206.

Quand un bateau, muni d'un poste récepteur ordinaire, perçoit les signaux émis par un tel dispositif, le radiotélégraphiste entend d'abord le signal de l'antenne centrale, puis successivement les signaux des antennes conjuguées : ces derniers lui parviennent avec des intensités inégales, et le minimum correspond au couple d'antennes situé dans la direction du bateau. Ce télégraphiste a sous la main une montre spéciale à aiguille trotteuse, graduée comme le cadran d'une boussole avec des divisions correspondant aux directions des antennes conjuguées : au moment où il perçoit le « signal de temps » émis par l'antenne centrale du poste émetteur, il appuie sur le bouton de cette montre pour mettre la trotteuse en marche : celle-ci tourne avec la même vitesse que le commutateur du poste émetteur et, par conséquent, avec la vitesse de rotation des signaux émis par les antennes conjuguées. Au moment où le télégraphiste perçoit le minimum d'intensité dans le détecteur, il appuie à nouveau sur le bouton pour arrêter la trotteuse, et la position de celle-ci lui indique l'orientation du couple d'antennes pour laquelle la réception était minima. Une rotation complète dure une demi-minute, de sorte que l'on peut faire dix mesures en cinq minutes et en prendre la moyenne. En répétant l'opé-

ration par rapport à un deuxième poste fixe, dont il connaît l'emplacement sur la carte, le bateau peut déterminer sa position exacte.

Dispositif Marconi. — La C^e Marconi a eu recours au second procédé et a adopté, en le modifiant légèrement, le système Bellini-Tosi précédemment décrit. Les extrémités supérieures des antennes d'un couple sont reliées ensemble (fig. 207) : les extrémités inférieures (isolées l'une de l'autre) aboutissent à un circuit oscillant contenant les bobines $B_1 B'_1$ et $B_2 B'_2$, et le condensateur C_1 ($B_2 B'_2$ et C_2 pour l'autre couple). Les condensateurs réglables $C_1 C_2$ sont établis de façon que leur capacité puisse être variée simultanément par la manœuvre d'un seul levier.

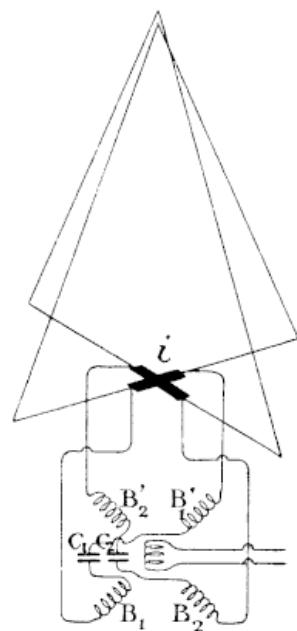


FIG. 207.

oscillant accordé, qui est accouplé inductivement au circuit du détecteur (fig. 208). Celui-ci est formé d'un cristal de carborundum et d'une pointe en acier. On peut aussi relier directement le détecteur à la bobine, sans accorder ce circuit ; ce montage est plus simple, mais moins sensible.

Pour que le compas radiotélégraphique, ou tout autre sys-

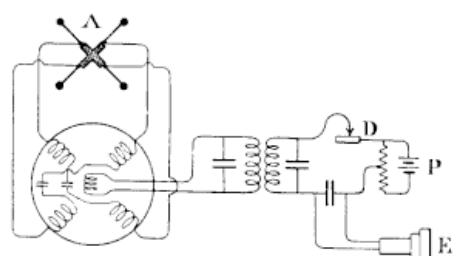


FIG. 208.

tème équivalent, puisse rendre des services effectifs, il faut que les côtes soient jalonnées par un certain nombre de postes émettant des signaux d'une façon continue. De tels postes, nommés en France *Radiophares*⁽¹⁾, doivent employer chacun un signal caractéristique permettant de reconnaître nettement la provenance des ondes reçues. Ce résultat est obtenu d'une façon simple au moyen d'un appareil automatique comprenant deux contacts en série commandés chacun par une came : l'émission d'un signal a lieu quand les deux contacts sont fermés simultanément. Les cames sont différentes pour les différents radiophares, et les signaux résultants sont nettement distincts.

Afin que le fonctionnement des radiophares ne trouble pas les communications radiotélégraphiques, la conférence de Londres a décidé que la longueur d'onde employée n'excéderait pas 150 mètres et que la portée serait inférieure à 30 milles marins.

60. — Elimination des signaux voisins.

Les dispositifs à antennes conjuguées ou à cadres peuvent être utilisés pour mettre un poste récepteur à l'abri des signaux d'un poste transmetteur voisin et pour réaliser ainsi, entre deux points, des transmissions et des réceptions simultanées.

C'est ainsi que, pour le service transatlantique, la Cie Marconi établit sur chaque continent un poste transmetteur et un poste récepteur distants d'une quinzaine de kilomètres. Le personnel de service se tient au poste récepteur et actionne les appareils du poste transmetteur au moyen de fils de jonction

(1) Ces postes ont été étudiés et installés sous la haute direction de M. Blondel.

et de relais. Au poste récepteur, il y a deux aériens : une grande antenne normale, et un couple de petites antennes conjuguées ou un cadre orienté dans la direction de l'antenne transmettrice voisine. Les deux aériens agissent simultanément sur le circuit du détecteur : à cet effet le transformateur d'accouplement comporte deux bobines primaires et une bobine secondaire. Les connexions et les réglages sont tels que, quand l'antenne transmettrice fonctionne, ses effets sur les deux aériens du poste récepteur voisin se neutralisent exactement : les signaux provenant du poste transmetteur éloigné impressionnent, au contraire, la grande antenne seule et sont reçus normalement.

Une installation de ce genre fonctionne à côté du poste transatlantique de Clifden ; une autre, dont la figure 209

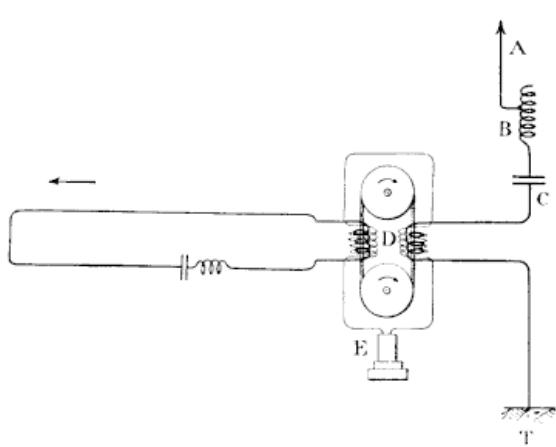


FIG. 209.

donne le schéma, fonctionne au cap Lizard, à huit kilomètres environ du poste de Poldhu. Dans cette dernière, l'aérien de compensation consiste en un cadre vertical, orienté vers Poldhu, d'une douzaine de

mètres de longueur et d'environ trois mètres de hauteur. Les deux aériens agissent simultanément sur le détecteur magnétique D au moyen de deux bobines primaires ; les deux bobines secondaires du détecteur magnétique sont connectées en série et reliées au téléphone E : les signaux venant de Poldhu se neutralisent exactement.

61. — Antennes horizontales.

M. Garcia a signalé en 1902 que, si un fil horizontal est relié par l'une de ses extrémités à un éclateur dont l'autre électrode est connectée à la terre, l'intensité de la radiation est maxima dans le plan vertical du fil du côté de l'extrémité reliée à l'éclateur : elle est minima dans les directions perpendiculaires à ce plan et dans la direction de l'extrémité libre du fil.

M. Marconi a fait plus tard une série d'essais avec ce dispositif. Il a d'abord employé une *antenne transmettrice horizontale* de 60 mètres de longueur placée à 1^m,50 du sol, dont l'extrémité libre B (fig. 210) pouvait être orientée successivement dans toutes les directions.

On maintenait la quantité d'énergie dépensée dans cette antenne aussi constante que possible,



FIG. 210.

et, au moyen d'une *antenne réceptrice verticale* ordinaire, reliée à un thermo-galvanomètre de Duddell (¹), on déterminait la quantité d'énergie reçue dans différentes directions autour de l'antenne transmettrice.

Si, autour d'un point central représentant la projection verticale de l'extrémité A de l'antenne, on trace la courbe de répartition de l'énergie, déterminée d'après les mesures faites avec l'antenne réceptrice, on obtient une courbe analogue à celle de la figure 211.

(¹) Voir chap. IV, § 37, page 110.

Dans une deuxième série d'expériences, M. Marconi a employé une *antenne transmettrice horizontale* et une *antenne réceptrice horizontale*, ayant chacune 30 mètres de longueur

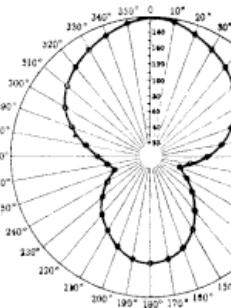


FIG. 211.

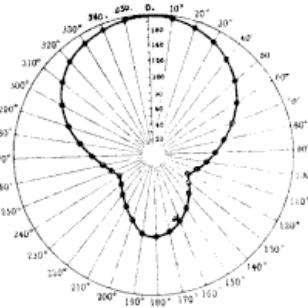


FIG. 212.

et placées à 1^m,50 de la terre. En laissant l'antenne transmettrice immobile et orientant l'antenne réceptrice suivant toutes les directions, il a obtenu, pour la quantité d'énergie reçue, la courbe qu'indique la figure 212.

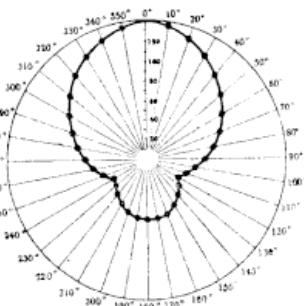


FIG. 213.

Enfin, dans une troisième série d'expériences, il a employé une *antenne transmettrice verticale* fixe de 44 mètres de hauteur et une *antenne réceptrice horizontale* de 30 mètres de longueur, placée à 1^m,50 du sol et orientée successivement dans toutes les directions. La courbe indiquant la variation de la quantité d'énergie reçue est donnée par la figure 213.

M. Kiebitz a fait, en 1911 et 1913, de nouveaux essais avec des antennes horizontales placées sur le sol ou à très

faible hauteur. La figure 214 indique le dispositif employé pour la transmission et la figure 215 le dispositif employé pour la réception : quelquesfois les extrémités libres de l'antenne étaient reliées chacune à une plaque de terre par l'intermédiaire

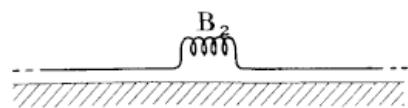


FIG. 214.

d'un condensateur. Le circuit du détecteur, non accordé, était branché sur le condensateur C ; les bobines BB' servaient à l'accord.

Ces expériences ont mis en évidence que, si l'emploi d'antennes horizontales offre peu d'intérêt pour la transmission⁽¹⁾, il offre, au contraire, un très grand intérêt, dans certains cas, pour la réception. On a pu, en effet, avec un fil de quelques centaines de mètres posé par terre et convenablement orienté, recevoir les signaux émanant de postes extrêmement éloignés, alors qu'il aurait fallu une antenne verticale énorme pour obtenir le même résultat. Pour présenter le maximum d'effet, un fil rectiligne doit avoir une longueur égale à une demi-longueur d'onde, mais il est alors difficile de brancher convenablement le circuit du détecteur. Avec le dispositif de la figure 215, l'antenne vibre en deux demi-ondes ; il y a des ventres de tension aux extrémités libres isolées et un ventre de tension au condensateur, auquel est relié le détecteur.

Les différents expérimentateurs qui ont essayé d'employer,

(1) M. Kiebitz a trouvé le résultat curieux que, avec une antenne *transmettrice* horizontale, les portées étaient d'autant plus grandes que les ondes avaient une plus courte longueur d'onde. Cela peut provenir de ce que la hauteur de l'antenne *relativement à la longueur d'onde* est d'autant plus grande que la longueur d'onde employée est plus courte.

comme M. Kiebitz, des antennes horizontales, ont constaté que la nature du sol joue un rôle extrêmement important : il faut que la couche supérieure du terrain soit relativement sèche. Ce fait a conduit M. Burstyn à donner une explication plausible du rôle de ces antennes. Si l'on compare les

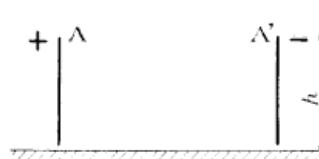


FIG. 216.

antennes conjuguées de hauteur h excitées par des courants de phases opposées (fig. 216), et une antenne horizontale supportée à la même hauteur h et convenablement excitée (fig. 217), on se rend compte

que les effets doivent être les mêmes. Si maintenant, considérant le sol des figures 216 et 217 comme bon conducteur, on suppose qu'une couche de terrain sec, c'est-à-dire non conducteur, remplisse l'intervalle entre l'antenne et le sol sur la figure 217, on se trouve dans le cas de l'antenne horizontale posée sur un terrain sec au-dessous duquel il y a, à une profondeur h , du terrain humide. Cette explication montre que l'efficacité d'une antenne horizontale dépend de la constitution du terrain : les résultats ne seront bons que si la profondeur à laquelle on rencontre de l'eau n'est ni trop grande ni trop faible, et si les couches superficielles sont suffisamment sèches.

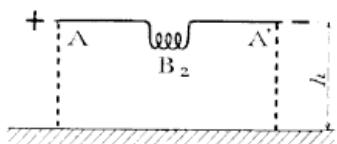


FIG. 217.

CHAPITRE XIV

INDICATIONS SOMMAIRES SUR LES APPAREILS EMPLOYÉS DANS LES POSTES RADIOTÉLÉGRAPHIQUES

TRANSMISSION

Les principaux appareils utilisés pour la transmission sont les suivants : bobines d'induction ; interrupteurs ; alternateurs ; transformateurs et bobines de self-induction primaires ; manipulateurs ; condensateurs ; éclateurs ; bobines d'accouplement et d'antenne ; appareils de mesure ; antennes et prises de terre.

62. — Bobines d'induction.

Les bobines d'induction sont encore employées quelquefois dans les postes de faible puissance. Elles sont généralement alimentées par des accumulateurs : un interrupteur spécial transforme en courant interrompu le courant continu fourni par les accumulateurs.

Le primaire, enroulé sur un noyau en fils de fer doux dont il est soigneusement isolé, comprend un certain nombre de tours de fil de cuivre rond ou rectangulaire de forte section. Le secondaire, séparé du primaire par un tube isolant épais, est formé d'un grand nombre de tours de fil relativement

fin : son isolement doit être prévu pour résister à des tensions très élevées. Les efforts des constructeurs ont surtout porté sur l'amélioration de l'isolement du secondaire, qui ne doit pas présenter, entre deux tours de fil voisins, une différence de potentiel capable d'amener la rupture de l'isolant. Si l'enroulement secondaire était formé de couches successives occupant la longueur totale de la bobine, il existerait à chaque extrémité, entre deux tours superposés, une différence de potentiel élevée⁽¹⁾. Pour éviter cet inconvénient, on subdivise l'enroulement secondaire, en le formant d'une série de bobines plates ou galettes juxtaposées, séparées les unes des autres par des cloisons isolantes : un tel enroulement est dit *cloisonné*.

Une disposition particulière d'enroulement cloisonné est employée dans les appareils Klingelfuss, construits par la

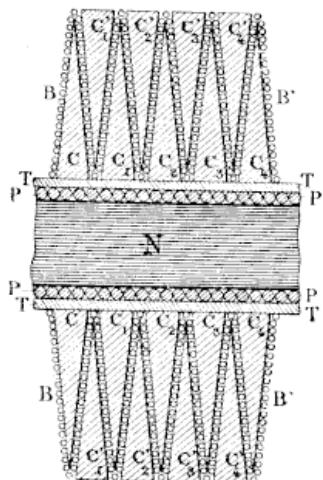


FIG. 218.

maison Carpentier. Le secondaire est constitué par une série de bobines coniques comprenant chacune un seul rang de fil ; les cloisons séparatives ont une épaisseur d'autant plus grande que la différence de potentiel entre deux tours voisins est plus grande. On obtient ainsi la disposition qu'indique en coupe longitudinale la figure 218, sur laquelle B ou B' désigne une surface conique, C₁ C₂ C₃ C₄ C₁' C₂' C₃' C₄' des cloisons séparatives isolantes de forme biconique, T un tube épais en ébonite, P l'enroulement primaire, N le noyau

⁽¹⁾ En effet, entre ces deux points voisins seraient compris tous les tours de fil des deux couches, et chaque couche comprend un très grand nombre de tours dans les bobines un peu longues.

de fils de fer doux. L'épaisseur des cloisons séparatives croissant alternativement vers le centre ou vers la périphérie comme la différence de potentiel entre les tours de fil de deux bobines voisines, la disposition adoptée permet d'obtenir le maximum d'isolement pour le minimum d'encombrement.

Au lieu d'un noyau droit, les bobines Klingelfuss sont aussi construites avec un noyau double lamellé N (fig. 219) en forme d'U fermé par une culasse C, comme ceux des transformateurs industriels. Chaque noyau N porte un enroulement pri-

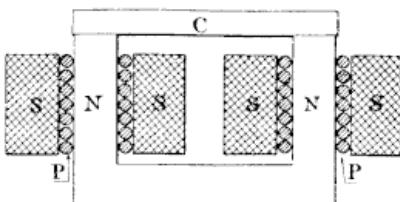


FIG. 219.

maire P et un enroulement secondaire S, ainsi que l'indique schématiquement la figure. Pour une même puissance primaire, les résultats obtenus sont beaucoup plus puissants qu'avec une bobine à noyau droit. La culasse C peut être fendue transversalement sur une plus ou moins grande largeur : l'appareil constitue ainsi un transformateur à fuites.

Dans la plupart des bobines d'induction, on imprègne tout l'enroulement secondaire d'un isolant solide à base de paraffine ou de résine, ou bien on le plonge dans un liquide isolant. On peut aussi, comme l'a fait M. Rochefort, le placer dans un isolant pâteux (dissolution spéciale de paraffine dans du pétrole) qui présente des avantages sur les isolants solides ou liquides.

Les bobines d'induction de M. Rochefort sont établies d'une façon particulière. Un noyau droit vertical (fig. 220) est recouvert sur toute sa longueur par l'enroulement primaire formé de deux couches de tours de fil, tandis que le secondaire est une courte

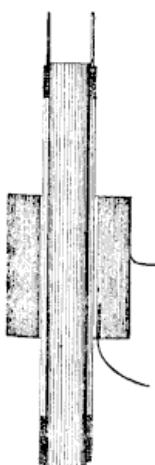


FIG. 220.

bobine disposée dans la partie centrale de l'enroulement primaire. Cette bobine comprend un nombre assez restreint de tours d'un fil relativement gros ; les tours forment une série de couches superposées séparées par des feuilles de papier fort : grâce à la faible longueur de la bobine et aux remarquables qualités de l'isolant pâteux dans lequel l'ensemble est plongé, le cloisonnement est inutile.

Les particularités de fonctionnement des bobines d'induction sont encore mal connues, malgré un important travail de M. Armagnat sur ce sujet. Il est difficile de pré-déterminer les constantes d'une bobine appelée à charger des condensateurs de forte capacité. Pour les expériences de laboratoire, on s'efforce simplement de placer sur la bobine le plus grand nombre de tours de fil très fin ; pour la radiotélégraphie au contraire, les résultats sont meilleurs si l'on réduit le nombre de tours pour augmenter le diamètre du fil de l'enroulement secondaire.

63. — *Interrupteurs.*

L'interrupteur, considéré d'abord comme l'organe accessoire d'une bobine d'induction, en est devenu l'organe le plus important. Le trembleur à marteau, employé sur les petites bobines, est tout à fait insuffisant dès que l'intensité du courant primaire atteint une certaine valeur, parce que les ruptures ne sont plus assez brusques, et que les étincelles persistantes détériorent les contacts, malgré l'adjonction d'un condensateur branché sur l'interrupteur.

Un important perfectionnement a été apporté aux trembleurs à marteau par M. Carpentier. Son *rupteur atonique* comprend une palette oscillante en fer doux P (fig. 221)

munie d'une masselotte M qu'attire le noyau de fils de fer N. Cette palette est rappelée en arrière par un ressort R et bute contre un plot B. Une lame élastique légère L porte le contact mobile C qui appuie sur le contact fixe C', réglable au moyen d'une vis V. Quand la palette P est attirée par le noyau N, elle acquiert une certaine vitesse avant d'atteindre l'extrémité de la lame L : au moment où elle frappe celle-ci, il se produit un déplacement rapide du contact C et, par suite, une rupture brusque du courant entre les contacts CC'. Dès que le courant est rompu, la palette et la lame reviennent à la position première, et le circuit primaire est à nouveau fermé en CC'. On règle la fréquence des interruptions du courant primaire en modifiant la tension du ressort R au moyen d'une vis de rappel.

Dès que l'intensité du courant primaire atteint une certaine valeur, on ne peut plus utiliser un interrupteur à trembleur, même perfectionné. On emploie alors un interrupteur à mercure, genre Foucault, avec pointe animée d'un mouvement alternatif⁽¹⁾, ou mieux un interrupteur rotatif.

L'interrupteur Klingelfuss consiste en un commutateur tournant à axe vertical entraîné par un moteur électrique : ce commutateur comprend deux lames métalliques maintenues sur un cylindre creux isolant. Un balai métallique frotte sur le cylindre et vient en contact, tantôt avec l'une des lames,

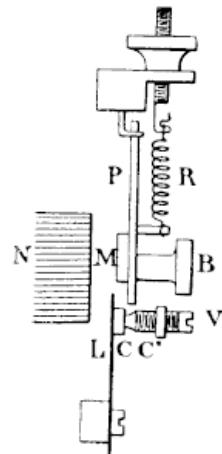


FIG. 221.

(1) Le principe de l'interrupteur de Foucault à mouvement alternatif est indiqué à l'APPENDICE I § 100. De nombreux perfectionnements ont été apportés à cet appareil, mais les interrupteurs tournants à mercure permettent de couper des intensités de courant bien supérieures, et sont d'un emploi plus fréquent.

tantôt avec la portion isolante. Du mercure, contenu dans la partie inférieure de la carcasse de l'appareil, est aspiré par une petite hélice disposée au-dessous du commutateur et est chassé vers l'intérieur du cylindre creux d'où il s'échappe par des fentes ménagées entre chaque lame et la portion isolante voisine. Ce mercure joue un double rôle : d'une part, il amalgame constamment les lames et le balai et assure ainsi un excellent contact électrique ; d'autre part, au moment où une lame quitte le balai, il jaillit brusquement par la fente à l'endroit où se fait la rupture du courant et empêche toute détérioration des surfaces en brisant l'étincelle. L'appareil est plongé dans un liquide isolant, tel que l'huile de paraffine ou le pétrole, contenu dans la carcasse.

L'interrupteur à turbine Gaiffe se compose d'un récipient métallique T (fig. 222) fixé à un axe vertical A et terminé par un cône renversé que traversent quatre trous obliques équidistants *a b* débouchant dans du mercure. Sous l'effet de la rotation,

le mercure est aspiré par les trous obliques et s'élève dans le récipient T d'où il jaillit par quatre trous équidistants *c d* sous forme de quatre jets rotatifs. Ceux-ci rencontrent, à intervalles réguliers, deux lames métalliques de même largeur diamétralement opposées, et ferment ainsi le circuit primaire de la bobine. La rupture du courant s'effectue sur deux jets à la fois. Le tout est disposé dans une cuve étanche dans laquelle passe un courant de gaz d'éclairage ou bien de vapeurs d'alcool ou d'éther, dont la présence a pour effet d'empêcher la détérioration du mercure lors des ruptures.

L'interrupteur de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft, fréquemment employé en Allemagne, est analogue au pré-

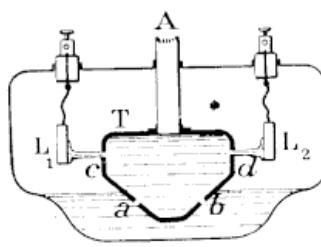


FIG. 222.

cédent : une turbine pompe du mercure qui, sous forme d'un jet rotatif unique, est projeté successivement entre un certain nombre de lames équidistantes fixées à un anneau métallique.

Dans l'interrupteur de M. Max Lévy, le jet de mercure est fixe et vient rencontrer successivement une série de lames portées par un anneau tournant : une petite pompe envoie le mercure dans l'ajutage fixe.

Les différents interrupteurs à turbine permettent d'obtenir un grand nombre d'interruptions par seconde.

64. — *Alternateurs.*

Alternateurs à basse fréquence. — Dans les postes radiotélégraphiques à étincelles rares, on se sert généralement de courant alternatif dont on élève la tension au moyen de transformateurs. Si ces postes ne sont pas à proximité de réseaux de distribution, ils sont obligés de produire eux-mêmes le courant nécessaire au moyen d'alternateurs entraînés par des moteurs mécaniques (électriques, à vapeur, à gaz, ou à pétrole, suivant les cas et les puissances). Ces alternateurs doivent être robustes (pour supporter les à-coups) et bien isolés (pour le cas où des oscillations parviendraient accidentellement jusqu'à eux) : ils ont généralement l'induit fixe et l'inducteur tournant. Le premier comprend une carcasse supportant un anneau formé de paquet de tôles dans lesquelles sont découpées des encoches où sont logées les bobines induites. A l'intérieur de l'induit se déplace un inducteur formé d'un volant muni d'un certain nombre de projections polaires : chacune d'elles porte une bobine inductrice ; les bobines successives sont connectées en série, et les extrémités du circuit inducteur ainsi formé aboutis-

sent à deux bagues métalliques clavetées sur l'arbre et isolées de lui. Le courant d'excitation est amené, par deux frotteurs, à ces bagues de contact.

Si l'on veut pouvoir utiliser convenablement les effets de résonance primaire, il faut que la fréquence du courant débité par l'alternateur soit aussi constante que possible, c'est-à-dire que sa vitesse de rotation soit maintenue à peu près invariable. On peut avantageusement disposer sur le circuit primaire un fréquencemètre, indiquant à chaque instant la fréquence du courant engendré.

Afin d'éviter que des oscillations ne parviennent à l'alternateur ou un réseau d'alimentation, on branche, sur chacun des conducteurs du circuit primaire, une ligne de fuite

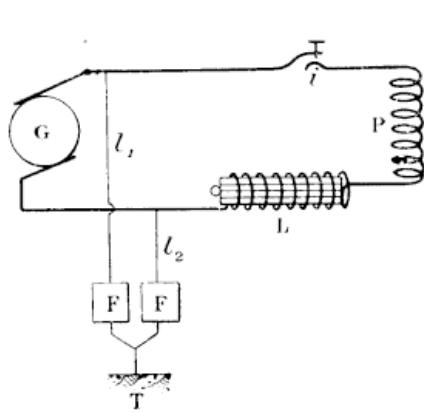


FIG. 223.

l_1 ou l_2 (fig. 223) aboutissant à la terre et contenant en F soit un condensateur, soit une résistance. Celle-ci doit avoir une self-induction nulle afin de permettre le libre passage des oscillations vers la terre, et une résistance ohmique suffisante pour que, en temps normal, le courant dérivé dans la ligne

de fuite ait une très faible intensité. En pratique, on utilise avec succès, comme résistance de protection, un groupe de lampes à incandescence tubulaires à filament droit (').

Un alternateur spécial a été imaginé par M. Villard pour produire, comme avec une bobine d'induction, des pointes

(') Les lampes ordinaires à filament en boucle présentent une self-induction très faible, mais non nulle : il vaut donc mieux employer des lampes à filament droit.

de courant très aiguës séparées par des intervalles assez longs.

Il comprend (fig. 224) un inducteur mobile avec quatre pôles $N_1 S_1 N_2 S_2$ voisins deux à deux, et un induit fixe formé de deux bobines $B_1 B_2$ diamétralement opposées. Chacune de ces bobines est constituée par un assez grand nombre de tours de fil et est logée dans deux encoches mi-fermées découpées sur un anneau de fer doux feuilletté A. Quand l'inducteur tournant passe en face des bobines $R_1 B_2$, il s'y produit une brusque variation de flux qui donne naissance à une force électromotrice de forme très aiguë; pendant le reste d'un demi-tour, la machine n'engendre aucune force électromotrice.

M. Villard a fait construire aussi un alternateur du même genre pour étincelles musicales.

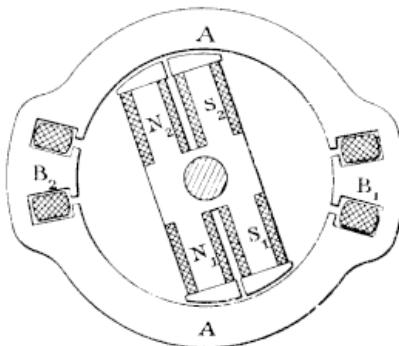


FIG. 224.

Alternateurs pour étincelles musicales. — Les postes modernes à grande fréquence d'étincelles emploient des alternateurs établis pour donner 200 à 1 000 périodes par seconde. Ces machines sont généralement d'une construction spéciale, avec un grand nombre de petits pôles et une vitesse de rotation élevée : on utilise des tôles découpées semblables à celles qui servent pour l'établissement des moteurs d'induction. La figure 225 montre un alternateur Béthenod à 1 000 périodes (à droite) entraîné par un moteur à courant continu (à gauche) : on voit que l'alternateur est plus compact et moins volumineux que le moteur. Le courant d'excitation est amené au moyen de frotteurs en charbon appuyant sur deux bagues métalliques, reliées à l'inducteur.

M. Alexanderson a construit une *commutatrice*, dans laquelle le courant continu est converti en courant alternatif.

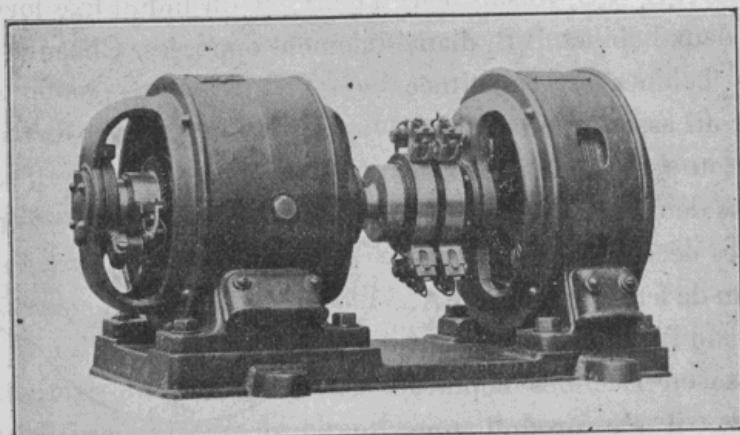


FIG. 225.

Cette machine consiste simplement en un moteur à courant continu, à peu près normal, dans les masses polaires duquel on a disposé un enroulement monophasé logé dans des encoches. Les pulsations du flux induisent dans cet enroulement un courant alternatif de fréquence élevée.

65. — Transformateurs.

La puissance limitée des bobines d'induction a conduit à utiliser, pour l'excitation des circuits oscillants, des transformateurs alimentés par du courant alternatif. Ces appareils, utilisés dès 1896 par M. d'Arsonval, sont devenus d'un emploi universel dans les postes radiotélégraphiques.

Le principe sur lequel repose le fonctionnement des transformateurs est expliqué à l'APPENDICE I, § 99. La disposition schématique indiquée à cet endroit conduit à une très forte dispersion magnétique⁽¹⁾ : aussi l'a-t-on complètement aban-

⁽¹⁾ Le transformateur présente beaucoup de fuites parce que le flux engendré

donnée dans les transformateurs industriels où les fuites magnétiques doivent être aussi faibles que possible. Ces appareils portent, sur chacun des noyaux, une bobine primaire P ou P' et une bobine secondaire S ou S' placées l'une sur l'autre (fig. 226). Bien entendu, les bobines primaires doivent être soigneusement isolées des noyaux, et les bobines secondaires doivent être séparées des bobines primaires par une forte épaisseur d'isolant, capable de résister aux tensions élevées.

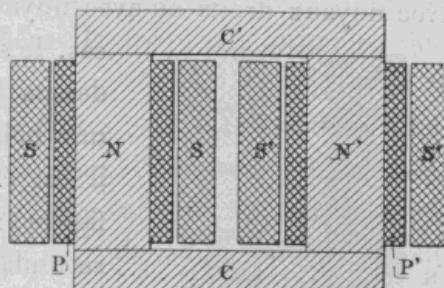


FIG. 226.

Les premiers transformateurs employés en radiotélégraphie ont conduit à quelques mécomptes. Les effets de résonance primaire et les résultats qu'on en peut obtenir étaient mal connus : des ruptures fréquentes des isolants, dues à ces effets, en faisaient généralement rejeter l'emploi. Une étude de M. Seibt sur les bobines à résonance, suivie d'une étude très approfondie de M. Blondel sur les transformateurs à résonance, ont mis en lumière les phénomènes dont il s'agit. Plus tard, M. Béthenod a montré que les appareils industriels sans fuites magnétiques conviennent parfaitement comme transformateurs à résonance s'ils sont établis en vue de cette application, et il a donné une étude théorique détaillée de ces appareils.

Actuellement, on emploie indifféremment des transformateurs à fuites magnétiques ou des transformateurs sans fui-

par l'un des enroulements ne traverse pas en totalité l'autre enroulement : un grand nombre de lignes de force va directement d'une bobine à l'autre, en passant par l'intervalle d'air compris entre les deux noyaux.

tes, dans le circuit primaire desquels on intercale une ou plusieurs bobines de self-induction réglables.

Les appareils à fuites magnétiques peuvent être établis avec noyaux droits ou avec noyaux en U. Dans le premier

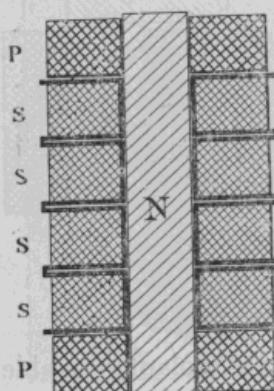


FIG. 227.

cas, le secondaire est disposé par-dessus le primaire comme dans une bobine d'induction, ou bien il est établi comme l'indique la figure 227 (Gaiffe), avec les bobines secondaires S au milieu et les bobines primaires P aux deux bouts. Dans le second cas, le circuit magnétique comprend deux noyaux NN' (fig. 228) réunis à leurs extrémités par les culasses CC' : le primaire P est bobiné sur l'un des noyaux et le secondaire S sur l'autre ; ces enroulements sont convenablement isolés par rapport au fer du transformateur par des manchons ou carcasses en ébonite ou en micanite⁽¹⁾. Les transformateurs à fuites présentent l'avantage que les brusques variations du courant secondaire produites par l'éclatement des étincelles ne réagissent pas sur la bobine primaire et sur le circuit qui l'alimente⁽²⁾. Le secondaire peut être mis accidentellement en

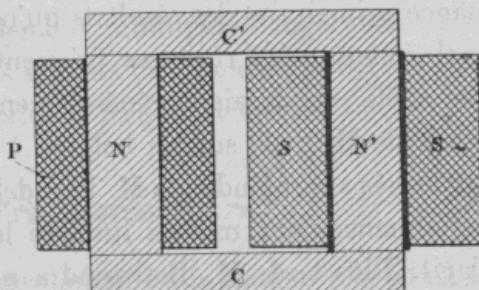


FIG. 228.

⁽¹⁾ Les premiers transformateurs à fuites magnétiques à double noyau de M. Gaiffe ont été établis en 1903 sur les indications de M. d'Arsonval.
⁽²⁾ L'action des fuites magnétiques équivaut à celle d'une self-induction : plus les fuites sont importantes, plus la self-induction apparente est grande.

court-circuit sans que l'intensité primaire atteigne une valeur anormale, comme cela se produirait dans un transformateur sans fuites. Mais les conditions de résonance primaire doivent être déterminées une fois pour toutes et ne peuvent pas être modifiées : la fréquence primaire doit donc être invariable.

Les transformateurs sans fuites peuvent être d'un quelconque des types employés dans l'industrie, mais il est nécessaire que la section de fer y soit très largement calculée, ainsi que l'enroulement secondaire, et que l'isolation de ce dernier soit prévu pour une tension bien supérieure à la tension normale, déduite de la valeur du rapport de transformation. Le réglage de la résonance primaire au moyen de bobines de self-induction est très commode et le rendement est meilleur que celui des transformateurs à fuites.

Quant aux bobines de self-induction placées dans le circuit primaire, elles sont généralement formées d'une carcasse isolante creuse portant une ou deux couches de tours de fil rectangulaire. L'isolation doit être très soigné, car les bobines sont soumises à des surtensions importantes. Dans la carcasse creuse est placé un noyau rectangulaire mobile en tôles minces de fer doux assemblées et maintenues par des rivets.

66. — Manipulateurs.

Le manipulateur sert à produire les émissions de courant, longues ou brèves, destinées à figurer les traits ou les points des signaux conventionnels représentant les lettres et les chiffres dans l'alphabet Morse (fig. 229). Dans les postes de faible puissance, le manipulateur consiste en un simple interrupteur analogue à celui qu'on emploie en télégraphie ordi-

naire (clé Morse). Mais, dès qu'il s'est agi de couper des courants intenses circulant dans

ALPHABET	MORSE
A	--
B	----
C	----
D	---
E	-
F	----
G	---
H	-----
I	--
J	-----
K	---
L	----
M	--
N	--
O	---
P	----
Q	-----
R	---
S	--
T	--
U	---
V	----
W	---
X	----
Y	---
Z	---
1	-----
2	-----
3	-----
4	-----
5	-----
6	-----
7	-----
8	-----
9	-----
10	-----

des circuits de forte self-induction, on s'est heurté à des difficultés provenant de la détérioration rapide des contacts.

Fréquemment, on se contente de disposer le contact fixe du manipulateur dans un récipient contenant du pétrole ou de l'eau distillée (fig. 230): en employant des contacts de grande surface, on peut ainsi couper un courant d'une quarantaine d'ampères. Sur la figure 230, L désigne le levier oscillant, R un ressort réglable qui le rappelle en arrière et le force à s'appuyer sur le plot P, B une vis de butée réglable, C et C' les pièces de contact, facilement amovibles pour permettre leur remplacement rapide en cas de détérioration, V un récipient métallique contenant le liquide isolant et muni d'une queue de prise de courant.

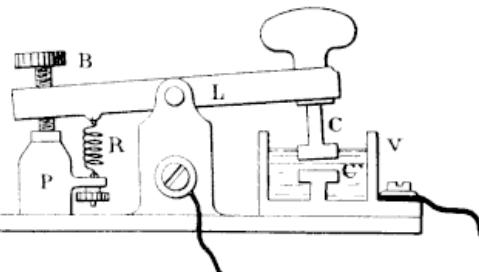


FIG. 230.

glable qui le rappelle en arrière et le force à s'appuyer sur le plot P, B une vis de butée réglable, C et C' les pièces de contact, facilement amovibles pour permettre leur remplacement rapide en cas de détérioration, V un récipient

métallique contenant le liquide isolant et muni d'une queue de prise de courant.

Quand le circuit primaire est alimenté par du courant alternatif, plusieurs compagnies emploient un manipulateur dans lequel, automatiquement, la séparation des contacts ne

peut s'effectuer qu'au moment où l'intensité du courant est nulle (à chaque demi-période) : il n'y a donc pas d'étincelle destructrice. L'appareil (fig. 231) comprend en principe un levier *L* et, au-dessous, une lame élastique *l* qui porte le contact mobile *C* et une masselotte en fer doux *M*. Sous la masselotte *M* est disposé le noyau d'un électro-aimant *E* traversé par le courant principal.

Si l'on abaisse le levier *L*, il entraîne avec lui la lame *l*; le contact mobile *C* vient s'appuyer sur le contact fixe *C'*, et le courant circule dans l'électro-aimant. Le

noyau de celui-ci attire alors la masselotte *M* et l'applique contre lui. Si on laisse remonter le levier *L*, la lame élastique *l* est maintenue en place par l'attraction de l'électro-aimant *E* jusqu'au moment où le courant alternatif s'annule pour changer de sens : à ce moment, son élasticité la ramène à la position initiale.

Dans beaucoup de postes, on emploie, pour augmenter la rapidité des transmissions, un manipulateur automatique. Des bandes de papier épais sont perforées à l'avance sur une machine spéciale munie d'un clavier de machine à écrire : les perforations longues ou courtes représentent des traits ou des points de l'alphabet Morse. Ensuite, ces bandes sont placées dans un appareil où elles passent entre deux contacts ; à l'endroit des perforations, le circuit se trouve fermé entre les contacts ; aux autres endroits, il est ouvert. Avec un tel système, on peut réaliser des vitesses de transmission d'une centaine de mots par minute, tandis qu'on ne transmet guère qu'une vingtaine de mots par minute à la main.

Le commandant Ferrié a établi un manipulateur spécial

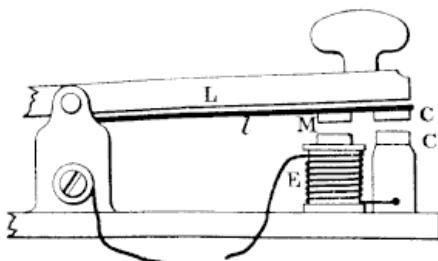


FIG. 231.

qui offre l'avantage de pouvoir être commandé à distance au moyen d'un faible courant lancé dans un circuit auxiliaire. Une petite turbine rotative T (fig. 232) envoie du mercure sous pression dans un ajutage A qui peut basculer autour d'un axe horizontal. Normalement, sous l'action du ressort

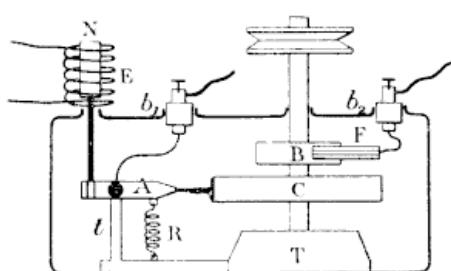


FIG. 232.

R, cet ajutage est braqué obliquement vers le bas, et le jet de mercure va frapper la partie fixe de la turbine T. Mais si l'on envoie un faible courant dans le solénoïde E disposé au-dessus de l'appareil, celui-ci attire un noyau N qui, par l'intermédiaire d'une tige, fait basculer l'ajutage A et le redresse : le jet de mercure vient alors frapper la couronne C en cuivre, calée sur l'axe de la partie mobile de la turbine, et animée d'un mouvement de rotation rapide. Cette couronne est reliée électriquement,

par l'intermédiaire de la bague B, au frotteur F, connecté lui-même à la borne b_2 . De même l'ajutage A est relié à la borne b_1 . Le circuit électrique est donc fermé par le jet de mercure. Pour l'émission des signaux, il suffit de manœuvrer un interrupteur qui commande le circuit du solénoïde E.

Dans la plupart des installations radiotélégraphiques, on évite de couper l'intensité totale du courant primaire et on branche le manipulateur entre les extrémités d'une résistance ou d'une bobine de self-induction qu'il court-circuite. Dans d'autres dispositifs, le manipulateur, à sa position d'ouverture, substitute au circuit principal un autre circuit ou un groupe de résistances : on se sert d'appareils analogues, à celui de la figure 230 dans lesquels le plot P et la butée de repos B sont remplacés par deux contacts plongés dans du pétrole comme les contacts C et C'.

Les postes de très grande puissance doivent manipuler sur des courants de très forte intensité : on emploie alors des appareils spéciaux, à contacts multiples, qui sont généralement actionnés par des relais.

67. — *Condensateurs.*

Les condensateurs employés en radiotélégraphie doivent posséder une capacité élevée et une grande rigidité diélectrique⁽¹⁾ sous un faible volume : ils doivent en outre présenter le moins possible de pertes par échauffement et par effluves.

Plus est mince l'intervalle qui sépare les armatures d'un condensateur, et plus est grande la valeur de la capacité, mais plus est faible la différence de potentiel sous laquelle se produit la rupture du diélectrique⁽²⁾. Si cet intervalle est rempli par de l'air, le condensateur offre l'avantage de ne pas présenter de pertes intérieures par échauffement, mais la rigidité diélectrique de l'air est inférieure à 40 000 volts par centimètre d'épaisseur et sa constante diélectrique est

(1) La capacité d'un condensateur dépend de la *constante diélectrique* du corps employé : celle-ci, de même que la *rigidité diélectrique*, caractérisent ce corps. Voir APPENDICE I, § 91.

(2) L'épaisseur minima du diélectrique doit être proportionnée à la tension de fonctionnement du condensateur. La longueur de fuite que l'étincelle a à parcourir pour jaillir des bords d'une armature aux bords de l'armature opposée doit également être proportionnée à cette tension. Il en résulte que, pour une capacité donnée, le volume d'un condensateur augmente très rapidement avec la valeur de la tension de fonctionnement. Pour caractériser un condensateur, on doit donc nécessairement indiquer, outre sa capacité, la tension de fonctionnement pour laquelle il est prévu.

L'unité pratique de capacité est appelée *microfarad*. Une batterie de condensateurs de un microfarad pour une tension normale de 100 000 volts présenterait un volume énorme, et une telle capacité n'a encore été utilisée dans aucun poste radiotélégraphique.

relativement faible. Au contraire, la rigidité diélectrique du verre (de qualité spéciale) est cinq fois plus grande (200 000 volts par centimètre d'épaisseur, pour des feuilles d'épaisseur usuelle) et la constante diélectrique est sept fois plus grande.

L'énergie accumulée dans un condensateur est égale au produit de sa capacité c par la tension de charge v :

$$E = cv^2.$$

Si l'accroissement de la rigidité électrique permet de quintupler la tension de charge v , l'énergie accumulée devient 25 fois plus grande: d'autre part, si la constante diélectrique est 7 fois plus grande, la capacité augmente dans la même proportion. Toutes choses étant égales d'ailleurs, un condensateur à lames de verre pourra donc emmagasiner $25 \times 7 = 175$ fois plus d'énergie qu'un condensateur semblable à lames d'air.

Les condensateurs employés dans les circuits de transmission des postes radiotélégraphiques sont généralement établis avec du verre : celui qui donne le moins de pertes par échauffement est le *flint* anglais⁽¹⁾. Il est très difficile d'obtenir des feuilles de flint bien homogènes d'assez grandes dimensions: c'est pourquoi l'on fait généralement usage de condensateurs tubulaires longs et étroits dérivés de la bouteille de Leyde. Chaque tube, fermé à une extrémité, est revêtu intérieurement et extérieurement d'une armature métallique déposée sur le verre par un procédé chimique ou électrochimique. La capacité étant très faible, on est conduit à employer un grand nombre de tubes dans les postes puis-

⁽¹⁾ La valeur de l'amortissement trouvée avec un condensateur établi avec du verre ordinaire est le double de celle trouvée avec le même condensateur établi en flint.

sants. Par exemple, dans l'ancienne installation à étincelles rares du poste allemand de Nauen, il y avait trois batteries de 120 tubes de 1^m,50⁽¹⁾. Dans l'installation du poste à étincelles rares de la tour Eiffel, il y a 896 tubes répartis en sept batteries de 128 tubes⁽²⁾.

M. Moscicki a apporté d'importants perfectionnements aux condensateurs tubulaires. Ses tubes (figure 233) sont en verre très mince, mais présentent une forte surépaisseur du côté du goulot, où se produisent toujours les ruptures⁽³⁾: ils sont argentés intérieurement et extérieurement et la couche d'argent est recouverte d'un dépôt de cuivre qui la consolide. L'armature intérieure est en contact avec une fourche élastique en cuivre portée par une tige qui traverse un isolateur en porcelaine à haute tension formant bouchon; l'armature extérieure est en contact avec un tube de cuivre qui la protège et assure la liaison électrique. La capacité d'un tube de 6 centimètres de diamètre et de 1^m,05 de longueur totale est de 0,003 microfarad environ. La tension admissible est de 60 000 volts.

Au lieu de tubes, on emploie aussi des plaques de verre revêtues sur chacune de leurs faces d'armatures métalliques, comme l'indique la figure 234. Plusieurs plaques sont disposées parallèlement dans une cuve remplie d'un liquide



FIG. 233.

⁽¹⁾ La capacité de l'ensemble était de 0,44 microfarad pour 70 000 volts environ.

⁽²⁾ Capacité de l'ensemble : 0,7 microfarad pour 110 000 volts.

⁽³⁾ M. Moscicki a constaté qu'une plaque de verre d'un demi-millimètre d'épaisseur peut supporter 67 000 volts sans se rompre dans sa région centrale, tandis qu'une différence de potentiel de 11 000 volts suffit pour provoquer la rupture au voisinage des bords des armatures.

isolant, tel que l'huile de paraffine ou le pétrole : leur nombre varie suivant la capacité à obtenir. Les queues A et B des armatures permettent d'établir entre elles les connexions nécessaires. Dans ces condensateurs, on évite difficilement la formation d'effluves qui vont d'une armature à l'autre en passant par-dessus les bords de la plaque : ces effluves détruisent peu à peu le verre, et il se produit au bout d'un certain temps une rupture du diélectrique. Pour éviter cet inconvénient,

on peut, comme le fait M. Gaiffe, disposer entre chaque armature d'aluminium A et la feuille de verre V (fig. 235) une plaque métallique un peu plus petite de façon que la tranche de l'armature A ne touche pas le verre, mais en soit séparée par une rigole de largeur égale à l'épaisseur de la plaque auxiliaire. Le liquide isolant dans lequel sont immergées les plaques vient circuler activement dans cette rigole et c'est lui qui supporte les fortes surtensions existant aux bords des armatures.

M. Fessenden et M. Marconi ont utilisé des condensateurs à air comprimé. La rigidité diélectrique des gaz croissant avec la pression, il est possible de réaliser ainsi des condensateurs capables de supporter des tensions élevées sans que leurs dimensions dépassent les limites admissibles pour une capacité donnée. Les condensateurs à air ne présentant pas de pertes d'énergie par échauffement du diélectrique, leur utilisation permet de réduire l'amortissement des oscillations engendrées.

Quel que soit le système employé, on est toujours obligé

d'accoupler entre eux un assez grand nombre de condensateurs. *Les connexions doivent être très courtes et doivent présenter la plus faible résistance et la plus faible self-induction possible.* On dispose, pour cela, les condensateurs tout près les uns des autres, et l'on effectue les connexions au moyen de larges bandes de cuivre. Pour permettre de modifier à volonté la capacité utilisée, on groupe les condensateurs en un certain nombre de batteries dont les extrémités sont reliées à des bornes ou des plots de prise de courant. Par des connexions appropriées, on peut alors relier facilement les batteries entre elles, d'après les résultats que l'on veut obtenir.

Le groupement des batteries peut être fait en série ou en parallèle. Dans le premier cas, chaque batterie n'a à supporter qu'une fraction de la tension totale de charge, mais la capacité diminue proportionnellement au nombre des batteries mises en série : dans le second cas, chaque batterie a à supporter la tension totale de charge, et la capacité augmente proportionnellement au nombre des batteries⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Ce résultat est évident si l'on considère l'exemple de deux condensateurs simples semblables ayant chacun une capacité c et pouvant supporter une tension de charge v .

Quand les deux condensateurs sont connectés en série (fig. 236), la tension totale se répartit également entre eux : elle peut donc avoir une valeur double $2v$. D'autre part, l'ensemble est exactement équivalent à un seul condensateur dont le diélectrique aurait une épaisseur double (puisque l'on peut supposer le fil de jonction assez court pour que les armatures intermédiaires viennent en contact et ne jouent plus aucun rôle) : la capacité a donc une valeur moitié moindre ($c/2$).

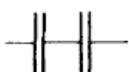


FIG. 236.

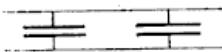


FIG. 237.

Quand les deux condensateurs sont connectés en parallèle (fig. 237), chacun d'eux est soumis à la tension totale et les capacités s'ajoutent.

Dans l'un et l'autre cas, en doublant le nombre des condensateurs, on double l'énergie totale emmagasinée. En effet, dans le premier cas, elle a pour valeur : $(c/2)(2v)^2 = 2cv^2$.

Dans le second cas, elle a pour valeur

$$(2c)v^2 = 2cv^2.$$

Les tensions adoptées sont généralement trop élevées pour que l'on puisse établir des condensateurs pratiques capables de les supporter directement. Aussi est-on conduit à former des groupes de deux ou trois batteries en série et à accoupler ces groupes en parallèle. Soit une batterie de capacité c établie pour une tension normale v . Si l'on veut doubler la tension v en conservant une capacité totale c , il faudra employer *quatre* batteries semblables groupées deux par deux en série, les deux groupes étant connectés en parallèle. Pour comparer entre elles des batteries différentes, il faut bien tenir compte des tensions de fonctionnement : une batterie de deux microfarads sous 50 000 volts a, par exemple, une puissance moitié moindre qu'une batterie de un microfarad sous 100 000 volts.

Pour éviter qu'une batterie de condensateurs soit détériorée par une surtension accidentelle supérieure à la tension limite de fonctionnement, on a coutume de placer en dérivation sur chaque batterie un petit éclateur de protection dont la distance explosive correspond à la tension limite de fonctionnement.

68. — Éclateurs.

L'éclateur présente une importance énorme dans les dispositifs à étincelles, et le commandant Ferrié a pu dire avec raison que toute la radiotélégraphie réside dans l'éclateur. Au début, on s'est servi simplement de deux sphères en laiton de 2 à 5 centimètres de diamètre : chacune d'elles était vissée à une tige ; l'une était fixe et l'autre mobile. On réglait l'écartement des sphères de façon à obtenir le maximum d'effet. Plus tard, la puissance mise en jeu ayant considérablement augmenté, on a dû employer d'autres appareils.

Un éclateur ne donne de bons résultats que si la tension explosive et la résistance de l'étincelle restent invariables quand l'intervalle explosif⁽¹⁾ et les conditions électriques du circuit restent invariables. Pour cela il faut que les électrodes ne s'échauffent en aucun point et que l'air (ou le gaz) compris entre elles se renouvelle constamment. En outre, il est nécessaire que la nature du métal et du diélectrique, ou la disposition adoptée, rendent très difficile l'établissement d'un arc et que l'éclateur ne produise que des étincelles franchement oscillantes.

La tension explosive dépend :

de l'intervalle explosif ;

des dimensions, de la nature et de la température des électrodes ;

de la nature, de la température et de la pression du gaz environnant⁽²⁾.

Dans les systèmes à étincelles rares, les distances explosives sont relativement grandes et l'énergie libérée à chaque étincelle a une valeur élevée. Pour éviter l'échauffement des électrodes, on leur donne la plus grande masse possible et on les dispose de façon que les étincelles ne jaillissent pas toujours aux mêmes points. Les éclateurs formés de cylindres ou d'anneaux parallèles donnent, à ce point de vue, de bons résultats : les premiers offrent l'avantage que l'on peut, par une simple rotation des cylindres, renouveler les surfaces le long desquelles jaillissent les étincelles. Le refroidissement

(1) La *tension explosive* est la différence de potentiel nécessaire pour que l'étincelle jaillisse entre les électrodes. L'*intervalle explosif* est la distance qui sépare les surfaces les plus voisines des électrodes.

(2) Dans la pratique, on n'emploie que des éclateurs placés dans un gaz (air, acide carbonique, etc.). Les éclateurs immersés dans le pétrole ou dans un liquide quelconque n'ont pas donné de bons résultats, à cause de la décomposition du liquide qu'il faut renouveler constamment.

est encore meilleur si, au lieu d'électrodes massives, on se sert d'électrodes creuses munies d'une circulation d'eau intérieure, mais cette complication n'est pas indispensable. Pour éviter la formation d'arc, on établit souvent les électrodes en zinc, ou en aluminium, dont les vapeurs présentent la propriété d'étouffer l'arc : l'amortissement a alors une valeur plus élevée.

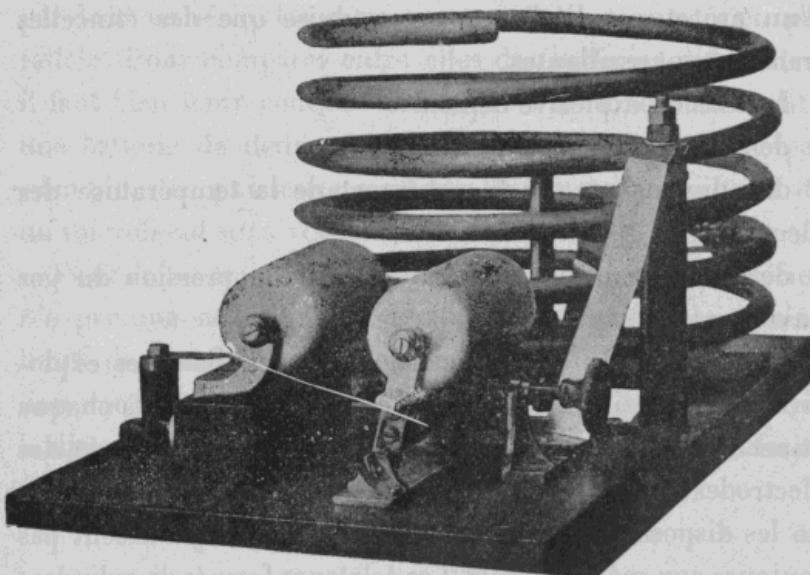


FIG. 238.

L'éclateur employé dans la plupart des postes de la Guerre et de la Marine est représenté par la figure 238⁽¹⁾. Deux gros cylindres en zinc sont disposés parallèlement l'un à l'autre. Chacun des deux est supporté par un axe autour duquel il peut tourner. L'un des axes est fixe; l'autre est supporté par un cadre à pivot de telle façon que l'écartement

⁽¹⁾ L'hélice en tube de cuivre visible derrière l'éclateur sert pour l'accouplement de l'antenne.

des cylindres soit réglable à volonté au moyen d'une vis de rappel. Une autre vis de rappel, agissant sur l'axe fixe, permet d'assurer le parallélisme parfait des deux cylindres, de façon que les étincelles courent constamment le long de leurs surfaces en regard.

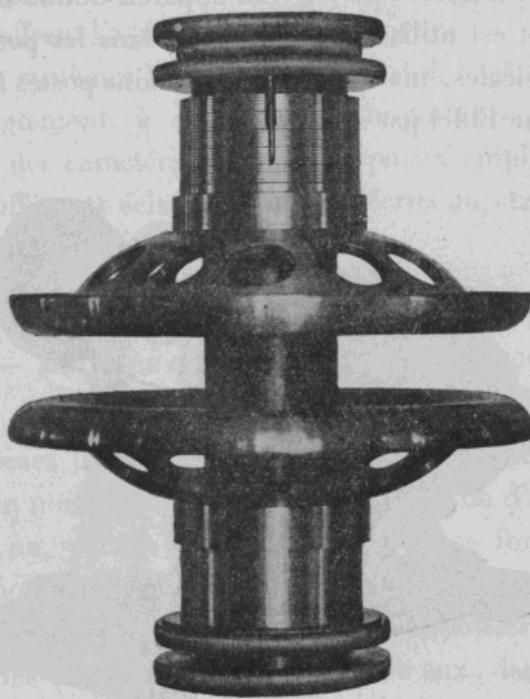


FIG. 239.

L'éclateur Telefunken pour postes à étincelles rares était formé de deux gros anneaux parallèles, supportés chacun par une coupelle. Le modèle adopté par l'Administration des Postes et Télégraphes, et que représente la figure 239, lui ressemble beaucoup. Sous l'effet du champ magnétique qu'elles créent, les étincelles tournent constamment le long des bords des deux coupelles, dont l'écartement est réglable à volonté par une vis supérieure.

Pour obtenir un bon refroidissement et une rupture nette

des étincelles, on peut avoir recours à un jet d'air comprimé, ou employer des électrodes rotatives, ou bien faire tourner, entre des électrodes fixes, une pièce mobile. Le commandant Ferrié a imaginé et mis au point l'éclateur à tube et plateau, avec soufflage central, qu'emploie actuellement la Société française radioélectrique⁽¹⁾). Cet appareil donne d'excellents résultats et est utilisé non seulement dans les postes à étincelles musicales, mais aussi dans certains postes à étincelles rares (Tour Eiffel par exemple).

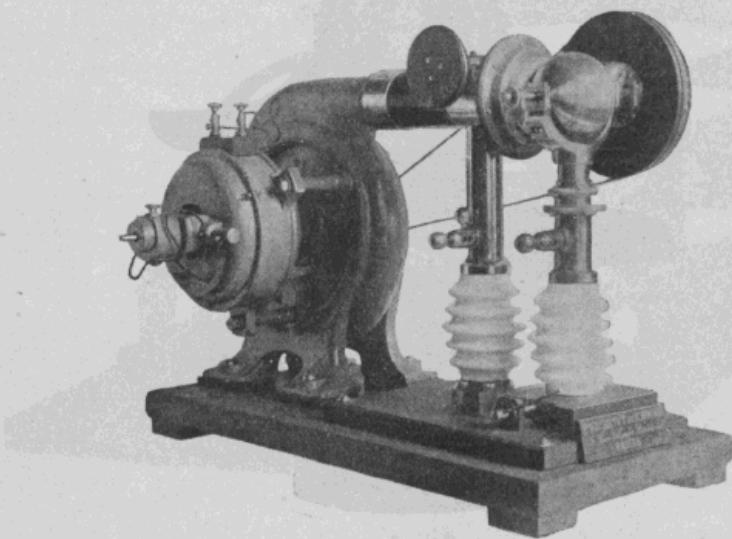


FIG. 240.

MM. Ducretet et Roger ont construit un appareil analogue (fig. 240) dans lequel les étincelles jaillissent entre une sphère, qui tourne rapidement autour d'un de ses diamètres, et la tranche d'un tube par lequel arrive un violent courant d'air produit par un ventilateur.

Afin d'accroître la tension explosive, on peut disposer l'éclateur dans un récipient hermétique rempli de gaz com-

⁽¹⁾ Voir chap. x, § 52, page 209

primé : l'air étant décomposé par les étincelles, il faut assurer son renouvellement ou se servir d'acide carbonique. M. Fessenden a obtenu de bons résultats en employant une plaque et une tige disposées dans de l'air comprimé à environ 5 kilogrammes par centimètre carré. M. Fleming a utilisé des éclateurs à azote comprimé. Les éclateurs à gaz comprimé offrent l'avantage d'être silencieux.

Dans les systèmes à étincelles fréquentes, l'éclateur constitue généralement, à cause de son importance prépondérante, une des caractéristiques du dispositif employé : à ce titre, les différents éclateurs ont été décrits au chapitre x.

69. — Bobines d'accouplement et d'accord.

Les bobines d'accouplement sont généralement formées d'un certain nombre de tours d'un gros tube ou d'une bande de cuivre nu, parfois argenté, enroulé sous forme d'une hélice de 50 à 100 centimètres de diamètre. Ces tours doivent être suffisamment écartés les uns des autres pour que des étincelles ne puissent pas jaillir entre eux : dans leur disposition, on doit veiller avec le plus grand soin à ce qu'il ne se produise pas de courants de Foucault ou de courants induits. A ce point de vue, quand l'intensité du courant oscillant exige l'emploi d'un tube de très gros diamètre, il est bon de le fendre dans sa longueur.

La position de la bobine secondaire par rapport à la bobine primaire doit pouvoir être modifiée facilement, pour permettre le réglage de l'accouplement : généralement elle pivote autour d'un axe. La figure 241 montre l'une des dispositions employées (Poulsen) : la fiche permet de mettre en circuit un plus ou moins grand nombre de tours primaires,

et le pivotement de la bobine secondaire permet de lui faire embrasser un plus ou moins grand nombre de lignes de force émanant du primaire.

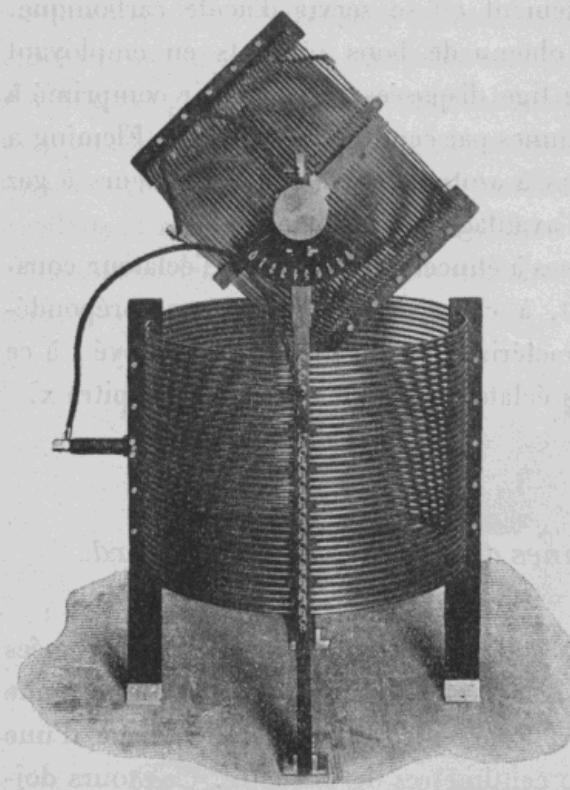


FIG. 241.

à la tige centrale T, soit à des bandes de cuivre B, on peut mettre en circuit, dans le primaire et dans le secondaire, les nombres de tours nécessaires pour obtenir l'accouplement voulu. On peut aussi employer une hélice continue en tube de cuivre (fig. 243) : la tige centrale T est reliée au circuit oscillant : la pince de connexion mobile B est reliée à l'autre extrémité du circuit oscillant et à la terre ; la pince de connexion mobile A est reliée à

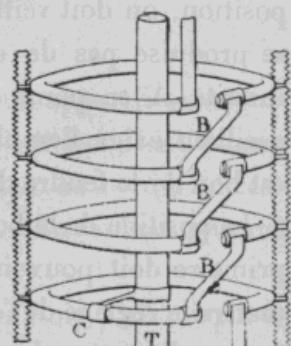


FIG. 242.

l'antenne. En modifiant les positions des pinces A, B et C sur l'hélice, on peut régler la valeur de l'accouplement.

Comme cela a déjà été signalé, tous les conducteurs qui constituent le circuit oscillant sont formés de bandes métalliques de grande largeur ou de tubes de forte section, parce que les oscillations de haute fréquence passent seulement dans les couches superficielles (effet pelliculaire). Si l'on emploie des conducteurs pleins, ceux-ci doivent être formés de câbles constitués par un grand nombre de fils très fins.

Pour réduire au minimum l'amortissement, on doit disposer les appareils et les circuits de façon que les connexions soient aussi courtes que possible et que toute perte d'énergie soit évitée.

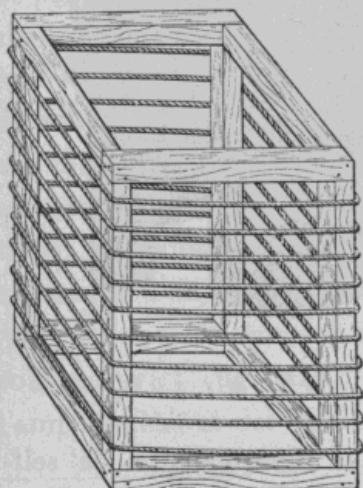


FIG. 244.

Les bobines employées pour augmenter la longueur d'onde propre de l'antenne transmettrice peuvent être formées d'un certain nombre de tours d'un câble nu enroulé en hélice sur un cadre isolant (fig. 244). Au moyen de pinces de connexion que l'on fixe directement sur le câble, on intercale dans l'antenne une portion convenable de la bobine de self-induction. Pour modifier progressivement la self-induction, la G. f. D. T. emploie, sous le nom de variomètre, la bobine de self-induction du capitaine Péri,

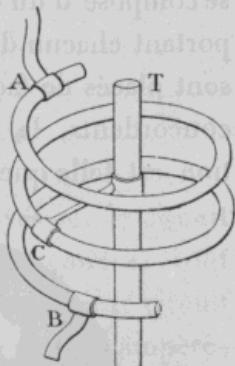


FIG. 243.

dont le principe a été indiqué au chapitre x. Le variomètre se compose d'un disque fixe et d'un disque rotatif (fig. 245) portant chacun deux bobines semi-circulaires. Si les disques sont placés de façon que les flux des quatre bobines soient concordants, la self-induction est maxima; si leur position est telle que les flux soient opposés, la self-induction

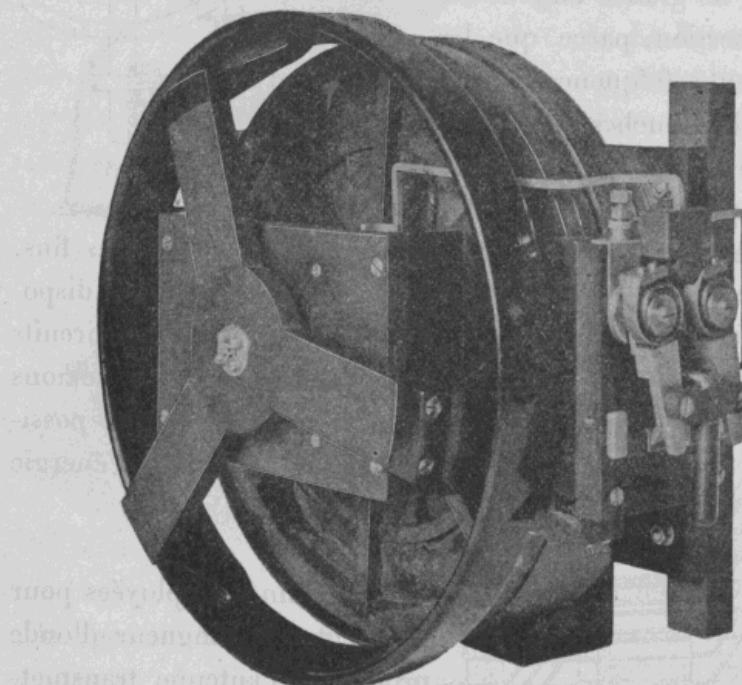


FIG. 245.

est minima; pour toute position intermédiaire, la self-induction a une valeur intermédiaire. Les bobines sont établies avec un conducteur composé de fils de sept centièmes de millimètre reliés en parallèle: le nombre de ces fils dépend de l'intensité du courant oscillant et s'élève à plusieurs milliers dans les postes de grande puissance. L'enroulement est fait de telle façon que tous les fils individuels présentent la même résistance ohmique et la même résis-

tance inductive, afin que le courant total se répartisse également entre eux.

70. — Appareils de mesure.

Les différents appareils de mesure employés sur le circuit primaire (voltmètre, ampèremètre, fréquencemètre) sont ceux dont l'usage est courant dans l'industrie. Sur le circuit secondaire ou l'antenne, on se sert constamment d'ampèremètres thermiques : lorsqu'il s'agit de mesurer des courants oscillants de forte intensité, la construction de ces appareils doit différer notablement de celle des appareils industriels.

D'après son principe même⁽¹⁾, l'ampèremètre thermique ne peut être employé *directement* qu'à la mesure des intensités relativement faibles. Pour que la répartition du courant soit uniforme dans le fil dilatable, il ne faut pas que son diamètre soit supérieur à quelques dixièmes de millimètre, et l'intensité que l'on peut y faire passer est limitée à 10 ampères au maximum. Pour la mesure des courants industriels, on branche l'ampèremètre en dérivation entre les extrémités d'une portion déterminée du conducteur principal AB ou d'une résistance R de faible valeur embrochée sur ce conducteur⁽²⁾ (fig. 247). Connaissant la résistance r' de l'ampèremètre et des fils de jonction, et la résistance r de la

(1) Un fil fin f (fig. 246), tenu entre deux bornes fixes BB', est traversé par le courant qui y détermine un certain échauffement : sa dilatation sert à mesurer l'intensité du courant. Pour cela, on peut, par exemple, fixer au fil f un fil de soie s qui, après être passé sur une poulie P, est tiré par un ressort R. Sur la poulie est calée l'aiguille A qui se déplace devant un cadran gradué.

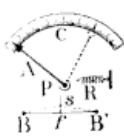


Fig. 246.

(2) On peut aussi (quand il s'agit de courant alternatif) relier l'ampèremètre au secondaire d'un petit transformateur spécial dont le primaire est embroché sur le conducteur principal.

portion R du conducteur principal, on calcule facilement le rapport des courants circulant dans l'une et l'autre branche :

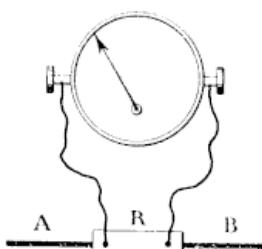


FIG. 247.

la mesure du courant dérivé permet donc de déterminer la valeur du courant principal.

Ce procédé ne peut plus convenir pour la mesure des courants de grande fréquence, à cause de leur inégale répartition dans les conducteurs, laquelle empêche de déterminer exactement le rapport du courant dérivé au courant principal⁽¹⁾.

M. Broca a employé l'artifice suivant : un certain nombre de fils fins semblables (dix par exemple) sont tendus entre deux disques isolants DD' (fig. 248) de façon à être tous équidistants les uns des autres et équidistants des centres des disques. L'ensemble constitue une sorte de cage cylindrique. Le courant est amené par le centre des deux

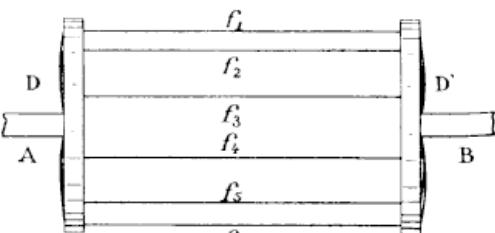


FIG. 248.

disques et se répartit également entre les fils, en raison de la symétrie parfaite du système. Chaque fil est donc traversé par une fraction bien connue du courant principal (un dixième, s'il y a dix fils) : la dilatation de l'un quelconque d'entre eux peut être utilisée, comme dans un ampèremètre thermique

(1) La résistance qu'un conducteur oppose aux courants de grande fréquence est très mal connue. Par suite de l'effet pelliculaire et des courants induits dans la masse du conducteur, elle varie énormément avec la fréquence, et cette variation dépend elle-même de la grosseur du conducteur.

ordinaire, pour la mesure du courant partiel, de laquelle on déduit la valeur du courant total.

La même disposition a été adoptée dans les ampèremètres Hartmann et Braun. Un certain nombre de bandes en platine iridié, très minces et courtes, sont fixées à des pièces terminales massives en métal ayant une haute conductibilité calorifique (cuivre). Ces bandes sont réparties d'une façon exactement symétrique et forment une cage cylindrique. Une construction très soignée a permis de donner à l'appareil une grande précision.

M. Fleming a adopté la disposition qu'indique la figure 249. Des fils W, de deux dixièmes de millimètre de dia-

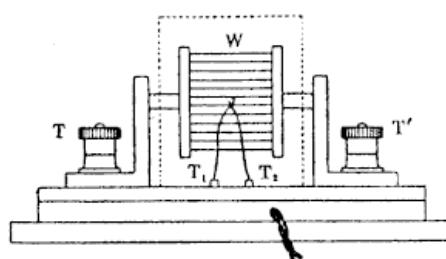


FIG. 249.

mètre, sont tendus entre deux joues fixes parallèles en laiton et sont disposés suivant une surface cylindrique de façon que le courant total se répartisse uniformément entre eux : leur nombre dé-

pend de l'intensité à mesurer. Sur l'un des fils W est fixé un petit élément thermo-électrique aboutissant aux bornes $T_1 T_2$, qui sont reliées à un galvanomètre sensible. L'échauffement du fil W donne naissance, dans le thermo-élément, à une force électromotrice : le courant ainsi engendré dans le circuit du galvanomètre dépend de cet échauffement et par conséquent de l'intensité du courant partiel, qui est une fraction connue du courant total. La déviation de la partie mobile du galvanomètre peut donc indiquer directement l'intensité du courant oscillant total.

La maison Carpentier a construit un ampèremètre thermique basé sur un principe différent. Le fil dilatable est unique, mais il est subdivisé en un certain nombre de por-

tions par chacune desquelles passe une fraction du courant total. Par exemple (fig. 250) le courant est amené par les

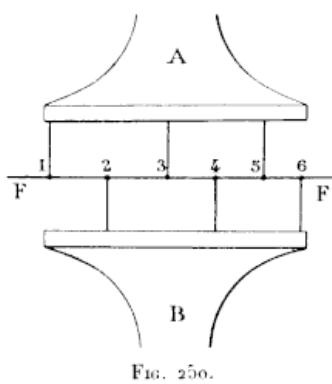


FIG. 250.

pièces de connexion en cuivre AB dans l'intervalle desquelles est disposé le fil fin dilatable FF'. Celui-ci est divisé en un certain nombre de sections égales 12, 23, 34, 45, 56..., etc. Chacun des points 1, 3, 5... est relié à la pièce A; chacun des points 2, 4, 6... est relié à la pièce B: ces jonctions sont faites par des connexions en clinquant très légères, toutes identiques entre elles.

Le courant circulant entre A et B trouve, dans tous les circuits partiels composés chacun de deux connexions et d'une portion du fil FF', des parcours identiques comme self-induction et comme résistance: il se répartit donc également entre eux, quelle que soit la fréquence. La dilatation du fil FF' sert, comme dans les ampèremètres ordinaires, à la mesure du courant par le déplacement d'une aiguille fixée à une poulie sur laquelle passe un fil de soie.

Pour la mesure de la valeur maxima de la tension, le meilleur procédé consiste à employer un petit éclateur à intervalle réglable ayant pour électrodes deux sphères de dimensions convenables. L'éclateur est établi pour permettre la mesure exacte de la distance explosive (l'une des sphères est portée par une vis micrométrique, par exemple). Pour déterminer la différence de potentiel entre deux points, on branche l'appareil entre eux et on augmente progressivement l'intervalle explosif jusqu'à ce que l'étincelle cesse de jaillir. À ce moment, on note la valeur de l'intervalle explosif et on en déduit la valeur de la tension explosive à l'aide d'un

tableau, dressé une fois pour toutes. Les électrodes doivent avoir toujours exactement le même diamètre que celles employées pour l'établissement de ce tableau, puisque la tension explosive dépend de leur forme. Il faut éviter aussi tout échauffement, qui abaisserait la tension explosive pour un intervalle donné.

Les ondemètres utilisés dans la pratique consistent, comme cela a été expliqué au chapitre VIII, en un circuit oscillant comprenant un condensateur et une self-induction réglables. Il n'y a pas lieu d'y revenir. La figure 251 représente, à titre d'exemple, un appareil simple et facile à construire (C. G. R.). Un condensateur à plaques mobiles et une bobine de self-induction sont disposés l'un au-dessus de l'autre : un ampèremètre thermique est placé dans la

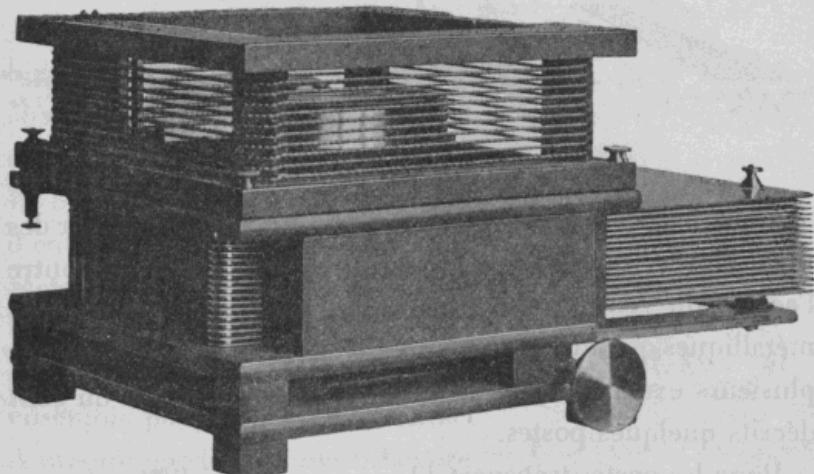


FIG. 251.

bobine. Pour effectuer une mesure, on laisse la self-induction invariable, et on déplace le paquet de plaques mobiles du condensateur, qui coulisse comme un tiroir, jusqu'à ce que l'ampèremètre indique un maximum. Une échelle

graduée, portée par la partie mobile de l'appareil, indique la longueur d'onde correspondante.

71. — Antennes et prises de terre.

Les différentes formes d'antennes employées dans la pratique ont été décrites au chapitre vii⁽¹⁾: il n'y a donc pas lieu d'y revenir.

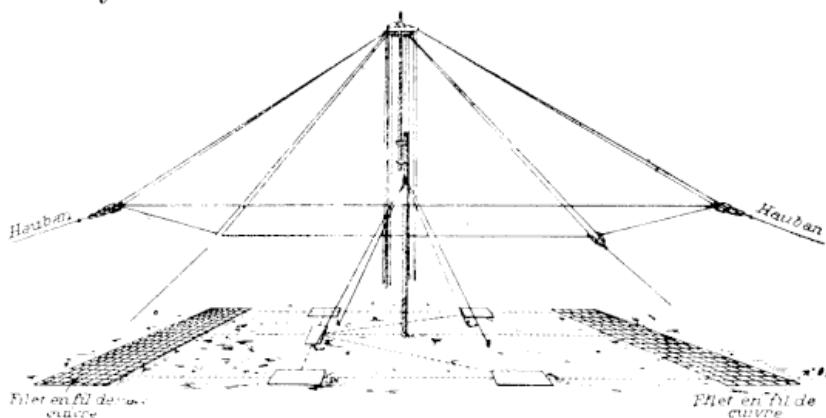


FIG. 252.

Dans les postes fixes, les antennes sont supportées par des mâts élevés, que de solides haubans maintiennent contre l'action du vent. Ces mâts sont remplacés par des pylônes métalliques quand l'antenne doit avoir une grande hauteur: plusieurs exemples en sont donnés au chapitre xvi où sont décrits quelques postes.

Pour les postes transportables, on emploie différents systèmes de mâts démontables, formés de plusieurs pièces juxtaposées, ou de mâts télescopiques en acier, ou de mâts spéciaux perfectionnés. La figure 252 montre, à titre d'exemple, une

⁽¹⁾ § 41, page 156.

antenne de poste de campagne Lodge-Muirhead, supportée par un mât démontable : un filet métallique remplace la prise de terre.

Les mâts télescopiques offrent l'inconvénient que la rouille ou les saletés empêchent souvent leur montage.

Parmi les mâts spéciaux, on peut citer le mât Fontana. Quatre bandes d'acier à bords dentés (fig. 253) sont enroulées sur quatre tambours placés en croix, qu'on peut faire tourner au moyen d'une ou deux manivelles. Sous ces tambours A (fig. 255) sont disposées des roues B munies de saillies qui pénètrent dans les encoches des bandes pour les pousser vers le haut. Les quatre bandes passent à travers la plaque D et forment, à partir de ce moment, un mât tubulaire rectangulaire, les dents de chaque bande pénétrant dans les encoches des bandes juxtaposées.

En outre, la plaque D porte une pile d'entretoises E percées d'un trou rectangulaire (fig. 254) et une entretoise terminale F non percée : toutes ces entretoises sont reliées ensemble par une sorte de chaîne. A mesure que la colonne tubulaire formée par les quatre bandes s'élève, les entretoises, entraînées par la chaîne de jonction, sont soulevées et se répartissent à intervalles réguliers le long du mât.

Pour la fixation des conducteurs au support, on emploie

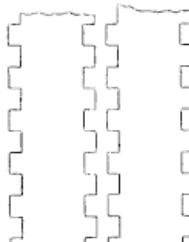


Fig. 253.

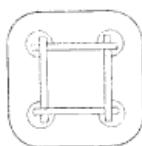


Fig. 254.

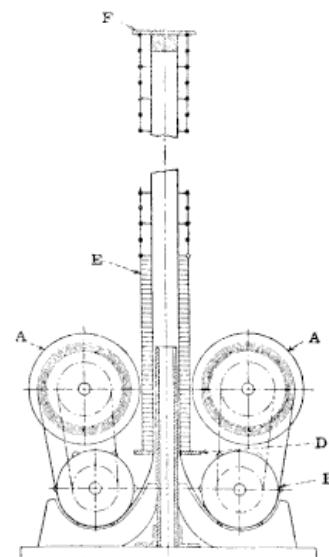


Fig. 255.

des isolateurs de grande solidité en ébonite ou mieux en porcelaine. L'isolement doit être aussi parfait que possible. Les conducteurs eux-mêmes sont généralement en bronze : cependant, si l'on a besoin d'une grande solidité, on peut employer comme conducteurs des câbles d'acier : l'amortissement est alors plus grand.

La prise de terre de l'antenne présente une importance capitale. Elle doit être constituée par des plaques métalliques (cuivre ou zinc) ou un réseau de fils enfoui dans un sol humide, à moins que l'on emploie un « contrepoids » formé d'un réseau conducteur de très grande surface et agissant

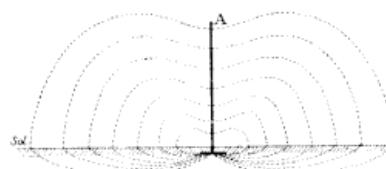


FIG. 256.

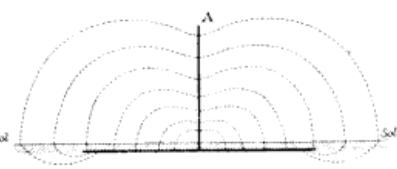


FIG. 257.

par sa capacité. Il y a intérêt à donner à la prise de terre la plus grande étendue possible. Les lignes de force du champ électrique créé dans le voisinage de l'antenne ne passent pas seulement par l'air, mais aussi en partie par le sol : il y circule donc, comme l'a indiqué M. Zenneck, des courants qui donnent lieu à une perte d'énergie. En examinant les figures

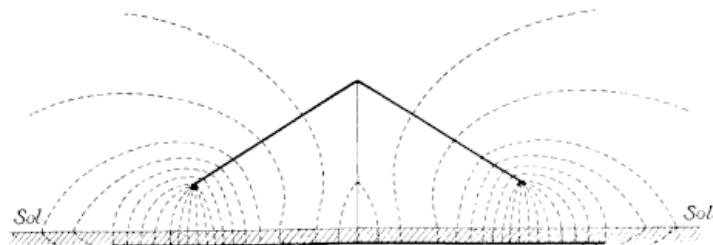


FIG. 258.

256 et 257 tracées par M. Zenneck pour la répartition approximative des lignes de force électriques, on se rend compte que

les courants de terre sont d'autant moins importants que la surface de la prise de terre est plus grande : il en est de même des pertes d'énergie qu'ils occasionnent. Dans le cas d'antennes en cône ou en parapluie, si le réseau de fils constituant la prise de terre a une surface supérieure à la surface couverte par l'antenne (figure 258), presque toutes les lignes de force traversent uniquement l'air, et très peu d'entre elles cheminent dans le sol.

CHAPITRE XV

INDICATIONS SOMMAIRES SUR LES APPAREILS EMPLOYÉS DANS LES POSTES RADIOTÉLÉGRAPHIQUES (*suite*)

RÉCEPTION

Il y a peu de choses à ajouter, au point de vue pratique, aux indications déjà données sur les appareils employés pour la réception. Nous allons passer rapidement en revue ce qui a trait aux antennes et accessoires, aux détecteurs, et aux récepteurs.

72. — *Antennes et accessoires.*

L'*antenne* aboutit à un commutateur à fiches ou à plots qui permet de la relier soit aux circuits de transmission, soit aux circuits de réception : les uns et les autres sont connectés en permanence à la prise de terre. Généralement, ce commutateur est disposé de façon à empêcher automatiquement toute fausse manœuvre, c'est-à-dire à rendre impossible la mise en marche des appareils de transmission quand l'antenne est branchée sur les appareils de réception. Dans beaucoup de postes, l'emploi d'un montage convenable permet au radiotélégraphiste de passer de la transmission à la réception sans avoir aucune manœuvre à effectuer : nous en avons déjà rencontré un exemple sur le schéma de la figure 148 (Marconi).

Les *bobines d'accouplement* sont formées simplement de carcasses en bois ou en ébonite portant un certain nombre de tours de fil: une des bobines est mobile par rapport à l'autre, soit parallèlement à elle-même, soit par rotation autour d'une charnière: on peut ainsi modifier à volonté l'accouplement. En outre, des curseurs permettent de mettre en circuit, dans chacune des bobines, un nombre variable de tours. Généralement, le détecteur peut être branché en deux points différents par le simple jeu d'un commutateur: dans l'une des positions, il est relié à l'antenne par un accouplement rigide; dans l'autre, par un accouplement lâche. Le premier montage est employé pour percevoir des signaux quelconques parvenant à l'antenne; le second pour recevoir les signaux d'un poste déterminé avec lequel on désire communiquer.

Les *bobines de self-induction réglables* sont formées d'un assez grand nombre de tours de fil sur lequel frotte un curseur mobile qui permet de modifier la longueur de la portion active. Ces bobines peuvent être construites très simplement, puisqu'il n'y a aucune précaution particulière à prendre pour l'isolation, toujours suffisant pour les très faibles tensions en jeu.

Les *condensateurs réglables* sont souvent constitués par des feuilles d'étain séparées par des feuilles de papier paraffiné: des fiches de contact extérieures permettent d'introduire dans le circuit un plus ou moins grand nombre de feuilles. Ils peuvent aussi être formés de deux groupes de plaques d'aluminium alternant entre elles: un groupe est fixe, et l'autre est mobile; ce dernier est supporté par une glissière dans laquelle il peut coulisser. Un volant et une vis sans fin permettent de déplacer les plaques mobiles et de faire varier ainsi progressivement la capacité.

73. — *DéTECTEURS.*

Les principaux types de détecteurs d'ondes et les montages employés ont été décrits en détail. Pour les besoins de la pratique, ils doivent être comparés entre eux aux points de vue suivants : *sensibilité*; *sécurité*; *simplicité*; *possibilité d'une bonne syntonie*; *vitesse de fonctionnement*; *enregistrement des télégrammes et signal d'appel*.

La *sensibilité* des détecteurs magnétiques, thermiques, à vide, électrolytiques, à cristaux, est bien supérieure à celle du cohéreur. Le détecteur à cristaux est le plus sensible, mais il exige des réglages fréquents : le détecteur magnétique est très simple et d'un fonctionnement très sûr, mais sa sensibilité est bien moindre.

La *sécurité de fonctionnement* est plus grande avec un cohéreur de faible sensibilité qu'avec un détecteur thermique, électrolytique, ou à cristaux. Il est vrai que, pour parer à une avarie quand on fait usage de ces appareils, on a soin de disposer plusieurs d'entre eux sur un même support et de les relier aux différents plots d'un commutateur qui permet de mettre en service l'un ou l'autre d'entre eux. Le détecteur magnétique présente une grande régularité de fonctionnement. Les détecteurs à vide sont simples et robustes.

Au point de vue de la *simplicité des installations*, on peut faire les remarques suivantes : le cohéreur est accompagné d'un tapeur, d'un relais, d'un enregistreur et d'une ou deux piles : il exige, ainsi que les relais, des réglages fréquents et délicats. Les détecteurs à vide doivent être alimentés par une source d'énergie auxiliaire dont le rôle est de maintenir le filament incandescent ; les détecteurs thermiques et électrolytiques fonctionnent simplement avec un téléphone et un

potentiomètre ; les détecteurs magnétiques (¹) et à cristaux n'ont pas besoin de différence de potentiel auxiliaire. La figure 259 représente les détecteurs à cristaux (type Meunier) utilisés par l'Administration des Postes et Télégraphes.

Pour la *réalisation d'une bonne syntonie*, l'avantage des détecteurs d'effet total, utilisant l'énergie intégrale des ondes reçues, a déjà été signalé. D'autre part, le détecteur magnétique (détecteur d'effet maximum) présente une supériorité pour l'utilisation des effets de résonance en ce que la résistance et, à peu de chose près, la self-induction de sa bobine

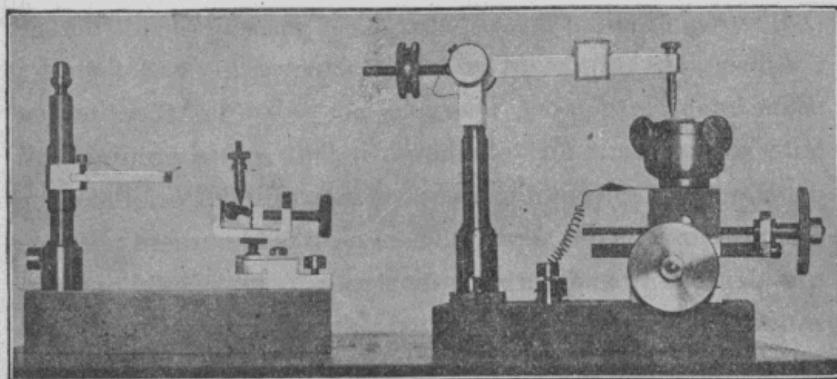


Fig. 259.

primaire, intercalée dans le circuit oscillant, conservent toujours la même valeur ; dans les autres détecteurs, au contraire, la résistance et la capacité varient énormément sous l'action des oscillations.

La *vitesse de fonctionnement* est évidemment beaucoup plus grande avec les détecteurs à réception téléphonique qu'avec les détecteurs à réception mécanique, tels que le

(¹) Il s'agit des appareils du type Marconi qui comportent, il est vrai, un mouvement d'horlogerie. Ceux dans lesquels l'aimantation variable du noyau est produite par un courant intermittent entraînent à une assez grande complication.

cohéreur : elle est encore plus grande avec les galvanomètres à enregistrement photographique.

Le fait qu'un détecteur permet l'enregistrement des *télégrammes* a, dans beaucoup de cas, une grande importance. A ce point de vue, le cohéreur présentait une incontestable supériorité. On est parvenu, de divers côtés, à actionner au moyen de détecteurs thermiques, électrolytiques, ou magnétiques, des galvanomètres ou des relais spéciaux de très grande sensibilité : au prix de certaines complications, on peut alors obtenir l'inscription photographique ou directe des signaux.

L'enregistrement des signaux n'est pas seul à considérer : il est souvent important qu'un détecteur se prête à l'emploi d'une *sonnerie d'appel*. Dans les postes où la réception est faite uniquement au téléphone, il faut qu'un homme soit constamment en faction, avec cet appareil à l'oreille, pour guetter l'arrivée des signaux. Cela n'est évidemment possible que dans les installations importantes, pourvues d'un personnel suffisamment nombreux : dans les petits postes, il faut que le surveillant soit prévenu par une sonnerie ou par quelque autre signal. M. Fessenden a établi un relais téléphonique capable de fermer le circuit d'un appareil avertisseur ou enregistreur. La C^r Telefunken a, de son côté, réalisé un dispositif qui permet la mise en fonctionnement d'une sonnerie d'appel au poste récepteur quand le poste transmetteur émet un signal d'une durée d'au moins dix secondes. D'autres relais ont été construits par différentes compagnies, mais ces appareils sont rarement utilisés en pratique.

74. — Récepteurs.

Les *téléphones* dont on se sert avec l'un des détecteurs

précédents n'ont rien de particulier. On choisit généralement des appareils présentant une grande résistance ohmique. Dans les anciens téléphones, du type Bell, un aimant droit (fig. 260) porte une petite bobine B dans laquelle circulent les courants variables. Les variations d'aimantation du noyau, produites par ces courants, déterminent des modifications corrélatives dans les actions magnétiques exercées sur la membrane, et celle-ci se met à vibrer en produisant un son dont la hauteur dépend de la fréquence des courants variables. Les téléphones employés actuellement sont d'un modèle très réduit et comportent tous un double aimant plat portant une petite bobine sur chacun de ses pôles. On règle avec un potentiomètre la différence de potentiel employée, de façon à obtenir le maximum de sensibilité.

Avec les dispositifs à étincelles musicales, on a cherché à sélectionner les signaux, d'après le principe de syntonie acoustique préconisé par M. Blondel, en utilisant des *monotéléphones* établis pour répondre seulement à la note musicale normalement employée. Les monotéléphones ont été très complètement étudiés par MM. Mercadier et Magunna pour la réalisation pratique du système de télégraphie multiplex Mercadier, qui consiste dans l'émission simultanée, sur une même ligne, de plusieurs télégrammes transmis avec des courants alternatifs de fréquences différentes (250 à 1 000): à l'arrivée, le triage de ces différents courants superposés est effectué par des relais monotéléphoniques répondant chacun à une fréquence unique.

Le relais monotéléphonique Mercadier-Magunna consiste en une membrane horizontale sous laquelle agit un électroaimant et sur laquelle appuie, avec une très grande légèreté,

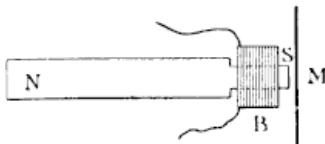


FIG. 260.

une pointe de contact en platine iridié : la membrane et la pointe sont reliées à un circuit contenant une pile et un relais ordinaire très sensible. Quand la bobine de l'électro-aimant est parcourue par un courant alternatif ayant pour fréquence la fréquence propre de vibration de la membrane, celle-ci se met à vibrer : l'intimité du contact existant entre son centre et la pointe est modifiée, et il se produit une variation de la résistance électrique de ce contact. Cette variation est suffisante pour qu'un courant circule dans le circuit auxiliaire du relais, qui ferme alors le circuit principal des appareils enregistreurs. Avec les dispositifs à étincelles musicales, le détecteur donne naissance, dans le circuit récepteur, à des impulsions de courant dont la fréquence est égale à la fréquence des décharges du transmetteur : ces impulsions de courant traversent la bobine de l'électro-aimant du relais téléphonique et ne mettent la membrane en vibration que si leur fréquence correspond à sa fréquence propre. On peut donc ainsi sélectionner les signaux⁽¹⁾ : en outre, l'emploi du relais monotéléphonique permet la mise en action d'appareils enregistreurs.

Un *relais téléphonique sélectif* est employé par la Cie Telefunken avec son dispositif à étincelles musicales. Les impulsions de courant auxquelles le détecteur donne naissance passent par la bobine d'un électro-aimant dans le champ duquel se déplace une armature très légère. Celle-ci a une fréquence propre d'oscillation déterminée correspondant à la note musicale du poste transmetteur avec lequel on doit communiquer. L'armature appuie contre la membrane d'un microphone, intercalé dans un circuit qui contient un télé-

(1) On pourrait évidemment, sans aucune difficulté, recevoir simultanément, avec plusieurs relais monotéléphoniques de fréquences différentes, les télogrammes émanant de plusieurs postes qui transmettent avec des tons différents (notes musicales différentes).

phone ou un deuxième électro-aimant et une pile : les impulsions de courant engendrées dans ce second circuit ont une intensité beaucoup plus grande que celles du premier circuit. Avec trois renforcements successifs, on parvient, avec un courant initial d'un dix-millième de milliampère, à obtenir un courant final de quelques milliampères, capable d'actionner un téléphone haut-parleur ou un appareil enregistreur accompagné d'un relais ordinaire. La figure 261 montre un relais sélectif à triple renforcement, employé sur les navires : on y voit nettement la disposition des trois bobines.

Dans plusieurs installations, on enregistre les signaux en utilisant un *galvanomètre* de très grande sensibilité. Les appareils de ce genre dérivent généralement du galvanomètre unifilaire d'Einthoven, formé d'un puissant électro-aimant entre les pôles duquel est disposé un fil extrêmement fin en quartz argenté. Ce fil est traversé par les impulsions de courant et, comme sa distance aux pôles de l'aimant est très faible, une intensité de courant extrêmement minime suffit pour qu'il se déplace sous l'effet des attractions ou répulsions qui prennent naissance⁽¹⁾.

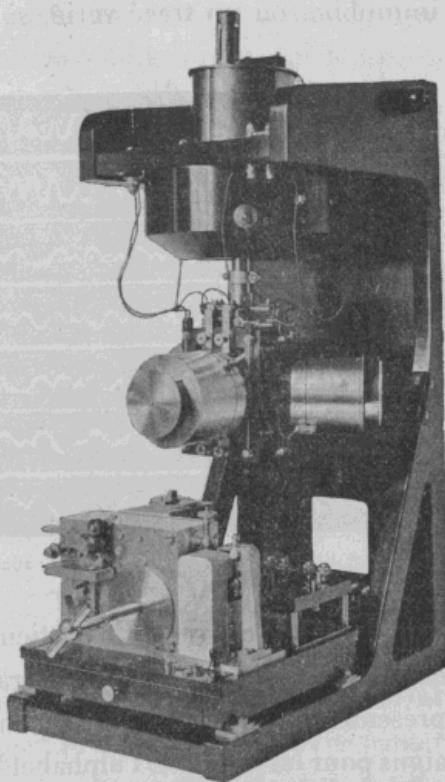


FIG. 261.

Le fil se déplace devant une fente très mince, perpendiculaire à lui, qu'éclaire une puissante source lumineuse. Si, au moyen d'un dispositif approprié (microscope), on photographie sur une bande de papier sensible qui se déroule perpendiculairement à la fente, l'image de celle-ci et du fil, on obtient en négatif une large bande noire sur laquelle se détache un trait blanc rectiligne, si le fil est immobile, ou un tracé varié, si le fil est parcouru par des

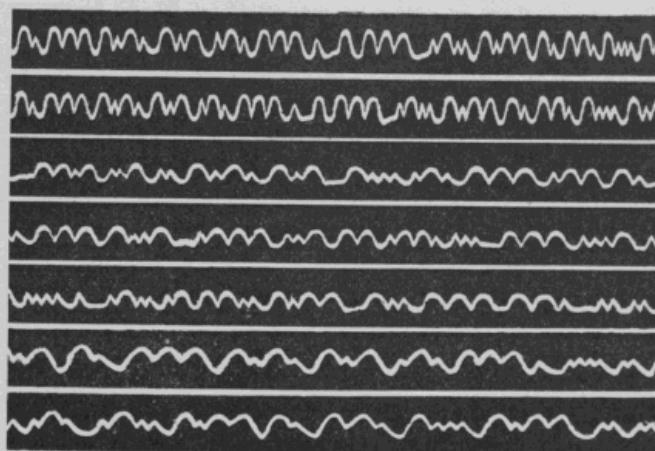


FIG. 262.

impulsions de courant. En particulier, quand le galvanomètre est utilisé pour les réceptions radiotélégraphiques, le tracé présente des crochets larges pour les traits et des crochets aigus pour les points de l'alphabet Morse. La figure 262 montre des portions de bandes photographiques ainsi obtenues par M. Poulsen à son poste de Lyngby pour des signaux émis au poste de Knockrœ (²) à la vitesse de 100 mots par minute.

Les galvanomètres à fil vibrant présentent l'inconvénient

(¹) La sensibilité atteint l'ordre du cent millionième de micro-ampère (micro-ampère = millionième d'ampère).

(²) Knockrœ (Irlande) est à 1 500 kilomètres de Lyngby.

de donner des tracés un peu gros et d'exiger un éclairage très puissant. M. Abraham a réussi à construire un galvanomètre à cadre d'une extrême sensibilité⁽¹⁾. Un cadre très petit et excessivement étroit, comprenant un grand nombre de tours du fil le plus fin que l'industrie sache fabriquer, est disposé dans un champ très intense produit par un gros électro-aimant. Ce cadre pèse seulement quelques milligrammes et porte un tout petit miroir sur lequel tombe un rayon lumineux émanant d'une lampe à incandescence. Les tracés obtenus sont d'une remarquable netteté et d'une grande finesse. M. Abraham a pu enregistrer directement avec cet appareil, sans aucun relais, les signaux de la tour Eiffel parvenant à Washington (plus de 6000 kilomètres) et les signaux de Glace Bay parvenant à la tour Eiffel (4000 kilomètres).

Suivant que la bande de papier photographique se déroule lentement ou vite, on a des tracés plus ou moins facilement lisibles. La figure 263 montre la réception du mot PARIS répété indéfiniment par un transmetteur automatique

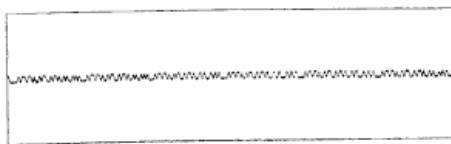


FIG. 263.

à la vitesse de 60 mots par minute : un mot occupe seulement 8 millimètres et l'on use à peu près 50 centimètres de papier à la minute. La figure 264 montre l'enregistrement du même mot avec une vitesse de déroulement plus grande qui permet d'étaler les signaux sur une plus grande longueur. On peut, en ne laissant apparaître que la partie supérieure des tracés, obtenir aussi le télégramme avec les traits et les points de l'alphabet Morse, comme le montre la figure 265 : ce procédé

⁽¹⁾ La sensibilité est de l'ordre d'un millième de micro-ampère.

n'est pas à recommander car, en cas de parasites ou de

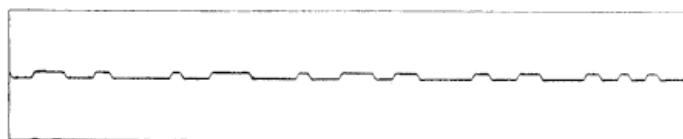


FIG. 264.

brouillages, les télégrammes sont plus difficiles à déchiffrer.

En employant une très grande vitesse de déroulement et



FIG. 265.

en inscrivant photographiquement sur la bande les vibrations d'un diapason qui donne le centième de seconde, M. Abraham a pu, grâce à la remarquable finesse de ses tracés, déterminer à moins de un dix-millième de seconde près, le moment exact de l'émission ou de la réception d'un signal radiotélégraphique. Son appareil permet donc de faire de la « photochronométrie » avec une extrême précision : la première application qui en a été faite a consisté à mesurer la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques d'après le temps qu'elles ont mis pour effectuer le trajet Paris-Toulon et retour⁽¹⁾.

Les *relais* qui, dans les anciens postes, ont pour fonction de fermer le circuit d'une sonnerie d'appel ou d'un enregistreur Morse et du tapeur (cohéreur) sont de deux types

(1) Ces expériences, faites à la fin de juillet 1913 par MM. Abraham, Dufour et Ferrié, ont donné pour la vitesse de propagation des ondes le chiffre de 295 900 kilomètres par seconde, chiffre bien voisin du chiffre théorique de 298 000 kilomètres. Les expériences ont été répétées entre Paris et Toul et seront reprises entre Paris et Washington.

distincts. Les uns sont à palette mobile; les autres à cadre mobile. Dans les premiers (fig. 266), un aimant en U est formé de la culasse C, de la branche D, et de la branche E₁E₂ subdivisée en deux noyaux parallèles E₁ et E₂: ceux-ci portent chacun une bobine B₁B₂⁽¹⁾ et forment deux électro-aimants. L'aimant permanent D C (E₁E₂) a, par exemple, son pôle sud en D et son pôle nord en E₁

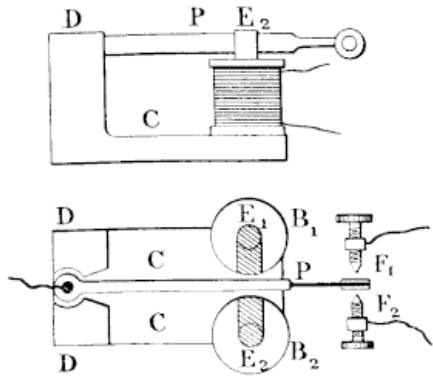


FIG. 266.

et E₂. Si un courant circule dans les bobines B₁B₂, son action magnétisante renforce l'aimantation de l'un des deux noyaux E₁ ou E₂ et affaiblit celle du second. Une palette mobile en fer doux P, placée entre les masses polaires des électro-aimants, est alors attirée par l'une d'elles et ferme en F₁ ou F₂ le circuit de l'enregistreur⁽²⁾.

Dans les relais à cadre mobile, le courant circule dans une petite bobine (fig. 267) enroulée sur un cadre léger qui peut pivoter entre les masses polaires d'un aimant A. L'axe du cadre porte, comme la palette de l'appareil précédent, une petite tige dont l'extrémité vient toucher un contact fixe quand le cadre se déplace. Dès qu'un courant

⁽¹⁾ L'aimantation permanente des noyaux E₁E₂ a pour effet d'augmenter la sensibilité de l'appareil. Un tel relais est dit *polarisé*.

⁽²⁾ Sur la figure, on a laissé, pour plus de clarté, un intervalle assez grand entre les contacts fixes F₁F₂ et les contacts de la palette mobile, mais, dans la réalité, cette distance est extrêmement réduite et presque imperceptible à l'œil nu: le déplacement de la palette, nécessaire pour la fermeture du contact, est extrêmement petit.

traverse la bobine B, les effets d'attraction ou de répulsion qui s'exercent entre le champ magnétique créé par lui et le

champ de l'aimant A déterminent la rotation du cadre et la fermeture du circuit. La figure 268 montre un relais Darras à cadre mobile fréquemment employé dans les postes radiotélégraphiques français. Cet appareil, d'un réglage commode, est très sensible⁽¹⁾. L'aimant plat est peu volumineux : le cadre très léger se déplace entre les masses polaires de cet aimant et un anneau central en fer doux par lequel se refer-

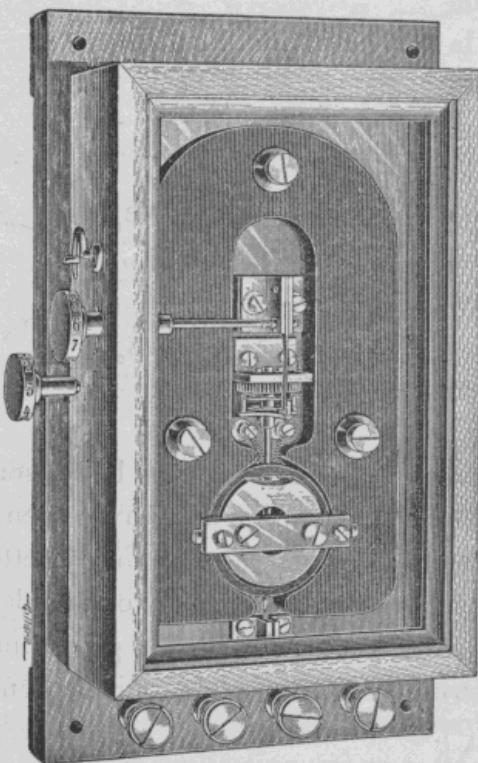


Fig. 268.

ment les lignes de force magnétiques. L'axe du cadre porte un petit contact qui vient s'appuyer contre l'une des butées fixes. Des vis extérieures, visibles sur la figure, permettent de régler à volonté l'écartement.

L'enregistreur Morse est un appareil assez connu pour qu'il soit superflu d'insister longuement sur lui. Son principe est le suivant : un double électro-aimant E (fig. 269)

⁽¹⁾ La sensibilité est de l'ordre du centième de milliampère (milliampère = millième d'ampère).

agit sur une armature A qu'il fait osciller autour d'un axe. Cette armature commande une palette dont l'extrémité C va appuyer, contre une molette M garnie d'encre, une bande de papier qui se déroule sous l'action d'un mécanisme d'horlogerie. L'enrage de la molette M est assuré par un rouleau de feutre imbibé d'encre placé au-dessus d'elle. Le déroulement du papier est produit par l'action de deux rou-

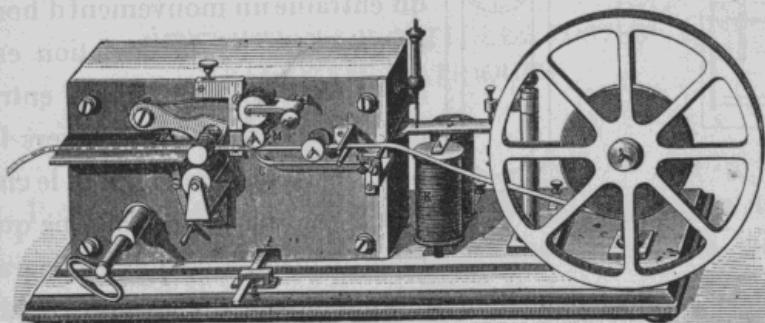


FIG. 269.

leaux de serrage qui tirent la bande à eux en la pinçant comme un lamoignon. Tout le mécanisme d'horlogerie est contenu dans une boîte métallique rectangulaire : il peut être remonté au moyen d'une clé et arrêté ou mis en route au moyen du toc t. Dans certains appareils, le mouvement d'arrêt ou de mise en route est produit automatiquement par l'action ou la cessation du courant.

L'appareil d'appel, employé avec le cohéreur dans les anciens postes, consiste simplement en une sonnerie dont le circuit se trouve fermé par le relais lorsque le détecteur est impressionné. Avec les détecteurs récents, utilisant le téléphone comme appareil récepteur, on n'emploie généralement pas d'appareil d'appel. Cependant la C^e Telefunken a établi un appareil qui peut être mis en circuit à la place du téléphone et qui fait fonctionner une sonnerie lorsque le

poste transmetteur émet un signal continu (trait) pendant au moins dix secondes. Cet appareil (fig. 270) comprend un galvanomètre à cadre mobile très sensible dont l'aiguille *c* arrive à être suffisamment déviée si les impulsions de courant durent dix secondes. Cette aiguille se déplace au-dessus

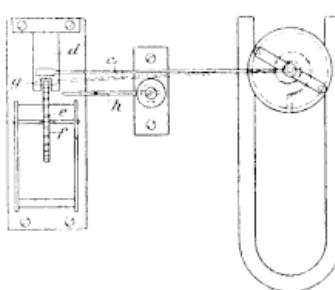


FIG. 270.

d'une pièce de contact *d* placée à proximité d'une roue dentée *f* qui entraîne un mouvement d'horlogerie. Quand la déviation est suffisante, l'aiguille tombe entre deux dents et est poussée vers le bas : ce déplacement ferme le circuit d'une sonnerie d'alarme qui retentit jusqu'à ce que le télégraphiste ait déclenché l'aiguille au moyen du levier *h* et ait remplacé l'appareil par un téléphone pour recevoir les signaux.

Les signaux étrangers ou parasites restent sans action, parce que leur durée est trop courte.

CHAPITRE XVI

DESCRIPTION DE QUELQUES POSTES RADIOTÉLÉGRAPHIQUES

Pour compléter ce qui précède, nous allons décrire très succinctement, à titre d'exemple, les installations de quelques postes radiotélégraphiques importants.

75. — *Postes de la Guerre.*

Le *poste de la Tour Eiffel* est placé dans des conditions tout à fait exceptionnelles, puisqu'il est situé au centre d'une grande ville et dans un jardin public : les dispositions adoptées sont donc très particulières. Le poste est entièrement souterrain : il comprend des locaux pour les appareils, les études et les expériences, et pour le personnel de garde.

L'antenne (fig. 271) est supportée par la tour : pour des raisons d'esthétique, on a dû la limiter à six conducteurs aériens de 7 millimètres de diamètre. Chacun d'eux a 425 mètres de longueur active et est formé d'un câble d'acier galvanisé. L'amortissement est d'environ 15 pour 100 plus élevé avec l'acier qu'avec le bronze, mais on l'a choisi pour obtenir une charge de rupture élevée (2 500 kilogrammes) malgré le faible diamètre des câbles.

Chaque conducteur est amarré au sommet de la tour, à une potence métallique, par l'intermédiaire d'un chapelet

de forts isolateurs en porcelaine : sa portion active est prolongée, à la partie inférieure, par un câble tendeur dont elle est séparée par un isolateur spécial. Cet isolateur est formé par deux grosses pouilles en porcelaine, distantes d'un mètre, et reliées l'une à l'autre par une large courroie caoutchoutée résistant à un effort de traction de 5 000 kilogrammes.

A chaque conducteur aérien $F_1 F_2 F_3$ est fixé un câble de jonction $F'_1 F'_2 F'_3$: les six câbles de jonction sont reliés ensemble, à une certaine hauteur au-dessus du sol et aboutissent à un gros conducteur vertical de descente qui les réunit aux appareils du poste.

La prise de terre est formée par un grand nombre de plaques et de bandes de zinc enfouies dans le sous-sol, que la proximité de la Seine maintient toujours humide. La surface totale de ces plaques dépasse 600 mètres carrés.

Deux installations différentes sont actuellement en service : l'une, d'une quarantaine de kilowatts, à étincelles rares ; l'autre, d'une dizaine de kilowatts, à étincelles fréquentes. Une installation d'environ 150 kilowatts, à étincelles fréquentes, est actuellement en montage.

L'installation à étincelles rares est alimentée par le courant alternatif à 42 périodes du réseau de distribution de la

rive gauche, dont la tension est préalablement abaissée à 220 volts. Le schéma des connexions a été donné au chapitre ix, figure 126. Le circuit primaire comprend deux bobines de self-induction réglables, servant pour l'obtention de la résonance primaire : l'une d'elles est à variation discontinue, par modification du nombre de tours actifs au moyen d'un commutateur ; la seconde est à variation continue, par enfoncement du noyau de fer⁽¹⁾. La résonance primaire permet d'obtenir une surtension de 5 environ : il y a 25 à 30 étincelles par seconde.

Le transformateur sans fuites a quatre prises de courant sur l'enroulement secondaire, correspondant à des rapports de transformation de 45, 50, 60 et 65 : l'isolement du primaire est prévu pour 5 000 volts et l'isolement du secondaire pour 100 000 volts : les enroulements sont immergés dans l'huile.

Le manipulateur servant pour l'émission des signaux est branché sur une résistance intercalée dans le circuit primaire : quand il est ouvert, le courant n'a pas une intensité suffisante pour que les étincelles jaillissent ; quand il est fermé, la résistance se trouve court-circuitée et les décharges éclatent. Ce manipulateur comprend huit gros contacts en charbon graphitique groupés en parallèle : ces contacts sont portés par l'armature d'un électro-aimant qu'actionne un faible courant local. Quand l'opérateur ferme, au moyen d'un petit manipulateur ordinaire, le circuit de l'électro-aimant, les contacts mobiles viennent appuyer fortement contre des contacts fixes semblables, et le court-circuit se trouve fermé⁽²⁾. On emploie aussi le manipulateur à jet de mercure décrit au chapitre xiv (fig. 232).

(1) Les bobines de self induction sont immergées dans l'huile.

(2) L'intensité de courant qui traverse cet appareil dépasse 300 ampères.

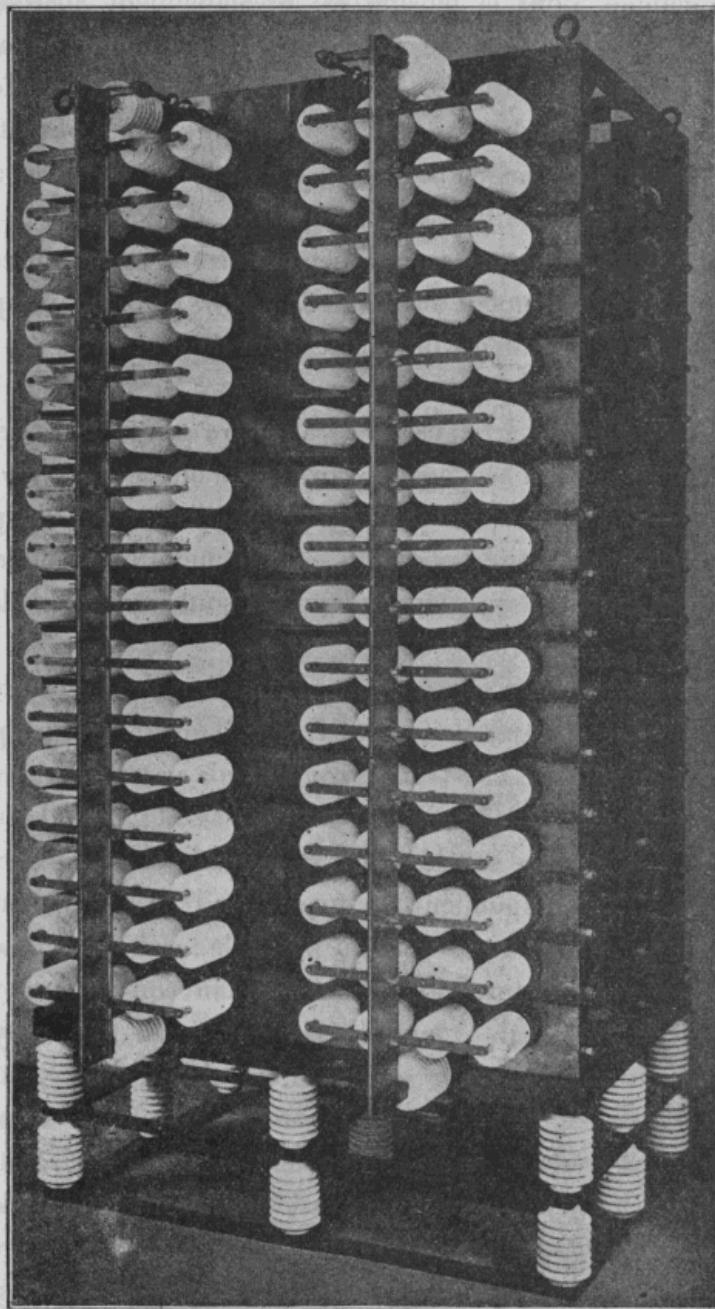


FIG. 272.

Le condensateur comprend 896 tubes Moscicki de six centimètres de diamètre et d'un mètre environ de longueur, répartis en sept batteries de 128 tubes. Chaque batterie (fig. 272) est formée de deux groupes de 64 tubes horizontaux, supportés par un châssis en fer et facilement amovibles : ces deux groupes sont connectés en série : la hauteur totale est de 2^m,40, la largeur de 1^m,20 et la profondeur de 1^m,16 : chaque tube peut être retiré du côté opposé aux connexions et être remplacé sans aucun démontage. Le condensateur total a une capacité de 0,7 microfarad et peut supporter une tension de charge de 110 000 volts. Normalement, le poste travaille avec une tension de 80 000 volts environ.

L'éclateur était d'abord formé de deux cylindres massifs en zinc de 50 centimètres de longueur et de 25 centimètres de diamètre, dont l'écartement et le parallélisme étaient réglables ; un petit moteur électrique leur imprimait un lent mouvement de rotation en sens inverses. Chaque cylindre portait un disque de cuivre rouge, trempant à sa partie inférieure dans un auget plein de mercure : les connexions électriques étaient ainsi assurées d'une façon parfaite. L'action d'une soufflerie activait l'extinction des étincelles. Actuellement, l'éclateur est formé d'un plateau en cuivre rouge de 65 centimètres de diamètre et d'un tube de laiton de 20 centimètres de diamètre : les étincelles jaillissent entre la tranche du tube et le plateau et sont balayées par un violent courant d'air qu'une soufflerie envoie dans le tube. Le plateau est excentrique par rapport au tube, de façon qu'on puisse le faire tourner de temps en temps pour présenter une surface fraîche en face des bords du tube. La longueur d'étincelle a pu être réduite de 38 à 15 millimètres et l'intensité du courant oscillant a augmenté de 30 pour 100 depuis l'adoption de ce nouvel éclateur.

La bobine d'accouplement mixte est formée de quatre tours d'un tube de cuivre rouge fendu de 10 centimètres de diamètre : le diamètre de la bobine est de 60 centimètres ; l'écartement des spires est de 10 centimètres environ. Un tour et quart de la bobine sont intercalés dans le circuit oscillant : l'accouplement est d'environ 5 pour 100. La longueur d'onde propre de l'antenne est de 2120 mètres ; les longueurs d'onde des deux ondes du système accouplé sont respectivement de 2070 et 2170 mètres.

L'installation de 10 kilowatts à étincelles fréquentes comprend un alternateur Béthenod à 600 périodes, un transformateur sans fuites et un éclateur à tube et plateau avec soufflage. La surtension due à la résonance primaire est de 3 environ. Le manipulateur est branché en dérivation sur un rhéostat intercalé dans le circuit d'excitation de l'alternateur : un rhéostat d'excitation supplémentaire permet de modifier la tension de l'alternateur et, comme cela a été expliqué au chapitre X, la note musicale émise. Les signaux transmis avec ces appareils ont été perçus au poste de Glace Bay (Canada), à 4 000 kilomètres environ.

Pour la réception, on utilise différents détecteurs à cristaux, ou une valve formée d'un fil de platine recouvert d'oxydes incandescents et d'une petite lame froide, pliée en U, entourant le fil. Tous les appareils sont répartis sur deux tables qui peuvent servir simultanément ou séparément à la réception.

Les postes radiotélégraphiques de nos places fortes, qui sont en communication permanente avec la tour Eiffel, sont équipés avec des appareils à étincelles rares dont la figure 273 donne une vue. Le condensateur à plaques est disposé

à la partie inférieure et est surmonté par l'éclateur et la bobine d'accouplement.

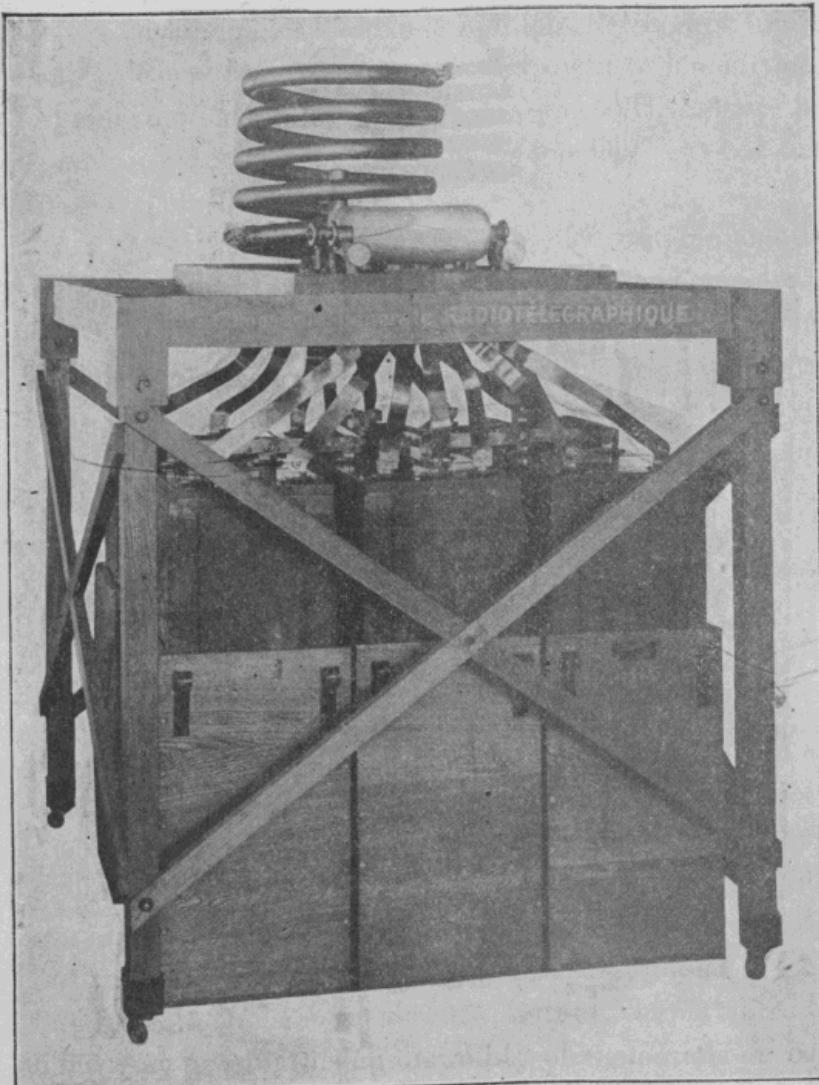


Fig. 273.

Outre les postes fixes, la Guerre emploie des postes transportables destinés à assurer les communications en campagne. Les uns sont établis dans des voitures automobiles ou

hippomobiles ; les autres sont prévus pour être démontés et transportés à dos de mulets.

Dans les voitures automobiles, le courant primaire est fourni

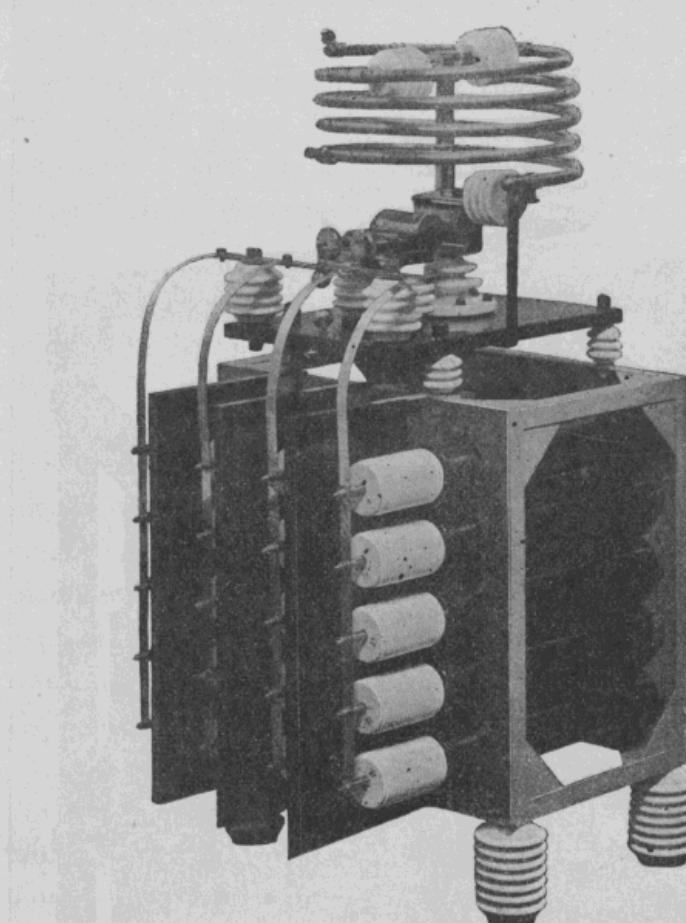


FIG. 274.

par un alternateur de 4 kilowatts qu'en entraîne, au moyen d'un embrayage particulier et d'une chaîne, le moteur de la voiture. Dans les voitures hippomobiles, il est produit par un petit groupe générateur composé d'un moteur à pétrole et d'un alternateur. Le circuit oscillant est alimenté, sous une tension de 60 000 volts environ, par un transformateur à réso-

nancee sans fuites magnétiques : il comprend un condensateur de 0,04 microfarad formé de 20 tubes Moscicki, un élateur à cylindres et une bobine d'accouplement. La figure 274 montre cet ensemble. L'antenne multiple, de vingt ou trente mètres de hauteur, est supportée par un mât démontable, formé de montants creux en bois de sapin collé, entouré de deux épaisseurs de toile vernie : il est très léger et peut être dressé facilement.

Les postes transportables à dos de mulet comprennent un transformateur à fuites à noyau droit, de 1^{kW},5 de puissance, dont la bobine primaire et la bobine secondaire sont facilement démontables. La tension secondaire est de 40 000 volts. Deux batteries de condensateurs Gaïffé à plaques, de 0,01 microfarad, sont contenues dans des cuves en zinc remplies de pétrole.

76. — Postes de la Marine.

La Marine a installé, pour le service des escadres, trois stations radiotélégraphiques de grande puissance à Toulon, Oran et Bizerte. Des postes plus faibles ont été établis à Ajaccio, Brest, Cherbourg, Dunkerque, Lorient, Port-Vendres et Rochefort pour la correspondance publique générale. Enfin, les cuirassés, les croiseurs, et la plupart des contre-torpilleurs ont été munis d'appareils radiotélégraphiques dont la puissance, variable suivant l'importance des bâtiments, permet d'atteindre des portées minima de 700 kilomètres (2 000 kilomètres la nuit), de 300 kilomètres et de 150 kilomètres.

Dans leur ensemble, les postes de la Marine ont beaucoup d'analogies avec les postes de la Guerre à étincelles rares, dont ils sont dérivés. Dans les postes de Toulon, Bizerte et

Oran, un alternateur d'une quinzaine de kilowatts alimente un transformateur sans fuites magnétiques : des bobines de self-induction permettent l'obtention de la résonance primaire. Le manipulateur, à sa position de repos, ferme le circuit sur une résistance de compensation, comme cela a été expliqué précédemment (chap. ix, fig. 127). Le secondaire du transformateur charge un condensateur formé de deux batteries comprenant chacune 36 tubes Moscicki verticaux de six centimètres de diamètre et de 1^m,38 de hauteur. En couplant ces deux batteries en parallèle ou en série, on obtient une capacité de 0,4 microfarad ou de 0,1 microfarad. Le premier couplage est employé quand le poste transmet avec une longueur d'onde de 1 350 mètres et le second quand le poste transmet avec une longueur d'onde de 750 mètres. La valeur de l'accouplement est comprise entre 8 et 10 pour 100.

L'antenne du poste du Mourillon, près de Toulon, est représentée par la figure 275. Trois pylônes de 75 mètres de hauteur supportent des rideaux de 70 mètres de longueur comprenant chacun un grand nombre de fils. La longueur d'onde normale est de 750 mètres ; on utilise aussi, pour les transmissions, la longueur d'onde de 1 350 mètres.

Les postes de grands bâtiments comprennent, pour la transmission, un alternateur d'environ 4 kilowatts sous 250 volts, un transformateur à fuites magnétiques, un condensateur Gaiffe à plaques, un éclateur à cylindres, une bobine d'accouplement mixte, un condensateur d'antenne et une bobine de self-induction d'antenne. Cet ensemble est représenté par la figure 276 sur laquelle on voit à gauche le transformateur à fuites à noyau droit avec connexions extérieures pour le couplage des bobines secondaires, et en avant le condensateur d'antenne. Au-dessus du condensateur princi-

pal, on aperçoit l'éclateur à trois boules destiné à protéger les deux batteries contre des surtensions dangereuses.

L'antenne, en forme de T, est généralement formée de deux brins horizontaux et de deux brins de descente. Les

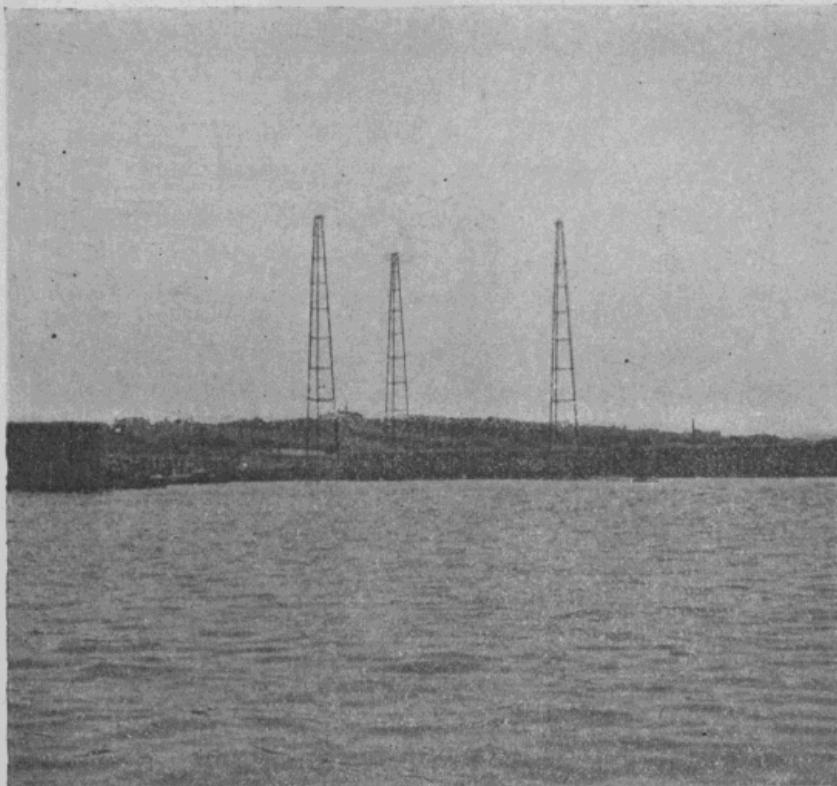


FIG. 275.

longueurs d'ondes employées sont de 300, 450, 600 et 750 mètres : la première et la troisième servent pour les communications avec les postes côtiers ; les deuxième et quatrième pour les communications entre navires d'escadre. La longueur d'onde normale est de 450 mètres : pour obtenir la longueur d'onde de 300 mètres, on intercale un condensateur dans l'antenne ; pour obtenir celles de 600 et de 750

mètres, on y intercale une plus ou moins grande portion de

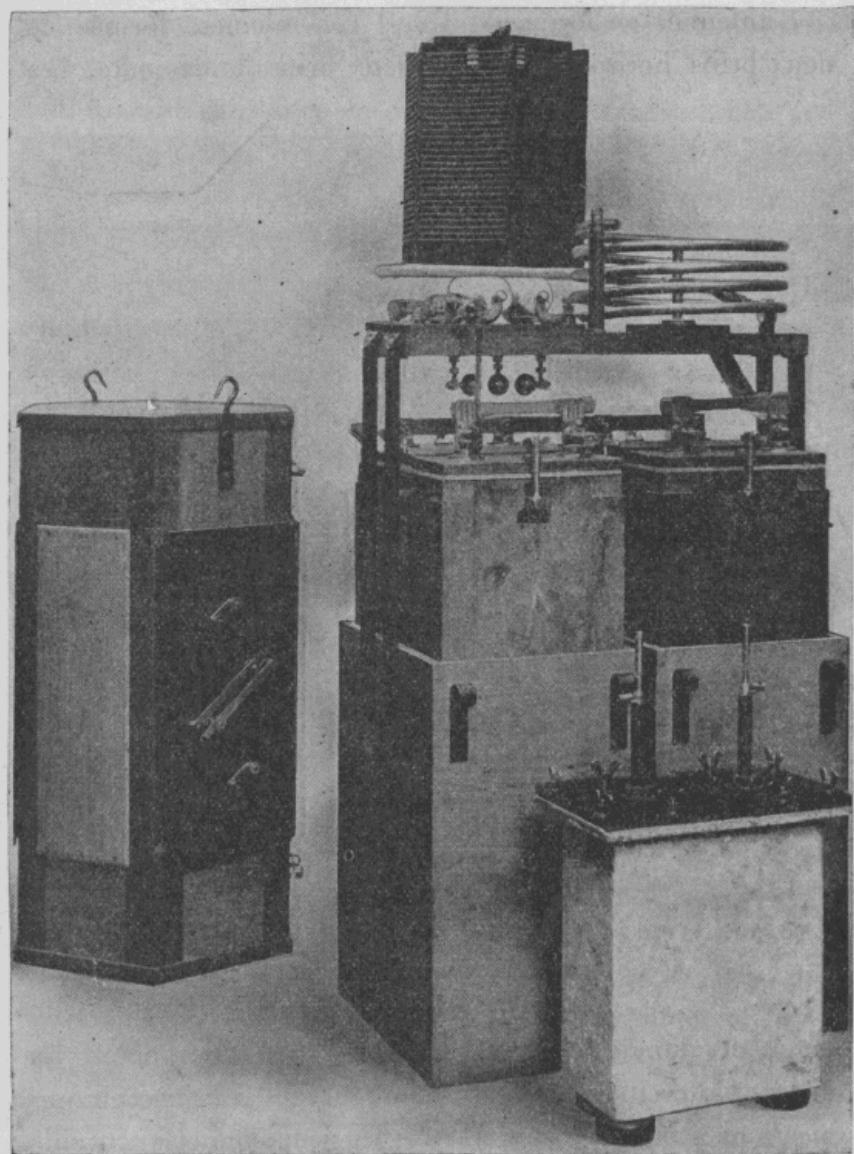


FIG. 276.

la bobine de self-induction. L'accouplement employé est compris, en général, entre 10 et 12 pour 100.

Le condensateur du circuit oscillant comprend deux batteries composées chacune de deux blocs de plaques, soit en tout quatre blocs distincts. Avec les deux batteries en série, on dispose d'une capacité de 0,025 microfarad capable de supporter une tension de 80 000 volts : cette capacité correspond à la longueur d'onde normale de 450 mètres. Avec les deux batteries en parallèle, on dispose d'une capacité de 0,1 microfarad capable de supporter 40 000 volts ; cette capacité correspond à la longueur d'onde de 750 mètres. Pour obtenir les longueurs d'onde de 300 et 600 mètres, on connecte les éléments de chaque batterie de façon à avoir des capacités de 0,0125 et 0,750 microfarad. Les modifications de groupement sont effectuées très rapidement au moyen de connexions appropriées.

Le transformateur à fuites porte deux groupes de deux bobines secondaires qui peuvent être reliées en tension ou en parallèle par déplacement d'une connexion extérieure. Quand les deux batteries du condensateur sont en série (longueur d'onde 450 mètres), les deux demi-secondaires sont connectés en série et produisent une tension de 80 000 volts. Quand les deux batteries sont reliées en parallèle (longueur d'onde 750 mètres), les deux demi-secondaires sont connectés en parallèle et donnent 40 000 volts. D'après la construction même du transformateur à fuites, la résonance primaire se produit dans ces deux cas sans que l'on ait à s'en occuper. Quand le poste transmet avec les longueurs d'onde de 300 ou 600 mètres, on obtient la résonance primaire en modifiant la vitesse de rotation de l'alternateur (entraîné par un moteur électrique) pour changer la fréquence du courant primaire ; on peut aussi se passer de la résonance primaire s'il ne s'agit pas de communiquer à de grandes distances. On parfait les réglages en modifiant la self-induction de la bobine intercalée dans le circuit primaire.

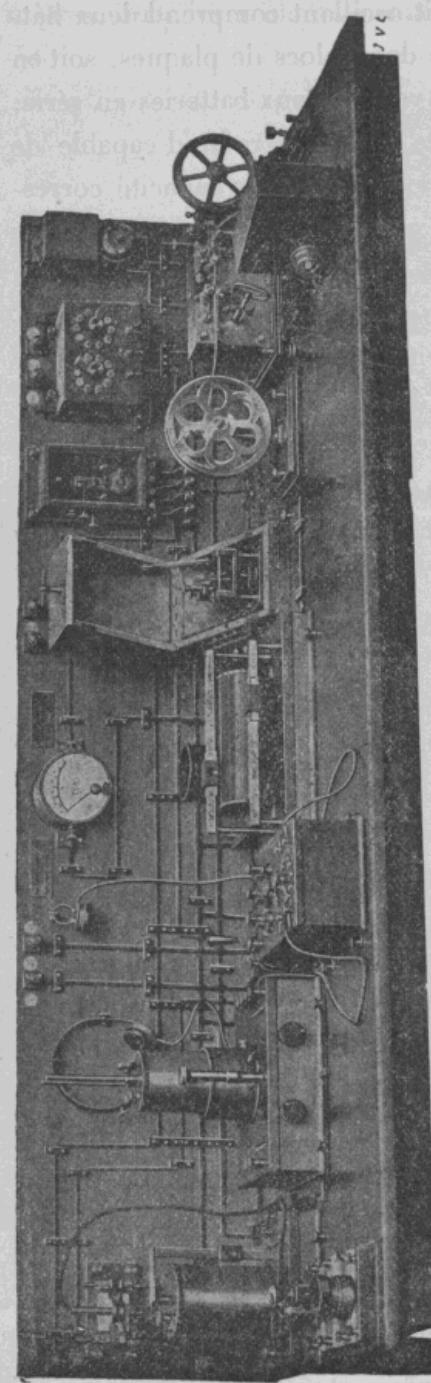


FIG. 277.

Pour la réception, on emploie le dispositif indiqué au chapitre XII, figure 172. La figure 277 montre une table de réception (poste de grand bâtiment) sur laquelle sont disposés tous les appareils, à l'exception du détecteur magnétique. Le fil d'antenne, après avoir traversé un commutateur à fiche visible en haut à gauche (¹), aboutit à la bobine d'accord (à gauche) : de là, le courant passe par un commutateur qui permet d'utiliser, soit un détecteur électrolytique (²), soit le cohéreur, soit le détecteur magnétique. On voit à gauche, sur la table, les bobines

(¹) Ce commutateur coupe le circuit primaire de transmission quand l'antenne est sur la position de réception.

(²) Trois de ces appareils sont montés sur un même plateau et l'un ou l'autre d'entre eux peut être mis en circuit par la manœuvre d'un petit commutateur.

d'accouplement des électrolytiques (¹) et la boîte contenant ces appareils, au-dessus de laquelle est suspendu un téléphone : au milieu est placée la bobine de réglage du circuit du cohéreur qui est disposé, avec son tapeur, dans la boîte rectangulaire ouverte : sur la paroi verticale, au-dessus de l'enregistreur Morse, on aperçoit un relais Darras et un potentiomètre à commutateur. La boîte placée en avant et munie d'un bouton de sonnerie contient une petite pile et sert au réglage du cohéreur.

77. — *Postes Telefunken.*

Le dispositif Telefunken à excitation par chocs a été décrit au chapitre x. La figure 278 montre l'ensemble des appareils transmetteurs d'un poste de 10 kilowatts. Le secondaire du transformateur charge une batterie de cinq condensateurs tubulaires disposée en arrière (²). Le circuit secondaire comprend l'éclateur à plateaux, visible à droite, sur la caisse en bois, et le variomètre d'accouplement, avec cercle extérieur gradué, disposé à gauche. A la partie supérieure de ce groupe est placé le variomètre d'antenne, qui permet de modifier la longueur d'onde. Dans ces deux variomètres, il suffit de faire tourner le cercle extérieur, muni de saillies, pour modifier progressivement la self-induction de l'appareil. Le primaire du transformateur est alimenté par un alternateur dont la fréquence peut varier entre 250 et 1 000 périodes par seconde, suivant la vitesse de rotation. En général, la

(¹) L'accouplement peut être mixte ou inductif, à volonté.

(²) Les capacités à employer avec les systèmes à étincelles fréquentes sont beaucoup plus faibles qu'avec les systèmes à étincelles rares, pour une même puissance primaire, comme cela a été signalé au chapitre x.

fréquence employée est de 500 (1 000 alternances, donnant 1 000 décharges par seconde). Pour modifier la hauteur du son musical des signaux, on modifie la fréquence de l'alter-

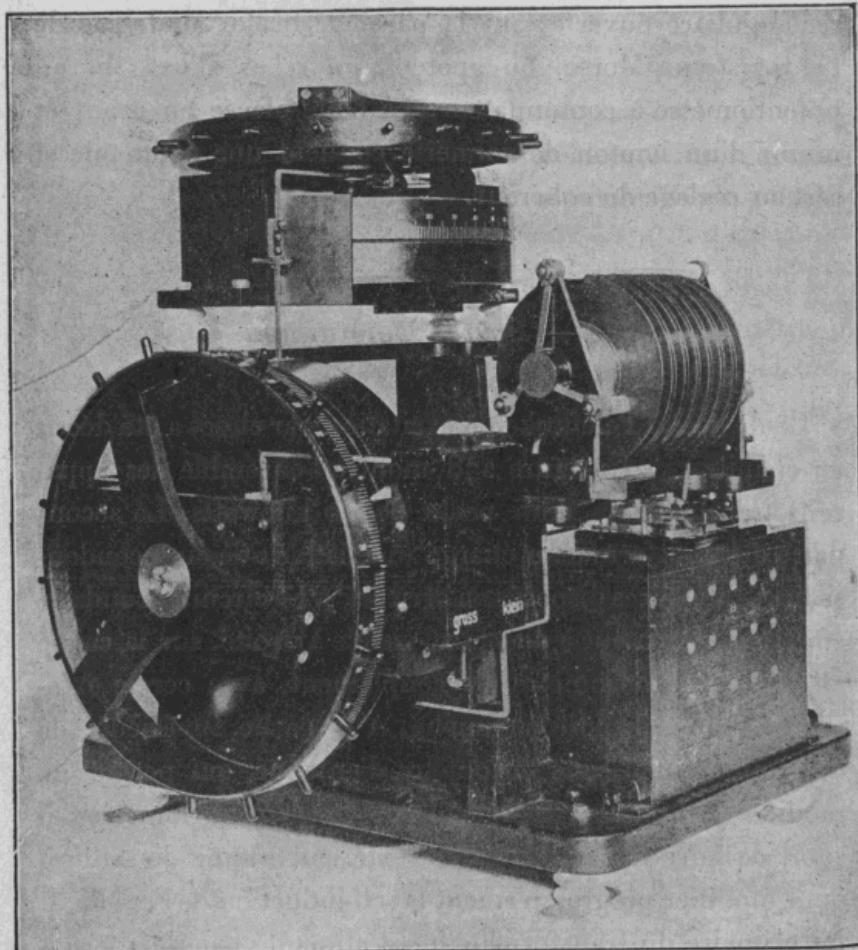


FIG. 278.

nateur, ou bien on fait résonner le primaire au moyen d'une bobine de self-induction.

Deux puissantes stations ont été établies à Norddeich, à l'embouchure de l'Elbe, et à Nauen, à une quarantaine de

kilomètres de Berlin. L'antenne du poste de Norddeich a la forme d'une pyramide renversée et est soutenue par quatre pylônes. Celle de Nauen, en forme de parapluie, est supportée par une tour métallique de 200 mètres de hauteur, isolée du sol, que montre la figure 279. La construction

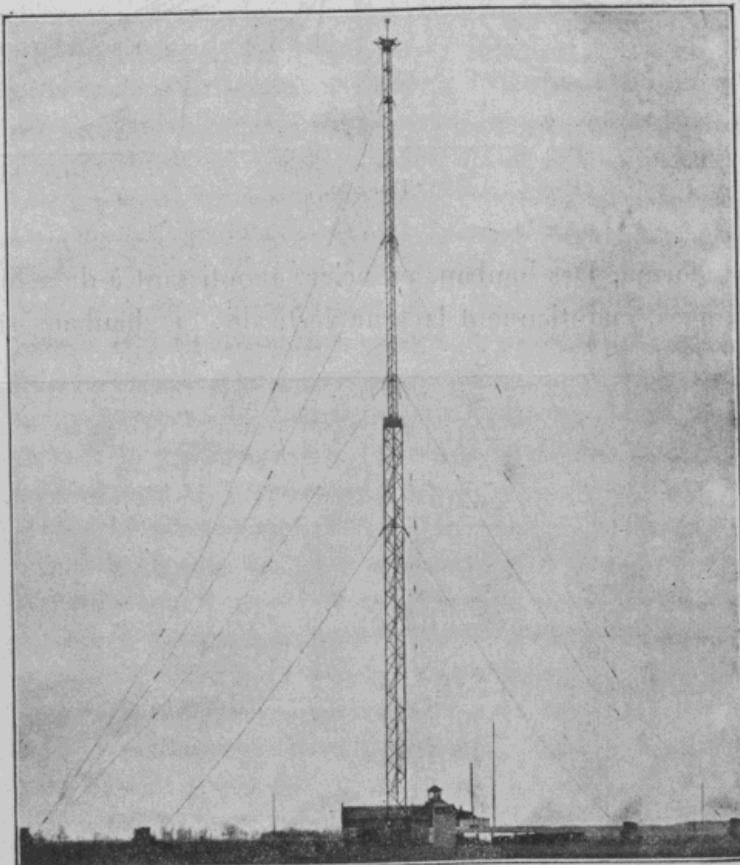


FIG. 279.

triangulaire en deux parties est nettement visible sur la figure. Les trois montants parallèles se réunissent, au pied de la tour, pour aboutir à une sphère de fonte logée dans un socle. La fondation en béton repose sur une couche de matière isolante. Une plate-forme, à laquelle conduisent des

escaliers, est située à 196 mètres du sol : l'antenne est hissée par trois poulies, placées à quatre mètres au-dessus de cette

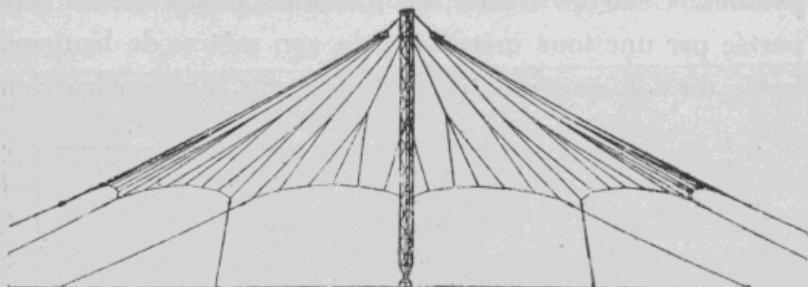


FIG. 280.

plate-forme. Des haubans en acier, aboutissant à de solides ancrages, maintiennent la tour verticale : ces haubans sont

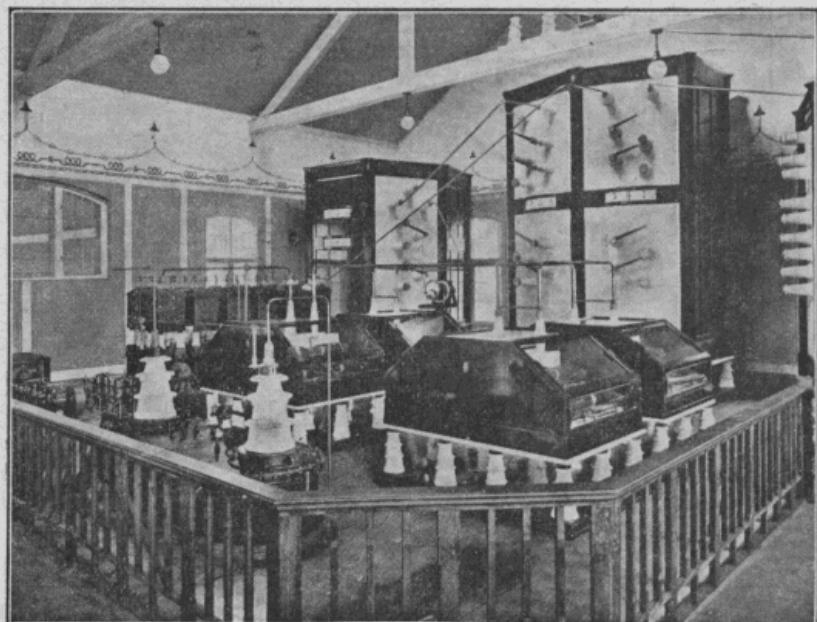


FIG. 281.

isolés du sol et de la tour par des pièces en bois imprégné plongées dans l'huile.

L'antenne, que représente la figure 280, est constituée par un très grand nombre de fils de bronze, disposés en forme de parapluie et couvrant une surface énorme.

La prise de terre consiste en fils de fer enfouis dans le sol : l'ensemble comprend 108 conducteurs qui se subdivisent en 324. L'établissement de la prise de terre a absorbé 54 kilomètres de fils de fer enfouis à 25 centimètres de profondeur ; la surface ainsi couverte atteint 126 000 mètres carrés. Le sol est très humide et présente une bonne conductibilité électrique.



FIG. 282.

Le courant est fourni par un puissant alternateur à fréquence musicale. Le secondaire du transformateur débouche directement dans la salle à haute tension (salle de transmission) que représente la figure 281. Deux tiges horizontales, supportées par les bornes secondaires du transformateur servent de limiteur de tension et protègent les enroulements contre des surtensions accidentielles. On voit sur la figure la partie supérieure du transformateur au premier plan, les condensateurs à gauche, les éclateurs en très grand nombre dans les quatre vitrines, et enfin les tableaux de connexion

des bobines du circuit oscillant et de l'antenne, tableaux munis de fiches qui permettent la mise en service d'un plus ou moins grand nombre de tours.

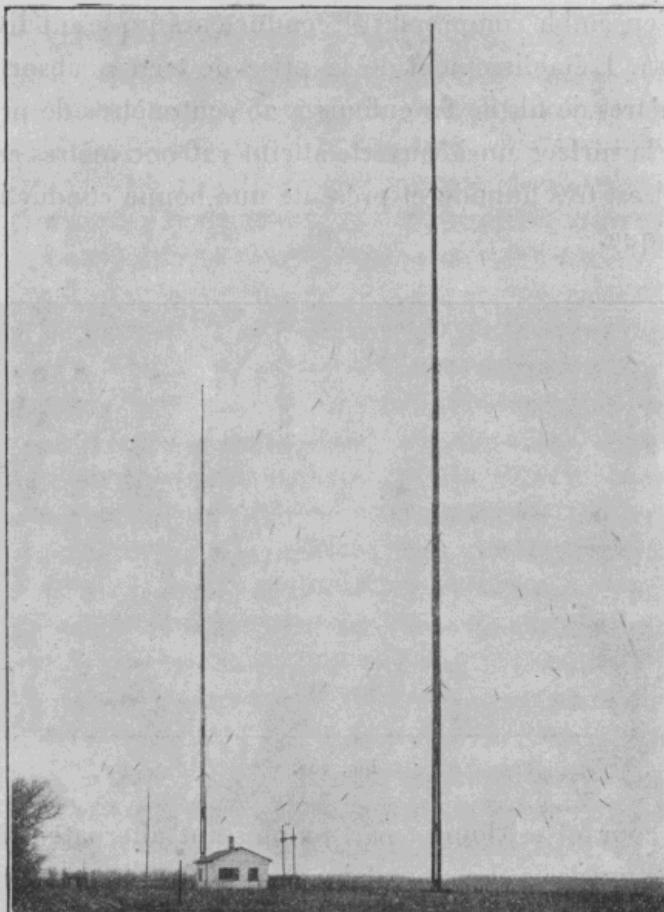


FIG. 283.

La figure 282 représente la salle de réception : les appareils normaux ont, à leur partie supérieure, une bobine à charnière qui permet de faire varier l'accouplement. On voit à droite, au fond, un relais sélectif à triple renforcement.

78. — Postes Poulsen.

Des postes du système Poulsen ont été établis par l'Amalgamated Radiotelegraph C°⁽¹⁾ à Lyngby, près de Copenhague ; à Esbjerg, dans le Jütland ; à Cullercoats, près de Newcastle ; et à Knockroe, près de Tralee, en Irlande : ce dernier devra assurer des communications transatlantiques avec une autre

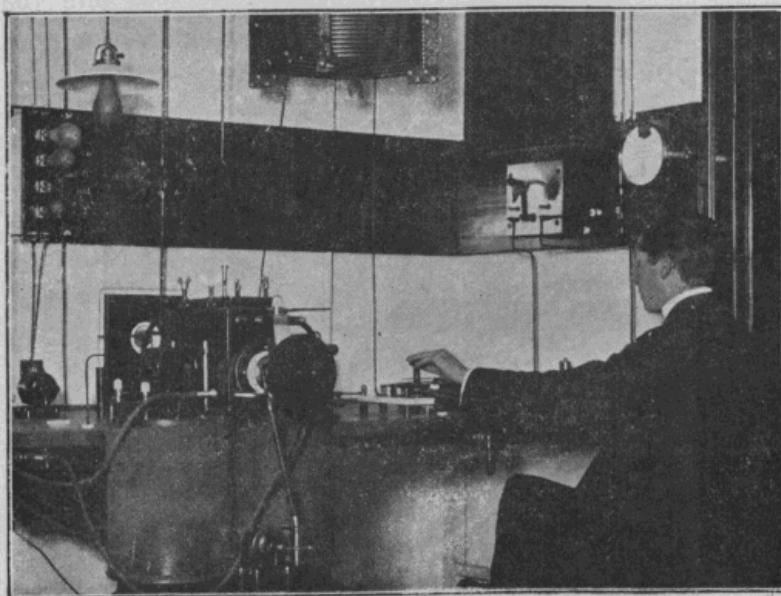


FIG. 284.

station radiotélégraphique établie à Terre-Neuve. En outre, un appareil Poulsen de grande puissance est installé à la station d'Arlington, près de Washington.

Au poste de Lyngby, l'antenne en harpe (fig. 283) est supportée par deux mâts de 70 mètres de hauteur, distants de 90 mètres : elle comprend 23 fils de cuivre : un réseau de fils nus, tendus sur le sol, lui sert de contrepoids.

(1) Cette Compagnie exploite les brevets de Forest et Poulsen.

Le courant d'alimentation est fourni par une génératrice à courant continu d'une quinzaine de kilowatts à 500 volts entraînée par un moteur à pétrole.

L'appareil Poulsen est nettement visible sur la figure 284,

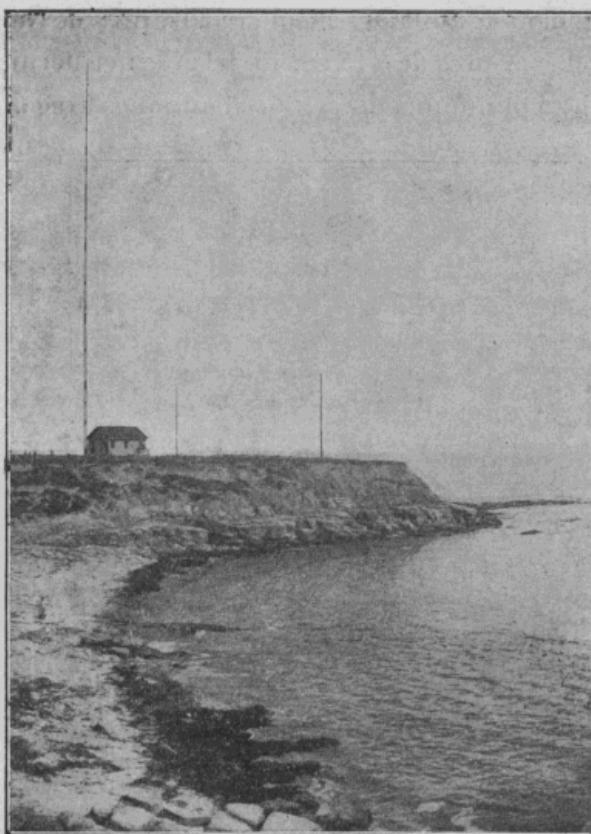


FIG. 285.

qui représente l'intérieur du poste : on voit les deux gros électro-aimants qui assurent le soufflage magnétique et, au-dessus, la chambre close où jaillit l'arc : le petit moteur électrique placé en avant fait tourner l'électrode en charbon : des tubes de caoutchouc amènent le gaz nécessaire et l'eau servant à la réfrigération de l'électrode en cuivre.

Le poste de Cullercoats, que représente la figure 285, contient une double installation, l'une avec courant alternatif et dispositif à étincelles rares, système de Forest, l'autre avec courant continu, système Poulsen.

L'antenne, en forme de parapluie, est supportée par un seul mât en bois de 70 mètres de hauteur maintenu par de nombreux haubans et érigé sur un massif de béton. Elle est composée de huit fils en bronze équidistants, ancrés au sol sur une circonference de 70 mètres de diamètre concentrique au pied du mât. Les cinquante mètres supérieurs de chaque fil constituent la portion active, isolée de la portion inférieure par une longue tige d'ébonite : les extrémités des portions actives sont toutes reliées entre elles par un conducteur qui forme un polygone octogonal. A leur partie supérieure, les huit fils

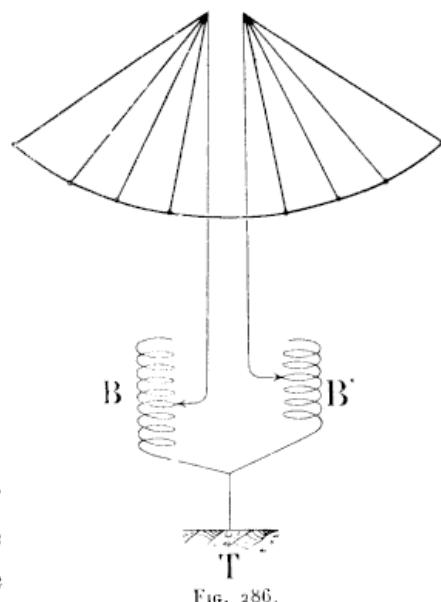


FIG. 286.

sont reliés quatre par quatre ensemble, formant ainsi deux groupes : chaque groupe est connecté à un conducteur de descente soutenu le long du mât par des isolateurs spéciaux en porcelaine. Quand ces deux conducteurs sont séparés à leur base, le système aérien constitue une antenne en boucle ; quand ils sont réunis, il forme une antenne ordinaire. Le schéma de la figure 286 donne une idée de cette disposition. La prise de terre est formée par 70 fils de cuivre de 2 millimètres de diamètre et d'une quarantaine de mètres de longueur rayonnant dans toutes

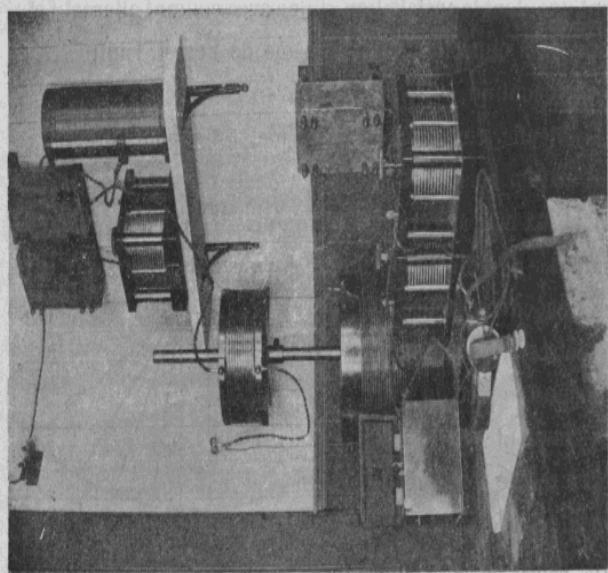


FIG. 288.

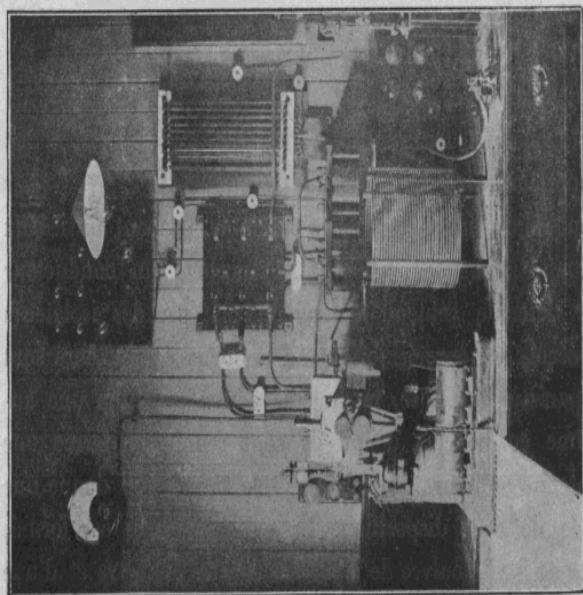


FIG. 287.

les directions. La longueur d'onde propre de l'antenne est de 800 mètres : pour la réduire à 600 mètres, en cas de besoin, on intercale au pied une petite batterie de condensateurs.

Les transmissions avec dispositif Poulsen ont généralement lieu avec une longueur d'onde de 1 200 mètres. Les

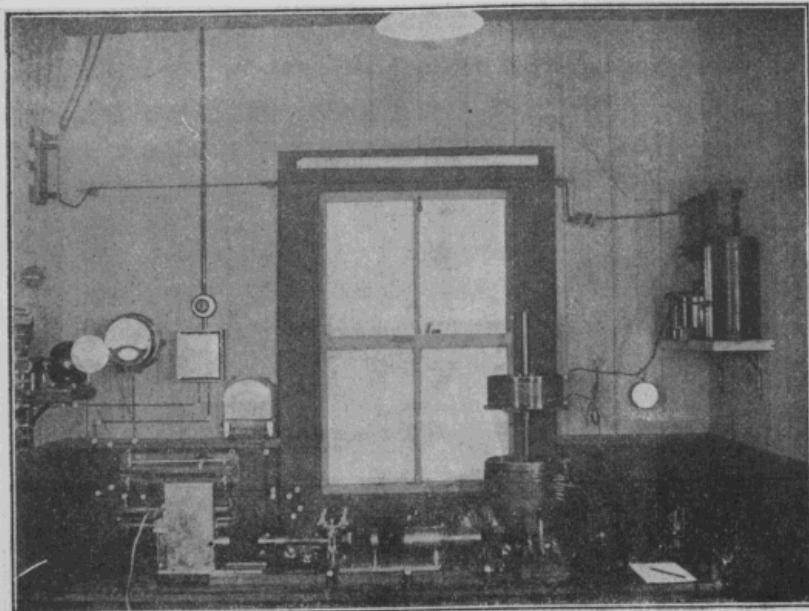


FIG. 289.

appareils employés sont visibles sur la figure 287. Le générateur à arc est placé à gauche, la bobine d'accouplement au milieu, et le manipulateur à droite. En raison des faibles tensions employées, l'isolement des appareils est très facile.

Pour la réception, on branche un circuit oscillant sur l'une des bobines B ou B' (fig. 286), et, en se servant de l'antenne en forme de boucle, on peut faire varier la longueur d'onde entre 800 et 2 500 mètres : pour les petites longueurs d'onde, on intercale un condensateur réglable au

pied de l'antenne. La réception des signaux émanant de postes étrangers a lieu avec un détecteur électrolytique ou à cristaux; celle des signaux émis par les postes Poulsen est faite au moyen du tikker et du téléphone, ou bien au moyen du galvanomètre unifilaire (chap. xv, § 74).

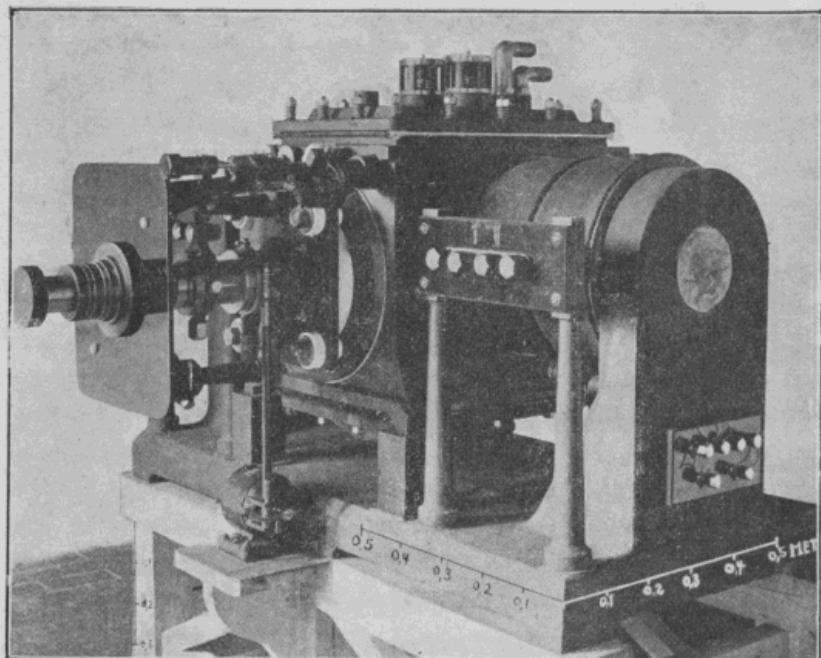


FIG. 290.

La figure 288 montre les appareils employés pour la réception avec téléphone et tikker. On voit combien l'accouplement entre l'antenne et le circuit oscillant est lâche, par l'écartement existant entre les deux bobines superposées soutenues par une tige verticale, qui réalisent cet accouplement. La planchette supérieure porte une bobine de self-induction et un condensateur d'antenne, tous deux réglables. A droite, sur la table, est placé le condensateur réglable du circuit oscillant.

La figure 289 montre les appareils employés pour la réception avec l'enregistreur photographique.

Le poste de Knockroe est muni d'un appareil Poulsen de très grande puissance que représente la figure 290 : l'arc est soufflé par le champ magnétique avec une telle violence qu'il s'étale sur une surface d'une quinzaine de centimètres de diamètre. Le courant continu d'alimentation est fourni, sous une différence de potentiel de 500 volts, par une génératrice de 100 kilowatts, et par une batterie d'accumulateurs. La puissance convertie en oscillations électriques est de 40 kilowatts ; la longueur d'onde utilisée est de 3000 mètres.

L'antenne a une surface rayonnante très considérable : elle est supportée par trois mâts de 120 mètres de hauteur placés aux sommets d'un grand triangle dont le poste occupe le centre, et comprend trois cents fils, disposés en forme de cône, qui aboutissent à neuf mâts de 22 mètres de hauteur répartis sur une circonférence de 650 mètres de diamètre. La surface couverte par l'antenne est de 280 000 mètres carrés. Les extrémités inférieures des fils sont reliées entre elles et forment un conducteur unique qui pénètre dans le poste. Le circuit oscillant contient un condensateur de 0,035 microfarad formé par des plaques métalliques suspendues dans l'air. L'excitation de l'antenne est faite par induction avec accouplement lâche ou souvent par dérivation avec accouplement très rigide.

Pour la réception, on se sert du téléphone avec tikker, ou bien d'un détecteur thermoélectrique actionnant le galvanomètre unifilaire.

Un poste analogue est en construction à Terre-Neuve.

79. — Postes Fessenden.

La National Signalling C° a installé à Brant Rock (près

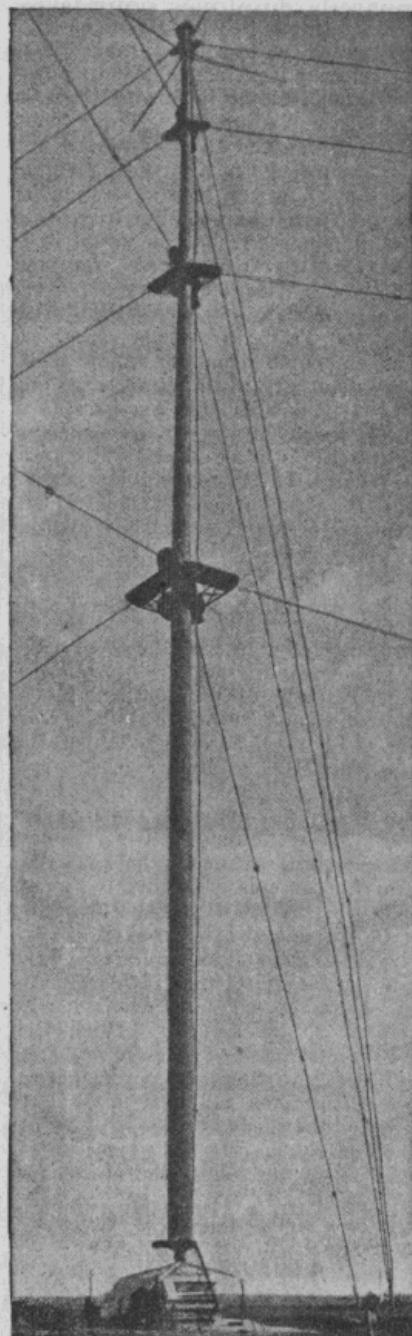


Fig. 291.

de Boston) un poste de grande puissance destiné à assurer des communications transatlantiques. L'antenne est supportée par un mât tubulaire en acier de 135 mètres de hauteur et de 1 mètre de diamètre, soigneusement isolé à sa base (fig. 291) : ce mât repose, par une sphère en acier, sur un support noyé dans un massif de béton et isolé du sol : il est maintenu vertical par des haubans en câbles d'acier placés à différentes hauteurs et solidement ancrés dans le sol dont ils sont isolés électriquement. A l'extrémité supérieure sont fixés quatre bras en acier de 15 mètres de longueur qui soutiennent chacun deux cages cylindriques d'environ 1^m,25 de diamètre et 100 mètres de long. Chaque cage comprend quatre conducteurs et est maintenue inclinée à 45° par des câbles tendeurs. Il y a donc, autour du support, huit cages à peu près équidistantes, qui sont isolées à leur partie

inférieure et connectées au mât à leur partie supérieure.

Les appareils de transmission sont du système Fessenden à éclateur tournant (figure 150, page 207) : l'alternateur à 500 périodes a une puissance de 100 kilowatts ; la fréquence des décharges est de 1000 par seconde. Les condensateurs à air comprimé ont une capacité de 0,18 microfarad. L'antenne est excitée par induction : l'accouplement est très lâche. La longueur d'onde est de 3700 mètres.

Le poste d'Arlington, près de Washington, a une antenne très volumineuse supportée par trois tours en acier que représente la figure 292. L'une d'elles (en avant) a une hauteur de 200 mètres ; les deux autres ont seulement 150 mètres de hauteur. Cette disposition n'a pas été choisie pour des raisons techniques, mais pour des raisons pécuniaires, le crédit alloué par la Marine des États-Unis n'ayant pas permis l'érection de trois tours de 200 mètres (¹). Les quatre points d'appui de chaque tour sont isolés au moyen de blocs de marbre bleu très pur, séchés et vernis, qui ont été essayés à 100 000 volts. Les boulons de fixation sont, de même, isolés par des pièces de marbre. Les trois tours sont placées aux sommets d'un triangle isocèle dont la base a environ 120 mètres et dont la hauteur a à peu près la même valeur.

Les tours supportent trois rideaux comprenant chacun vingt-trois câbles à sept brins en bronze phosphoreux : la figure 293 montre la disposition adoptée. La longueur d'onde propre de l'antenne est de 2170 mètres.

La prise de terre est formée par un énorme quadrillage de

(¹) La tour de 200 mètres pèse environ 500 tonnes et les deux autres 275 tonnes chacune.

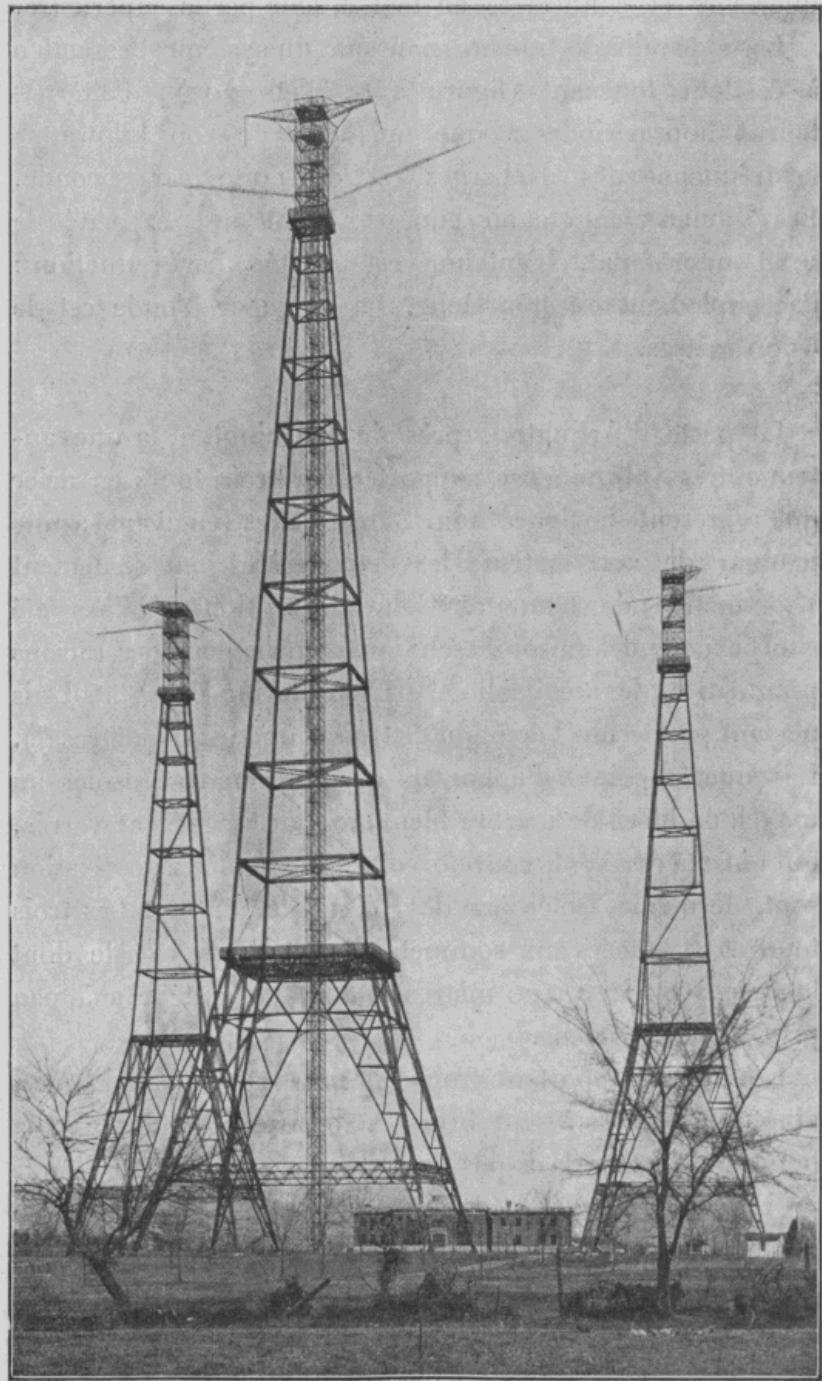


FIG. 292.

fils enfouis dans le sol sous les tours et sous le poste, et par un très grand nombre de fils rayonnants.

Un bâtiment contient les appareils de transmission et un autre les appareils de réception : ces bâtiments sont complètement séparés l'un de l'autre pour éviter le bruit et les vibrations au poste récepteur.

Les appareils employés pour la transmission sont nettement visibles sur la figure 294 : tout l'équipement est isolé

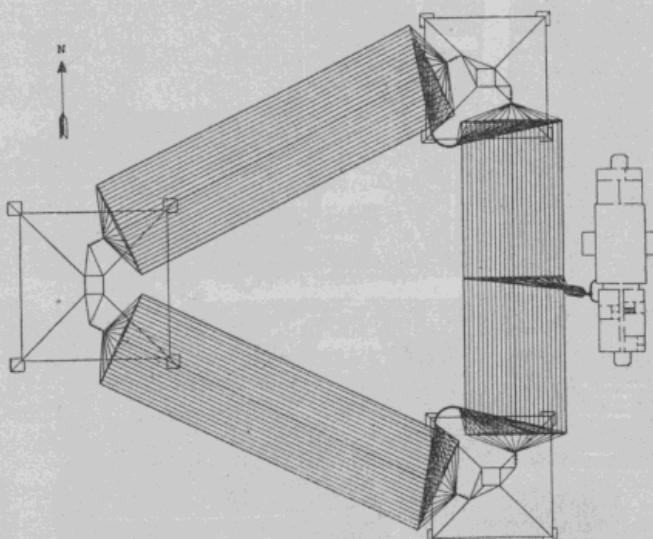


FIG. 293.

du sol pour la pleine tension de service. L'alternateur (à gauche) a une vitesse de rotation de 1 250 tours par minute et produit 100 kilowatts sous 220 volts à 500 périodes par seconde : son inducteur a 48 pôles. Sur l'arbre est directement calé l'éclateur tournant, formé d'un disque en fibre de $1^m,25$ de diamètre et $2^{cm},5$ d'épaisseur portant un cercle en laiton sur lequel sont vissées 48 électrodes en cuivre de $12^{cm},5$ de longueur : le tout est enfermé dans un tambour de 2 mètres de diamètre et 60 centimètres de profondeur au sommet duquel sont placées les deux électrodes fixes

maintenues par des isolateurs en porcelaine⁽¹⁾. Ces électrodes sont creuses et sont refroidies par une circulation

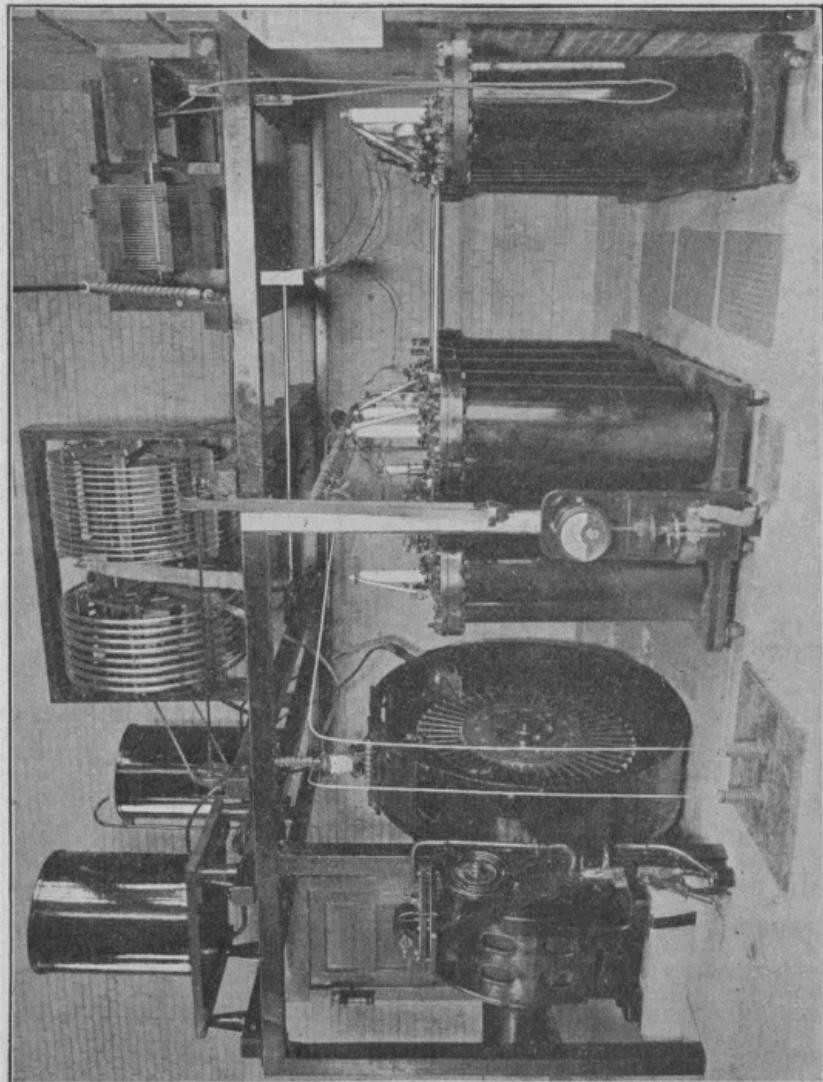


FIG. 294.

d'eau : leur position est réglable au moyen d'une manivelle. L'intervalle explosif entre une électrode fixe et

(1) Cet éclateur doit être prochainement changé.

l'électrode mobile correspondante est de 1 millimètre : l'intervalle explosif total est donc de 2 millimètres, puisque la décharge passe par deux étincelles en série. On règle l'appareil pour que l'étincelle jaillisse environ 25 millimètres avant que chaque électrode mobile passe en regard d'une électrode fixe et cesse aussitôt après son passage : il y a 1 000 étincelles par seconde. La tension d'alimentation est de 25 000 volts.

Le condensateur comprend 14 appareils Fessenden à air comprimé (fig. 294) répartis en deux groupes de sept en série (¹). Chaque appareil consiste en une enveloppe cylindrique en acier de 45 centimètres de largeur et 1^m,30 de hauteur contenant des disques plats en acier qui représente la figure 295. La pression de l'air comprimé est de 29 atmosphères : l'intervalle entre deux plaques est de 3 millimètres environ. Chaque élément a une capacité de 0,036 microfarad pour une tension de 25 000 volts ; la capacité de l'ensemble est de 0,126 microfarad. Cette capacité sera prochainement augmentée.

Le manipulateur est un appareil à relais intercalé dans le circuit primaire du transformateur qui est placé en sous-sol sous les condensateurs.

L'accouplement inductif est très lâche : la bobine secondaire intercalée dans l'antenne est formée par du gros tube de cuivre ; une prise de contact mobile permet de faire

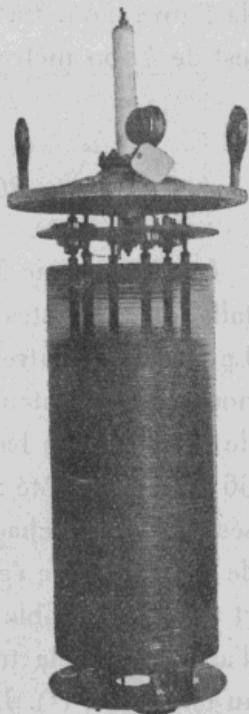


FIG. 295.

(¹) Il y en a un de rechange en plus, soit 15 en tout.

varier le nombre de tours en circuit. Les deux bobines d'accouplement sont bien visibles à la partie supérieure de la figure 294. La longueur d'onde actuellement employée est de 4 000 mètres ; elle sera portée à 6 000 mètres.

80. — Postes Marconi.

La Compagnie Marconi s'est occupée, dès 1901, de l'installation de postes radiotélégraphiques de grande puissance. Le premier d'entre eux a été établi à Poldhu (Pointe de Cornouailles). L'antenne est supportée par quatre tours en bois de 72 mètres de hauteur placées aux sommets d'un carré de 66 mètres de côté : elle a la forme d'une pyramide renversée (fig. 296), chaque face comprenant plusieurs centaines de fils de cuivre également espacés à leur partie supérieure et réunis ensemble à leur partie inférieure. On a employé d'abord, pour la transmission, le dispositif Fleming décrit au chapitre v (¹). L'énergie mise en jeu atteignait une centaine de kilowatts.

Des postes analogues furent installés à Glace Bay (Terre-Neuve), puis à Cape Cod (près de New-York). Ces postes, qui devaient établir entre eux des communications transatlantiques régulières, ne purent remplir cette destination : ceux de Poldhu et de Cape Cod assurent depuis lors un service régulier de messages avec les paquebots anglais faisant le trajet entre Liverpool et New-York.

En 1907, la C^e Marconi a installé deux puissantes stations destinées à communiquer exclusivement entre elles de part et d'autre de l'Atlantique : l'une a été établie à Glace Bay (Terre-Neuve) et l'autre à Clifden (Irlande). En 1910, elle a

(¹) § 28 figures 57 et 58.

commencé l'installation d'un poste puissant à Coltano (Italie) pour permettre au gouvernement italien de communiquer avec les colonies de l'Est Africain et avec la République

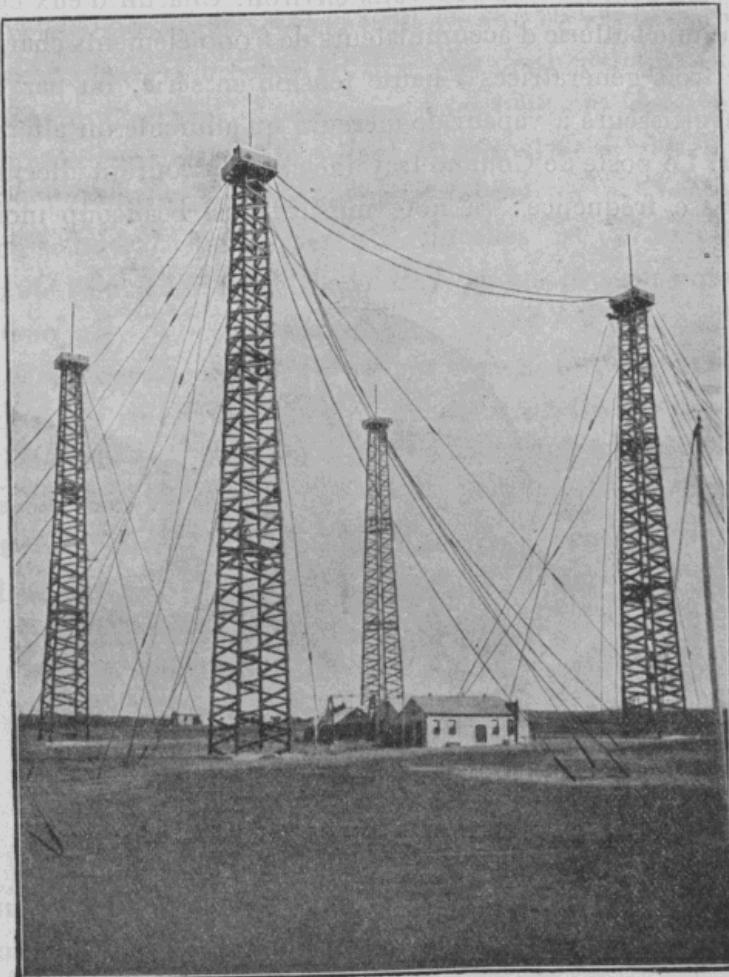


FIG. 296.

argentine. Ce poste fonctionne depuis un certain temps, mais son équipement ne paraît pas complètement achevé.

Il est difficile d'obtenir des renseignements sur ces différents postes, la Cie Marconi ayant l'habitude de travailler

dans le mystère : quand elle publie la description d'un appareil, son emploi est généralement abandonné.

Les postes de Clifden et de Glace Bay fonctionnent avec du courant continu à 12 000 volts environ. Chacun d'eux contient une batterie d'accumulateurs de 6 000 éléments chargée par trois génératrices à haute tension en série, ou par des convertisseurs à vapeur de mercure qu'alimente un alternateur. Le poste de Coltano travaille avec du courant alternatif à basse fréquence : sa note musicale est beaucoup moins pure.

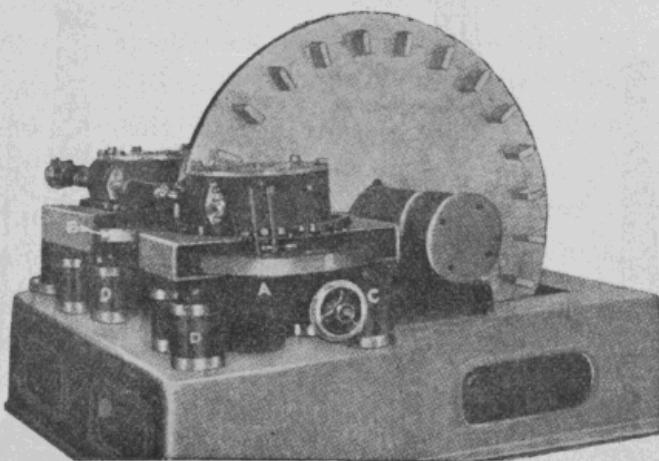


FIG. 297.

Les postes de Clifden et de Glace Bay sont munis d'une antenne horizontale composée de fils qui s'élèvent verticalement à 70 mètres de hauteur pour s'étendre ensuite horizontalement sur une longueur de plus de 300 mètres ; les conducteurs sont supportés par des mâts en bois. Les extrémités libres des deux antennes ont été orientées de façon à être exactement opposées l'une à l'autre. Le poste de Coltano est muni d'une antenne formée de deux nappes horizontales faisant entre elles un angle d'environ 60°. Le

poste de Clifden travaille normalement avec une longueur d'onde de 6 500 mètres, celui de Glace Bay avec une longueur d'onde de 9 500 mètres, et celui de Coltano avec une longueur d'onde de 6 000 mètres environ.

L'éclateur est représenté par la figure 297 : le grand disque tournant porte 24 broches en zinc : les deux petits disques A et B qui servent d'électrodes fixes tournent lentement autour de leurs axes : un volant C permet de régler leur position. L'extinction des étincelles est activée par l'action d'une soufflerie. La fréquence d'étincelles est de 400 par seconde pour Clifden et Glace Bay, et un peu plus pour Coltano.

Les condensateurs étaient primitivement formés par des plaques de zinc suspendues dans l'air : actuellement, il est probable qu'ils sont du type usuel à plaques de verre immergées dans l'huile. La capacité en jeu dans chaque poste doit être d'environ 2 microfarads. L'accouplement est très lâche.

TROISIÈME PARTIE

LA RADIOTÉLÉPHONIE

CHAPITRE XVII

PRINCIPE ET HISTORIQUE DE LA RADIOTÉLÉPHONIE

On peut dire que la téléphonie sans fil remonte aux temps les plus reculés : l'appareil vocal de l'homme engendre des ondes sonores ; ces ondes se propagent par le mouvement vibratoire de l'air, et vont impressionner le détecteur ou récepteur très perfectionné qu'est l'oreille. La portée des communications est assez réduite avec ce système : elle a pu être fortement augmentée par l'emploi de porte-voix, de surfaces paraboliques, etc., mais, malgré tout, elle reste limitée à quelques centaines de mètres.

La découverte du téléphone et du microphone a permis de reproduire la parole et les sons à grande distance par un procédé électrique. Une source d'énergie électrique (pile) alimente un transmetteur (microphone) : celui-ci donne naissance à des courants qui varient comme les modulations de la voix. Ces courants sont transmis par des fils conducteurs à un appareil récepteur (téléphone) où ils impriment à un

organe convenable (membrane) des vibrations reproduisant leurs propres variations, c'est-à-dire les modulations de la voix.

En radiotéléphonie, la source d'énergie électrique est un émetteur, capable de produire des ondes électromagnétiques aussi régulières que possible : le transmetteur (microphone) a pour fonction de faire varier l'amplitude⁽¹⁾ des oscillations d'après les modulations de la voix. Le détecteur, agissant dans un circuit qui contient le récepteur téléphonique, y fait circuler des courants qui varient comme les modulations des ondes transmises, c'est-à-dire comme les modulations de la voix : ce récepteur reproduit donc la parole ou les sons.

81. — Production des sons et de la parole.

Les sons sont engendrés par les vibrations d'un organe élastique quelconque : ils sont propagés par les vibrations longitudinales⁽²⁾ du milieu dans lequel ils ont pris naissance (milieu gazeux, liquide ou solide), ces vibrations se transmettant de proche en proche et donnant lieu à une *onde sonore*. La propagation des sons s'effectue très facilement dans les gaz, difficilement dans les liquides et très mal dans les solides : le cas de la propagation dans les gaz est le seul qui nous intéresse.

Si, en un point quelconque d'un milieu gazeux, nous donnons naissance à un son (en faisant vibrer une corde à vio-

(1) On a fait varier aussi la fréquence des oscillations au lieu de leur amplitude.

(2) Les ondes électromagnétiques sont propagées, comme cela a été expliqué au chapitre 1, par des vibrations *transversales* de l'éther, c'est-à-dire par des vibrations perpendiculaires à la direction de propagation. Les sons sont propagés par des vibrations *longitudinales* du milieu gazeux, liquide, ou solide, c'est-à-dire par des vibrations qui s'effectuent suivant la direction de propagation.

lon, par exemple) des ondes sonores sont produites dans toutes les directions environnantes. En un point d'une de ces directions, le milieu gazeux (de l'air par exemple) présente une pression variable, dont la valeur instantanée oscille de part et d'autre de la valeur moyenne : cette pression sera supérieure à la pression moyenne pendant une demi-période d'une vibration, puis inférieure à la pression moyenne pendant l'autre demi-période de cette vibration.

Un son est caractérisé par sa *hauteur*, qui dépend de la fréquence des vibrations ; le *la normal* du diapason correspond à une fréquence de 435 vibrations par seconde. Deux sons de même hauteur peuvent présenter des *timbres* différents, dus à la présence de vibrations d'ordre supérieur, superposées aux vibrations fondamentales et dont les fréquences sont des multiples de la fréquence fondamentale : de telles vibrations sont appelées *harmoniques*. Enfin deux sons de même hauteur et de même timbre ont des *intensités* différentes si les amplitudes des vibrations sont différentes.

Les fréquences fondamentales des sons musicaux parfaitement purs sont comprises entre 40 et 4 000 vibrations par seconde, à peu près. Le son le plus élevé qui soit perceptible à notre oreille correspond à une fréquence d'environ 33 000 vibrations par seconde.

Les cordes vocales, placées au fond du larynx des hommes et des animaux, sont mises en vibration par l'air expiré des poumons : leurs vibrations donnent le son fondamental, auquel s'ajoutent de très nombreuses harmoniques dues à la forme de la bouche, aux mouvements de la langue, à la position des dents, etc. Le son fondamental peut subir des déformations très variables et très importantes ; ce sont ces déformations qui donnent naissance à la parole, dont l'étude présente une extrême complexité.

Un exemple montrera les modifications que peut faire subir à la courbe d'un son fondamental la superposition d'harmoniques supérieures. Les figures 298, 299, 300 repro-

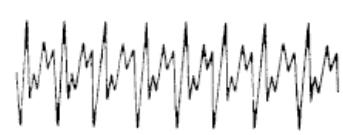
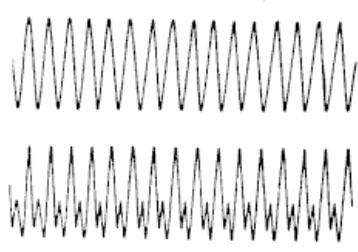


Fig. 298, 299 et 300.

duisent les courbes relevées expérimentalement par M. Duddell pour les vibrations correspondant à l'émission de la voyelle O dans trois mots différents.

Les harmoniques supérieures de la voix présentent des fréquences qui atteignent quelques milliers : en pratique, on peut négliger celles dont la fréquence est supérieure à 1 200 vibrations

par seconde. Leur amplitude peut être faible sans qu'elles cessent de jouer un rôle capital dans la constitution de la parole : cette amplitude n'est souvent que le centième de l'amplitude des vibrations fondamentales et suffit cependant pour déterminer l'émission d'une consonne accompagnant une voyelle.

82. — Téléphonie avec fils.

Si l'on parle devant une membrane élastique formée d'un disque très mince maintenu sur son pourtour, les variations de pression de l'air l'obligent à effectuer des vibrations semblables à celles qui donnent naissance aux ondes sonores. La téléphonie électrique se résume dans la commande à distance d'une seconde membrane qui, sous l'effet d'impulsions convenables, reproduit les vibrations de la première et donne ainsi naissance à des ondes sonores identiques aux ondes agissantes.

Dans la téléphonie avec fils, un transmetteur T (figure 301) est accouplé, par les conducteurs t_1 et t_2 , à un récepteur R.

Le transmetteur comprend un microphone, un ou deux éléments de pile et un petit transformateur (bobine de microphone). Le microphone consiste en une membrane vibrante M sur laquelle agissent les ébranlements de l'air : ses vibrations produisent des variations dans l'intimité des contacts existant entre des morceaux de charbon juxtaposés, placés derrière elle : à leur tour, les variations dans l'intimité des contacts déterminent des variations corrélatives de la résistance électrique du système. Tout appareil à contacts imparfaits, tels que ceux utilisés dans les cohéreurs, peut servir

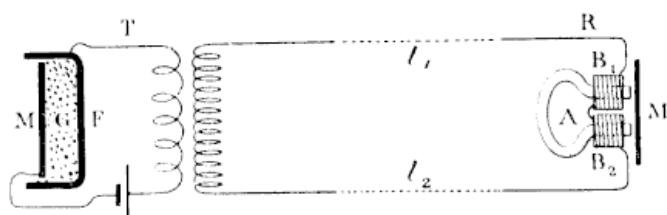


FIG. 301.

de microphone : aussi en existe-t-il un grand nombre. En général, on emploie de la grenaille de charbon G comprise entre la membrane métallique M (fig. 301) et le fond F d'une cuvette également métallique : le charbon offre l'avantage de rester inaltérable, tandis que la plupart des métaux se recouvrent d'une pellicule d'oxyde. La cuvette F et la membrane M sont reliées électriquement à la pile et au primaire de la bobine du microphone. Quand on parle à proximité de la membrane, le courant débité par la pile varie comme la résistance électrique des contacts imparfaits : les courants induits dans le secondaire présentent donc des modulations semblables à celles de la voix.

Le récepteur téléphonique comprend un aimant A sur les pôles duquel sont disposées deux petites bobines B₁ et B₂

que traversent les courants variables amenés par les fils de ligne $l_1 l_2$. Les pôles de l'aimant agissent sur une membrane M analogue à celle du microphone : sous l'effet des courants variables, leur action magnétique est renforcée ou affaiblie, et ces variations impriment à la membrane des vibrations qui suivent les modulations des courants et engendrent des ondes sonores. Tel est, sommairement décrit, le mécanisme de la reproduction de la parole à distance.

Un bon microphone doit présenter une grande sensibilité pour répondre aux moindres variations de pression de l'air : en pratique, on munit l'appareil d'une embouchure en forme de pavillon qui permet de concentrer au centre de la membrane les effets produits par une masse d'air relativement importante. La membrane doit avoir une fréquence propre de vibration très différente des fréquences de vibration des sons à transmettre, sans quoi elle renforcerait énormément certain d'entre eux par l'effet des phénomènes de résonance : les microphones à grains de charbon présentent la particularité d'accentuer un peu les harmoniques supérieures. Enfin les contacts imparfaits doivent pouvoir laisser passer sans détérioration une intensité de courant relativement forte, pour que le microphone puisse assurer des communications à grandes distances : à ce point de vue, on est malheureusement très vite limité, les microphones ordinaires ne permettant pas l'emploi de courants supérieurs à 1 ampère.

83. — Radiotéléphonie.

En radiotéléphonie, les conducteurs intermédiaires sont supprimés, et le transmetteur doit émettre des ondes électromagnétiques dont l'amplitude varie suivant les modulations de la parole.

Il est évident, en premier lieu, que la fréquence propre des ondes utilisées doit être supérieure à la fréquence de vibration la plus élevée donnant dans le récepteur un son perceptible à notre oreille⁽¹⁾. En deuxième lieu, puisque la parole consiste surtout en harmoniques supérieures du son fondamental, harmoniques dont la fréquence peut atteindre quelques milliers de vibrations par seconde⁽²⁾, il faut que les vides existant éventuellement entre deux trains d'ondes consécutifs aient une durée sensiblement inférieure à la plus courte période des vibrations considérées : ces vides devront avoir, par exemple, au maximum, une durée d'un dix-millième de seconde. Si donc l'on songe à employer comme émetteur d'ondes un dispositif à étincelles, on voit qu'il devra produire au moins 10 000 décharges par seconde.

En 1900, M. Fessenden entreprit des essais avec un émetteur qui produisait 10 000 décharges par seconde. Le montage employé est indiqué par la figure 302. Une bobine d'induction, mise en action par un interrupteur spécial donnant environ 10 000 interruptions par seconde, alimentait l'éclateur E embroché dans l'antenne. Un circuit oscillant, formé du condensateur C et de la bobine de self-induction L, était placé en dérivation sur l'éclateur E.

Le microphone M était relié à la bobine primaire B₁ d'un transformateur dont la bobine B₂ était intercalée directement

(1) Cette fréquence limite varie beaucoup suivant les individus. Certaines personnes perçoivent difficilement un son correspondant à 10 000 vibrations par seconde, tandis que d'autres perçoivent encore un son correspondant à une fréquence de 20 000. En fait, il semble que la fréquence de 33 000 vibrations par seconde constitue la limite au delà de laquelle il est impossible à l'oreille humaine de percevoir un son.

(2) Les harmoniques dont la fréquence est supérieure à 2 000 peuvent être négligées en pratique sans qu'il en résulte d'altération notable.

sur l'antenne. M. Fessenden a employé aussi un phonocondensateur formé de deux plaques (fig. 303) dont l'une était fixe et l'autre formait la membrane vibrante devant laquelle on parlait : les variations de distance entre ces plaques déterminaient des variations de capacité, et par suite, des variations de la fréquence des ondes émises.

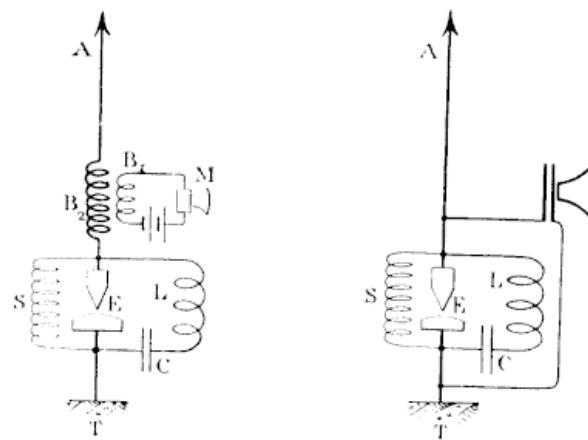


FIG. 302.

FIG. 303.

M. Fessenden, s'étant rendu compte qu'il était très important que l'étincelle conservât une longueur invariable, fut conduit à employer comme éclateur une pointe en aluminium placée en face d'un disque légèrement bombé en platine iridié : ces électrodes furent placées, par la suite, dans de l'air comprimé. Quand tout était bien réglé, on pouvait transmettre la parole à quelques centaines de mètres, mais on entendait dans le récepteur des crachements insupportables.

D'autres expériences furent poursuivies avec un éclateur tournant donnant 20 000 étincelles par seconde, alimenté par une machine à courant continu à 5 000 volts : les électrodes étaient en platine iridié. Les résultats ne furent pas plus satisfaisants.

Ensuite, M. Fessenden s'est servi d'un éclateur à gaz com-

primé (air ou hydrogène comprimé à 6 kilogrammes). Les deux électrodes étaient formées chacune (fig. 304) par un tube métallique terminé par une calotte très mince ($0^{mm} .04$) en argent refroidie par une circulation d'eau intérieure : cet éclateur était alimenté par du courant continu à 4 500 volts. L'inventeur obtint des résultats encourageants (1903 et 1904), mais on percevait toujours dans le récepteur des crachements intenses. Dans un autre dispositif, un arc jaillissait entre une pointe fixée derrière une membrane de microphone et la tranche d'un disque tournant avec une très grande rapidité. Ces deux électrodes étaient reliées à une génératrice à courant continu à 5 000 volts par l'intermédiaire de résistances de valeur élevée : le circuit oscillant était branché en dérivation sur l'arc à la manière habituelle.

En 1905, M. Fessenden employa un alternateur à 10 000 périodes alimentant un transformateur dont le secondaire était relié à un éclateur à azote comprimé : il y avait une étincelle par alternance (20 000 étincelles par seconde). Les résultats furent beaucoup plus satisfaisants, et la distance franchie atteignit 40 kilomètres, mais le bruit de friture était inévitable. On reconnut alors que tout dispositif dans lequel les oscillations ne sont pas engendrées d'une façon continue est impropre à la radiotéléphonie, et M. Fessenden entreprit de produire directement les courants de grande fréquence nécessaires pour l'excitation de l'antenne. Après avoir essayé un appareil à deux disques dentés tournant en sens inverses et produisant une fréquence de 200 000 par seconde, puis un dispositif à deux éclateurs combinés dans lequel l'action alternative de deux champs magnétiques déterminait le jaillissement successif de l'étincelle dans un éclateur ou dans l'autre, M. Fessenden se consacra à l'étude d'un alternateur



FIG. 304.

à très haute fréquence : le dispositif auquel il a été ainsi conduit sera décrit plus loin.

De son côté M. Majorama a entrepris dès 1904 des expériences de radiotéléphonie avec un dispositif donnant 10 000 décharges par seconde. L'éclateur était relié à un transformateur dont le circuit primaire, alimenté par du courant alternatif, contenait de fortes bobines de self-induction destinées à limiter l'intensité de courant aussitôt après l'éclatement de chaque étincelle. En employant de faibles distances explosives, il a pu, avec un tel dispositif, obtenir un grand nombre de décharges dans chaque alternance du courant primaire.

Les variations d'amplitude des ondes émises étaient produites par des variations de longueur des étincelles, correspondant aux modulations de la voix. Pour cela, on employait un éclateur formé d'une électrode fixe et d'une électrode mobile : celle-ci était constituée par un jet de mercure mis en vibration par l'action des courants microphoniques, et les variations de la distance explosive correspondaient aux variations de ces courants. Les modifications de longueur des étincelles provoquaient des modifications corrélatives dans l'amplitude des oscillations engendrées.

Plus tard, M. Majorama s'est servi d'un éclateur tournant donnant 20 000 décharges par seconde. Le microphone, intercalé directement entre l'éclateur et l'antenne, différait notablement des appareils ordinaires et sera décrit plus loin. Le détecteur utilisé pour la réception était un appareil magnétique.

M. Ruhmer a essayé plusieurs éclateurs spéciaux. L'un d'eux est représenté par la figure 305. Les électrodes sont formées par deux fils FF' de section prismatique, générale-

ment en aluminium, enroulés chacun sur un tambour et passant à faible distance l'un de l'autre sur des guides GG' refroidis par une circulation d'eau intérieure. Les fils se déroulent d'une façon continue et les parties entre lesquelles jaillissent les étincelles se renouvellent constamment. Grâce à la disposition adoptée, les électrodes sont toujours froides, et la longueur des étincelles reste invariable. Le déplacement des électrodes facilite beaucoup la rupture de l'arc : on peut, en outre, placer entre

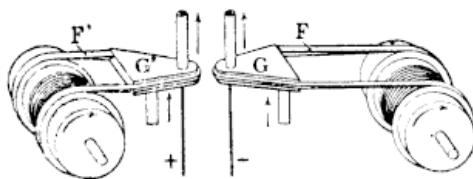


FIG. 305.

elles une cloison percée d'un trou pour augmenter le refroidissement et l'instabilité : on peut également employer un soufflage magnétique. Pour fixer encore plus nettement la position de l'arc, l'inventeur a disposé les deux fils perpendiculairement l'un à l'autre, comme l'indique la figure 306 :

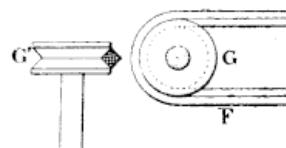


FIG. 306.

elles une cloison percée d'un trou pour augmenter le refroidissement et l'instabilité : on peut également employer un soufflage magnétique. Pour fixer encore plus nettement la position de l'arc, l'inventeur a disposé les deux fils perpendiculairement l'un à l'autre, comme l'indique la figure 306 :

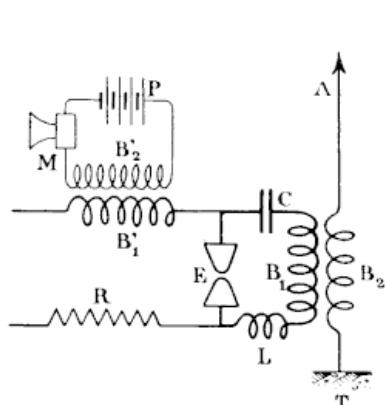


FIG. 307.

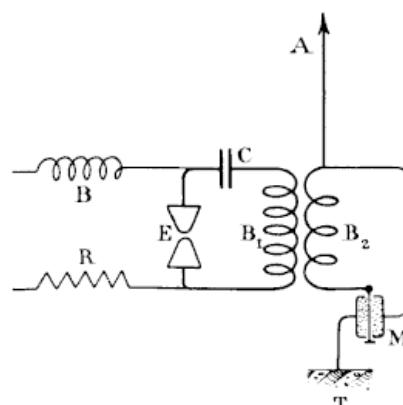


FIG. 308.

les deux poulies-guides GG' sont creuses et sont refroidies par une circulation d'eau.

Dans un premier dispositif M. Ruhmer a fait agir inductivement sur le circuit d'alimentation de l'arc les courants variables du microphone (fig. 307). Dans un second dispositif, il a employé un microphone spécial (fig. 308) dans lequel la membrane est placée entre deux plaques fixes



FIG. 309.

dont elle est séparée par de la grenaille de charbon. Cet appareil agit en même temps comme microphone et comme condensateur à capacité variable: l'une de ses moitiés est intercalée dans un circuit dérivé sur la bobine d'accouplement B_2 ; l'autre moitié est intercalée dans la jonction de l'antenne à la terre.

La Cie Telefunken a essayé d'employer, comme émetteur d'ondes, un certain nombre d'arcs courts en série (6, 12 ou

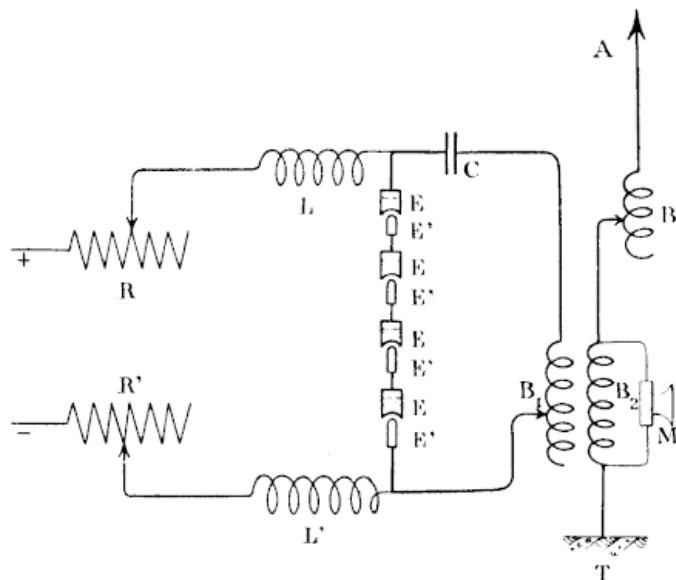


FIG. 310.

24 pour 220, 440 ou 880 volts). Chaque électrode positive est formée d'un long cylindre de laiton rempli d'eau et muni à sa partie inférieure d'une calotte concave en cuivre; l'électrode négative est un court crayon de charbon terminé par

un arrondi sphérique. L'arc est très court: il jaillit dans la cavité ménagée à l'extrémité inférieure du cylindre de laiton (fig. 309) et brûle au sein des gaz dégagés par la combustion, le renouvellement de l'air s'effectuant difficilement par suite de la disposition adoptée.

Le montage employé est représenté par la figure 310. Le courant continu d'alimentation traverse deux résistances réglables R et R' et deux bobines de self-induction L et L' , puis les arcs EE' en série. En dérivation sur le groupe d'arcs est branché le circuit oscillant qui comprend le condensateur C et la bobine B_1 . Celle-ci est accouplée inductivement à la bobine B_2 de l'antenne (accouplement très lâche; 3 pour 100 environ). Le microphone M est placé en dérivation sur la bobine d'accouplement B_2 .

CHAPITRE XVIII

DISPOSITIFS EMPLOYÉS EN RADIOTÉLÉPHONIE

La Radiotéléphonie repose sur l'emploi des appareils suivants :

un émetteur produisant des ondes suffisamment continues pour transmettre les harmoniques supérieures de la voix ;

un dispositif capable de modifier le caractère des ondes suivant les modulations de la parole ;

un détecteur dont l'effet soit proportionnel à l'amplitude des ondes incidentes.

L'émetteur d'ondes est constitué généralement par un dispositif à arc convenablement réglé⁽¹⁾. Mais il est très difficile d'obtenir des oscillations bien régulières et d'éviter les variations de régime ou de longueur de l'arc, ou les changements de température des électrodes, toutes causes qui se traduisent par des sifflements ou des crachements dans le téléphone du poste récepteur. L'emploi d'alternateurs à haute fréquence conviendrait évidemment beaucoup mieux.

Le dispositif capable de modifier le caractère des ondes émises peut agir soit sur l'amplitude, soit sur la fréquence

⁽¹⁾ L'emploi d'un arc chantant pour la radiotéléphonie a été indiqué en 1902 par M. Blondel.

des courants oscillants de l'antenne, soit sur les deux à la fois. En général, on emploie un appareil microphonique agissant directement ou inductivement sur l'antenne ou sur un circuit oscillant accouplé avec elle. Cet appareil peut aussi faire varier l'intensité du courant d'alimentation, la longueur de l'arc, la capacité ou la self-induction du circuit oscillant, etc. Les variations de fréquence produisent, au poste récepteur, les mêmes effets que les variations d'amplitude des ondes reçues : en effet, l'antenne réceptrice étant accordée sur la fréquence normale du transmetteur, toute modification de celle-ci entraîne un désaccord qui se traduit par une diminution d'amplitude des oscillations engendrées — et par une diminution d'effet sur le détecteur.

Parmi les différents appareils utilisés pour les réceptions radiotélégraphiques, ceux qui conviennent sont les détecteurs d'effet total, tels que les électrolytiques, les thermiques ou thermo-électriques, les détecteurs à vide et les détecteurs à cristaux fonctionnant sans pile auxiliaire.

Il importe de préciser la différence fondamentale existant entre la radiotélégraphie et la radiotéléphonie.

La radiotélégraphie repose sur l'émission et la réception de signaux conventionnels. Le caractère des ondes émises importe peu et n'intervient que pour l'obtention d'une syn-tonie aiguë ; la portée des communications dépend surtout de l'amplitude initiale ou, si l'on veut, de la puissance instantanée des ondes engendrées.

En radiotéléphonie au contraire, les ondes engendrées doivent avoir une pureté et une constance absolues. Leurs modulations doivent suivre celles de la parole, dont les harmoniques ont souvent une amplitude cent fois plus petite que celle de la fréquence fondamentale. Ces harmoniques devant être perçues par le poste récepteur, le même transmet-

teur aura donc une portée infiniment moins grande pour des communications radiotéléphoniques que pour des communications radiotélégraphiques. Autrement dit, on devrait mettre beaucoup plus d'énergie en jeu dans le premier cas que dans le second pour obtenir la même portée minima.

84. — Émetteurs d'ondes.

Dispositif Fessenden. — Ce dispositif est représenté par la figure 311. L'alternateur G à très haute fréquence est fermé

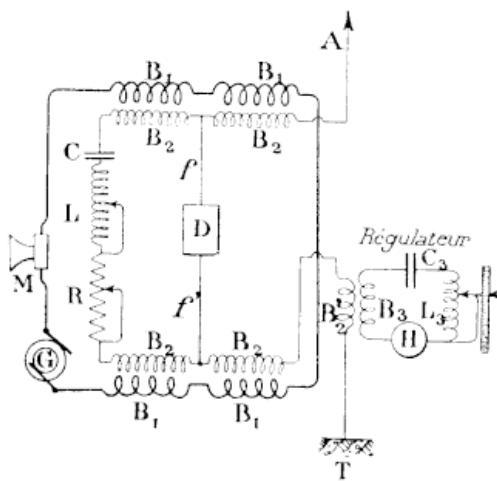


FIG. 311.

sur le circuit des quatre bobines B_1 , qui contient un microphone M : celles-ci agissent inductivement sur les quatre bobines B_2 . L'ensemble CLR (capacité, self-induction et résistance réglable) équilibre l'antenne, comme cela a été expliqué au chapitre XI. Cette disposition permet de transmettre et de recevoir la parole sans aucune modification des connexions: dans la pratique, on ne réalise pas tout à fait l'équilibre absolu, de façon que, au moment de la transmission, le détecteur D se trouve faiblement influencé et que l'opérateur entende ses propres paroles dans le téléphone récepteur.

Dispositif Poulsen. — Le générateur d'oscillations, comprenant un seul arc et un puissant soufflage magnétique, est

le même que celui employé en radiotélégraphie et décrit aux chapitres XI et XVI.

On se sert aussi d'un appareil simplifié, d'une puissance de 5 kilowatts. Les électrodes sont placées verticalement. L'électrode de cuivre porte de grandes ailettes de refroidissement H (fig. 312) assurant une large surface de contact avec l'air : son extrémité inférieure est entourée d'un anneau de fer doux A. L'électrode E' est formée d'un disque épais en charbon placé sur le noyau N d'un électro-aimant à bobine unique B.

Les lignes de force magnétiques émanant du noyau N vont passer par l'anneau A et déterminer une rotation continue de l'arc qui se déplace le long des bords des électrodes : il est donc inutile de faire tourner

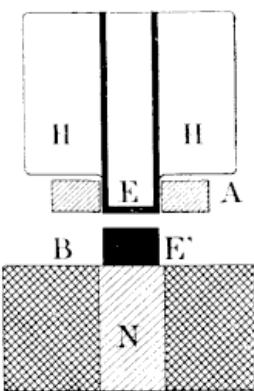


FIG. 312.

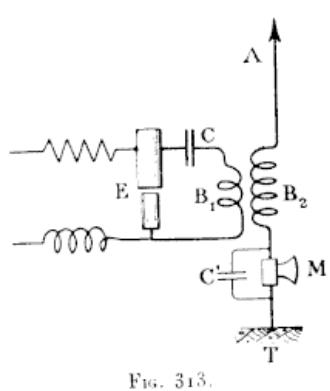


FIG. 313.

le crayon de charbon. Cette disposition ne peut être adoptée que pour les arcs de faible puissance parce que le soufflage magnétique est beaucoup moins énergique qu'avec un champ transversal.

Le montage employé est indiqué par la figure 313. L'antenne contient à sa base un microphone M accompagné du condensateur C' : elle est accouplée inductivement au circuit oscillant.

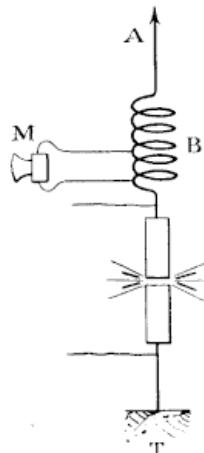


FIG. 314.

On peut aussi placer le microphone en dérivation sur quelques tours de la bobine B (fig. 314) d'après un montage analogue à celui employé en Radiotélégraphie : dans ce

cas, c'est la fréquence des ondes qui varie suivant les modulations de la parole, et non leur amplitude.

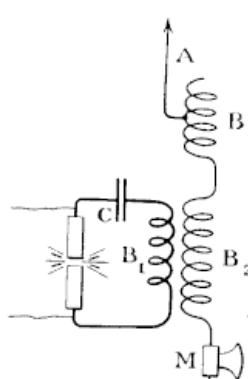


Fig. 315.

Dispositif Vanni. — M. Vanni a utilisé comme générateur un arc Moretti (chapitre xi) jaillissant entre deux électrodes de cuivre dont l'une, percée, amène entre elles un filet d'eau.

Le montage employé dans ses expériences est indiqué schématiquement par la figure 315 : le microphone (décrir au paragraphe suivant) est intercalé au pied de l'antenne excitée inductivement par l'arc.

Dispositif Collins. — L'arc jaillit entre les tranches de deux disques de charbon dur D_1 et D_2 (fig. 316) tournant en sens inverses avec une grande vitesse : deux électro-aimants de soufflage $S_1 S_2$, parcourus par le courant principal, exercent sur lui une action énergique. Il y a, en outre, un soufflage produit par un jet d'air comprimé. L'arc est alimenté par une génératrice à courant continu à 2 500 volts.

En dérivation sur l'arc est branché le circuit oscillant $C_1 BC_2$, auquel l'antenne est accouplée par une portion variable de la bobine B. Le mi-

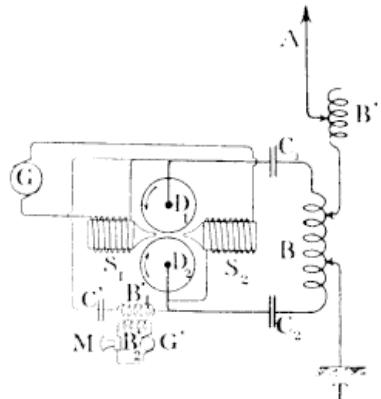


Fig. 316.

crophone M, alimenté par une petite génératrice à courant continu à 25 volts, agit inductivement sur un second circuit oscillant B'C' placé en dérivation sur l'arc.

Dispositif Dubilier. — Un arc de Poulsen jaillit entre deux électrodes placées dans un tube de porcelaine rempli de gaz hydrocarburé. L'une d'elles est en bronze phosphoreux extra dur, l'autre en charbon ou en métal, généralement en argent. Le diamètre de ces électrodes est compris entre 2^{cm},5 et 3^{cm},5.

Le montage employé est indiqué par la figure 317. Le circuit oscillant est accouplé en B₁B₂ à l'antenne : en outre, une dérivation à cheval sur le circuit oscillant et l'antenne contient un relais téléphonique R dont il sera question au prochain paragraphe : cet appareil est actionné par le microphone M.

Dispositif Colin et Jeance. — Ces inventeurs utilisent aussi l'arc de Poulsen, auquel ils ont apporté des perfectionnements. Pour obtenir une fixité suffisante, ils le font jaillir entre une toute petite pointe de charbon (d'un millimètre de diamètre) et une électrode cylindrique en cuivre de grand diamètre refroidie par une circulation intérieure de pétrole (¹). Le tout est placé dans une atmosphère d'hydrocarbures, dont le dosage est tel que la décomposition de ces gaz produise sur la petite électrode un dépôt de charbon équivalent à son usure (²) : grâce à cet artifice, la longueur

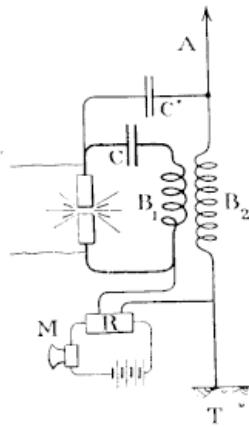


Fig. 317.

(¹) Le pétrole a été préféré à l'eau parce qu'il est isolant.
 (²) MM. Colin et Jeance, pour obtenir commodément une atmosphère d'hydro-

de l'arc reste constante. Un mécanisme régulateur, analogue à celui des lampes à arc, a pour objet de parfaire ce réglage si cela est nécessaire. Il n'y a pas de soufflage magnétique.

Le montage employé est indiqué par la figure 318. Trois arcs en série sont alimentés par une génératrice à courant continu à 500 volts : deux bobines de self-induction LL' et une forte résistance R régularisent le courant d'alimentation : la différence de potentiel aux bornes des trois arcs est d'environ 150 volts en fonctionnement normal. Les électrodes en cuivre E sont refroidies toutes trois par une circulation

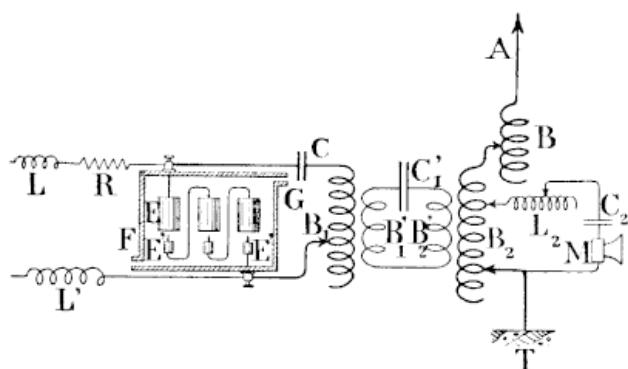


FIG. 318.

de pétrole; les électrodes E' sont formées chacune d'un crayon de charbon de moyen diamètre portant à son extrémité une petite pointe en charbon d'environ 1 millimètre de diamètre : les trois arcs sont enfermés dans un récipient hermétique où circule un courant de gaz convenable qui entre, par exemple, en F pour sortir en G .

Le circuit oscillant CB_1 , branché en dérivation sur l'arc, agit inductivement sur un circuit intermédiaire $B'_1 C'_1 B'_2$ de très faible amortissement. La bobine B_1 est placée à l'in-

carbures de composition convenable, emploient un mélange approprié d'un carbure et d'un hydrure qu'ils soumettent à l'action de l'eau dans un appareil semblable à un générateur d'acétylène.

térieur de la bobine B'_1 et peut basculer autour d'un axe : cette disposition permet de modifier facilement l'accouplement. La capacité du condensateur C'_1 a une valeur relativement élevée. La fréquence propre d'oscillation des circuits est de 500 000 par seconde, correspondant à une longueur d'onde de 600 mètres. La bobine B'_2 agit inductivement sur l'antenne, qui contient la bobine d'accouplement B_2 et la bobine d'accord B . Le rôle du circuit intermédiaire $B'_1 C'_1 B'_2$ est de stabiliser la production des oscillations et de faciliter le réglage de l'accouplement.

L'appareil microphonique est placé dans un circuit oscillant branché en dérivation sur une portion variable de la bobine d'accouplement B_2 : ce circuit contient un condensateur C_2 et une bobine de self-induction L_2 réglables. La fraction du courant oscillant qui passe par le microphone est à peu près le dixième ou le douzième du courant dans l'antenne (environ 0,5 à 0,6 ampère dans le circuit dérivé pour 6 à 8 ampères dans l'antenne).

Dispositif Vreeland. — Un éclateur spécial comprend trois électrodes placées dans le vide : l'une E (fig. 319) est formée par du mercure ; les deux autres $E_1 E_2$ sont en fer, en nickel ou en platine. Les deux électrodes supérieures sont reliées à un condensateur C . L'électrode inférieure est connectée à l'un des pôles d'une génératrice à courant continu G dont l'autre pôle est relié aux armatures du condensateur C , par l'intermédiaire des bobines $L_1 L_2$. Celles-ci exercent sur l'arc un soufflage magnétique puissant.

Le fonctionnement de cet appareil est le suivant : quand l'arc a jailli (par un amorçage auxiliaire

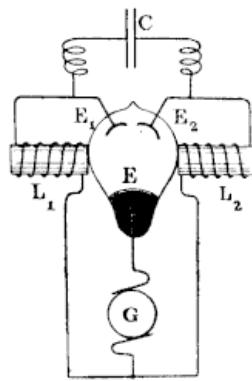


FIG. 319.

convenable, tel qu'une décharge préliminaire) entre les électrodes E_1 et E_2 , par exemple, l'action de la bobine L_1 le souffle et le rejette sur l'électrode E_2 . Quand il jaillit entre E_1 et E_2 , l'action de la bobine L_2 le souffle et le rejette sur l'électrode E_1 , et ainsi de suite. Le condensateur C est soumis à une différence de potentiel alternative qui varie avec une très grande rapidité, et le circuit dans lequel il est intercalé entre en vibration. On peut régler l'appareil pour que la fréquence des interruptions de courant soit égale à la fréquence propre du circuit du condensateur.

85. — *Microphones et relais microphoniques.*

Le microphone est l'appareil le plus important en radiotéléphonie. La portée des communications dépend en effet principalement de l'intensité de courant que peut supporter cet appareil. Malheureusement, malgré de nombreuses recherches, on n'a pas encore réussi à établir un microphone industriel suffisamment puissant.

Plusieurs expérimentateurs (Poulsen, de Forest, Colin et Jeance, etc.) utilisent six, douze ou seize microphones ordinaires à grains de charbon disposés en parallèle sur une même planchette et placés à l'embouchure d'un pavillon commun; cette disposition laisse à désirer parce que, la résistance des contacts en charbon décroissant quand la température augmente, le microphone qui commence à chauffer prend de plus en plus de charge, jusqu'à ce qu'il soit mis hors d'usage. D'autres expérimentateurs ont cherché à refroidir la grenade de charbon par une circulation d'eau. D'autres enfin ont employé des appareils plus ou moins nouveaux que nous allons passer brièvement en revue.

Microphone Fessenden. — L'appareil consiste en une carcasse annulaire contenant de la grenaille de charbon et fermée par deux plaques munies d'électrodes en platine iridié. Ces électrodes sont refroidies toutes deux par une circulation d'eau : l'une d'elles porte en son centre un trou à travers lequel passe une tige fixée à la membrane du microphone. L'autre extrémité de cette tige porte une « bêche » en platine iridié, placée dans la grenaille de charbon. Un tel microphone peut supporter, paraît-il, des courants de 15 ampères.

Pour que le microphone devant lequel on parle puisse être placé (ainsi que le téléphone servant à la réception) à une distance quelconque des appareils et circuits du poste radiotéléphonique, M. Fessenden a établi un relais transmetteur. En principe, ce relais est semblable au microphone précédemment décrit, dont la membrane, au lieu d'être impressionnée directement par les ondes sonores, serait actionnée électromagnétiquement, comme celle d'un récepteur téléphonique ordinaire, par un aimant à enroulement différentiel. Les bobines de cet aimant sont parcourues par des courants variables provenant d'un microphone ordinaire placé n'importe où. D'après l'inventeur, le relais téléphonique ainsi constitué a pour effet d'amplifier quinze fois environ l'intensité des courants microphoniques primitifs.

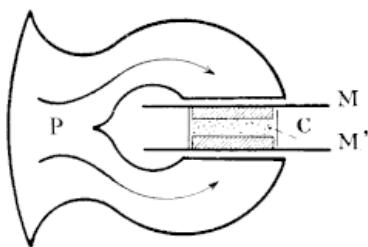


FIG. 320.

Microphone Collins. — Dans cet appareil, les variations de pression de l'air agissent sur deux membranes MM' (fig. 320) à la fois, sur lesquelles sont fixées deux plaques de charbon finement polies : les grains de charbon C sont disposés entre ces deux plaques. Un pavillon P et deux tubes concentrent sur les deux mem-

branes les variations de pression de l'air: ces membranes vibrent ainsi à l'opposé l'une de l'autre. L'appareil peut être refroidi par une circulation d'eau extérieure. Quatre micro-

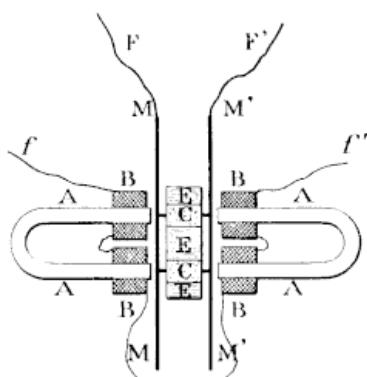


FIG. 321.

phones doubles de ce genre sont généralement montés ensemble sur un seul pavillon.

Relais microphonique Dubilier. — Cet appareil est représenté par la figure 321. Les courants provenant d'un microphone ordinaire traversent les bobines BB placées

sur les pôles des deux aimants AA et mettent en vibration les membranes MM' qui font partie d'un circuit principal FF'. Entre ces membranes est disposée de la grenaille de charbon C contenue dans un récipient annulaire que refroidit, intérieurement et extérieurement, une circulation d'eau E.

Microphone Egner-Holmström. — La membrane vibrante est une feuille d'aluminium tendue comme une peau de tambour: cette membrane agit sur des grains de charbon qui sont placés dans une atmosphère d'hydrogène ou de gaz d'éclairage. Un liquide isolant, tel que l'huile, contenu dans un petit réservoir, assure le refroidissement des grains de charbon.

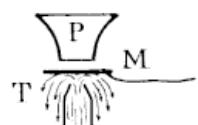


FIG. 322. —

Microphone Chambers. — Un liquide conducteur jaillit de l'ajutage T (fig. 322) et vient frapper la membrane M: quand celle-ci vibre, le volume du liquide varie au point de contact et il en résulte des variations corrélatives de la résistance électrique du

système. On règle le débit du liquide pour que sa température ne dépasse pas 80° sous l'échauffement dû au passage du courant.

Microphone Majorama. — Cet appareil est basé sur le principe suivant: quand une veine liquide tombe verticalement d'un petit trou percé dans un tube T (fig. 323), elle coule d'abord sous forme d'un jet cylindrique suivant une certaine longueur, puis plus bas, en G, elle présente des contractions et des extensions successives jusqu'au moment où elle se désagrège pour former des gouttes. Si le tube T est soumis à des vibrations, les contractions de la veine liquide et sa décomposition en gouttes commencent beaucoup plus près de l'orifice de sortie: des variations de pression du liquide produisent le même effet.

Si les vibrations du tube ou les variations de pression du liquide présentent un certain rythme, correspondant par exemple aux modulations de la voix, l'influence qu'elles exercent sur la formation des gouttes varie suivant ce même rythme. Pour obtenir ce résultat, M. Majorama emploie un tube T (fig. 324) dont une petite portion P, voisine de l'orifice, est relativement mince et élastique: cette portion est reliée à la membrane microphonique M devant laquelle on parle. De l'eau acidulée, amenée au tube sous une pression constante, forme une veine liquide qui tombe à cheval sur deux lames de contact en platine C_1C_2 séparées par un faible intervalle. Le liquide interposé entre les contacts C_1C_2 forme un pont conducteur

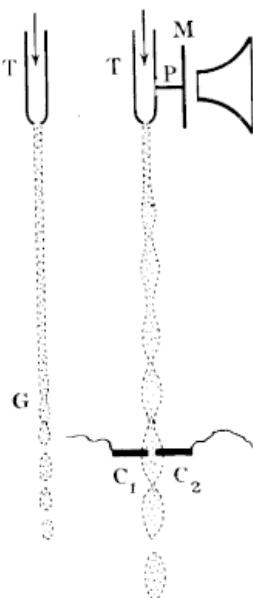


FIG. 323 et 324.

dont la résistance électrique est d'autant plus faible que son épaisseur est plus grande.

L'inventeur a pu obtenir, par un réglage convenable, que les variations de résistance électrique correspondent exactement aux variations de pression de l'air agissant sur la membrane M. Grâce au renouvellement incessant du liquide conducteur, ce microphone peut supporter sans échauffement anormal des intensités de courant élevées (10 ampères sous 50 volts).

Microphone Vanni. — Au lieu de faire vibrer le jet,

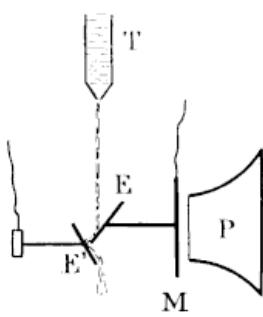


FIG. 325.

M. Vanni fait vibrer l'une des électrodes sur lesquelles il tombe (fig. 325).

Le jet sortant du tube T est entouré d'un tube d'ébonite qui le préserve de l'action de l'air : il tombe sur les électrodes EE' dont la première est reliée par un petit levier amplificateur à la membrane M.

Quand celle-ci vibre, l'électrode E donne de petits chocs au jet, dont l'épaisseur et la résistance électrique varient ainsi corrélativement aux modulations de la voix.

Microphone Ruhmer. — M. Ruhmer a pu établir un microphone très puissant en utilisant différemment les propriétés des jets vibrants. Un ou plusieurs jets de mercure tombent verticalement d'une ou plusieurs tuyères reliées à la membrane téléphonique. Comme cela a été expliqué, la partie cylindrique et homogène de chaque jet diminue de longueur quand ce jet est soumis à des vibrations, et la valeur de cette diminution dépend de l'intensité des vibrations. Si l'on utilise le jet vibrant de mercure comme électrode dans un élé-

ment électrolytique, la longueur active de cette électrode présente des variations correspondant aux modulations de la parole. La seconde électrode étant constituée par un tube en métal ou en charbon concentrique au jet, la résistance intérieure de l'appareil varie comme la longueur du jet. Un tel microphone est très sensible et peut supporter de très fortes intensités sous des tensions élevées.

86. — Réception.

La plupart des dispositifs adoptés en radiotélégraphie pour la réception sont applicables à la radiotéléphonie. Presque tous les postes qui emploient la réception à l'oreille peuvent donc entendre les communications radiotéléphoniques. Toutefois, on doit utiliser de préférence, comme l'a fait remarquer M. Poulsen, des détecteurs à action rapide, tels que les détecteurs à cristaux ; les détecteurs à action lente, tels que les détecteurs thermo-électriques, qui conviennent parfaite-ment pour la radiotélégraphie, doivent donner de moins bons résultats en radiotéléphonie.

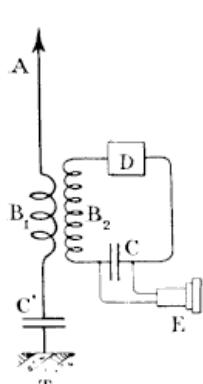


FIG. 326.

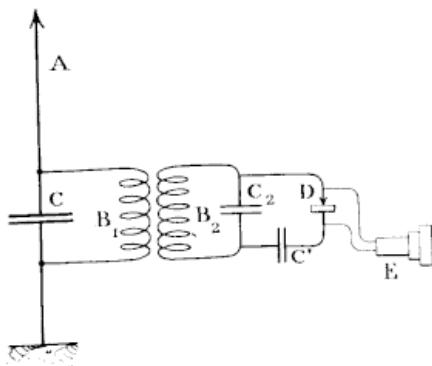


FIG. 327.

Les figures 326 et 327 (*Poulsen*), 328 et 329 (*Majorana*)

montrent les principaux montages employés avec des détecteurs à cristaux.

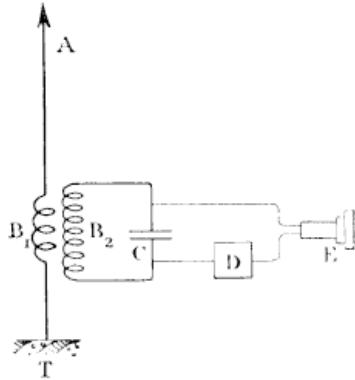


FIG. 328.

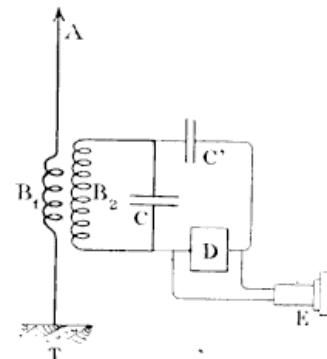


FIG. 329.

La figure 330 (*Telefunken*) montre l'emploi du détecteur électrolytique directement intercalé dans l'antenne.

La figure 331 (*de Forest, Majorama*) représente un schéma de réception avec l'audion.

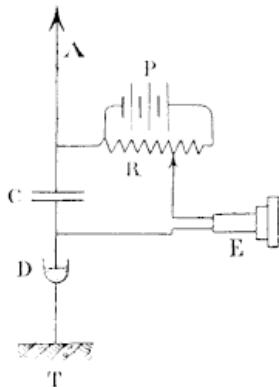


FIG. 330.

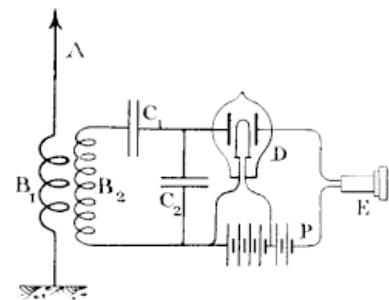


FIG. 331.

La figure 332 (*Collins*) montre l'emploi d'un détecteur thermo-électrique dans lequel les oscillations traversent un fil résistant qui s'échauffe et agit sur un thermo-élément formé de deux fils très fins croisés.

On doit à la vérité de dire que, malgré les remarquables résultats obtenus dans différents essais par les très habiles expérimentateurs dont les noms précèdent, la radiotéléphonie n'a pas encore pu entrer dans le domaine de la pratique. C'est que, précisément, il faut de très habiles expérimentateurs pour réussir à régler ces délicats appareils et en obtenir le maximum d'effet : entre des mains quelconques, même adroites, les résultats sont tout différents. On peut espérer néanmoins que, dans un avenir peu éloigné, des perfectionnements nouveaux permettront l'emploi commercial de la radiotéléphonie. Les services qu'elle rendrait dans la Marine de guerre et dans la Marine marchande seraient sans doute immenses ; elle serait aussi d'une grande utilité dans les postes militaires de campagne. Mais, pour les communications fixes à grande distance, il ne semble pas qu'elle soit appelée à jouer un bien grand rôle.

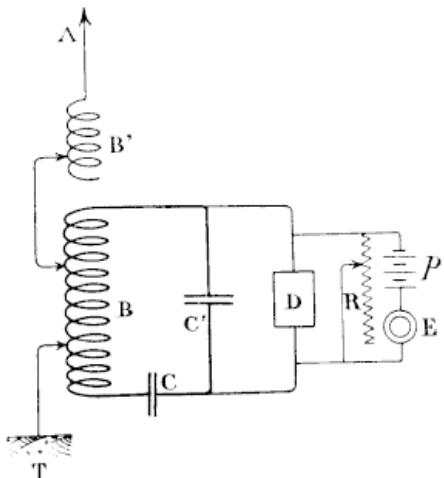


FIG. 332.

APPENDICE I

NOTIONS SOMMAIRES D'ÉLECTROTECHNIQUE

I

PHÉNOMÈNES ÉLECTROSTATIQUES, ÉLECTRODYNAMIQUES ET ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Dans cet Appendice, destiné aux lecteurs qui n'ont aucune connaissance en Electrotechnique, nous allons passer rapidement en revue les principales notions relatives à l'état électrique d'un corps (phénomènes statiques) ou à la génération et aux effets du courant électrique (phénomènes dynamiques et électromagnétiques).

87. — Potentiel.

L'état électrique d'un corps est caractérisé par l'énergie de position ou énergie potentielle que possède ce corps.

Pour comprendre ce dont il s'agit, considérons un corps pesant placé à une certaine hauteur, sur une table par exemple. Si l'on supprime brusquement son point d'appui (la table), le corps tombe et, dans sa chute, il est capable de produire un certain travail dont la valeur dépend de son poids et de sa hauteur de chute. Il possède donc, dans sa position précédente, une certaine *capacité de produire du travail*, qu'on appelle *énergie de position* ou *énergie potentielle*. Cette énergie était égale en valeur au travail que le corps est susceptible de produire dans sa chute, lequel travail est équivalent à celui qu'on avait dû dépenser au préalable pour soulever le corps en luttant contre les forces de la pesanteur, et pour l'amener ainsi sur la table.

Au lieu d'une région de l'espace où s'exercent les forces de la pesanteur et où l'on envisage les propriétés d'un corps pesant, considérons maintenant *d'une part une région de l'espace où s'exercent des forces électriques et d'autre part un corps électrisé*, c'est-à-dire chargé d'électricité⁽¹⁾.

Une région dans laquelle se manifestent des forces électriques est appelée champ électrique. Nous verrons dans la suite comment il peut exister des champs électriques.

Pour amener un corps électrisé depuis un point situé en dehors du champ électrique jusqu'en un point situé dans ce champ, on devra développer un certain travail, puisqu'il faudra lutter contre l'action des forces électriques : réciproquement, le corps, parvenu en ce point, sera capable d'effectuer, sous l'action des forces électriques, un certain travail de même grandeur que le précédent.

En un point du champ électrique, le corps électrisé possède donc une certaine énergie de position, ou énergie potentielle. On dit qu'il a un certain potentiel.

Il est facile de voir, d'après ce qui vient d'être dit, que le potentiel est égal au travail qu'effectueraient les forces du champ électrique pour déplacer le corps depuis le point qu'il occupe dans le champ jusqu'à la limite de ce champ, travail égal en valeur au travail qu'il a fallu développer pour amener le corps depuis la limite du champ jusqu'au point qu'il occupe.

Le potentiel de la terre est pris comme point de comparaison et est supposé nul par définition : le potentiel d'un corps aura donc une valeur positive (+) ou négative (-) suivant qu'il sera supérieur ou inférieur au potentiel de la terre.

Certains appareils ou machines électriques, dont il sera question plus loin, permettent de produire entre deux points une *différence de potentiel* donnée.

88. — Charge électrique.

Prenons un corps bon conducteur⁽²⁾ de l'électricité, une sphère

⁽¹⁾ On apprend, dans la Physique élémentaire, qu'il est possible d'*électriser* un corps par différents procédés. Par exemple, en frottant avec un chiffon de laine bien sec un morceau d'ambre, de résine ou de verre, on communique à ce corps la propriété d'attirer de menus objets, tels que des morceaux de papier, de coton, etc. Cette propriété indique la présence d'une charge électrique.

⁽²⁾ On sait qu'il existe des corps bons conducteurs de l'électricité, brièvement appelés *conducteurs*, et des corps mauvais conducteurs de l'électricité, brièvement appelés *isolants*.

métallique par exemple, et, au moyen d'une machine électrique, portons cette sphère à un certain potentiel A⁽¹⁾.

Nous pourrons constater, par des méthodes dans le détail des- quelles il est inutile d'entrer, que, quand le potentiel a une valeur A, la sphère porte une charge d'électricité Q proportionnelle à A,

$$Q = CA.$$

La constante de proportionnalité C s'appelle la capacité électrique de la sphère ; elle caractérise celle-ci au point de vue de certaines de ses propriétés électrostatiques.

Tous les corps conducteurs isolés ont une certaine capacité électrique, en général très faible. Certains appareils particuliers présentent une capacité relativement grande que l'on utilise pour la production des oscillations électriques : ces appareils, décrits un peu plus loin, sont nommés condensateurs.

89. — Décharge électrique.

Considérons à nouveau la sphère métallique chargée au potentiel A (fig. 333).

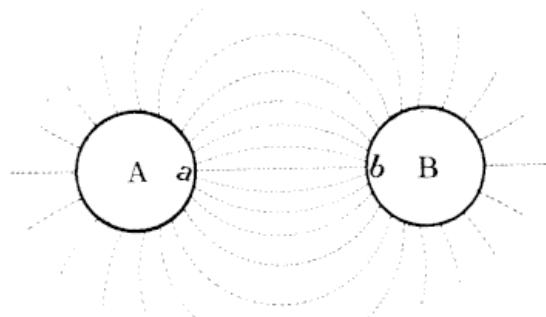


FIG. 333.

Plaçons à une certaine distance une seconde sphère chargée au potentiel B. Il existe entre les deux sphères une *différence de potentiel* ($A - B$) dont la valeur est déterminée d'après les valeurs du potentiel A et du potentiel B. Sous l'effet de cette différence de potentiel ($A - B$), il se manifeste, entre les deux sphères, certaines

⁽¹⁾ La machine électrique permet de produire une certaine différence de potentiel : on pourra donc créer cette différence de potentiel entre la sphère et la terre, et, comme le potentiel de celle-ci est nul par définition, la sphère se trouvera portée à un certain potentiel, dont la valeur sera égale à la valeur de la différence de potentiel produite par la machine.

forces électriques, dont la valeur est proportionnelle à la différence de potentiel ($A - B$) qui les crée.

La région de l'espace dans laquelle s'exercent les forces électriques, dues à la présence des sphères chargées A et B, est appelée champ électrique.

La direction des forces électriques est caractérisée par certaines lignes imaginaires, nommées lignes de force électriques : celles-ci sont présentées en pointillé sur la figure 333.

L'intervalle entre les deux sphères A et B est supposé occupé par de l'air, ou par tout autre isolant gazeux, liquide ou solide. La plus petite épaisseur de ce corps qui sépare les deux sphères est déterminée par la distance ab . Si cette épaisseur ab est suffisante pour résister à l'action des forces électriques, proportionnelles à la différence de potentiel ($A - B$), les deux sphères conservent leurs potentiels respectifs. Si, au contraire, l'épaisseur ab n'est pas suffisante pour résister à l'action des forces électriques, celles-ci occasionnent un percement ou une rupture violente de la couche interposée, et une étincelle jaillit entre les points a et b : cette étincelle produit un certain travail, qui se manifeste par des effets lumineux et calorifiques ; ce travail est fourni au dépens de la charge des deux sphères.

L'ensemble de ce phénomène est appelé décharge électrique.

C'est lui qui donne lieu, lors des orages, à la production d'éclairs jaillissant entre deux nuages chargés à des potentiels inégaux par leur frottement contre les couches supérieures de l'atmosphère.

Après la décharge, on constate que les potentiels des deux sphères se sont égalisés, chacun d'eux prenant une valeur à peu près égale à la moyenne des potentiels A et B. Si, en particulier, les deux sphères étaient chargées à des potentiels égaux en valeur absolue, mais de signes contraires (+ et -), le potentiel de chacune d'elles est à peu près nul après la décharge.

90. — Courant électrique.

Supposons maintenant que la couche isolante comprise entre les deux sphères chargées A et B soit suffisamment épaisse pour résister à l'action des forces électriques : dans ces conditions, la décharge ne peut pas se produire.

Relions les deux sphères l'une à l'autre par un fil bon conducteur. Nous pourrons constater qu'il se produit dans ce fil un certain phénomène dynamique, par lequel les potentiels des deux sphères tendent à s'égaliser comme dans le cas précédent.

Ce phénomène dynamique est appelé courant électrique, car il se présente sous la forme d'un flux d'électricité allant d'une sphère à l'autre. Son passage se manifeste par des effets déterminés, tels que l'échauffement du fil conducteur qui, s'il est assez fin, peut être amené au blanc incandescent et même être fondu.

Le courant électrique qui passe dans le fil reliant les deux sphères, prend fin aussitôt que les potentiels de celles-ci se sont égalisés. Sa durée, toujours très courte, dépend de la résistance qu'oppose à son passage le fil métallique, c'est-à-dire de la **résistance électrique** du conducteur reliant les deux sphères⁽¹⁾: elle dépend aussi de la valeur de la différence de potentiel qui donne naissance au courant. Quand celui-ci a pris fin, aucun phénomène électrique ne se manifeste plus entre les deux sphères A et B, puisqu'il n'existe plus entre elles aucune différence de potentiel.

Pour pouvoir produire, d'une façon permanente, un courant électrique dans un circuit conducteur ininterrompu⁽²⁾, on a inventé des appareils ou des machines électriques capables de maintenir d'une façon permanente, entre deux points de ce circuit, une **différence de potentiel** déterminée. Cette différence de potentiel est due à une certaine force interne, dite **force électromotrice**, qu'engendre l'appareil ou la machine électrique au détriment d'une source d'énergie quelconque (énergique chimique, ou mécanique, ou calorifique). Tant que dure la force électromotrice, la différence de potentiel entre les deux points du circuit entre lesquels est intercalée la machine électrique donne naissance, dans ce circuit, à un courant électrique permanent.

L'intensité du courant est proportionnelle à la différence de potentiel

⁽¹⁾ La résistance électrique d'un conducteur dépend de sa nature, de sa longueur et de sa grosseur. Les différents métaux sont plus ou moins bons conducteurs : on dit qu'ils ont une certaine *conductibilité électrique*. Le cuivre ayant une conductibilité électrique beaucoup plus élevée que tous les autres métaux usuels, c'est lui que l'on emploie généralement dans l'établissement des appareils et des circuits électriques. On se sert parfois aussi d'aluminium à cause de sa légèreté.

La résistance électrique est proportionnelle à la longueur du conducteur et inversement proportionnelle à sa section et à sa conductibilité électrique.

Elle est analogue à la résistance qu'oppose un tuyau à la circulation d'un liquide.

⁽²⁾ Comportant, par exemple, des lampes électriques, des moteurs électriques, etc., reliés entre eux par des fils métalliques : un tel ensemble est appelé brièvement *circuit électrique*.

qui lui donne naissance et inversement proportionnelle à la résistance électrique du circuit (¹).

L'unité d'intensité de courant est appelée un ampère.

L'unité de différence de potentiel est appelée un volt (²).

Les appareils servant à la mesure du courant sont appelés des *ampèremètres*; les appareils servant à la mesure de la différence de potentiel sont appelés des *voltmètres*.

Parmi les différents types d'ampèremètres, il en est un dont on

fait très souvent usage en radio-télégraphie : c'est l'*ampèremètre thermique*. Dans cet appareil, on utilise, pour la mesure de l'intensité du courant, la dilatation d'un fil fin, due à l'échauffement que produit dans ce fil le passage du courant à mesurer.

La figure 334 indique schématiquement l'un des montages que l'on peut réaliser à cet effet. Le fil fin *f* est tenu entre deux bornes BB'. En son milieu est

fixé un fil de soie *s* qui passe sur une petite poulie P et est tiré par un ressort R. Quand le fil *f* se dilate, il prend, par exemple, sous

(¹) On a fréquemment besoin, pour régler l'intensité du courant, d'augmenter ou de diminuer la résistance que présente un circuit électrique. Pour cela, on intercale dans ce circuit une plus ou moins grande longueur de fils d'un métal médiocrement conducteur, tels que le maillechort, le ferro-nickel, etc.

Certains appareils, nommés *rhéostats*, permettent de graduer la longueur du fil résistant mis en circuit. Ils comprennent un grand nombre de boudins ou de bobines de fil reliés à des touches sur lesquelles vient frotter un contact mobile.

Dans le langage courant, on appelle brièvement *Résistance* un groupe plus ou moins important de fils résistants. On dit simplement qu'on intercale une résistance dans un circuit ou qu'on met une résistance en circuit. Inversement, on dit qu'on met une résistance hors circuit ou qu'on *court-circuite* une résistance, pour exprimer qu'on retire des fils résistants de ce circuit ou qu'on annule leur effet en les doublant par un fil non résistant.

(²) L'énergie électrique (produite par une machine, ou dissipée dans un circuit) est donnée par le produit de l'intensité de courant par la différence de potentiel.

L'unité de puissance (un volt \times un ampère) est appelé un *watt*. On emploie plus fréquemment comme unité un des multiples du watt, tel que l'*hectowatt* (100 watts), ou le *kilowatt* (1 000 watts).

l'effet de la traction du fil *s*, la position figurée en pointillé. La poulie *P* tourne alors d'un certain angle rendu visible par le déplacement de l'aiguille *A*, fixée sur elle, et disposée devant un cadran *C*. Le ressort *R* est généralement un ressort à lame, plus commode et moins encombrant.

D'après les théories actuelles, il est probable que le courant électrique dans un conducteur est dû à un déplacement ou transport de petites charges d'électricité, nommées *électrons*. Les atomes⁽¹⁾ des corps bons conducteurs de l'électricité auraient la propriété de pouvoir échanger de proche en proche leurs électrons, d'où résulterait le phénomène de propagation que l'on appelle courant électrique. Dans les corps mauvais conducteurs, au contraire, les phénomènes seraient différents, comme nous allons le voir.

91. — Condensateurs.

Prenons deux plaques métalliques isolées et plaçons-les à faible distance l'une de l'autre, puis, en les reliant à une machine électrique, établissons entre elles une certaine différence de potentiel.

Nous pouvons constater que le système formé par les deux plaques métalliques et la lame d'air interposée prend une certaine charge électrique⁽²⁾. Nous aurons réalisé ainsi un *condensateur*. La capacité de cet appareil dépendra de l'écartement des plaques et sera d'autant plus grande que celles-ci seront plus rapprochées.

Si maintenant, au lieu d'une lame d'air, nous intercalons entre les deux plaques une lame d'un autre corps isolant, tel que du verre par exemple, nous pourrons constater que la capacité de l'appareil aura augmenté d'une façon importante, pour le même écartement de plaques : ainsi, avec le verre, la capacité sera devenue six à sept fois plus grande.

La charge électrique d'un condensateur serait due à une déformation élastique de l'éther⁽³⁾ dont est imprégnée la lame isolante : cette déformation, produite par les forces électriques en jeu, serait

(1) Les atomes sont les parties constitutives d'un corps simple et sont liés entre eux par des forces chimiques : chacun d'eux porte une charge électrique bien déterminée.

(2) On pourra mettre cette charge en évidence en supprimant la liaison des plaques avec la machine électrique et en connectant celles-ci à un appareil de mesure.

(3) § 88.

plus ou moins importante suivant la nature de l'isolant au sein duquel l'éther se trouve.

Les corps isolants, solides, liquides ou gazeux peuvent seuls présenter de telles déformations élastiques de l'éther qui fait partie de leur structure intime : ces corps sont appelés diélectriques.

Comme nous venons de le voir, la lame isolante ne sert pas seulement à séparer les plaques, mais joue elle-même un rôle prépondérant. On caractérise à ce point de vue un corps par sa **constante diélectrique**, dont la valeur est donnée par la capacité du condensateur formé avec ce diélectrique, par rapport à la capacité du même condensateur formé avec de l'air.

En d'autres termes, la valeur de la constante diélectrique d'un corps indique l'accroissement de capacité que permet d'obtenir l'emploi de ce corps par rapport à l'air.

Nous avons vu que l'introduction d'une lame de verre entre deux plaques séparées au préalable par de l'air a pour effet d'augmenter six à sept fois la capacité : cela signifie que la constante diélectrique du verre est six à sept fois plus grande que celle de l'air. Cette dernière étant prise pour unité, la constante diélectrique du verre sera exprimée par le chiffre 6 ou 7.

Si l'on pénètre plus avant dans l'étude des phénomènes qui se produisent au sein des diélectriques, on est conduit à formuler certaines hypothèses dont la plus utile est celle des *courants de déplacement* de Maxwell.

Soient les deux plaques métalliques parallèles P et P' (figure 335) chargées à des potentiels égaux et de signe contraire (+ et —).

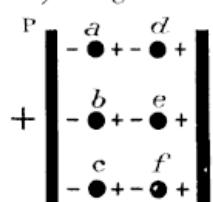


Fig. 335.

Admettons que le diélectrique, interposé entre ces deux plaques, soit formé d'une agglomération de particules chargées d'électricité, et considérons quelques-unes de celles-ci a, b, c, d, e, f.

D'après une des lois élémentaires de la physique, toute charge d'électricité positive attire les charges d'électricité négative et repousse des charges d'électricité positive et réciproquement. Les particules, situées dans le voisinage de la plaque, vont donc être chargées d'électricité négative vers la gauche et positive vers la droite : ce phénomène d'orientation des charges est nommé *polarisation*. A son tour, la couche de particules ainsi polarisées va agir sur la couche voisine et ainsi de suite, le phénomène de polarisation se manifestant dans tout le milieu interposé entre les plaques.

Il en résulte, au sein du diélectrique, une sorte de déplacement de l'électricité positive vers la plaque négative, et de l'électricité négative vers la plaque positive : *c'est ce phénomène que Maxwell a nommé courant de déplacement.*

Pendant la charge du condensateur, le courant de déplacement a un sens déterminé (le même sens que le courant de charge dans le circuit extérieur) : pendant la décharge, le courant de déplacement est inversé (comme le courant dans le circuit extérieur) : le courant de déplacement complète donc, à l'intérieur du condensateur, le courant extérieur de charge ou de décharge.

Si les diélectriques étaient parfaits, il ne se produirait aucune perte d'énergie au cours des phénomènes alternatifs de charge et de décharge qui, au point de vue du résultat final, sont analogues à la compression et à la détente d'un système de ressorts élastiques. Mais, par suite de l'imperfection plus ou moins marquée de la plupart des diélectriques usuels, il se produit un certain retard dans l'orientation des charges particulières⁽¹⁾, d'où résultent des *pertes d'énergie* qui se traduisent par un échauffement du condensateur. Ces pertes sont plus ou moins importantes suivant la nature du diélectrique.

En général, les condensateurs employés en radiotélégraphie dérivent de la *Bouteille de Leyde*, formée d'un vase ou tube en verre dont les surfaces intérieure et extérieure sont revêtues chacune d'une feuille métallique, nommée armature : chaque armature remplace l'une des plaques métalliques de tout à l'heure, et le verre de la bouteille ou du tube forme le diélectrique.

On emploie aussi des condensateurs composés de plusieurs lames plates en verre, revêtues d'une armature métallique sur chaque face et immergées dans un liquide isolant tel que le pétrole.

Pour obtenir une capacité plus ou moins grande, on accouple entre eux un nombre plus ou moins considérable de condensateurs.

Dans la pratique on se sert souvent de *condensateurs réglables*, dont on peut faire varier facilement et commodément la capacité d'une manière progressive. En général, ces appareils comprennent une série de plaques ou armatures fixes et une série de plaques mobiles : un dispositif quelconque à pivotement ou glissement permet de modifier la surface de recouvrement des plaques mobiles

(1) Ce retard est souvent nommé *hystérésis diélectrique*. Le mot hystérésis (qui est employé à propos des phénomènes magnétiques) provient de mots grecs qui signifient « rester en arrière ».

par rapport aux plaques fixes, et de faire varier ainsi la capacité de l'ensemble.

Il ne faut pas perdre de vue que *tout système de deux conducteurs séparés par un diélectrique constitue un condensateur*. Un seul conducteur, chargé d'électricité et placé à quelque distance de la terre forme avec celle-ci un condensateur ayant pour diélectrique la couche d'air interposée : tout fil aérien ou réseau de fils présente donc une certaine capacité.

92. — Champ magnétique.

La propriété caractéristique des aimants est bien connue : ils attirent le fer.

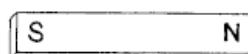


FIG. 336.

Si l'on place une feuille de papier au-dessus d'un barreau aimanté (fig. 336) et si l'on saupoudre celle-ci avec de la limaille de fer, on voit les grains de

limaille s'agglomérer suivant certaines lignes en formant des chaînettes (fig. 337).

Ces lignes sont dites **lignes de force magnétiques** : leur ensemble constitue un **flux magnétique** qui semble sortir de l'aimant par le pôle Nord pour y rentrer par le pôle Sud, les lignes de force s'étalant en éventail aux deux extrémités du barreau et se resserrant à l'intérieur de celui-ci, où elles semblent aller du pôle Sud au pôle Nord.

Toute région de l'espace dans laquelle il existe des lignes de force magnétiques est appelée **champ magnétique**.

Le champ magnétique est caractérisé par sa direction, d'une part, et par son intensité, d'autre part, cette intensité dépendant de la grandeur des forces magnétiques.

Si l'on considère un fil conducteur parcouru par un courant électrique, et si l'on place perpendiculairement à ce fil une feuille de papier qu'il traverse, on constate, en saupoudrant cette feuille de limaille de fer, que les grains s'agglomèrent encore suivant certaines lignes circulaires indiquant l'existence de lignes de force

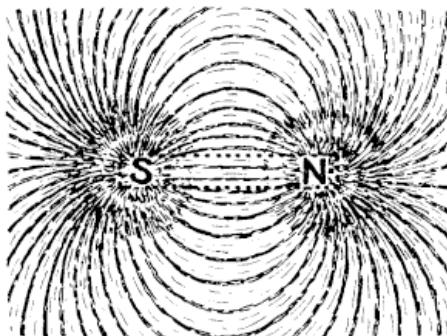


FIG. 337.

magnétiques. Le sens de ces lignes de force est facile à trouver de la façon suivante : si l'on suppose un observateur placé le long du fil (fig. 338) de telle façon que le courant lui entre par les pieds et lui sorte par la tête, les lignes de force se dirigent de la droite vers la gauche de l'observateur.

Ainsi donc, tout conducteur parcouru par un courant électrique est environné par un champ magnétique⁽¹⁾.

On démontre théoriquement et l'on vérifie expérimentalement que toute variation d'intensité d'un champ magnétique détermine, dans un conducteur qui coupe ce champ, l'apparition d'une force électromotrice. La valeur de cette force électromotrice est proportionnelle à la vitesse de variation du champ magnétique. Il se produit ainsi, entre les extrémités du conducteur, une certaine différence de potentiel qui peut engendrer un courant électrique dans un circuit relié à ses extrémités.

Revenons au fil rectiligne parcouru par un courant (fig. 338). Ployons ce fil en forme de boucle et considérons les lignes de force magnétiques circulaires qui entourent chacun des points du conducteur : pour simplifier, fixons notre attention sur les deux points d'intersection de la boucle et d'une feuille de papier (fig. 339). Le sens de

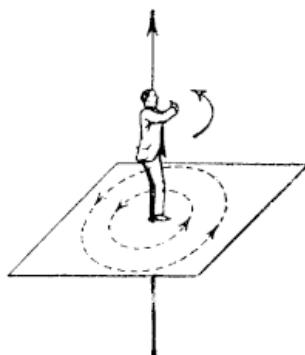


FIG. 338.

ces lignes de force, déterminé comme précédemment, est indiqué par les flèches : toutes les lignes de force de même sens s'ajoutant les unes aux autres, la boucle de fil est traversée par un flux magnétique dont la direction est indiquée par les flèches centrales (fig. 339).

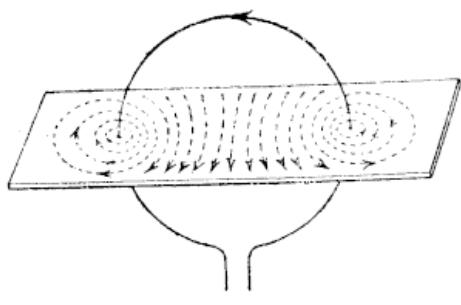


FIG. 339.

La boucle de fil parcourue par un courant est donc équivalente à un

(1) Tout courant électrique donne naissance à un champ magnétique. Cela est vrai non seulement pour les courants qui circulent dans les conducteurs (courants de conduction) mais aussi pour les courants hypothétiques qui se produisent dans les diélectriques (courants de déplacement).

aimant plat ayant son pôle nord sur une face (celle qui se trouve du côté du lecteur), et son pôle sud sur l'autre face (du côté opposé au lecteur). Le pôle nord se trouve à la gauche de l'observateur couché sur le fil comme précédemment et regardant le centre de la boucle : on dit plus simplement qu'il est à la gauche du courant circulaire.

Le flux magnétique produit par une boucle de fil est proportionnel à l'intensité du courant qui passe dans ce fil.

Si, au lieu d'une boucle, on forme avec du fil conducteur 10, 100,

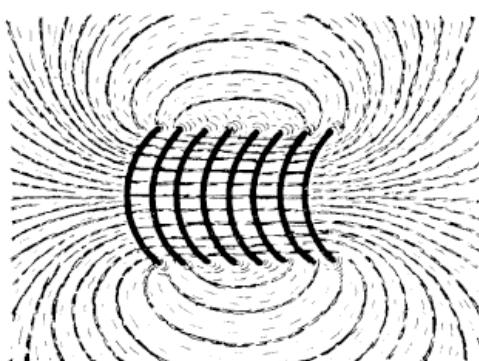


FIG. 340.

1 000 boucles de même diamètre juxtaposées en une bobine et parcourues dans le même sens par le même courant, le flux produit par chaque boucle s'ajoutant aux flux produits par les boucles voisines, la bobine donnera un flux total 10, 100, 1 000 fois plus grand que le flux

d'une seule boucle parcourue par un courant de même intensité : on réalise ainsi un *solenoïde*. La figure 340 montre les lignes de force magnétiques produites par un tel solenoïde et décelées comme précédemment au moyen de limaille de fer.

En placant à l'intérieur de ce solenoïde un noyau de fer, dont la présence augmente la conductibilité magnétique⁽¹⁾ du chemin suivi par les lignes de force, on obtient un *électro-aimant*. D'après ce

(1) La conductibilité magnétique s'appelle *perméabilité* : la perméabilité de l'air, des isolants et de tous les métaux non magnétiques (c'est-à-dire en pratique tous les métaux autres que le fer, le nickel et leurs alliages), est égale à l'unité. La perméabilité du fer est d'autant plus grande que ce métal est plus pur : elle peut atteindre 2 500 fois celle de l'air. Le fer très pur, exclusivement employé dans la fabrication des machines électriques, est appelé *fer doux*.

La résistance opposée au passage des lignes de force magnétiques est appelée *résistivité*.

L'introduction d'un noyau de fer à l'intérieur d'un solenoïde a pour effet d'augmenter le flux magnétique produit par ce solenoïde, parce que la résistivité est diminuée.

qui précède, il est évident que la puissance d'un électro-aimant augmente avec le nombre de tours de fil et avec l'intensité du courant.

La figure 341 représente un électro-aimant : le pôle nord se trouve à la gauche des courants circulaires et le pôle sud à leur droite. La répartition du champ magnétique existant au voisinage d'un électro-aimant est identique à celle du champ magnétique qui existe au voisinage d'un aimant.

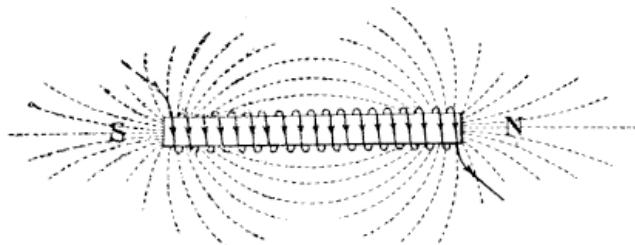


FIG. 341.

Si la bobine de l'électro-aimant est parcourue par un courant variable, le noyau de fer présente également une aimantation variable. Si le fer était absolument pur, les variations d'aimantation se produiraient exactement aux mêmes instants que les variations de courant : il n'y aurait aucune perte d'énergie. Mais comme le fer contient plus ou moins d'impuretés, *il y a toujours un retard à l'aimantation ou la désaimantation*.

Ce phénomène, plus ou moins marqué suivant la qualité du fer, est nommé **hystéresis** et occasionne des *pertes d'énergie* qui se traduisent par un échauffement du noyau.

Dans la construction des machines électriques, on emploie du fer aussi pur que possible pour réduire au minimum les pertes par hystéresis.

On sait que les pôles de même nom de deux aimants s'attirent et que les pôles de nom contraire se repoussent. Puisqu'une boucle de fil parcourue par un courant équivaut à un aimant, il se produira des attractions ou des répulsions analogues entre elles et un barreau aimanté, de même qu'entre deux boucles différentes ou entre deux conducteurs parcourus par des courants électriques. Par exemple, la boucle de fil de la figure 342, parcourue par un courant dans le sens de la flèche, sera repoussée par

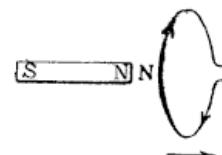


FIG. 342.

le pôle nord N de l'aimant voisin, puisqu'elle présente un pôle nord N sur la face tournée vers cet aimant. Si le courant dans la boucle était de sens inverse, la boucle aurait un pôle sud sur sa face tournée vers l'aimant, et elle serait attirée par lui.

93. — *Induction électromagnétique.*

Considérons un aimant ou un électro-aimant dont le flux magnétique s'épanouit dans l'espace comme cela a été dit. Prenons une

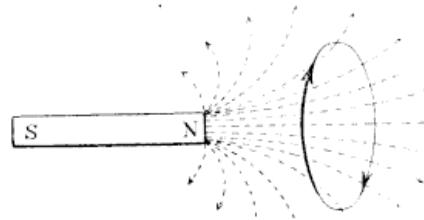


Fig. 343.

boucle de fil métallique fermée sur elle-même et plaçons-la à une certaine distance de l'aimant perpendiculairement aux lignes de force magnétiques qui en émanent (fig. 343), puis approchons-la peu à peu de l'aimant. Le flux magnétique qui traverse la boucle de fil

varie pendant ce mouvement, puisque le nombre de lignes de force embrassées par la boucle va en augmentant.

Cette variation de flux donne naissance à une force électromotrice induite, qui engendre, dans cette boucle fermée, un courant induit.

Si l'on cesse de déplacer la boucle, la force électromotrice induite et le courant s'annulent, puisqu'il n'y a plus de variation de flux.

Si l'on éloigne la boucle de l'aimant, la variation de flux (diminution) que produit ce mouvement donne naissance à une force électromotrice induite, inverse de la précédente (c'est-à-dire que le sens de la différence de potentiel engendrée et, par suite, du courant est inversé).

Le sens du courant induit est tel que l'effet de ce courant tende toujours à s'opposer au mouvement qui lui donne naissance.

Par exemple, quand on approche la boucle de l'aimant, le courant induit a le sens marqué par la flèche, de façon que la boucle présente sur sa face tournée du côté de l'aimant un pôle nord, dont l'action sur le pôle nord de l'aimant tende à empêcher le mouvement. Inversement, si l'on éloigne la boucle, le courant induit est de sens contraire, pour que la boucle présente un pôle sud sur sa face tournée du côté de l'aimant, et que l'action de celui-ci sur le pôle nord de l'aimant tende à s'opposer au mouvement d'éloignement.

Si, au lieu de considérer une ou plusieurs boucles de fil embrassant une plus ou moins grande partie du flux magnétique d'un aimant, nous considérons un conducteur rectiligne qui se déplace à travers un champ magnétique, le résultat est le même, ce conducteur pouvant toujours être considéré comme la portion d'une circonference de rayon infiniment grand.

On appelle induction le phénomène par lequel une force électromotrice est induite dans un conducteur par une variation du flux magnétique.

Au lieu d'être produit par un aimant, le flux magnétique peut être produit par un électro-aimant, par un solénoïde, par une boucle de fil, ou même par un simple conducteur parcouru par un courant, en un mot, par un *circuit électrique quelconque* : le résultat est toujours le même.

94. — *Induction mutuelle et self-induction.*

L'induction qui s'exerce entre deux circuits distincts est appelée induction mutuelle.

Le circuit qui agit sur l'autre est dit circuit inducteur, ou primaire ; celui dans lequel apparaît une force électromotrice induite est dit circuit induit ou secondaire.

La variation de flux magnétique peut provenir, soit d'un déplacement de l'un des deux circuits par rapport à l'autre, soit d'une variation du courant dans le circuit inducteur, les deux circuits étant immobiles. Le premier mode de variation est utilisé dans les *machines génératrices électro-mécaniques*, et le second dans les *transformateurs*.

Étant donné un circuit parcouru par un courant variable d'intensité maxima déterminée, la valeur de la force électromotrice induite dans un autre circuit dépend de la valeur de l'induction mutuelle entre ces deux circuits. Celle-ci est caractérisée par un certain coefficient, généralement désigné par la lettre m , qu'on appelle **coefficient d'induction mutuelle**. Ce coefficient est égal à la valeur maxima du flux magnétique embrassé par l'un des circuits quand l'autre circuit est parcouru par un courant variable d'intensité maxima égale à l'unité.

Il existe un autre phénomène d'induction extrêmement important que nous allons étudier : c'est *l'induction d'un conducteur sur lui-même, nommée self-induction (auto-induction ou induction propre)*.

Tout courant électrique engendre, comme nous l'avons vu, un

champ magnétique. Un fil métallique traversé par un courant est environné d'un tel champ ; si le courant cesse, le champ magnétique disparaît ; il y a donc une *variation de champ magnétique au moment de la cessation du courant*.

Nous savons que toute variation de champ magnétique engendre dans un conducteur une force électromotrice induite dont le sens est tel qu'elle tende à s'opposer à la cause qui l'a fait naître. Donc, au moment où le courant va cesser, *le fil sera le siège d'une force électromotrice induite, dite force électromotrice de self-induction, dont la valeur sera d'autant plus grande que l'intensité du champ magnétique était plus grande et que sa variation est plus rapide*, c'est-à-dire d'autant plus grande que l'intensité du courant primitif était plus grande et que ce courant est plus vite rompu. Cette force électromotrice produit dans le circuit un courant de même sens que le courant précédent, puisque son sens est tel qu'elle s'oppose à la cause qui l'a fait naître, c'est-à-dire à la cessation du courant.

Inversement, si l'on fait agir sur un conducteur une certaine différence de potentiel u , le courant qui tend à s'établir engendre un champ magnétique autour du conducteur. Il y a donc une variation du champ magnétique, qui était nul et qui va atteindre une certaine valeur. Cette variation de champ magnétique induit dans le conducteur une certaine force électromotrice e , dont le sens est tel qu'elle s'oppose à la cause qui lui donne naissance, c'est-à-dire à l'établissement du courant.

Dans ces conditions, la différence de potentiel disponible pour faire circuler le courant dans le conducteur est égale à $(u - e)$, différence entre la différence de potentiel agissante et la force électromotrice *antagoniste* de self-induction : le courant ne peut atteindre que peu à peu sa valeur normale.

La valeur de la force électromotrice de self-induction induite dans un conducteur parcouru par un courant variable d'intensité maxima donnée dépend de la valeur de la self-induction. Celle-ci est caractérisée par un certain coefficient, généralement désigné par la lettre l et appelé **coefficient de self-induction**. *Ce coefficient est égal à la valeur maxima du flux magnétique engendré quand le conducteur est parcouru par un courant variable d'intensité maxima égale à l'unité.*

En pratique, la self-induction d'un conducteur simple est très faible parce que le champ magnétique qui l'entoure est relativement peu important.

Mais si l'on enroule ce conducteur sous forme d'une bobine com-

tenant un certain nombre de tours, chaque tour embrasse la totalité du flux magnétique engendré par la bobine, c'est-à-dire la somme des lignes de force magnétiques produites par tous les tours. La self-induction de la bobine est donc considérable, puisque, d'une part, elle est proportionnelle au nombre de tours, et que, d'autre part, la self-induction de chaque tour augmente proportionnellement au nombre de tours de la bobine. On voit, d'après cela, que la self-induction totale doit croître comme le carré du nombre de tours.

Si l'on introduit un noyau de fer dans une bobine, sa self-induction sera énormément accrue, puisque le flux magnétique augmente, comme cela a été vu précédemment, par suite de la diminution de la réductance⁽¹⁾.

Il importe de bien comprendre et de bien retenir les phénomènes d'induction mutuelle et de self-induction qui, dans la production des oscillations électriques et, en particulier, en radiotélégraphie, jouent un rôle absolument capital.

(1) Il en résulte qu'en enfonçant plus ou moins un noyau de fer dans la bobine, on fera varier plus ou moins la self-induction de celle-ci : ce mode de réglage est fréquemment adopté en pratique.

II

PRODUCTION ET TRANSFORMATION DU COURANT
ÉLECTRIQUE

Les appareils qui permettent de produire, entre deux points, une différence de potentiel permanente, s'appellent des machines électriques, ou des **générateurs électriques** : ils utilisent pour cela des réactions chimiques, thermiques ou mécaniques. Il faut bien se pénétrer de l'idée que *ces générateurs n'engendrent pas de l'énergie électrique : ils transforment une des formes de l'énergie en une autre forme de l'énergie.*

95. — Générateurs électriques.

Les *appareils électrochimiques* (piles et accumulateurs) transforment en énergie électrique l'énergie chimique que possèdent certains sels en présence de certains métaux : les sels sont décomposés et les métaux sont dissous pendant cette transformation.

Dans les *piles*, les produits de décomposition sont jetés après épuisement de l'appareil.

Dans les *accumulateurs*, ces produits sont décomposés en sens inverse et ramenés à leur état initial par le passage d'un courant électrique, dit courant de charge, traversant l'appareil en sens inverse du courant de décharge. Après la charge, l'accumulateur est donc capable de fournir à nouveau le même service.

Les *appareils thermo-électriques* transforment de l'énergie calorifique en énergie électrique, en utilisant certains phénomènes, dits thermo-électriques, qui se manifestent au contact de deux métaux différents lorsqu'il existe, entre les soudures voisines de ces métaux, une différence de température sensible.

Les *appareils électromécaniques* transforment de l'énergie mécanique en énergie électrique, en utilisant des réactions électromagnétiques que nous allons étudier : les générateurs électriques de ce type sont les seuls employés dans l'industrie.

Tous ces générateurs, électrochimiques, thermo-électriques ou

électromécaniques, transformant de l'énergie d'une forme donnée en énergie d'une autre forme (énergie électrique), présentent forcément des pertes. Leur *rendement*, c'est-à-dire le rapport de l'énergie électrique recueillie à l'énergie d'une autre forme fournie au générateur, est donc toujours inférieur à l'unité : il se rapproche beaucoup de l'unité dans les appareils électromécaniques ; il a une valeur médiocre dans les appareils electrochimiques ; et il est tout à fait mauvais dans les générateurs thermo-électriques, qui ne sont susceptibles d'aucun emploi pratique.

Un générateur électrique est caractérisé par la force électromotrice qu'il produit et par l'intensité de courant qu'il peut débiter dans un circuit sous l'action de la différence de potentiel créée par la force électromotrice. On confond souvent (à tort) dans le langage vulgaire, les mots *force électromotrice* et *différence de potentiel* : on emploie généralement, en pratique, le mot *tension* pour désigner l'une ou l'autre d'entre elles.

96. — Machines à courant alternatif.

D'après ce qui précède, il est facile de comprendre le principe sur lequel reposent les générateurs qui transforment de l'énergie mécanique en énergie électrique.

Considérons un champ magnétique uniforme figuré par des flèches (fig. 344), et une boucle de fil placée dans ce champ et susceptible de tourner autour de son diamètre vertical.

Le champ magnétique est supposé invariable et conserve une valeur constante : il est produit par un système quelconque d'aimants ou d'électro-aimants.

On voit que le flux magnétique embrassé par la boucle varie pendant sa rotation : il est maximum quand le plan de la boucle est perpendiculaire aux lignes de force, et il est nul quand le plan de la boucle est parallèle aux lignes de force. Si la boucle fait un tour complet en partant de la position perpendiculaire aux lignes de force, le flux magnétique embrassé par elle s'annule, change de sens relatif (puisque il ne pénètre plus par la même face de la boucle), croît en valeur jusqu'à ce que la boucle soit redevenue perpendiculaire aux lignes de force, décroît ensuite, s'annule à nouveau,

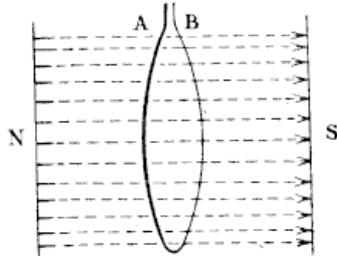


Fig. 344.

change de sens relatif (il pénètre alors par la face primitive) et augmente jusqu'à sa valeur maxima.

Le taux de variation du flux n'est pas constant pendant la rotation : on voit sur la figure 345, représentant en plan une vue de la boucle et des lignes de force magnétiques, que, pour un même angle de rotation, le nombre de lignes de force embrassées varie d'autant plus vite que la boucle se rapproche plus de la position $C'D'$ perpendiculaire à la position initiale CD . Dans ces conditions, pendant un tour de la boucle partant de la position CD ,

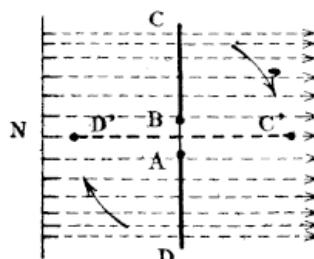


FIG. 345.

la force électromotrice induite va d'abord en croissant, atteint un maximum (qui correspond à la position $C'D'$, c'est-à-dire à un quart de tour), décroît, s'annule (au bout d'un demi-tour), change de sens, croît en valeur jusqu'à un maximum M' (au bout de trois quarts de tours), puis décroît et s'annule.

Si l'on porte sur une droite horizontale les valeurs de l'angle de rotation de la boucle, ou, ce qui revient au même, les valeurs du temps écoulé depuis l'origine du mouvement, et si l'on trace, aux points correspondant aux différentes valeurs du temps, des

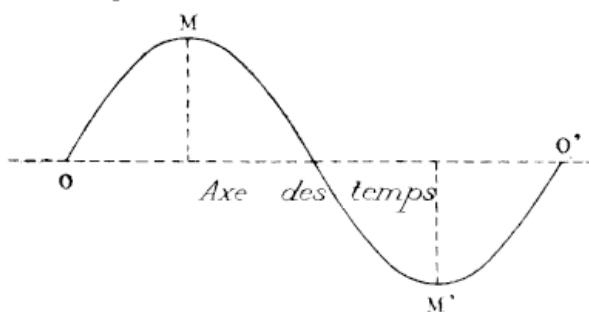


FIG. 346.

verticales proportionnelles aux différentes valeurs qu'a la force électromotrice induite à ces instants successifs, on obtient une *courbe représentative*, telle que celle de la figure 346.

Une telle force électromotrice est dite alternative, parce qu'elle change de sens tous les demi-tours : elle est caractérisée par la forme de sa courbe représentative, et par la valeur maxima qu'elle atteint.

Réunissons, par l'intermédiaire de bagues métalliques A et B et

de frotteurs fixes *a* et *b*, les deux extrémités de la boucle *S* à un circuit fermé, ainsi que l'indique schématiquement la figure 347 sur laquelle le circuit est représenté par deux conducteurs *CC* aboutissant à une résistance *R* (¹). Un certain courant traverse ce circuit sous l'action de la différence de potentiel qui existe entre les extrémités *A* et *B* de la boucle, et également entre les frotteurs *a* et *b* reliés aux extrémités du circuit. La forme de ce courant sera la même que celle de la différence de potentiel, et par suite, de la force électromotrice induite ; la courbe représentative du courant en fonction du temps sera donc semblable à la courbe de la figure 346.

Un tel courant est dit courant alternatif.

On appelle période du courant alternatif le temps correspondant à la longueur OO' , c'est-à-dire la durée d'une variation complète (ici la durée d'un tour de la boucle) (²).

On appelle fréquence du courant alternatif le nombre de périodes par seconde.

Les courants alternatifs industriels ont généralement une fréquence comprise entre 25 et 50 périodes par seconde, c'est-à-dire que la variation complète du courant dure $1/25$ ou $1/50$ seconde.

Il est évident que si, au lieu d'une boucle de fil, on fait tourner ensemble plusieurs boucles formant une bobine enroulée sur un cadre, la force électromotrice induite sera plus élevée.

(¹) Ce circuit est généralement nommé circuit d'utilisation ou *circuit extérieur*, par opposition aux conducteurs qui constituent le générateur électrique lui-même et dont l'ensemble forme ce qu'on appelle le *circuit intérieur* de la machine.

Le circuit extérieur est dit *circuit fermé* s'il est ininterrompu et si, par conséquent, un courant électrique peut y circuler. Il est dit *circuit ouvert* s'il est interrompu en un point et si, par conséquent, aucun courant électrique ne peut y circuler.

On dit qu'une machine (ou un appareil) électrique est à circuit ouvert pour exprimer qu'elle n'est reliée à aucun appareil d'utilisation et ne débite aucun courant.

(²) On appelle souvent *alternance* une demi-période, c'est-à-dire la durée d'une demi-variation. Du courant alternatif à 50 périodes, par exemple, présente 100 alternances par seconde, c'est-à-dire que, cent fois par seconde, il atteint une valeur maxima, positive ou négative.

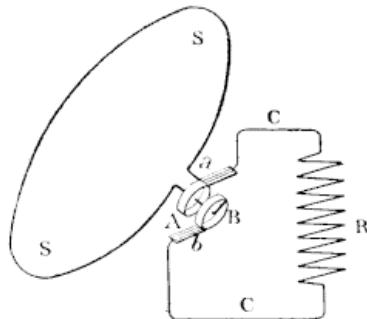


FIG. 347.

En pratique, on dispose convenablement, sur un noyau ou une carcasse de fer doux (¹), un très grand nombre de tours de fil, pour constituer le système induit, appelé brièvement l'*induit*.

D'autre part, on produit le flux magnétique nécessaire au moyen d'un système inducteur, appelé brièvement l'*inducteur*, qui comprend un certain nombre d'électro-aimants. Les bobines de ces électro-aimants sont parcourues par un courant continu auxiliaire, dit *courant d'excitation*, fourni soit par une petite machine distincte, nommée *excitatrice*, soit par des accumulateurs, soit, exceptionnellement, par des piles.

L'un des deux systèmes, inducteur ou induit, est mobile à l'intérieur de l'autre et est calé sur un arbre entraîné par un moteur mécanique. On peut aussi construire des machines dans lesquelles l'inducteur et l'induit sont tous deux fixes (²).

La fréquence du courant alternatif engendré dépend du nombre de variations du flux par seconde. Or celui-ci dépend du nombre de paires de pôles et de la vitesse de rotation de la partie mobile. La fréquence est donc égale au nombre de paires de pôles, multiplié par la vitesse de rotation par seconde.

(¹) Si le noyau ou la carcasse de fer doux étaient massifs, ils présenteraient, dans leur propre masse, un très grand nombre de circuits conducteurs fermés sur eux-mêmes. Ces circuits, embrassant le flux magnétique variable qui circule dans le noyau, seraient, comme la boucle de fil considérée, parcourus par des courants induits. Les courants parasites ainsi produits dans la masse du métal sont nommés *courants de Foucault* ou *courants tourbillonnaires*.

Afin d'éviter leur formation, qui provoque un échauffement des noyaux et qui occasionne une perte d'énergie, on constitue les noyaux de fer de tous les appareils à flux variable par des paquets de tôles très minces superposées et isolées les unes des autres par des feuilles de papier mince ou du vernis. Le passage du flux magnétique, qui circule dans le sens longitudinal des paquets de tôle, ne se trouve pas gêné, tandis que les courants de Foucault, qui circuleraient dans le sens transversal des paquets de tôle, ne rencontrent aucun circuit continu et sont considérablement réduits.

(²) Il importe peu que l'enroulement induit tourne et que le champ magnétique soit fixe, ou que le champ magnétique (inducteur) tourne, l'induit étant immobile : le résultat est le même. Il est possible également de laisser l'inducteur et l'induit fixes, et de faire tourner entre eux un volant muni de saillies de fer, qui viennent fermer périodiquement les circuits magnétiques des parties constitutives de l'inducteur et de l'induit et engendrent ainsi les variations de flux nécessaires. Cette disposition est particulièrement avantageuse pour les machines à grande vitesse de rotation, parce qu'aucune bobine n'est soumise aux effets de la force centrifuge.

La partie fixe est appelée *stator* et la partie mobile *rotor*.

Une machine destinée à produire des courants alternatifs est appelée un alternateur.

Le courant alternatif simple dont il vient d'être question est souvent appelé *monophasé*. Certaines machines sont établies de façon à donner simultanément, dans plusieurs enroulements, plusieurs courants alternatifs distincts enchevêtrés les uns dans les autres. Les phases de ces courants présentent chacune un certain retard par rapport à la phase du courant précédent. Ces courants sont dits *polyphasés* (*diphasés* s'il y a deux courants distincts, *triphasés* s'il y en a trois, etc.). La machine doit être reliée à un certain nombre de conducteurs ou circuits d'utilisation dans lesquels circulent ces courants.

97. — Machines à courant continu.

Si, au lieu de courant alternatif, on veut recueillir du *courant continu*, c'est-à-dire toujours de même sens, on adjoint au générateur électrique un organe appelé *commutateur* ou *collecteur*, composé d'un certain nombre de lames isolées les unes des autres et connectées aux différentes boucles ou bobines de l'induit.

Par exemple, relions chacune des extrémités de la boucle de fil considérée S à un demi-cylindre métallique A ou B sur lequel s'appuie un frotteur *a* ou *b* (fig. 348) : les deux demi-cylindres sont juxtaposés de façon à former un cylindre complet, mais sont isolés électriquement l'un de l'autre par une matière isolante convenable (du mica en général) interposé entre eux. On peut régler la position des frotteurs fixes de telle façon que ce soient les parties isolantes séparant les deux cylindres qui viennent en contact avec eux au moment où la force électromotrice induite dans la boucle s'annule. Dans ces conditions, à l'instant où le courant alternatif qui circule dans le circuit CRC vient de s'annuler et va changer le sens, le demi-cylindre qui était précédemment en contact avec l'un des balais va venir en contact avec l'autre balai : par exemple A vient en contact avec *b* et B avec *a*. On voit que, puisque les contacts changent de sens au moment où le courant change de sens, ce courant circule

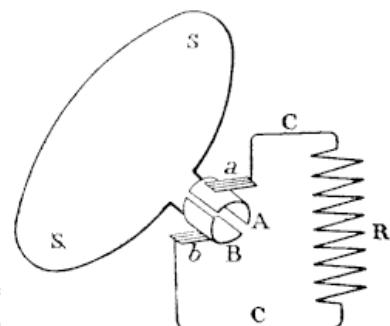


FIG. 348.

toujours dans la même direction dans le circuit électrique relié aux frotteurs *a* et *b*.

En définitive, le dispositif indiqué sur la figure 348 (collecteur rudimentaire) a pour effet de redresser les portions inférieures de la courbe de courant, comme l'indique la figure 349 en comparaison

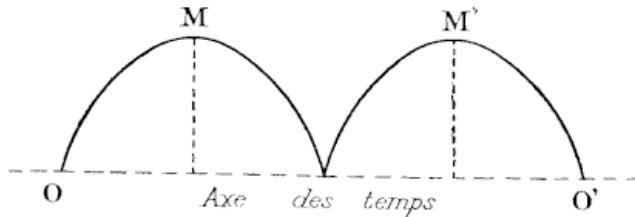


FIG. 349.

de la figure 346. On obtient non plus un courant alternatif, mais un *courant pulsatoire*, c'est-à-dire un courant toujours de même sens, dont l'intensité va en croissant, puis en décroissant dans l'intervalle d'une demi-période. Ce courant est engendré dans le circuit par la différence de potentiel pulsatoire qui existe entre les extrémités *a* et *b* de ce circuit.

Pour atténuer l'amplitude des pulsations de la différence de potentiel disponible entre les points *a* et *b* (généralement nommée *différence de potentiel aux bornes*⁽¹⁾ ou *tension aux bornes*) et rendre pratiquement continu le courant qui circule dans le circuit d'utilisation, on établit les machines électriques avec un très grand nombre de boucles de fil ou de bobines, et l'on relie ensemble toutes ces bobines, qui occupent à un même instant des positions différentes par rapport au champ inducteur.

Par exemple considérons une machine comprenant deux boucles seulement, perpendiculaires l'une à l'autre. Le collecteur sera formé de quatre quarts de cylindre isolés les uns des autres et reliés aux quatre extrémités, deux à deux opposées, des deux boucles. Traçons la courbe du courant pulsatoire qui serait engendrée dans le circuit

(1) L'expression *différence de potentiel aux bornes* ou *tension aux bornes* d'une machine ou appareil (générateur, bobine, transformateur, etc.) provient de ce que les machines ou appareils électriques portent, en général, aux extrémités de leur circuit électrique intérieur, des *bornes* ou prises de courant servant à établir d'une façon commode les connexions entre ce circuit intérieur et les conducteurs extérieurs.

extérieur CRC par chacune des boucles considérée, si cette boucle était seule comme dans le dispositif précédent de la figure 348. L'une de ces courbes est représentée en trait plein, et l'autre en trait interrompu sur la figure 350.

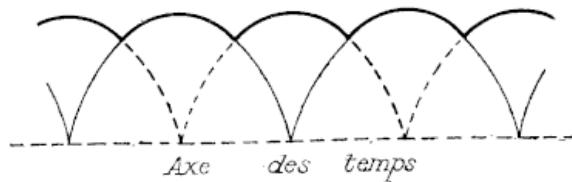


FIG. 350.

On peut voir qu'avec le dispositif à deux boucles et quatre lames⁽¹⁾ de collecteur, le courant qui circule dans le circuit extérieur est engendré tantôt par une boucle tantôt par l'autre, suivant que les frotteurs appuient sur l'une ou sur l'autre paire de lames du collecteur. La forme de ce courant est représentée par la courbe indiquée en gros traits sur la figure 350, et l'on voit que les pulsations du courant (ou de la différence de potentiel entre les points *a* et *b*) ont une fréquence deux fois plus grande et une amplitude beaucoup plus faible que dans le cas précédent. Le courant est, pour ainsi dire, beaucoup plus continu.

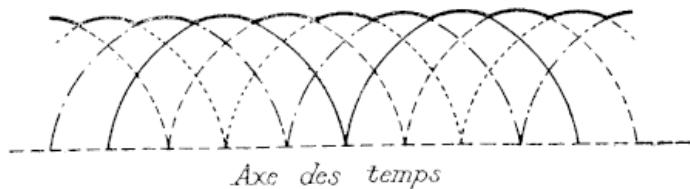


FIG. 351.

En employant 4 boucles de fil ou bobines et 8 lames de collecteur, on doublerait la fréquence des pulsations et on réduirait encore considérablement leur amplitude, comme le montre la figure 351.

Dans la pratique, un générateur électrique à courant continu⁽²⁾

⁽¹⁾ Les portions de cylindre métallique constituant un collecteur sont appelées *lames de collecteur*, parce que, en pratique, un collecteur consiste en un grand nombre de lames de cuivre de section trapézoïdale, juxtaposées les unes aux autres avec interposition de mica et maintenues aux deux extrémités par des manchons isolants et des joues coniques : l'ensemble est soigneusement tourné pour présenter une surface extérieure cylindrique bien lisse.

⁽²⁾ Appelé *machine dynamo-électrique* ou vulgairement « *dynamo* ».

comprend un certain nombre de paires d'inducteurs NS créant un champ magnétique dans lequel tourne, autour de son axe, un anneau ou un tambour de fer doux AA⁽¹⁾ recouvert sur sa périphérie de conducteurs isolés qui forment un certain nombre de bobines comprenant chacune plusieurs boucles.

Sur le schéma de la figure 352, on a représenté seulement une paire de *pôles inducteurs* et quatre bobines BBBB, de l'organe mobile appelé l'*induit*. Ces bobines sont reliées entre elles et connectées, par des jonctions en cuivre, aux lames du collecteur c, dont le nombre est égal à celui des bobines. Sur le collecteur frottent des *balais* a et b reliés au circuit d'utilisation CRC.

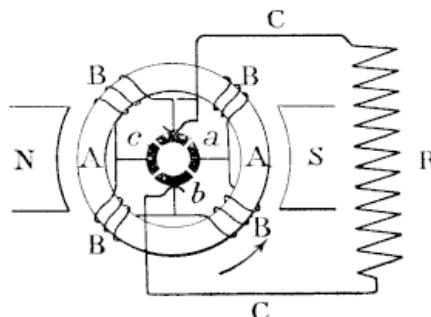


FIG. 352.

Dans les machines à courant continu, le courant d'excitation nécessaire pour produire le champ magnétique, c'est-à-dire pour aimanter les pôles inducteurs, est emprunté à la machine elle-même : il n'y a pas besoin, comme pour les alternateurs, d'une source de courant distincte, puisqu'on dispose du courant continu nécessaire.

98. — *Bobines de self-induction.*

Prenons une bobine comprenant un certain nombre de tours de fils conducteurs isolés les uns des autres, et relions ses extrémités à une source de courant continu.

Conformément à ce qui a été expliqué précédemment (page 406), nous constatons que, sous l'action de la différence de potentiel produite par le générateur, le courant ne prend pas instantanément sa valeur normale : la *self-induction de la bobine s'oppose à l'établissement du courant, comme une inertie que celui-ci devrait vaincre avant de pouvoir circuler dans le conducteur.*

⁽¹⁾ Cet anneau ou tambour est constitué par des paquets de tôles minces isolées, afin d'éviter la formation des courants de Foucault qu'engendreraient, dans un anneau métallique massif, les variations rapides du flux magnétique.

Inversement, quand on ouvre le circuit pour interrompre le courant, il se produit à la coupure une étincelle chaude et bruyante, due à un *extra-courant* de même sens que le courant précédent : *la self-induction agit, comme une inertie*⁽¹⁾, *pour prolonger le passage du courant.*

Si l'on place un noyau de fer dans l'intérieur de la bobine, la self-induction de celle-ci augmente⁽²⁾. Si, au contraire, on déroule le fil de la bobine pour l'allonger sous forme d'un conducteur rectiligne, la self-induction diminue considérablement, parce que l'induction du conducteur sur lui-même est très faible.

Relions maintenant la bobine, avec ou sans noyau de fer⁽³⁾, à un générateur électrique produisant une *différence de potentiel alternative*. Le courant que cette différence de potentiel tend à faire passer dans la bobine varie périodiquement comme elle : le flux qu'il produit présente donc les mêmes variations, et *la self-induction est perpétuellement en jeu pour s'opposer à l'accroissement du courant, chaque fois que la tension alternative va en croissant depuis zéro jusqu'à sa valeur maxima, ou pour s'opposer à sa diminution, chaque fois que la tension alternative décroît de sa valeur maxima à zéro.*

L'effet de ces phénomènes de self-induction est de limiter l'intensité du courant qui passe dans la bobine sous l'action d'une différence de potentiel alternative donnée. La self-induction joue donc, dans ce cas, le même rôle qu'une résistance.

On appelle résistance inductive cette résistance apparente opposée au passage d'un courant alternatif.

La résistance électrique réelle d'un conducteur, dont il a déjà été question, est appelée résistance ohmique⁽⁴⁾.

(1) Si l'on veut imprimer un mouvement à un corps immobile, l'inertie de ce corps tend, au début, à empêcher l'établissement du mouvement. Inversement, si l'on veut arrêter le corps une fois qu'il a été mis en mouvement, l'inertie tend à prolonger le mouvement. On voit que, au point de vue électrique, la self-induction joue identiquement le même rôle : c'est pourquoi l'on dit qu'elle agit comme une inertie. Cette inertie est due au champ magnétique engendré par le courant.

(2) On règle la valeur de la self-induction en enfouissant plus ou moins le noyau de fer dans la bobine.

(3) Si la bobine contient un noyau de fer, ce dernier doit être en fils de fer ou en tôles pour éviter la production de courants de Foucault.

(4) Tandis que l'existence de la résistance ohmique occasionne une certaine perte d'énergie (convertie en chaleur) lorsqu'un courant électrique, continu ou alternatif, traverse un circuit, la résistance inductive, ou apparente, agit seulement pour limiter l'intensité du courant alternatif que peut faire circuler dans le circuit une différence de potentiel alternative donnée ; elle n'occasionne pas de perte d'énergie par elle-même.

Le conducteur qui constitue la bobine présentant forcément lui-même une certaine résistance ohmique, *les deux sortes de résistance, apparente et réelle, agissent simultanément pour limiter l'intensité du courant alternatif : l'ensemble de ces deux résistances, apparente et réelle, est appelé impédance.*

Il est évident que, plus le flux varie rapidement, plus les phénomènes de self-induction sont accentués, puisque la force électromotrice induite est proportionnelle au taux de variation du flux. Par conséquent, *plus la fréquence du courant alternatif est grande, et plus est grande la résistance apparente qu'un circuit donné oppose à ce courant*⁽¹⁾.

Dans le chapitre précédent, on a vu que l'intensité du courant i passant, sous l'action d'une différence de potentiel u , dans un circuit de résistance ohmique r est proportionnelle à la différence de potentiel u et inversement proportionnelle à la résistance r : sa valeur est donnée par la formule :

$$i = \frac{u}{r}.$$

Si le circuit présente, outre la résistance ohmique r , un coefficient de self-induction l , et est soumis à une différence de potentiel alternative u de fréquence f , l'impédance z que ce circuit oppose au passage du courant a pour valeur

$$z = \sqrt{r^2 + (2\pi f)^2 l^2}.$$

L'expression $2\pi f$ ou $\frac{2\pi}{T}$ ⁽²⁾ est généralement remplacée par le symbole ω pour simplifier l'écriture.

L'intensité i du courant est proportionnelle à la différence de potentiel u et inversement proportionnelle à l'impédance : sa valeur est donnée par la formule :

$$i = \frac{u}{\sqrt{r^2 + \omega^2 l^2}}.$$

99. — Transformateurs.

Au lieu de produire, comme dans les générateurs, une variation

(1) Quand on emploie des courants de très grande fréquence, comme en radiotélégraphie, les phénomènes de self-induction sont si importants qu'il suffit de quelques tours de fil (sans noyau de fer) pour que la résistance apparente opposée au passage du courant soit très considérable.

(2) Le symbole π représente le rapport de la longueur d'une circonférence à son diamètre : il a pour valeur 3,1416.

de flux par le déplacement d'un circuit par rapport à un autre circuit, on peut disposer les deux circuits de façon que leur induction mutuelle ait la plus grande valeur possible, et faire passer dans l'un des deux un courant périodiquement variable, tel qu'un courant alternatif. Le flux magnétique engendré par le circuit primaire variera comme le courant, et ses variations induiront dans le circuit secondaire une force électromotrice de forme semblable à celle du courant inducteur, c'est-à-dire alternative.

L'appareil ainsi réalisé s'appelle un transformateur.

En principe, un transformateur (fig. 353) comprend essentiellement un **circuit magnétique** composé de deux *noyaux* de fer N⁽¹⁾ reliés par deux *culasses* C de façon à présenter au flux magnétique un chemin continu fermé de faible réluctance magnétique : l'un des noyaux porte une *bobine primaire* P ; l'autre porte une *bobine secondaire* S⁽²⁾.

Chaque bobine est formée d'un certain nombre de tours de fil soigneusement isolés les uns des autres. Les extrémités de chaque *enroulement* (bobine) primaire ou secondaire aboutissent à deux bornes extérieures de prise de courant (bornes primaires et bornes secondaires).

Quand un courant alternatif passe dans l'enroulement P, un flux alternatif circule dans tout le circuit magnétique : chaque tour de l'enroulement S embrassant la totalité de ce flux, la force électromotrice totale induite dans la bobine S sera d'autant plus grande qu'il y aura plus de tours.

1^o *Supposons d'abord que la bobine secondaire soit à circuit ouvert, c'est-à-dire que les deux extrémités de cette bobine ne soient reliées à aucun circuit extérieur et soient isolées l'une de l'autre. L'enroulement secondaire ne joue alors aucun rôle, et sa présence n'intervient pas; le primaire du transformateur se comporte identiquement comme une bobine de self-induction.*

Les lignes de force magnétiques engendrées par la bobine pri-

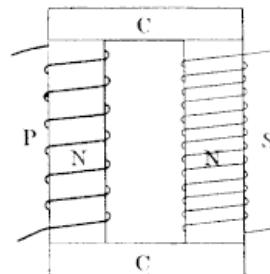


Fig. 353.

⁽¹⁾ Ces noyaux sont lamellés, bien entendu, c'est-à-dire formés de tôles minces, pour les raisons indiquées précédemment.

⁽²⁾ Dans le langage courant, on dit simplement *le primaire* ou *le secondaire* d'un transformateur.

maire rencontrent dans leur trajet une très faible réluctance, puisqu'elles passent uniquement dans du fer. Dans ces conditions, un courant de très faible intensité suffit pour produire un flux de valeur élevée, dont les variations induisent dans la bobine une force électromotrice de self-induction de valeur élevée. Celle-ci est opposée à la tension primaire⁽¹⁾, comme nous l'avons vu précédemment, et lui est presque égale en valeur : la différence de potentiel résultante, égale à la différence entre la tension primaire et la force électromotrice de self-induction, a donc une valeur très faible. Or c'est cette différence de potentiel résultante qui fait circuler le courant dans l'enroulement primaire : ce courant a donc une très faible intensité.

Si toutes les lignes de force magnétiques passent par le fer, c'est-à-dire *s'il n'y a aucune fuite des lignes de force magnétiques* dans l'espace environnant⁽²⁾, la totalité du flux magnétique qui traverse la bobine primaire traverse aussi la bobine secondaire. C'est ce qu'on s'efforce d'obtenir dans les transformateurs industriels.

Le flux variable engendre dans chaque tour de l'enroulement secondaire une force électromotrice induite, de même grandeur que la force électromotrice de self-induction engendrée dans un tour de l'enroulement primaire : comme nous l'avons vu, cette force électromotrice de self-induction est à très peu près égale à la différence de potentiel créée par la source extérieure entre les extrémités d'un tour de la bobine primaire.

Désignons par n_1 et n_2 les nombres de tours des enroulements primaire et secondaire, par e_1 et e_2 les tensions primaire et secondaire.

La tension primaire e_1 se répartissant sur les n_1 tours de la bobine primaire, la différence de potentiel entre les extrémités d'un seul tour a pour valeur $\frac{e_1}{n_1}$ ⁽³⁾. La force électromotrice de self-induction

⁽¹⁾ La différence de potentiel aux bornes primaires, ou différence de potentiel entre les extrémités de la bobine primaire, est appelée pour abréger *tension primaire*. De même, la différence de potentiel aux bornes secondaires est nommée, pour abréger, *tension secondaire*.

⁽²⁾ Dans la pratique, on appelle *transformateur sans fuites magnétiques* un transformateur dont toutes ou presque toutes les lignes de force passent par le fer des noyaux et de la cuisse. On appelle *transformateur à fuites* un transformateur dont la plus grande partie ou la totalité des lignes de force magnétiques passent à travers l'air sur une longueur plus ou moins grande.

⁽³⁾ Si la bobine primaire contient 10 tours par exemple, et si l'on appelle e_t la différence de potentiel aux bornes de cette bobine, la différence de potentiel entre les extrémités de chaque tour aura pour valeur $(1/10) e_t$.

dans un tour de la bobine primaire a à peu près cette valeur : il en est de même de la force électromotrice induite dans un tour de la bobine secondaire. Si le secondaire a n_2 tours de fil, la tension secondaire est évidemment n_2 fois plus grande, et a pour valeur $n_2 \left(\frac{e_1}{n_1} \right)$.

En définitive, la valeur de la tension secondaire e_2 est

$$e_2 = n_2 \frac{e_1}{n_1} \quad \text{ou} \quad e_2 = \frac{n_2}{n_1} e_1.$$

Il en résulte que *la force électromotrice induite dans le secondaire, ou la tension secondaire, est égale à la tension primaire multipliée par le rapport (n_2/n_1) du nombre de tours de l'enroulement secondaire au nombre de tours de l'enroulement primaire.*

Ce rapport est appelé rapport de transformation.

Par exemple, si la bobine secondaire contient 10 000 tours et la bobine primaire 10 tours, la tension secondaire sera 1 000 fois plus grande que la tension primaire.

2° Supposons maintenant que les extrémités du secondaire soient reliées à un circuit extérieur.

Ce circuit est parcouru par un courant dont l'intensité est proportionnelle à la tension secondaire et inversement proportionnelle à l'impédance totale (y compris celle de la bobine secondaire du transformateur).

Le courant secondaire tend à produire, à son tour, un flux magnétique opposé au flux qui engendre le courant primaire : il faut donc que celui-ci augmente, par rapport à sa valeur primitive, pour rétablir l'équilibre. Le flux produit par une bobine étant proportionnel à l'intensité du courant multipliée par le nombre de tours d'enroulement, il faudra, pour que les flux primaire et secondaire se compensent, que l'augmentation du courant primaire soit égale à 10, 100, 1 000 fois l'intensité du courant secondaire si la bobine primaire a 10, 100, 1 000 fois moins de tours que la bobine secondaire, c'est-à-dire si le rapport de transformation est de 10, 100 ou 1 000.

En résumé on voit que, *dans un transformateur, la tension secondaire est égale à la tension primaire multipliée par la valeur du rapport de transformation, et l'intensité du courant secondaire est égale à l'intensité du courant primaire divisée par la valeur du rapport de transformation* (1).

(1) En fait, l'intensité du courant secondaire est un peu inférieure à cette valeur à cause des pertes d'énergie dans le transformateur. De même, la tension secondaire est légèrement inférieure au produit de la tension primaire par le rapport de transformation.

Pour que les effets d'induction du primaire sur le secondaire soient maxima, il faut que le coefficient d'induction mutuelle soit aussi élevé que possible. En fait, les lignes de force magnétiques engendrées par le circuit primaire ne traversent pas toutes le circuit secondaire : un certain nombre d'entre elles passent par l'air et ne concourent pas à la production d'une force électromotrice secondaire. On dit que le transformateur présente de la *dispersion* ou qu'il a des *fuites*.

Théoriquement, s'il n'y avait pas de fuites, le coefficient d'induction mutuel m serait égal à la racine carrée du produit des coefficients de self-induction de l'enroulement primaire et de l'enroulement secondaire pris isolément. En appelant m le coefficient d'induction mutuelle, l_1 et l_2 les coefficients de self-induction du primaire et du secondaire, on aurait :

$$m^2 = l_1 l_2 \quad \text{ou} \quad m = \sqrt{l_1 l_2}.$$

Pratiquement, à cause des fuites, le coefficient d'induction mutuelle a une valeur inférieure à celle-ci.

On appelle accouplement entre le primaire et le secondaire le rapport de la valeur réelle du coefficient d'induction mutuelle à la valeur théorique précédente, égale à la racine carrée du produit des deux coefficients de self-induction.

Le coefficient d'accouplement magnétique k est donc donné par la formule :

$$k = \frac{m}{\sqrt{l_1 l_2}}.$$

Quand il y a très peu de fuites, le numérateur et le dénominateur de cette expression sont presque égaux, et le coefficient k est voisin de l'unité : on dit que l'accouplement est rigide ou serré (accouplement parfait).

Si, au contraire, les fuites sont assez importantes pour que la valeur de l'accouplement k soit petite, inférieure à 0,5 par exemple, on dit que l'accouplement est lâche ou faible (accouplement imparfait).

Les transformateurs sont des appareils extrêmement commodes toutes les fois que l'on dispose de courant alternatif, car ils permettent d'élever ou d'abaisser à volonté la tension suivant les applications.

Les effets d'induction entre l'enroulement primaire et l'enroulement secondaire sont d'autant plus intenses que la fréquence du courant alternatif primaire est plus élevée. Les transformateurs em-

ployés avec des courants de très grande fréquence, tels que ceux utilisés en radiotélégraphie, ne contiennent pas de fer parce que les courants parasites produits dans ce métal acquerraient une trop grande importance et que les effets d'induction sont suffisamment puissants sans fer.

100. — Bobine de Ruhmkorff.

Lorsqu'on a besoin de hautes tensions et qu'on dispose seulement de courant continu⁽¹⁾, on peut le convertir en courant intermittent au moyen d'un commutateur approprié qui effectue des interruptions périodiques et l'on utilise ce courant intermittent pour produire, dans le noyau d'un transformateur, un flux variable.

La *Bobine de Ruhmkorff* ou *Bobine d'induction* comprend (fig. 354) un noyau de fer⁽²⁾ sur lequel sont enroulées une bobine primaire P contenant un petit nombre de tours de gros fil et une bobine secondaire S contenant un très grand nombre de tours de fil fin. Le courant intermittent qui circule dans l'enroulement primaire P produit dans le noyau de fer un flux magnétique variable qui se referme par l'air environnant⁽³⁾ : ce flux induit dans l'enroulement secondaire une force électromotrice proportionnelle au rapport de transformation. Ce rapport étant, en général, très grand, la tension secondaire est très élevée et permet d'obtenir des étincelles électriques de plusieurs centimètres de longueur.

Sur le schéma de la figure 300, on a supposé que le courant, provenant d'une batterie de piles ou d'accumulateurs B, était rendu intermittent par le jeu d'un interrupteur-trembleur à marteau, d'après un dispositif fréquemment adopté. Le trembleur consiste en une lame métallique élastique portant une masselotte M : une vis V

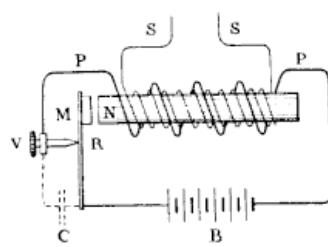


Fig. 354.

(1) Fourni, par exemple, par des piles ou des accumulateurs.

(2) Ce noyau est en fil de fer fins pour éviter la production de courants de Foucault.

(3) On voit que, les lignes de force magnétiques engendrées dans le noyau se refermant sur elles-mêmes à travers l'air qui environne la bobine, cet appareil constitue un *transformateur à fuites*.

appuie sur un contact fixé à la lame. Dans la position du trembleur représentée sur la figure, la vis V appuie sur le contact et le circuit primaire est fermé; le courant s'établit donc dans l'enroulement primaire. A ce moment, le noyau de fer s'aimante et attire la masse du trembleur; le contact s'éloigne de la vis V, le circuit est rompu, et le courant cesse. Le trembleur est ramené alors à sa position primitive par son élasticité, et le contact se rétablit, etc. Pour atténuer les étincelles produites entre les points de contact au moment des ruptures (¹), on place généralement en dérivation sur ceux-ci un condensateur C (figuré en pointillé).

Les bobines un peu puissantes ne sont pas munies d'un trembleur, dont les contacts se détérioreraient trop vite. Leur primaire est relié à un appareil établi pour produire des ruptures de courant très brusques. Plus les ruptures du courant primaire sont brusques, plus les variations de flux qui en résultent dans le noyau sont brusques, et plus les effets d'induction sont intenses. Différents dispositifs permettent d'éviter la détérioration des points de contact. Dans l'un des plus anciens, une pointe métallique, reliée à l'un des pôles de la source de courant, vient plonger dans du mercure contenu dans un récipient et relié électriquement au primaire de la bobine. La pointe est mise en mouvement alternatif par l'action d'un petit moteur électrique et est immergée dans le mercure ou soulevée hors de celui-ci un certain nombre de fois par seconde, produisant ainsi l'établissement ou la rupture du courant dans le primaire de la bobine. Du pétrole, placé sur la surface du mercure, empêche l'effet destructeur des étincelles qui prennent naissance à chaque rupture de courant; d'autre part, le point où s'établit le contact de la pointe avec le mercure change à chaque instant, et il ne peut pas y avoir de détérioration permanente.

Cet appareil, inventé par Foucault, a donné lieu à de nombreux perfectionnements ou modifications, mais son principe reste fréquemment utilisé.

Dans d'autres interrupteurs, une petite turbine, animée d'un mouvement de rotation rapide, projette autour d'elle un ou plusieurs jets de mercure. Ceux-ci rencontrent, en certains points, une ou plusieurs plaques métalliques avec lesquelles ils établissent des contacts électriques. Le tout est immergé dans un liquide isolant.

(¹) Étincelles produites par l'extra-courant de rupture dû à la self-induction de l'enroulement primaire P.

APPENDICE II

CONVENTION RADIOTÉLÉGRAPHIQUE INTERNATIONALE DU 5 JUILLET 1912

La Conférence radiotélégraphique internationale, qui a eu lieu à Londres en juillet dernier, a abouti à une convention entre les divers États suivants : l'Allemagne et les Protectorats allemands, les États-Unis d'Amérique et les Possessions des États-Unis d'Amérique, la République Argentine, l'Autriche, la Hongrie, la Bosnie-Herzégovine, la Belgique, le Congo belge, le Brésil, la Bulgarie, le Chili, le Danemark, l'Égypte, l'Espagne et les Colonies espagnoles, la France et l'Algérie, l'Afrique occidentale française, l'Afrique équatoriale française, l'Indo-Chine, Madagascar, la Tunisie, la Grande-Bretagne et diverses Colonies et Protectorats britanniques, l'Union de l'Afrique du Sud, la Fédération australienne, le Canada, les Indes britanniques, la Nouvelle-Zélande, la Grèce, l'Italie et les Colonies italiennes, le Japon et Chosen, Formose, le Sakhalin japonais et le territoire loué de Kwantoung, le Maroc, Monaco, la Norvège, les Pays-Bas, les Indes néerlandaises et la Colonie de Curaçao, la Perse, le Portugal et les Colonies portugaises, la Roumanie, la Russie et les Possessions et Protectorats russes, la République de Saint-Marin, le Siam, la Suède, la Turquie et l'Uruguay.

Voici le texte de cette convention :

Les soussignés, plénipotentiaires des gouvernements des pays ci-dessus énumérés, s'étant réunis en conférence à Londres, ont, d'un commun accord et sous réserve de ratification, arrêté la convention suivante :

ARTICLE PREMIER. — Les hautes parties contractantes s'engagent à appliquer les dispositions de la présente convention dans toutes les stations radiotélégraphiques (stations côtières et stations de bord) qui sont établies ou exploitées par les parties contractantes et ouvertes au service de la correspondance publique entre la terre et les navires en mer.

Elles s'engagent, en outre, à imposer l'observation de ces dispositions aux exploitations privées autorisées, soit à établir ou à exploiter des stations côtières radiotélégraphiques ouvertes au service de la correspondance publique entre la terre et les navires en mer, soit à établir ou à exploiter des stations radiotélégraphiques ouvertes ou non au service de la correspondance publique à bord des navires qui portent leur pavillon.

ART. 2. — Est appelée station côtière toute station radiotélégraphique établie sur terre ferme ou à bord d'un navire ancré à demeure et utilisée pour l'échange de la correspondance avec les navires en mer.

Toute station radiotélégraphique établie sur un navire autre qu'un bateau fixe est appelée station de bord.

ART. 3. — Les stations côtières et les stations de bord sont tenues d'échanger réciproquement les radiotélégrammes sans distinction du système radiotélégraphique adopté par ces stations.

Chaque station de bord est tenue d'échanger les radiotélégrammes avec toute autre station de bord sans distinction du système radiotélégraphique adopté par ces stations.

Toutefois, afin de ne pas entraver les progrès scientifiques, les dispositions du présent article n'empêchent pas l'emploi éventuel d'un système radiotélégraphique incapable de communiquer avec d'autres systèmes, pourvu que cette incapacité soit due à la nature spécifique de ce système et qu'elle ne soit pas l'effet de dispositifs adoptés uniquement en vue d'empêcher l'intercommunication.

ART. 4. — Nonobstant les dispositions de l'article 3, une station peut être affectée à un service de correspondance publique restreinte déterminé par le but de la correspondance ou par d'autres circonstances indépendantes du système employé.

ART. 5. — Chacune des hautes parties contractantes s'engage à faire relier les stations côtières au réseau télégraphique par des fils spéciaux ou, tout au moins, à prendre d'autres mesures assurant un échange rapide entre les stations côtières et le réseau télégraphique.

ART. 6. — Les hautes parties contractantes se donnent mutuellement connaissance des noms des stations côtières et des stations de bord visées à l'article premier, ainsi que de toutes les indications propres à faciliter et à accélérer les échanges radiotélégraphiques qui seront spécifiés dans le règlement.

ART. 7. — Chacune des hautes parties contractantes se réserve la faculté de prescrire ou d'admettre que dans les stations visées à l'article premier, indépendamment de l'installation dont les indications sont publiées conformément à l'article 6, d'autres dispositifs

soient établis et exploités en vue d'une transmission radiotélégraphique spéciale sans que les détails de ces dispositifs soient publiés.

ART. 8. — L'exploitation des stations radiotélégraphiques est organisée, autant que possible, de manière à ne pas troubler le service d'autres stations de l'espèce.

ART. 9. — Les stations radiotélégraphiques sont obligées d'accepter par priorité absolue les appels de détresse quelle qu'en soit la provenance, de répondre de même à ces appels et d'y donner la suite qu'ils comportent.

ART. 10. — La taxe d'un radiotélégramme comprend, selon le cas :

1^o *a.* La *taxe côtière* qui appartient à la station côtière,

b. La *taxe de bord* qui appartient à la station de bord;

2^o La taxe pour la transmission sur les lignes télégraphiques, calculée d'après les règles ordinaires;

3^o Les taxes de transit des stations côtières ou de bord intermédiaires et les taxes afférentes aux services spéciaux demandés par l'expéditeur.

Le taux de la taxe côtière est soumis à l'approbation du gouvernement dont dépend la station côtière; celui de la taxe de bord, à l'approbation du gouvernement dont dépend le navire.

ART. 11. — Les dispositions de la présente convention sont complétées par un règlement qui a la même valeur et entre en vigueur en même temps que la convention.

Les prescriptions de la présente convention et du règlement y relatif peuvent être à toute époque modifiées d'un commun accord par les hautes parties contractantes. Des conférences de plénipotentiaires ayant le pouvoir de modifier la convention et le règlement auront lieu périodiquement; chaque conférence fixera elle-même le lieu et l'époque de la réunion suivante.

ART. 12. — Ces conférences sont composées de délégués des gouvernements des pays contractants.

Dans les délibérations, chaque pays dispose d'une seule voix.

Si un gouvernement adhère à la convention pour ses colonies, possessions ou protectorats, les conférences ultérieures peuvent décider que l'ensemble ou une partie de ces colonies, possessions ou protectorats est considéré comme formant un pays pour l'application de l'alinéa précédent. Toutefois, le nombre des voix dont dispose un gouvernement, y compris ses colonies, possessions ou protectorats, ne peut dépasser six.

Sont considérés comme formant un seul pays pour l'application du présent article :

L'Afrique orientale allemande; l'Afrique allemande du Sud-Ouest;

le Cameroun; le Togo; les Protectorats allemands du Pacifique; l'Alaska; Hawaï et les autres possessions américaines de la Polynésie; les îles Philippines; Porto-Rico et les possessions américaines dans les Antilles; la Zone du Canal de Panama; le Congo belge; la Colonie espagnole du Golfe de Guinée; l'Afrique occidentale française; l'Afrique équatoriale française; l'Indo-Chine; Madagascar; la Tunisie; l'Union de l'Afrique du Sud; la Fédération australienne; le Canada; les Indes britanniques; la Nouvelle-Zélande; l'Érythrée; la Somalie italienne; Chosen, Formose, le Sakhalin japonais et le territoire loué de Kwantoung; les Indes néerlandaises; la Colonie de Curaçao; l'Afrique occidentale portugaise; l'Afrique orientale portugaise et les possessions portugaises asiatiques; l'Asie centrale russe (littoral de la mer Caspienne); Boukhara; Khiva; la Sibérie occidentale (littoral de l'océan Glacial); la Sibérie orientale (littoral de l'océan Pacifique).

ART. 13. — Le bureau international de l'Union télégraphique est chargé de réunir, de coordonner et de publier les renseignements de toute nature relatifs à la radiotélégraphie, d'instruire les demandes de modification à la convention et au règlement, de faire promulguer les changements adoptés et, en général, de procéder à tous travaux administratifs dont il serait saisi dans l'intérêt de la radiotélégraphie internationale.

Les frais de cette institution sont supportés par tous les pays contractants.

ART. 14. — Chacune des hautes parties contractantes se réserve la faculté de fixer les conditions dans lesquelles elle admet les radiotélégrammes en provenance ou à destination d'une station, soit de bord, soit côtière, qui n'est pas soumise aux dispositions de la présente convention.

Si un radiotélégramme est admis, les taxes ordinaires doivent lui être appliquées.

Il est donné cours à tout radiotélégramme provenant d'une station de bord et reçu par une station côtière d'un pays contractant ou accepté en transit par l'administration d'un pays contractant.

Il est également donné cours à tout radiotélégramme à destination d'un navire, si l'administration d'un pays contractant en a accepté le dépôt ou si l'administration d'un pays contractant l'a accepté en transit d'un pays non contractant, sous réserve du droit de la station côtière de refuser la transmission à une station de bord relevant d'un pays non contractant.

ART. 15. — Les dispositions des articles 8 et 9 de cette convention sont également applicables aux installations radiotélégraphiques autres que celles visées à l'article premier.

ART. 16. — Les gouvernements qui n'ont point pris part à la présente convention sont admis à y adhérer sur leur demande.

Cette adhésion est notifiée par la voie diplomatique à celui des gouvernements contractants au sein duquel la dernière conférence a été tenue et par celui-ci à tous les autres.

Elle comporte de plein droit accession à toutes les clauses de la présente convention et admission à tous les avantages y stipulés.

L'adhésion à la convention du gouvernement d'un pays ayant des colonies, possessions ou protectorats ne comporte pas l'adhésion de ses colonies, possessions ou protectorats, à moins d'une déclaration à cet effet de la part de ce gouvernement. L'ensemble de ces colonies, possessions et protectorats, ou chacun d'eux séparément, peut faire l'objet d'une adhésion distincte ou d'une dénonciation distincte dans les conditions prévues au présent article et à l'article 22.

ART. 17. — Les dispositions des articles 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 11, 12 et 17 de la convention télégraphique internationale de Saint-Pétersbourg du 10-22 juillet 1875 sont applicables à la radiotélégraphie internationale.

ART. 18. — En cas de dissens entre deux ou plusieurs gouvernements contractants relativement à l'interprétation ou à l'exécution, soit de la présente convention, soit du règlement prévu par l'article 11, la question en litige peut, d'un commun accord, être soumise à un jugement arbitral. Dans ce cas, chacun des gouvernements en cause en choisit un autre non intéressé dans la question.

La décision des arbitres est prise à la majorité absolue des voix.

En cas de partage des voix, les arbitres choisissent, pour trancher le différend, un autre gouvernement contractant également désintéressé dans le litige. A défaut d'une entente concernant ce choix, chaque arbitre propose un gouvernement contractant désintéressé; il est tiré au sort entre les gouvernements proposés. Le tirage au sort appartient au gouvernement sur le territoire duquel fonctionne le bureau international prévu à l'article 13.

ART. 19. — Les hautes parties contractantes s'engagent à prendre ou à proposer à leurs législatures respectives les mesures nécessaires pour assurer l'exécution de la présente convention.

ART. 20. — Les hautes parties contractantes se communiqueront les lois qui auraient déjà été rendues ou qui viendraient à l'être dans leurs pays relativement à l'objet de la présente convention.

ART. 21. — Les hautes parties contractantes conservent leur entière liberté relativement aux installations radiotélégraphiques non

prévues à l'article premier et, notamment, aux installations navales et militaires ainsi qu'aux stations assurant des communications entre points fixes. Toutes ces installations et stations restent soumises uniquement aux obligations prévues aux articles 8 et 9 de la présente convention.

Toutefois, lorsque ces installations et stations font un échange de correspondance publique maritime, elles se conforment, pour l'exécution de ce service, aux prescriptions du règlement en ce qui concerne le mode de transmission et la comptabilité.

Si, d'autre part, des stations côtières assurent, en même temps que la correspondance publique avec les navires en mer, des communications entre points fixes, elles ne sont pas soumises, pour l'exécution de ce dernier service, aux dispositions de la convention, sous réserve de l'observation des articles 8 et 9 de cette convention.

Cependant les stations fixes qui font de la correspondance entre terre et terre ne doivent pas refuser l'échange de radiotélégrammes avec une autre station fixe à cause du système adopté par cette station; toutefois la liberté de chaque pays reste entière en ce qui concerne l'organisation du service de la correspondance entre points fixes et la détermination des correspondances à faire par les stations affectées à ce service.

ART. 22. — La présente convention sera mise à exécution à partir du 1^{er} juillet 1913, et demeurera en vigueur pendant un temps indéterminé et jusqu'à l'expiration d'une année à partir du jour où la dénonciation en sera faite.

La dénonciation ne produit son effet qu'à l'égard du gouvernement au nom duquel elle a été faite. Pour les autres parties contractantes, la convention reste en vigueur.

ART. 23. — La présente convention sera ratifiée et les ratifications en seront déposées à Londres dans le plus bref délai possible.

Dans le cas où une ou plusieurs des hautes parties contractantes ne ratifieraient pas la convention, celle-ci n'en sera pas moins valable pour les parties qui l'auront ratifiée.

En foi de quoi, les plénipotentiaires respectifs ont signé la convention en un exemplaire qui restera déposé aux archives du gouvernement britannique et dont une copie sera remise à chaque partie.

Fait à Londres, le 5 juillet 1912.

PROTOCOLE FINAL. — Au moment de procéder à la signature de la convention arrêtée par la conférence radiotélégraphique internatio-

nale de Londres, les plénipotentiaires soussignés sont convenus de ce qui suit :

I. La nature exacte de l'adhésion notifiée de la part de la Bosnie-Herzégovine n'étant pas encore déterminée, il est reconnu qu'une voix est attribuée à la Bosnie-Herzégovine, une décision devant intervenir ultérieurement sur le point de savoir si cette voix lui appartient en vertu du second paragraphe de l'article 12 de la convention, ou si cette voix lui est accordée conformément aux dispositions du troisième paragraphe de cet article.

II. Il est pris acte de la déclaration suivante :

La délégation des États-Unis déclare que son gouvernement se trouve dans la nécessité de s'abstenir de toute action concernant les tarifs, parce que la transmission des radiotélégrammes ainsi que celle des télégrammes dans les États-Unis est exploitée, soit entièrement, soit en partie, par des compagnies commerciales ou particulières.

III. Il est également pris acte de la déclaration suivante :

Le gouvernement du Canada se réserve la faculté de fixer séparément, pour chacune de ses stations côtières, une taxe maritime totale pour les radiotélégrammes originaire de l'Amérique du Nord et destinés à un navire quelconque, la taxe côtière s'élevant aux trois cinquièmes et la taxe de bord aux deux cinquièmes de cette taxe totale.

En foi de quoi, les plénipotentiaires respectifs ont dressé le présent protocole final qui aura la même force et la même valeur que si ses dispositions étaient insérées dans le texte même de la convention à laquelle il se rapporte, et ils l'ont signé en un exemplaire qui restera déposé aux archives du gouvernement britannique et dont une copie sera remise à chaque partie.

RÈGLEMENT DE SERVICE ANNEXÉ A LA CONVENTION RADIOTÉLÉGRAPHIQUE INTERNATIONALE

1. ORGANISATION DES STATIONS RADIOTÉLÉGRAPHIQUES.

ARTICLE PREMIER. — Le choix des appareils et des dispositifs radiotélégraphiques à employer par les stations côtières et les stations de bord est libre. L'installation de ces stations doit répondre, autant que possible, aux progrès scientifiques et techniques.

ART. II. — Deux longueurs d'onde, l'une de 600 mètres et l'autre

de 300 mètres, sont admises pour le service de la correspondance publique générale. Toute station côtière ouverte à ce service doit être équipée de façon à pouvoir utiliser ces deux longueurs d'onde, dont l'une est désignée comme la longueur d'onde normale de la station. Pendant toute la durée de son ouverture, chaque station côtière doit être en état de recevoir les appels faits au moyen de sa longueur d'onde normale. Toutefois, pour les correspondances visées au paragraphe 2 de l'article XXXV, il est fait usage d'une longueur d'onde de 1800 mètres. En outre, chaque gouvernement peut autoriser l'emploi, dans une station côtière, d'autres longueurs d'onde destinées à assurer un service de longue portée, ou un service autre que celui de la correspondance publique générale et établi conformément aux dispositions de la convention, sous la réserve que ces longueurs d'onde ne dépassent pas 600 mètres ou qu'elles soient supérieures à 1600 mètres.

En particulier, les stations utilisées exclusivement pour l'envoi de signaux destinés à déterminer la position des navires ne doivent pas employer des longueurs d'onde supérieures à 150 mètres.

ART. III. — 1. Toute station de bord doit être équipée de façon à pouvoir se servir des longueurs d'onde de 600 mètres et de 300 mètres. La première est la longueur d'onde normale et ne peut être dépassée dans la transmission, hormis le cas de l'article XXXV (§ 2).

Il peut être fait usage d'autres longueurs d'onde, inférieures à 600 mètres, dans des cas spéciaux, et moyennant l'approbation des administrations dont dépendent les stations côtières et les stations de bord intéressées.

2. Pendant toute la durée de son ouverture, chaque station de bord doit pouvoir recevoir les appels effectués au moyen de sa longueur d'onde normale.

3. Les navires de faible tonnage qui seraient dans l'impossibilité matérielle d'utiliser la longueur d'onde de 600 mètres pour la transmission peuvent être autorisés à employer exclusivement la longueur d'onde de 300 mètres; ils doivent être en mesure de recevoir au moyen de la longueur d'onde de 600 mètres.

ART. IV. — Les communications entre une station côtière et une station de bord, ou entre deux stations de bord, doivent être échangées de part et d'autre au moyen de la même longueur d'onde. Si, dans un cas particulier, la communication est difficile, les deux stations peuvent, d'un commun accord, passer de la longueur d'onde au moyen de laquelle elles correspondent à l'autre longueur d'onde réglementaire. Les deux stations reprennent leurs longueurs d'onde normales lorsque l'échange radiotélégraphique est terminé.

ART. V. — 1. Le bureau international dresse, publie et révise périodiquement une carte officielle mentionnant les stations côtières, leurs portées normales, les principales lignes de navigation et le temps employé normalement par les navires pour la traversée entre les divers ports d'atterrissement.

2. Il établit et publie une nomenclature des stations radiotélégraphiques visées à l'article premier de la convention, ainsi que des suppléments périodiques pour les additions et modifications. Cette nomenclature donne pour chaque station les renseignements suivants :

1° Pour les stations côtières : le nom, la nationalité et la position géographique indiquée par la subdivision territoriale et par la longitude et la latitude du lieu ; pour les stations de bord : le nom et la nationalité du navire ; le cas échéant, le nom et l'adresse de l'exploitant ;

2° L'indicatif d'appel (les indicatifs doivent être différenciés les uns des autres, et chacun doit être formé d'un groupe de trois lettres) ;

3° La portée normale ;

4° Le système radiotélégraphique avec les caractéristiques du système d'émission (étincelles musicales, tonalité exprimée par le nombre de vibrations doubles, etc.) ;

5° Les longueurs d'onde utilisées (la longueur d'onde normale est soulignée) ;

6° La nature des services effectués ;

7° Les heures d'ouverture ;

8° Le cas échéant, l'heure et le mode d'envoi des signaux horaires et des télégrammes météorologiques ;

9° La taxe côtière ou de bord.

3. Sont compris également dans la nomenclature les renseignements relatifs aux stations radiotélégraphiques autres que celles visées à l'article premier de la convention qui sont communiqués au bureau international par l'administration dont dépendent ces stations, pourvu qu'il s'agisse, soit d'administrations adhérentes à la convention, soit d'administrations non adhérentes, mais ayant fait la déclaration prévue à l'article XLVIII.

4. Les notations suivantes sont adoptées dans les documents à l'usage du service international pour désigner les stations radiotélégraphiques :

PG, station ouverte à la correspondance publique générale ;

PR, station ouverte à la correspondance publique restreinte ;

P, station d'intérêt privé ;

O, station ouverte seulement à la correspondance officielle;

N, station ayant un service permanent;

X, station n'ayant pas de vacations déterminées.

5. Le nom d'une station de bord indiqué à la première colonne de la nomenclature doit être suivi, en cas d'homonymie, de l'indicatif d'appel de cette station.

ART. VI. — L'échange de signaux et de mots superflus est interdit aux stations visées à l'article premier de la convention. Des essais et des exercices ne sont tolérés dans ces stations qu'autant qu'ils ne troubent point le service d'autres stations.

Les exercices doivent être effectués avec des longueurs d'onde différentes de celles admises pour la correspondance publique, et avec le minimum de puissance nécessaire.

ART. VII. — 1. Toutes les stations sont tenues d'échanger le trafic avec le minimum d'énergie nécessaire pour assurer une bonne communication.

2. Toute station côtière ou de bord doit satisfaire aux conditions suivantes :

a. Les ondes émises doivent être aussi pures et aussi peu amorties que possible.

En particulier, l'usage de dispositifs transmetteurs dans lesquels la production des ondes émises est obtenue par excitation directe de l'antenne n'est pas autorisé, sauf dans les cas de détresse.

Il peut cependant être admis pour certaines stations spéciales (par exemple celle des petits bateaux) dans lesquelles la puissance primaire ne dépasse pas 50 watts.

b. Les appareils doivent être à même de transmettre et de recevoir à une vitesse au moins égale à 20 mots par minute, le mot étant compté à raison de 5 lettres.

Les installations nouvelles mettant en jeu une énergie de plus de 50 watts seront équipées de telle sorte qu'il soit possible d'obtenir facilement plusieurs portées inférieures à la portée normale, la plus faible étant de 15 milles nautiques environ. Les installations anciennes mettant en jeu une énergie de plus de 50 watts seront transformées, autant que possible, de manière à satisfaire aux prescriptions précédentes.

c. Les appareils récepteurs doivent permettre de recevoir, avec le maximum possible de protection contre les perturbations, les transmissions sur les longueurs d'onde prévues au présent règlement jusqu'à 600 mètres.

3. Les stations servant exclusivement à déterminer la position

des navires (radiophares) ne doivent pas avoir une portée supérieure à 30 milles nautiques.

ART. VIII. — Indépendamment des conditions générales spécifiées à l'article VII, les stations de bord doivent également satisfaire aux conditions suivantes :

a. La puissance transmise à l'appareil radiotélégraphique, mesurée aux bornes de la génératrice de la station, ne doit pas, dans les circonstances normales, dépasser 1 kilowatt.

b. Sous réserve des prescriptions de l'article XXXV, § 2, une puissance supérieure à 1 kilowatt peut être employée, si le navire se trouve dans la nécessité de correspondre à une distance de plus de 200 milles nautiques de la station côtière la plus rapprochée, ou si, par suite de circonstances exceptionnelles, la communication ne peut être réalisée qu'au moyen d'une augmentation de puissance.

ART. IX. — 1. Aucune station de bord ne peut être établie ou exploitée par une entreprise privée sans une licence délivrée par le gouvernement dont dépend le navire.

Les stations à bord des navires ayant leur port d'attache dans une colonie, possession ou protectorat peuvent être désignées comme dépendant de l'autorité de cette colonie, possession ou protectorat.

2. Toute station de bord titulaire d'une licence délivrée par l'un des gouvernements contractants doit être considérée par les autres gouvernements comme ayant une installation remplissant les conditions prévues par le présent règlement.

Les autorités compétentes des pays où le navire fait escale peuvent exiger la production de la licence. A défaut de cette production, ces autorités peuvent s'assurer que les installations radiotélégraphiques du navire satisfont aux conditions imposées par le présent règlement.

Lorsqu'une administration reconnaît par la pratique qu'une station de bord ne remplit pas ces conditions, elle doit, dans tous les cas, adresser une réclamation à l'administration du pays dont dépend le navire. Il est ensuite procédé, le cas échéant, comme le prescrit l'article XII, § 2.

ART. X. — 1. Le service de la station de bord doit être assuré par un télégraphiste possesseur d'un certificat délivré par le gouvernement dont dépend le navire, ou, en cas d'urgence et seulement pour une traversée, par un autre gouvernement adhérent.

2. Il y a deux classes de certificats :

Celui de première classe constate la valeur professionnelle du télégraphiste en ce qui concerne :

a. Le réglage des appareils et la connaissance de leur fonctionnement;

b. La transmission et la réception auditive à une vitesse qui ne doit pas être inférieure à 20 mots par minute;

c. La connaissance des règlements applicables à l'échange des communications radiotélégraphiques.

Le certificat de seconde classe peut être délivré à un télégraphiste n'atteignant qu'une vitesse de transmission et de réception de 12 à 19 mots par minute, tout en satisfaisant aux autres conditions susmentionnées. Les télégraphistes possesseurs d'un certificat de seconde classe peuvent être admis :

a. Sur les navires qui n'emploient la radiotélégraphie que pour leur service propre et pour la correspondance de l'équipage, en particulier sur les bateaux de pêche;

b. Sur tous les navires, à titre de suppléants, pourvu que ces navires aient à bord au moins *un* télégraphiste possesseur d'un certificat de première classe. Toutefois, sur les navires classés dans la première catégorie indiquée à l'article XIII, le service doit être assuré par au moins deux télégraphistes possesseurs de certificats de première classe.

Dans les stations de bord, les transmissions ne pourront être faites que par un télégraphiste muni d'un certificat de première ou de seconde classe, exception faite des cas d'urgence où il serait impossible de se conformer à cette disposition.

3. En outre, le certificat constate que le gouvernement a soumis le télégraphiste à l'obligation du secret des correspondances.

4. Le service radiotélégraphique de la station de bord est placé sous l'autorité supérieure du commandant du navire.

ART. XI. — Les navires dotés d'installations radiotélégraphiques et classés dans les deux premières catégories indiquées à l'article XIII sont tenus d'avoir des installations radiotélégraphiques de secours dont tous les éléments sont placés dans des conditions de sécurité aussi grandes que possible et à déterminer par le gouvernement qui délivre la licence. Ces installations de secours doivent disposer d'une source d'énergie qui leur soit propre, pouvoir être mises rapidement en marche, fonctionner pendant 6 heures au moins et avoir une portée minima de 80 milles nautiques pour les navires de la première catégorie et de 50 milles pour ceux de la deuxième catégorie. Cette installation de secours n'est pas exigée pour les navires dont l'installation normale remplit les conditions du présent article.

ART. XII. — 1. Si une administration a connaissance d'une

infraction à la convention ou au règlement commise dans une des stations qu'elle a autorisées, elle constate les faits et fixe les responsabilités.

En ce qui concerne les stations de bord, si la responsabilité incombe au télégraphiste, l'administration prend les mesures nécessaires et, le cas échéant, retire le certificat. S'il est constaté que l'infraction résulte de l'état des appareils ou d'instructions données au télégraphiste, il est procédé de même à l'égard de la licence accordée au navire.

2. Dans le cas d'infractions réitérées à la charge du même navire, si les représentations faites à l'administration dont dépend le navire par une autre administration restent sans effet, celle-ci a la faculté, après en avoir donné avis, d'autoriser ses stations côtières à ne pas accepter les communications provenant du navire en cause. En cas de différend entre les deux administrations, la question est soumise à un jugement arbitral à la demande de l'un des gouvernements intéressés. La procédure est indiquée à l'article 18 de la convention.

2. DURÉE DU SERVICE DES STATIONS.

ART. XIII. — *a. Stations côtières.* — 1. Le service des stations côtières est, autant que possible, permanent, le jour et la nuit, sans interruptions.

Toutefois, certaines stations côtières peuvent avoir un service de durée limitée. Chaque administration fixe les heures de service.

2. Les stations côtières dont le service n'est point permanent ne peuvent prendre clôture avant d'avoir transmis tous leurs radiotélégrammes aux navires qui se trouvent dans leur rayon d'action et avant d'avoir reçu de ces navires tous les radiotélégrammes annoncés. Cette disposition est également applicable lorsque des navires signalent leur présence avant la cessation effective du travail.

b. Stations de bord. — 3. Les stations de bord sont classées en trois catégories :

- 1^o Stations ayant un service permanent ;
- 2^o Stations ayant un service de durée limitée ;
- 3^o Stations n'ayant pas de vacations déterminées.

Pendant la navigation, doivent rester en permanence sur écoute : 1^o les stations de première catégorie ; 2^o celles de la deuxième catégorie, durant les heures d'ouverture du service ; en dehors de ces heures, ces dernières stations doivent rester sur écoute les 10 premières minutes de chaque heure. Les stations de la troisième catégorie ne sont astreintes à aucun service régulier d'écoute.

Il appartient aux gouvernements qui délivrent les licences spécifiées par l'article IX de fixer la catégorie dans laquelle est classé le navire au point de vue de ses obligations en matière d'écoute. Mention de cette classification est faite dans la licence.

3. RÉDACTION ET DÉPÔT DES RADIOTÉLÉGRAMMES.

ART. XIV. — 1. Les radiotélégrammes portent, comme premier mot du préambule, la mention de service *radio*.

2. Dans la transmission de radiotélégrammes originaires d'un navire en mer, la date et l'heure du dépôt à la station de bord sont indiquées dans le préambule.

3. A la réexpédition sur le réseau télégraphique, la station côtière inscrit, comme indication du bureau d'origine, le nom du navire d'origine tel qu'il figure à la nomenclature, et aussi, le cas échéant, celui du dernier navire qui a servi d'intermédiaire. Ces indications sont suivies du nom de la station côtière.

ART. XV. — 1. L'adresse des radiotélégrammes destinés aux navires doit être aussi complète que possible. Elle est obligatoirement libellée comme suit :

- a. Nom ou qualité du destinataire, avec indication complémentaire, s'il y a lieu ;
- b. Nom du navire, tel qu'il figure dans la première colonne de la nomenclature ;
- c. Nom de la station côtière, tel qu'il figure à la nomenclature.

Toutefois, le nom du navire peut être remplacé, aux risques et périls de l'expéditeur, par l'indication du parcours effectué par ce navire et déterminé par les noms des ports d'origine et de destination ou par toute autre mention équivalente.

2. Dans l'adresse, le nom du navire, tel qu'il figure dans la première colonne de la nomenclature, est, dans tous les cas et indépendamment de sa longueur, compté pour un mot.

3. Les radiotélégrammes rédigés à l'aide du Code international de signaux sont transmis à destination sans être traduits.

4. TAXATION.

ART. XVI. — 1. La taxe côtière et la taxe de bord sont fixées suivant le tarif par mot pur et simple, sur la base d'une rémunéra-

tion équitable du travail radiotélégraphique, avec application facultative d'un minimum de taxe par radiotélégramme.

La taxe côtière ne peut dépasser 0 fr. 60 par mot, et celle de bord, 0 fr. 40 par mot. Toutefois, chacune des administrations a la faculté d'autoriser des taxes côtières et de bord supérieures à ces maxima dans le cas de stations d'une portée dépassant 400 milles nautiques, ou de stations exceptionnellement onéreuses en raison des conditions matérielles de leur installation et de leur exploitation.

Le minimum facultatif de taxe par radiotélégramme ne peut être supérieur à la taxe côtière ou de bord d'un radiotélégramme de 10 mots.

2. En ce qui concerne les radiotélégrammes originaires ou à destination d'un pays et échangés directement avec les stations côtières de ce pays, la taxe applicable à la transmission sur les lignes télégraphiques ne doit pas dépasser, en moyenne, celle du régime intérieur de ce pays.

Cette taxe est calculée par mot pur et simple, avec un minimum facultatif de perception ne dépassant pas la taxe afférente à 10 mots. Elle est notifiée en francs par l'administration du pays dont relève la station côtière.

Pour les pays du régime européen, à l'exception de la Russie et de la Turquie, il n'y a qu'une taxe unique pour le territoire de chaque pays.

ART. XVII. — 1. Lorsqu'un radiotélégramme original d'un navire et à destination de la terre ferme transite par une ou deux stations de bord, la taxe comprend, outre celles du bord d'origine, de la station côtière et des lignes télégraphiques, la taxe de bord de chacun des navires ayant participé à la transmission.

2. L'expéditeur d'un radiotélégramme original de la terre ferme et destiné à un navire peut demander que son message soit transmis par l'intermédiaire d'une ou de deux stations de bord ; il dépose à cet effet le montant des taxes radiotélégraphiques et télégraphiques, et en outre, à titre d'arrhes, une somme à fixer par le bureau d'origine en vue du paiement aux stations de bord intermédiaires des taxes de transit fixées au § 1 ; il doit encore verser, à son choix, la taxe d'un télégramme de 5 mots ou le prix d'affranchissement d'une lettre à expédier par la station côtière au bureau d'origine pour donner les renseignements nécessaires à la liquidation des arrhes déposées.

Le radiotélégramme est alors accepté aux risques et périls de l'expéditeur ; il porte avant l'adresse l'indication éventuelle taxée :

x retransmissions télégraphe ou x retransmissions lettre (*x* représentant le nombre des retransmissions demandées par l'expéditeur), selon que l'expéditeur désire que les renseignements nécessaires à la liquidation des arrhes soient fournis par télégraphe ou par lettre.

3. La taxe des radiotélégrammes originaires d'un navire, à destination d'un autre navire, et acheminés par l'intermédiaire d'une ou de deux stations côtières, comprend :

Les taxes de bord des deux navires, la taxe de la station côtière ou des deux stations côtières, selon le cas, et éventuellement la taxe télégraphique applicable au parcours entre les deux stations côtières.

4. La taxe des radiotélégrammes échangés entre les navires en dehors de l'intervention d'une station côtière comprend les taxes de bord des navires d'origine et de destination augmentées des taxes de bord des stations intermédiaires.

5. Les taxes côtière et de bord dues aux stations de transit sont les mêmes que celles fixées pour ces stations lorsque ces dernières sont stations d'origine ou de destination. Dans tous les cas, elles ne sont perçues qu'une fois.

6. Pour toute station côtière intermédiaire, la taxe à percevoir pour le service de transit est la plus élevée des taxes côtières afférentes à l'échange direct avec les deux navires en cause.

ART. XVIII. — Le pays sur le territoire duquel est établie une station côtière servant d'intermédiaire pour l'échange de radiotélégrammes entre une station de bord et un autre pays est considéré, en ce qui concerne l'application des taxes télégraphiques, comme pays de provenance ou de destination de ces radiotélégrammes et non comme pays de transit.

5. — PERCEPTION DES TAXES.

ART. XIX. — 1. La taxe totale des radiotélégrammes est perçue sur l'expéditeur, à l'exception : 1^o des frais d'expres (art. LVIII, § 1, du règlement télégraphique); 2^o des taxes applicables aux réunions ou altérations de mots non admises, constatées par le bureau ou la station de destination (art. XIX, § 9 du Règlement télégraphique), ces taxes étant perçues sur le destinataire.

Les stations de bord doivent posséder à cet effet les tarifs utiles. Elles ont, toutefois, la faculté de se renseigner auprès des stations côtières au sujet de la taxation de radiotélégrammes pour lesquels elles ne possèdent pas toutes les données nécessaires.

2. Le compte des mots du bureau d'origine est décisif au sujet des radiotélégrammes à destination de navires, et celui de la station de bord d'origine est décisif au sujet des radiotélégrammes originaires de navires, tant pour la transmission que pour les comptes internationaux. Toutefois, quand le radiotélégramme est rédigé totalement ou partiellement, soit dans une des langues du pays de destination, en cas de radiotélégrammes originaires de navires, soit dans une des langues du pays dont dépend le navire, s'il s'agit de radiotélégrammes à destination de navires, et que le radiotélégramme contient des réunions ou des altérations de mots contraires à l'usage de cette langue, le bureau ou la station de bord de destination, suivant le cas, a la faculté de recouvrer sur le destinataire le montant de la taxe non perçue. En cas de refus de paiement, le radiotélégramme peut être arrêté.

6. — TRANSMISSION DES RADIOTÉLÉGRAMMES.

a. Signaux de transmission.

ART. XX. — Les signaux employés sont ceux du code Morse international.

ART. XXI. — Les navires en détresse font usage du signal suivant : ■ ■ ■ - - - - ■ ■ ■ répété à de courts intervalles, suivi des indications nécessaires.

Dès qu'une station perçoit le signal de détresse, elle doit suspendre toute correspondance et ne la reprendre qu'après avoir acquis la certitude que la communication motivée par l'appel de secours est terminée.

Les stations qui perçoivent un appel de détresse doivent se conformer aux indications données par le navire qui fait l'appel, en ce qui concerne l'ordre des communications ou leur cessation.

Dans le cas où à la fin de la série des appels de secours est ajouté l'indicatif d'appel d'une station déterminée, la réponse à l'appel n'appartient qu'à cette dernière station, à moins que celle-ci ne réponde pas. A défaut de l'indication d'une station déterminée dans l'appel de secours, chaque station qui perçoit cet appel est tenue d'y répondre.

ART. XXII. — Pour donner ou demander des renseignements concernant le service radiotélégraphique, les stations doivent faire usage des signaux contenus dans la liste annexée au présent règlement.

LISTE DES ABRÉVIATIONS À EMPLOYER DANS LES TRANSMISSIONS RADIOTÉLÉGRAPHIQUES !

ABRÉVIA TION	QUESTIO NS	RÉPONSE OU AVIS
[]	(C) []	Signal de recherche employé par une station qui désire entrer en correspondance.
[]	(T R) []	Signal annonçant l'envoi d'indications concernant une station de bord (article XVIII).
[]	(C) []	Signal indiquant qu'une station va émettre avec une grande puissance.
P R B	Désirez-vous communiquer avec ma station, à l'aide du Code international de signaux?	Je désire communiquer avec votre station à l'aide du Code international de signaux.
Q R A	Quel est le nom de votre station?	Ici la station ...
Q R B	A quelle distance vous trouvez-vous de ma station?	La distance entre nos stations est de ... milles nautiques.
Q R C	Où est votre vrai relèvement?	Mon vrai relèvement est de ... degrés.
Q R D	Où allez-vous?	Je vais à ...
Q R E	D'où venez-vous?	Je viens de ...
Q R F	A quelle compagnie ou ligne de navigation appartenez-vous?	J'appartiens à ...
Q R G	Quelle est votre longueur d'onde?	Ma longueur d'onde est de ... mètres.
Q R H	Combien de mètres avez-vous à transmettre?	J'ai ... mètres à transmettre.
Q R I	Comment recevez-vous?	Je reçois bien.
Q R J	Recevez-vous mal?	Transmettez 20 fois: [] pour que je
Q R K	Dois-je transmettre 20 fois: [] pour permettre le réglage de vos appareils?	Je reçois mal.
Q R L	Etes-vous en état de me faire entendre?	Transmettez plus lentement.
Q R M	Les atmosphériques sont-elles très fortes?	Cessez la transmission.
Q R N	Dois-je augmenter l'énergie?	Je n'ai rien pour vous.
Q R O	Dois-je diminuer l'énergie?	Je suis prêt. Tout est en ordre.
Q R P	Dois-je transmettre plus vite?	Je suis occupé avec une autre station [ou : avec ...]. Prière de ne pas troubler.
Q R Q	Dois-je transmettre plus lentement?	Attendez. Je vous appellerai à ... heures [ou : au besoin].
Q R R	Dois-je cesser la transmission?	Votre tour est numero ...
Q R S	Avez-vous quelque chose pour moi?	Vos signaux sont fâcheux.
Q R T	Etes-vous occupé?	Vos signaux sont fâcheux.
Q R U	Dois-je attendre?	Vos signaux sont fâcheux.
Q R V	Quel est mon tour?	Vos signaux sont fâcheux.
Q R W	Mes signaux sont-ils faibles?	Vos signaux sont fâcheux.

Q S A	Mes signaux sont-ils forts	Vos signaux sont-ils forts.
Q S B	Mon ton est-il mauvais?	Le ton est mauvais.
Q S C	Mon élinelle est-elle mauvaise?	L'élinelle est mauvaise.
Q S D	Les intervalles de transmission sont-ils mauvais?	Les intervalles de transmission sont mauvais.
Q S E	Comparaisons nos montres. J'ai ... heures; quelle heure avez-vous?	L'heure est ...
Q S F	Les radiotélégrammes doivent-ils être transmis dans l'ordre alternatif ou par séries?	La transmission sera faite dans l'ordre alternatif.
Q S G	.....	La transmission sera faite par séries de 5 radiotélégrammes.
Q S H	Quelle est la taxe à percevoir pour ...?	La taxe à percevoir est de ...
Q S I	Le dernier radiotélégramme est-il annulé?	Le dernier radiotélégramme est annulé.
Q S J	Quelle est votre vraie route?	Ma vraie route est de ... degrés.
Q S K	Avez-vous reçu quittance?	Je ne communique pas avec terre formue.
Q S L	Communiquez-vous avec terre ferme?	Je suis en communication avec ... [par l'intermédiaire de ...].
Q S M	.....	Informez ... que je l'appelle.
Q S N	Etes-vous en communication avec une autre station [ou : avec ...]?	Vous êtes appelé par ...
Q S O	D'où je signaler à ... que vous lappelez?	J'expédierai le radiotélégramme ...
Q S P	Suis-je appelé par ...?	Appel général à toutes stations.
Q S Q	Expédieriez-vous le radiotélégramme ...?	Je vous appellera des que j'aurai fini.
Q S R	.....	Correspondance publique est engagée. Prière de ne pas la troubler.
Q S S	Avez-vous reçu un appel général?	Diminuez la fréquence d'émission.
Q S T	Frire m'appeler dès que vous aurez fini [ou : à ... heures].	Passons à l'onde de ... mètres.
Q S U	Correspondance publique est-elle engagée?	.....
Q S V	Dois-je augmenter ma fréquence d'élinelle?	.....
Q S W	Dois-je diminuer ma fréquence d'élinelle?	.....
Q S X	Dois-je transmettre avec la longueur d'onde de ... mètres?	.....
Q S Y	Dois-je diminuer la fréquence d'élinelle?	.....
	Lorsqu'une abréviation est suivie d'un point d'interrogation, elle s'applique à la question indiquée en regard de cette abréviation.	
	<i>Exemples :</i>	
A	Q R A?	⇒ Quel est le nom de votre station?
B	Q R A	⇒ Ici la station Campania.
A	Q R G?	⇒ A quelle compagnie ou ligne de navigation appartenez-vous?
B	Q R G	⇒ A la Comar Line. Vos signaux sont fiables.
	La station A augmente alors l'énergie de son transmetteur et lance:	
A	Q R K?	⇒ Comment recevez-vous?
B	Q R K	⇒ Je接收 bien.
	Q R B 80	⇒ La distance entre nos stations est de 80 miles nautiques.
	Q R C 62	⇒ Mon vrai relèvement est de 62°.
	etc.	etc.

b. Ordre de transmission.

ART. XXIII. — Entre deux stations, les radiotélégrammes de même rang sont transmis isolément dans l'ordre alternatif ou par séries de plusieurs radiotélégrammes suivant l'indication de la station côtière, à la condition que la durée de la transmission de chaque série ne dépasse pas 15 minutes.

c. Appel des stations et transmission des radiotélégrammes.

ART. XXIV. — 1. En règle générale, c'est la station de bord qui appelle la station côtière, qu'elle ait ou non à transmettre des radiotélégrammes.

2. Dans les eaux où le trafic radiotélégraphique est intense (la Manche, etc.), l'appel d'un navire à une station côtière ne peut, en règle générale, s'effectuer que si cette dernière se trouve dans la portée normale de la station de bord et lorsque celle-ci arrive à une distance inférieure à 75 pour 100 de la portée normale de la station côtière.

3. Avant de procéder à un appel, la station côtière ou la station de bord doit régler le plus sensiblement possible son système récepteur et s'assurer qu'aucune autre communication ne s'effectue dans son rayon d'action : s'il en est autrement, elle attend la première suspension, à moins qu'elle ne reconnaîsse que son appel n'est pas susceptible de troubler les communications en cours. Il en est de même dans le cas où elle veut répondre à un appel.

4. Pour l'appel, toute station fait emploi de l'onde normale de la station à appeler.

5. Si, malgré ces précautions, une transmission radiotélégraphique est entravée, l'appel doit cesser à la première demande d'une station côtière ouverte à la correspondance publique. Cette station doit alors indiquer la durée approximative de l'attente.

6. La station de bord doit faire connaître à chaque station côtière à laquelle elle a signalé sa présence le moment où elle se propose de cesser ses opérations ainsi que la durée probable de l'interruption.

ART. XXV. — 1. L'appel comporte le signal — — — — —, l'indicatif de la station appelée, émis trois fois, et le mot *de* suivi de l'indicatif de la station expéditrice émis trois fois.

2. La station appelée répond en donnant le signal — — — — —,

suivi de l'indicatif, émis trois fois, de la station correspondante, du mot *de*, de son propre indicatif et du signal — — — .

3. Les stations qui désirent entrer en communication avec des navires, sans cependant connaître les noms de ceux qui se trouvent dans leur rayon d'action, peuvent employer le signal — — — — — (signal de recherche). Les dispositions des paragraphes 1 et 2 sont également applicables à la transmission du signal de recherche et à la réponse à ce signal.

ART. XXVI. — Si une station appelée ne répond pas à la suite de l'appel (art. XXV), émis trois fois à des intervalles de 2 minutes, l'appel ne peut être repris qu'après un intervalle de 15 minutes, la station faisant l'appel s'étant d'abord assurée du fait qu'aucune communication radiotélégraphique n'est en cours.

ART. XXVII. — Toute station qui doit effectuer une transmission nécessitant l'emploi d'une grande puissance émet d'abord trois fois le signal d'avertissement — — — — avec la puissance minimum nécessaire pour atteindre les stations voisines. Elle ne commence ensuite à transmettre avec la grande puissance que 30 secondes après l'envoi du signal d'avertissement.

ART. XXVIII. — 1. Aussitôt que la station côtière a répondu, la station de bord lui fournit les renseignements qui suivent si elle a des messages à lui transmettre ; ces renseignements sont également donnés lorsque la station côtière en fait la demande :

- a. La distance approximative, en milles nautiques, du navire à la station côtière ;
- b. La position du navire indiquée sous une forme concise et adaptée aux circonstances respectives ;
- c. Le prochain port auquel touchera le navire ;
- d. Le nombre de radiotélégrammes, s'ils sont de longueur normale, ou le nombre de mots, si les messages ont une longueur exceptionnelle.

La vitesse du navire en milles nautiques est indiquée spécialement à la demande expresse de la station côtière.

2. La station côtière répond en indiquant, comme il est dit au paragraphe 1, soit le nombre de radiotélégrammes, soit le nombre de mots à transmettre au navire, ainsi que l'ordre de transmission.

3. Si la transmission ne peut avoir lieu immédiatement, la station côtière fait connaître, à la station du bord, la durée approximative de l'attente.

4. Si une station de bord appelée ne peut momentanément recevoir, elle informe la station appelante de la durée approximative de l'attente.

5. Dans les échanges entre deux stations de bord, il appartient à la station appelée de fixer l'ordre de transmission.

ART. XXIX. — Lorsqu'une station côtière est saisie d'appels provenant de plusieurs stations de bord, elle décide de l'ordre dans lequel ces stations seront admises à échanger leurs correspondances.

Pour régler cet ordre, la station côtière s'inspire uniquement de la nécessité de permettre à toute station intéressée d'échanger le plus grand nombre possible de radiotélégrammes.

ART. XXX. — Avant de commencer l'échange de la correspondance, la station côtière fait connaître à la station de bord si la transmission doit s'effectuer dans l'ordre alternatif ou par série (art. XXIII); elle commence ensuite la transmission ou fait suivre ces indications du signal **— — —**.

ART. XXXI. — La transmission d'un radiotélégramme est précédée du signal **— — — —** et terminée par le signal **— — — —** suivi de l'indicatif de la station expéditrice et du signal **— — —**.

Dans le cas d'une série de radiotélégrammes, l'indicatif de la station expéditrice et le signal **— — —** ne sont donnés qu'à la fin de la série.

ART. XXXII. — Lorsque le radiotélégramme à transmettre contient plus de 40 mots, la station expéditrice interrompt la transmission par le signal **— — — — —** après chaque série de 20 mots environ, et elle ne reprend la transmission qu'après avoir obtenu de la station correspondante la répétition du dernier mot bien reçu, suivi dudit signal, ou, si la réception est bonne, le signal **— — —**.

Dans le cas de transmission par séries, l'accusé de réception est donné après chaque radiotélégramme.

Les stations côtières occupées à transmettre de longs radiotélégrammes doivent suspendre la transmission à la fin de chaque période de 15 minutes, et rester silencieuses pendant une durée de 3 minutes avant de continuer la transmission.

Les stations côtières et de bord qui travaillent dans les conditions prévues par l'article XXXV, paragraphe 2, doivent suspendre le travail à la fin de chaque période de 15 minutes et faire l'écoute sur la longueur d'onde de 600 mètres pendant une durée de 3 minutes avant de continuer la transmission.

ART. XXXIII. — 1. Lorsque les signaux deviennent douteux, il importe d'avoir recours à toutes les ressources possibles pour l'achèvement de la transmission. A cet effet, le radiotélégramme est transmis trois fois au plus, à la demande de la station réceptrice. Si, malgré cette triple transmission, les signaux sont toujours illisibles, le radiotélégramme est annulé.

Si l'accusé de réception n'est pas reçu, la station transmettrice appelle de nouveau la station correspondante. Lorsqu'aucune réponse n'est faite après trois appels, la transmission n'est pas poursuivie. Dans ce cas, la station transmettrice a la faculté d'obtenir l'accusé de réception par l'intermédiaire d'une autre station radiotélégraphique en utilisant, le cas échéant, les lignes du réseau télégraphique.

2. Si la station réceptrice juge que, malgré une réception défectueuse, le radiotélégramme peut être remis, elle inscrit à la fin du préambule la mention de service : *réception douteuse* et donne cours au radiotélégramme. Dans ce cas, l'administration dont relève la station côtière réclame les taxes, conformément à l'article XLII du présent règlement. Toutefois, si la station de bord transmet ultérieurement le radiotélégramme à une autre station côtière de la même administration, celle-ci ne peut réclamer que les taxes afférentes à une seule transmission.

d. Accusé de réception et fin de travail.

ART. XXXIV. — 1. L'accusé de réception se donne dans la forme prescrite par le règlement télégraphique international ; il est précédé de l'indicatif de la station transmettrice et suivi de l'indicatif de la station réceptrice.

2. La fin du travail entre deux stations est indiquée par chacune d'elles au moyen du signal **■■■■■** suivi de son propre indicatif.

e. Direction à donner aux radiotélégrammes.

ART. XXXV. — 1. En principe, la station de bord transmet ses radiotélégrammes à la station côtière la plus rapprochée.

Cependant, si la station de bord peut choisir entre plusieurs stations côtières se trouvant à distances égales ou à peu près égales, elle donne la préférence à celle qui est établie sur le territoire du pays de destination ou de transit normal de ses radiotélégrammes.

2. Toutefois, un expéditeur à bord d'un navire a le droit d'indiquer la station côtière par laquelle il désire que son radiotélégramme soit expédié. La station de bord attend alors jusqu'à ce que cette station côtière soit la plus rapprochée.

Exceptionnellement, la transmission peut s'effectuer à une station côtière plus éloignée, pourvu que :

a. Le radiotélégramme soit destiné au pays où est située cette station côtière et émane d'un navire dépendant de ce pays ;

b. Pour les appels et la transmission, les deux stations utilisent une longueur d'onde de 1 800 mètres ;

c. La transmission par cette longueur d'onde ne trouble pas une transmission effectuée, au moyen de la même longueur d'onde, par une station côtière plus rapprochée ;

d. La station de bord se trouve à une distance de plus de 50 milles nautiques de toute station côtière indiquée dans la nomenclature. La distance de 50 milles peut être réduite à 25 milles sous la réserve que la puissance maxima aux bornes de la génératrice n'excède pas 5 kilowatts et que les stations de bord soient établies en conformité des articles VII et VIII. Cette réduction de distance n'est pas applicable dans les mers, baies ou golfes dont les rives appartiennent à un seul pays et dont l'ouverture sur la haute mer a moins de 100 milles.

7. REMISES DES RADIOTÉLÉGRAMMES À DESTINATION.

ART. XXXVI. — Lorsque, pour une cause quelconque, un radiotélégramme provenant d'un navire en mer et destiné à la terre ferme ne peut être remis au destinataire, il est émis un avis de non-remise. Cet avis est transmis à la station côtière qui a reçu le radiotélégramme primitif. Cette dernière, après vérification de l'adresse, réexpédie l'avis au navire, s'il est possible, au besoin par l'intermédiaire d'une autre station côtière du même pays ou d'un pays voisin.

Lorsqu'un radiotélégramme parvenu à une station de bord ne peut être remis, cette station en fait part au bureau ou à la station de bord d'origine par avis de service. Dans le cas des radiotélégrammes émanant de la terre ferme, cet avis est transmis, autant que possible, à la station côtière, par laquelle a transité le radiotélégramme, ou, le cas échéant, à une autre station côtière du même pays ou d'un pays voisin.

ART. XXXVII. — Si le navire auquel est destiné un radiotélégramme n'a pas signalé sa présence à la station côtière dans le délai indiqué par l'expéditeur ou, à défaut d'une telle indication, jusqu'au matin du huitième jour suivant, cette station côtière en donne avis au bureau d'origine, qui en informe l'expéditeur.

Celui-ci a la faculté de demander par avis de service taxé, télégraphique ou postal, adressé à la station côtière, que son radiotélégramme soit retenu pendant une nouvelle période de 9 jours pour être transmis au navire, et ainsi de suite. A défaut d'une telle demande, le radiotélégramme est mis au rebut à la fin du neuvième jour (jour de dépôt non compris).

Cependant, si la station côtière a la certitude que le navire est sorti de son rayon d'action avant qu'elle ait pu lui transmettre le radiotélégramme, elle en informe immédiatement le bureau d'origine, qui avise sans retard l'expéditeur de l'annulation du message. Toutefois, l'expéditeur peut, par avis de service taxé, demander à la station côtière de transmettre le radiotélégramme au plus prochain passage du navire.

8. RADIOTÉLÉGRAMMES SPÉCIAUX.

ART. XXXVIII. — Sont seuls admis :

1^o *Les radiotélégrammes avec réponse payée.* Ces radiotélégrammes portent, avec l'adresse, l'indication : *Réponse payée ou RP*, complétée par la mention du montant payé d'avance pour la réponse, soit : *Réponse payée fr. x*, ou : *RP fr. x*.

Le bon de réponse émis à bord d'un navire donne la faculté d'expédier, dans la limite de sa valeur, un radiotélégramme à une destination quelconque à partir de la station de bord qui a émis ce bon ;

2^o *Les radiotélégrammes avec collationnement* ;

3^o *Les radiotélégrammes à remettre par exprès.* Mais seulement dans les cas où le montant des frais d'exprès est perçu sur le destinataire. Les pays qui ne peuvent adopter ces radiotélégrammes doivent en faire la déclaration au bureau international. Les radiotélégrammes à remettre par exprès avec frais perçus sur l'expéditeur peuvent être admis lorsqu'ils sont destinés au pays sur le territoire duquel se trouve la station côtière correspondante ;

4^o *Les radiotélégrammes à remettre par poste* ;

5^o *Les radiotélégrammes multiples* ;

6^o *Les radiotélégrammes avec accusé de réception.* Mais seulement en ce qui concerne la notification de la date et de l'heure auxquelles la station côtière a transmis à la station de bord le radiotélégramme adressé à cette dernière ;

7^o *Les avis de service taxés.* Sauf ceux qui demandent une répétition ou un renseignement. Toutefois, tous les avis de service taxés sont admis sur le parcours des lignes télégraphiques ;

8^o *Les radiotélégrammes urgents.* Mais seulement sur le parcours des lignes télégraphiques et sous réserve de l'application du règlement télégraphique international.

ART. XXXIX. — Les radiotélégrammes peuvent être transmis par une station côtière à un navire, ou par un navire à un autre navire, en vue d'une réexpédition par la voie postale à effectuer à partir d'un port d'atterrissement du navire réceptionnaire.

Ces radiotélégrammes ne comportent aucune retransmission radio-télégraphique.

L'adresse de ces radiotélégrammes doit être libellée ainsi qu'il suit :

1^o Indication taxée *poste* suivie du nom du port où le radiotélégramme doit être remis à la poste ;

2^o Nom et adresse complète du destinataire ;

3^o Nom de la station de bord qui doit effectuer le dépôt à la poste ;

4^o Le cas échéant, nom de la station côtière.

Exemple : Poste Buenosaires Martinez 14 Calle Prat Valparaiso Avon Lizard.

La taxe comprend, outre les taxes radiotélégraphiques et télégraphiques, une somme de 10 fr. 25 pour l'affranchissement postal du radiotélégramme.

9. ARCHIVES.

ART. XL. — Les originaux des radiotélégrammes, ainsi que les documents y relatifs retenus par les administrations, sont conservés avec toutes les précautions nécessaires au point de vue du secret au moins pendant 15 mois, à compter du mois qui suit celui du dépôt des radiotélégrammes.

Ces originaux et documents sont, autant que possible, envoyés au moins une fois par mois, par les stations de bord, aux administrations dont elles relèvent.

10. DÉTAXES ET REMBOURSEMENTS.

ART. XLI. — 1. En ce qui concerne les détaxes et remboursements, il est fait application du règlement télégraphique international, en tenant compte des restrictions indiquées aux articles XXXVIII et XXXIX du présent règlement, et sous les réserves suivantes :

Le temps employé à la transmission radiotélégraphique, ainsi que la durée du séjour du radiotélégramme dans la station côtière pour les radiotélégrammes à destination des navires, ou dans la station de bord pour les radiotélégrammes originaires des navires, ne comptent pas dans les délais concernant les détaxes et remboursements.

Si la station côtière fait connaître au bureau d'origine qu'un radiotélégramme ne peut être transmis au navire destinataire, l'administration du pays d'origine provoque aussitôt le remboursement à l'expéditeur des taxes côtière et de bord relatives à ce radiotélé-

gramme. Dans ce cas, les taxes remboursées n'entrent pas dans les comptes prévus par l'article XLII, mais le radiotélégramme y est mentionné pour mémoire.

Le remboursement est supporté par les différentes administrations et exploitations privées qui ont participé à l'acheminement du radiotélégramme, chacune d'elles abandonnant sa part de taxe. Toutefois, les radiotélégrammes auxquels sont applicables les articles 7 et 8 de la Convention de Saint-Pétersbourg restent soumis aux dispositions du règlement télégraphique international, sauf lorsque l'acceptation de ces radiotélégrammes est le résultat d'une erreur de service.

2. Lorsque l'accusé de réception d'un radiotélégramme n'est pas parvenu à la station qui a transmis le message, la taxe n'est remboursée que lorsqu'il a été établi que le radiotélégramme donne lieu à remboursement.

III. COMPTABILITÉ.

ART. XLII. — 1. Les taxes côtière et de bord n'entrent pas dans les comptes prévus par le règlement télégraphique international.

Les comptes concernant ces taxes sont liquidés par les administrations des pays intéressés. Ils sont établis par les administrations dont dépendent les stations côtières et communiqués par elles aux administrations intéressées. Dans le cas où l'exploitation des stations côtières est indépendante de l'administration du pays, l'exploitant de ces stations peut être substitué, en ce qui concerne les comptes, à l'administration de ce pays.

2. Pour la transmission sur les lignes télégraphiques, le radiotélégramme est traité, au point de vue des comptes, conformément au règlement télégraphique.

3. Pour les radiotélégrammes originaires des navires, l'administration dont dépend la station côtière débite l'administration dont dépend la station de bord d'origine des taxes côtières et télégraphiques ordinaires, des taxes totales perçues pour les réponses payées, des taxes côtières et télégraphiques perçues pour le collationnement, des taxes afférentes à la remise par exprès (dans le cas prévu par l'article XXXVIII) ou par poste et de celles perçues pour les copies supplémentaires (TM). L'administration dont dépend la station côtière crédite, le cas échéant, par la voie des comptes télégraphiques et par l'intermédiaire des offices ayant participé à la transmission des radiotélégrammes, l'administration dont dépend le bureau de destination, des taxes totales relatives aux réponses payées. En ce

qui concerne les taxes télégraphiques et les taxes relatives à la remise par exprès ou par poste et aux copies supplémentaires, il est procédé conformément au règlement télégraphique, la station côtière étant considérée comme bureau télégraphique d'origine.

Pour les radiotélégrammes à destination d'un pays situé au delà de celui auquel appartient la station côtière, les taxes télégraphiques

liquider conformément aux dispositions ci-dessus sont celles qui résultent, soit des tableaux A et B annexés au règlement télégraphique international, soit d'arrangements spéciaux conclus entre les administrations de pays limitrophes et publiés par ces administrations, et non les taxes qui pourraient être perçues d'après les dispositions particulières des articles XXIII, paragraphe 1, et XXVII, paragraphe 1, du règlement télégraphique.

Pour les radiotélégrammes et les avis de service taxés à destination des navires, l'administration dont dépend le bureau d'origine est débitée directement par celle dont dépend la station côtière des taxes côtières et de bord. Toutefois, les taxes totales afférentes aux réponses payées sont créditées, s'il y a lieu, de pays à pays, par la voie des comptes télégraphiques, jusqu'à l'administration dont dépend la station côtière. En ce qui concerne les taxes télégraphiques

les taxes relatives à la remise par poste et aux copies supplémentaires, il est procédé conformément au règlement télégraphique. L'administration dont dépend la station côtière crédite celle dont dépend le navire destinataire de la taxe de bord, s'il y a lieu, des taxes revenant aux stations de bord intermédiaires, de la taxe totale perçue pour les réponses payées, de la taxe de bord relative au col-lationnement, ainsi que des taxes perçues pour l'établissement de copies supplémentaires et pour la remise par poste.

Les avis de service taxés et les réponses payées elles-mêmes sont traités dans les comptes radiotélégraphiques, sous tous les rapports, comme les autres radiotélégrammes.

Pour les radiotélégrammes acheminés au moyen d'une ou de deux stations de bord intermédiaires, chacune de celles-ci débite la station de bord d'origine, s'il s'agit d'un radiotélégramme provenant d'un navire, ou celle de destination, s'il s'agit d'un radiotélégramme destiné à un navire, de la taxe de bord lui revenant pour le transit.

4. En principe, la liquidation des comptes afférents aux échanges entre stations de bord se fait directement entre les compagnies exploitant ces stations, la station d'origine étant débitée par la station de destination.

5. Les comptes mensuels servant de base à la comptabilité spéciale des radiotélégrammes sont établis radiotélégramme par radio-

télégramme, avec toutes les indications utiles et dans un délai de 6 mois à partir du mois auquel ils se rapportent.

6. Les gouvernements se réservent la faculté de prendre entre eux et avec des compagnies privées (entrepreneurs exploitant des stations radiotélégraphiques, compagnies de navigation, etc.) des arrangements spéciaux en vue de l'adoption d'autres dispositions concernant la comptabilité.

12. BUREAU INTERNATIONAL.

ART. XLIII. — Les dépenses supplémentaires, résultant du fonctionnement du Bureau international, en ce qui concerne la radiotélégraphie, ne doivent pas dépasser 80 000 francs par an, non compris les frais spéciaux auxquels donne lieu la réunion d'une conférence internationale. Les administrations des États contractants sont, pour la contribution aux frais, réparties en six classes ainsi qu'il suit :

Première classe :

Union de l'Afrique du Sud ; Allemagne ; États-Unis d'Amérique ; Alaska ; Hawaï et les autres possessions américaines de la Polynésie ; Iles Philippines ; Porto Rico et les possessions américaines dans les Antilles ; zone du canal de Panama ; République Argentine Australie ; Autriche ; Brésil ; Canada ; France ; Grande-Bretagne Hongrie ; Indes britanniques ; Italie ; Japon ; Nouvelle-Zélande Russie ; Turquie.

Deuxième classe :

Espagne.

Troisième classe :

Asie centrale russe (littoral de la mer Caspienne) ; Belgique Chili ; Chosen, Formose, Sakhalin japonais et le territoire loué de Kwantoung ; Indes néerlandaises ; Norvège ; Pays-Bas ; Portugal ; Roumanie ; Sibérie occidentale (littoral de l'océan Glacial) ; Sibérie orientale (littoral de l'océan Pacifique) ; Suède.

Quatrième classe :

Afrique orientale allemande ; Afrique allemande du Sud-Ouest ; Cameroun ; Togo ; Protectorats allemands du Pacifique ; Danemark ; Égypte ; Indo-Chine ; Mexique ; Siam ; Uruguay.

Cinquième classe :

Afrique occidentale française ; Bosnie-Herzégovine ; Bulgarie ; Grèce ; Madagascar ; Tunisie.

Sixième classe :

Afrique équatoriale française ; Afrique occidentale portugaise ;

Afrique orientale portugaise et possessions asiatiques ; Boukhara ; Congo belge ; Colonie de Curaçao ; Colonie espagnole du Golfe de Guinée ; Erythrée ; Khiva ; Maroc ; Monaco ; Perse ; Saint-Marin ; Somalie italienne.

ART. XLIV. — Les différentes administrations font parvenir au Bureau international un tableau conforme au modèle ci-joint et contenant les indications énumérées dans ledit tableau pour les stations visées à l'article V du règlement. Les modifications survenues et les suppléments sont communiqués par les administrations au Bureau international du 1^{er} au 10 de chaque mois. A l'aide de ces communications, le Bureau international dresse la nomenclature prévue par l'article V. La nomenclature est distribuée aux administrations intéressées. Elle peut également, avec les suppléments y relatifs, être vendue au public au prix de revient.

Le Bureau international veille à ce que l'adoption d'indicatifs identiques pour les stations radiotélégraphiques soit évitée.

13. TRANSMISSIONS MÉTÉOROLOGIQUES, HORAIRES ET AUTRES.

ART. XLV. — 1. Les administrations prennent les dispositions nécessaires pour faire parvenir à leurs stations côtières les télexgrammes météorologiques contenant les indications intéressant la région de ces stations. Ces télexgrammes, dont le texte ne doit pas dépasser 20 mots, sont transmis aux navires qui en font la demande. La taxe de ces télexgrammes météorologiques est portée au compte des navires destinataires.

2. Les observations météorologiques, faites par certains navires désignés à cet effet par le pays dont ils dépendent, peuvent être transmises une fois par jour, comme avis de service taxés, aux stations côtières autorisées à les recevoir par les administrations intéressées, qui désignent également les bureaux météorologiques auxquels ces observations sont adressées par les stations côtières.

3. Les signaux horaires et les télexgrammes météorologiques sont transmis à la suite les uns des autres de manière que la durée totale de leur transmission n'excède pas 10 minutes. En principe, pendant cet envoi, toutes les stations radiotélégraphiques dont la transmission peut troubler la réception de ces signaux et télexgrammes font silence, de façon à permettre à toutes les stations qui le désirent de recevoir ces télexgrammes et signaux. Exception est faite pour les cas de détresse et les télexgrammes d'État.

Etat signalétique des stations radiotélégraphiques.*a. — Stations côtières.*

NOM.	NATIONALITÉ. E == longitude orientale. O == longitude occidentale. N == latitude septentrionale. S == latitude méridionale. Subdivisions territoriales.	POSITION GEOGRAPHIQUE.		INDICATIF d'appel.	PORTÉE NORMALE en milles nautiques.	SYSTÈME radiotélégraphique avec les caractéristiques du système émetteur.	LONGUEURS d'onde en mètres (la longueur d'onde normale est soulignée).
		HEURES d'ouverture (heure du fuseau).	TAXE COTIÈRE				
						OBSERVATIONS (éventuellement heure et mode d'envoi des signaux horaires, et des télégrammes météorologiques).	

b. — Stations de bord.

NOM.	NATIONALITE. INDICATIF d'appel.	PORTÉE NORMALE en milles nautiques.	SYSTÈME radiotélégraphique avec les caractéristiques du système émetteur.	LONGUEURS D'ONDE EN MÈTRES (la longueur d'onde normale est soulignée).	OBSERVATIONS (éventuellement, nom et adresse de l'exploitant).
NATURE des services effectués.	HEURES D'OUVERTURE.	TAXE DE BORD			

4. Les administrations facilitent la communication aux agences d'informations maritimes qu'elles agrément des renseignements concernant les avaries et sinistres maritimes, ou présentant un intérêt général pour la navigation, dont les stations côtières peuvent régulièrement donner communication.

14. DISTRIBUTIONS DIVERSES.

ART. XLVI. — Les transmissions échangées entre les stations de bord doivent s'effectuer de manière à ne pas troubler le service des stations côtières, celle-ci devant avoir, en règle générale, le droit de priorité pour la correspondance publique.

ART. XLVII. — Les stations côtières et les stations de bord sont tenues de participer à la retransmission des radiotélégrammes dans les cas où la communication ne peut s'établir directement entre les stations d'origine et de destination.

Le nombre des retransmissions est toutefois limité à deux.

En ce qui concerne les radiotélégrammes destinés à la terre ferme, il ne peut être fait usage des retransmissions que pour atteindre la station côtière la plus rapprochée.

La retransmission est dans tous les cas subordonnée à la condition que la station intermédiaire qui reçoit le radiotélégramme en transit soit en mesure de lui donner cours.

ART. XLVIII. — Si le parcours d'un radiotélégramme s'effectue en partie sur des lignes télégraphiques ou par des stations radiotélégraphiques relevant d'un Gouvernement non contractant, il peut être donné cours à ce radiotélégramme, sous la réserve, tout au moins, que les administrations dont dépendent ces lignes ou ces stations aient déclaré vouloir appliquer, le cas échéant, les dispositions de la convention et du règlement qui sont indispensables pour l'acheminement régulier des radiotélégrammes et que la comptabilité soit assurée.

Cette déclaration est faite au Bureau international et portée à la connaissance des Offices de l'Union télégraphique.

ART. XLIX. — Les modifications du présent règlement qui seraient rendues nécessaires par suite des décisions des conférences télégraphiques ultérieures seront mises en vigueur à la date fixée pour l'application des dispositions arrêtées par chacune de ces dernières conférences.

ART. L. — Les dispositions du règlement télégraphique international sont applicables, par analogie, à la correspondance radio-

télégraphique en tant qu'elles ne sont pas contraires aux dispositions du présent règlement.

Sont applicables, en particulier, à la correspondance radiotélégraphique, les prescriptions de l'article XXVII, paragraphes 3 à 6, du règlement télégraphique, relatives à la perception des taxes, celles des articles XXVI et XLI relatives à l'indication de la voie à suivre, celles des articles LXXV, paragraphe 1, LXXVIII, paragraphes 2 à 5, et LXXIX, paragraphes 2 et 4, relatives à l'établissement des comptes. Toutefois : 1^o le délai de 6 mois prévu par le paragraphe 2 de l'article LXXIX du règlement télégraphique pour la vérification des comptes est porté à 9 mois en ce qui concerne les radiotélégrammes ; 2^o les dispositions de l'article XVI, paragraphe 2, ne sont pas considérées comme autorisant la transmission gratuite, par les stations radiotélégraphiques, des télégrammes de service concernant exclusivement le service télégraphique non plus que la transmission en franchise, sur les lignes télégraphiques, des télégrammes de service exclusivement relatifs au service radiotélégraphique ; 3^o les dispositions de l'article LXXIX, paragraphes 3 et 5, ne sont pas applicables à la comptabilité radiotélégraphique. En vue de l'application des dispositions du règlement télégraphique, les stations côtières sont considérées comme bureaux de transit, sauf quand le règlement radiotélégraphique stipule expressément que ces stations doivent être considérées comme bureaux d'origine ou de destination.

Conformément à l'article 11 de la Convention de Londres, le présent règlement est entré en vigueur le 1^{er} juillet 1913.

APPENDICE III

SIGNALS HORAIRES. — DÉTERMINATION DES LONGITUDES. — BULLETIN MÉTÉOROLOGIQUE

Signaux horaires ordinaires. — Dès 1904, la Marine américaine sonna à émettre à certaines heures des signaux radiotélégraphiques conventionnels pour permettre aux navigateurs de régler leurs chronomètres. En 1907, la France est entrée dans la même voie et, depuis 1910, des signaux horaires ont été émis régulièrement par le poste de la tour Eiffel. Plusieurs postes étrangers ayant suivi cet exemple, il a fallu réglementer ces signaux et unifier l'heure transmise, de façon à éviter toute incertitude pour les navigateurs. Cela a été la tâche de la *Conférence internationale de l'heure*, réunie à Paris en octobre 1912, qui a réglementé comme suit l'émission des signaux horaires à partir du 1^{er} juillet 1913.

Un bureau international de l'heure est fondé à Paris pour la détermination exacte de l'heure internationale.

Les signaux horaires sont émis aux heures suivantes par les différents postes :

Paris (tour Eiffel).	0 heure (minuit).
San Fernando (Brésil).	2 heures
Arlington (Washington).	3 —
Mogadiscio (côte des Somalis).	4 —
Manille (Philippines).	4 —
Tombouctou.	6 —
Paris (tour Eiffel).	10 —
Norddeich (Allemagne).	12 — (midi).
San Fernando.	16 —
Arlington.	17 —
Massaoua.	18 —
San Francisco.	20 —
Norddeich.	22 —

L'envoi des signaux doit être fait d'une façon uniforme et entièrement automatique avec une longueur d'onde de 3500 mètres. Ces signaux commencent trois minutes avant l'heure indiquée ci-dessus et sont composés de la façon suivante :

57 m.	0 sec.	signaux préparatoires, lettres x.
	55-56 sec.	—
	57-58 »	—
	59-60 »	—
58 m.	8-9 sec.	—
	10 »	—
	18-19 »	—
	20 »	—
	28-29 »	—
	30 »	—
	38-39 »	—
	40 »	—
	48-49 »	—
	50 »	—
	55-56 »	—
	57-58 »	—
	59-60 »	—
59 m.	6-7 sec.	—
	8-9 »	—
	10 »	—
	16-17 »	—
	18-19 »	—
	20 »	—
	26-27 »	—
	28-29 »	—
	30 »	—
	36-37 »	—
	38-39 »	—
	40 »	—
	46-47 »	—
	48-49 »	—
	50 »	—
	55-56 »	—
	57-58 »	—
	59-60 »	—

La durée d'un trait est de 1 seconde ; la durée d'un point 0,25 seconde ; la durée d'un intervalle 1 seconde. Chaque minute est facile à reconnaître ; la minute 57 par les signaux x (— — — —) ; la

minute 58 par les signaux —— ; la minute 59 par les signaux ----- . La fin de chacune des trois minutes est marquée par trois traits. Chaque nombre rond de 10 secondes (10, 20, 30, etc.) des minutes 58 et 59 est marqué par un point. Avec tous ces repères, il est facile à un observateur de connaître l'heure exacte, même s'il a manqué la réception de plusieurs signaux par suite de parasites ou pour une autre cause.

Signaux horaires scientifiques. — Avant les signaux horaires ordinaires de nuit, la tour Eiffel avait l'habitude d'envoyer des *signaux horaires scientifiques* que la conférence de Paris a décidé de conserver dans l'organisation internationale du service de l'heure. Voici en quoi consistent ces signaux :

Le poste émet une série de 180 points brefs espacés d'une seconde moins un cinquantième (ou un centième) : le 60^e et le 120^e point sont supprimés pour faciliter le comptage. Cette série de points est reçue par les différents observatoires dans chacun desquels l'opérateur écoute en même temps les battements d'une pendule donnant la seconde. Il se produit, comme dans un vernier, un certain nombre de coïncidences entre les points radiotélégraphiques et les battements de la pendule : en notant alors l'heure marquée par celle-ci ainsi que le numéro du point radiotélégraphique correspondant à la coïncidence, il est facile d'en déduire l'heure de l'émission du premier point radiotélégraphique. Chaque observatoire télégraphie alors à Paris l'heure ainsi déterminée (en tenant compte de la différence de longitude) et l'observatoire de Paris peut régler sa pendule directrice d'après les observations astronomiques faites par plusieurs observatoires : son heure offre donc le maximum de précision.

Cette méthode permettra de même l'unification de l'heure envoyée par les divers postes radiotélégraphiques.

Détermination des longitudes. — Les signaux horaires scientifiques permettent à un observateur de déterminer avec une grande précision la différence entre l'heure locale et l'heure du lieu où sont émis les signaux : il est donc facile d'en déduire la différence de longitude. Cette méthode a donné de remarquables résultats, et sa précision sera encore beaucoup augmentée par l'emploi du galvanomètre de M. Abraham pour l'enregistrement des signaux.

Une expérience préliminaire, couronnée d'un plein succès, a été faite par MM. Abraham, Claude, Driencourt et Ferrié pour la détermination de la différence de longitude entre Paris et Washington : cette expérience sera reprise d'une façon définitive dès que les nouvelles installations du poste de la tour Eiffel seront achevées.

Bulletin météorologique. — Le poste de la tour Eiffel transmet chaque jour un bulletin météorologique faisant connaître la pression atmosphérique, la direction et la force du vent, et l'état de la mer pour chacune des stations suivantes :

- R == Reykjavik (Islande).
- V == Valentia (Irlande).
- O == Ouessant (France).
- C == La Corogne (Espagne).
- H == Horta (Açores).
- S == St-Pierre et Miquelon (Amérique).

Le télégramme débute par les lettres B. C. M. (bureau central météorologique). Chaque groupe commence par la lettre initiale de la station. Ensuite les deux premiers chiffres indiquent en millimètres la valeur de la pression atmosphérique, en sous-entendant les centaines (700) ; les deux chiffres suivants donnent la direction ; le cinquième la force du vent, le sixième l'état de la mer. Toute observation qui manque est remplacée par la lettre X. A la suite de ces six groupes, on donne en langage ordinaire, quelques indications sur la situation générale de l'atmosphère en Europe, et notamment sur la position des centres de hautes et basses pressions.

Voici les chiffres conventionnels employés pour la rédaction du radiotélégramme.

Direction du Vent.

02. — NNE	10. — ESE	18. — SSO	26. — ONO
04. — NE	12. — SE	20. — SO	28. — NO
06. — ENE	14. — SSE	22. — OSO	30. — NNO
08. — E	16. — S	24. — O	32. — N

Force du Vent.

- 0. — Calme, 0 à 1 mètre par seconde.
- 1. — Presque calme, 1 à 2 mètres.
- 2. — Très faible, légère brise, 2 à 4 mètres.
- 3. — Faible, petite brise, 4 à 6 mètres.
- 4. — Modéré, jolie brise, 6 à 8 mètres.
- 5. — Assez fort, bonne brise, 8 à 10 mètres.
- 6. — Fort, bon frais, 10 à 12 mètres.
- 7. — Très fort, grand frais, 12 à 14 mètres.
- 8. — Violent, coup de vent, 14 à 16 mètres.
- 9. — Tempête, plus de 16 mètres.

État de la Mer.

- | | | |
|------------------|---------------------|-------------------|
| 0. — Calme. | 4. — Agitée. | 7. — Grosse. |
| 1. — Très belle. | 5. — Houleuse. | 8. — Très grosse. |
| 2. — Belle. | 6. — Très houleuse. | 9. — Furieuse. |
| 3. — Peu agitée. | | |

D'autre part, le poste de la Tour Eiffel transmet à 8 heures, 11 heures et 15 heures, un bulletin météorologique relatif à la situation atmosphérique de Paris :

- 1^o Vitesse du vent au sommet de la Tour Eiffel en mètres par seconde et sens de sa variation.
 - 2^o Direction du vent et sens de sa rotation vers le Nord ou vers le Sud.
 - 3^o Pression barométrique au Bureau Central Météorologique et sens de sa variation.
 - 4^o État du Ciel.
 - 5^o Conditions particulières.
-

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

NOTIONS GÉNÉRALES SUR LA PRODUCTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES.

Chapitre I. — Mouvement vibratoire et rayonnement.

	Pages.
Mouvement vibratoire.	2
L'éther.	5
Rayonnement.	7
Rayons lumineux, chimiques et calorifiques.	13
Rayons électriques.	16
Énergie rayonnante..	17

Chapitre II. — Production des oscillations électriques.

Circuits oscillants.	19
Oscillations amorties.	23
Diverses causes d'amortissement.	28
Oscillations entretenues.	33
Production directe des courants de haute fréquence..	36

Chapitre III. — La Résonance.

Résonance mécanique,.	38
Résonance électrique.	43
Accouplement par induction.	48
Transformateurs à haute fréquence.	52
Accouplement direct.	53
Accouplement mixte.	55

Chapitre IV. — Production et propagation des ondes.

Exciteur de Hertz.	56
Résonateur.	63
Propagation des ondes : expériences de Hertz..	65
Ondes stationnaires dans les fils..	72
	30

DEUXIÈME PARTIE

LA RADIOTÉLÉGRAPHIE.

Chapitre V. — Historique de la radiotélégraphie.

Radioconducteur <i>Branly</i>	78
Expériences de <i>Lodge</i>	79
Expériences de <i>Popoff</i>	80
Premières expériences de <i>Marconi</i>	82
Dispositifs <i>Lodge</i> , <i>Slaby</i> , <i>Braun</i> et <i>Ducetel</i>	87
Communications à travers la Manche (1899).	89
Différents dispositifs du début.	93

Chapitre VI. — Les détecteurs d'ondes.

Généralités sur les détecteurs	101
Cohéreurs.	102
Détecteurs thermiques.	108
— thermoélectriques.	110
— électrolytiques.	112
— à cristaux.	116
— magnétiques.	119
— à vide.	125

Chapitre VII. — Modes de fonctionnement et d'utilisation des antennes.

Fonctionnement des antennes transmettrices.	129
Modes d'emploi des antennes transmettrices.	134
Fonctionnement des antennes réceptrices.	143
Modes d'emploi des antennes réceptrices.	148
Remarques sur l'accouplement.	153
Différentes formes d'antennes.	155
Remarque sur la prise de terre.	158
Propagation des ondes le long du sol.	160

Chapitre VIII. — Mesure des longueurs d'onde.

Mesure approximative.	166
Ondemètres à circuit ouvert.	167
Ondemètres à circuit fermé.	170
Fréquencemètre <i>Ferrié</i>	177
Remarques sur les ondemètres.	179

Chapitre IX. — Perfectionnements aux dispositifs transmetteurs.

Résonance primaire..	183
Dispositifs à étincelles rares : <i>Stone Stone</i> ,	187
— <i>de Forest</i> ,	188
— <i>Telefunken</i> ,	189
— <i>Ferrari</i> ,	189
— <i>Marine</i> ,	190
— <i>Postes et télégraphes</i> ,	191

Chapitre X. — Perfectionnements aux dispositifs transmetteurs (Suite).

Systèmes à étincelles fréquentes.	193
Excitation par chocs,	193
Dispositifs à étincelles fréquentes étouffées : <i>de Lepel</i> ,	195
— <i>Telefunken</i> ,	197
— <i>Peuckert</i> ,	199
— <i>Galetti</i> ,	201
— <i>Chaffee</i> ,	203
— <i>Eisenstein</i> ,	204
Dispositifs à étincelles fréquentes soufflées : <i>Marconi</i> ,	204
— <i>Fessenden</i> ,	207
— <i>Lodge-Chambers</i> ,	207
— <i>Béthenod</i> ,	209
— <i>Balsillie</i> ,	211

Chapitre XI. — Perfectionnements aux dispositifs transmetteurs (Suite).

Dispositif à arc : <i>Poulsen</i> ,	213
— <i>Moretti</i> ,	217
Alternateurs à haute fréquence : <i>Fessenden</i> ,	220
— <i>Béthenod</i> ,	223
— <i>Goldschmidt</i> ,	226
— <i>Telefunken</i> ,	229
Remarques sur les dispositifs à ondes entretenues..	229

Chapitre XII. — Perfectionnements aux dispositifs récepteurs.

Généralités sur les dispositifs récepteurs.	233
Dispositifs récepteurs : <i>de Forest</i> ,	235 et 238
— <i>Telefunken</i> ,	235, 236 et 246

Dispositifs récepteurs : <i>Ferrié.</i>	135
— <i>G. G. R.</i>	237
— <i>Marine.</i>	237
— <i>Fleming.</i>	238 et 239
— <i>Stone Stone.</i>	239
— <i>Béthenod.</i>	240
— <i>Marconi.</i>	240 et 241
— <i>Hettinger.</i>	243
— <i>Fessenden.</i>	244 et 250
— <i>Postes et télégraphes.</i>	246
— <i>Balsillie.</i>	247
— <i>Chambers.</i>	248
— <i>Poulsen.</i>	249
— <i>Goldschmidt.</i>	251

Chapitre XIII. — Orientation des ondes.

Dispositifs : <i>Artom.</i>	254
— <i>Blondel.</i>	255
— <i>Belini-Tosi.</i>	256
Compas radiotélégraphiques : <i>Telefunken.</i>	260
— <i>Marconi.</i>	262
Élimination des signaux voisins.	263
Antennes horizontales.	265

Chapitre XIV. — Indications sommaires sur les appareils employés dans la pratique (transmission).

Description des bobines d'induction.	269
— interrupteurs.	272
— alternateurs.	275
— transformateurs.	278
— manipulateurs.	281
— condensateurs.	285
— éléteurs.	290
— bobines d'accord et d'accouplement.	295
— appareils de mesure..	299

Chapitre XV. — Indications sommaires sur les appareils employés dans la pratique (réception).

Description des supports d'antennes.	304
— antennes réceptrices.	309
— détecteurs.	311
— récepteurs téléphoniques.	312
— galvanomètres.	315
— relais.	318
— appareils d'appel.	321

*Chapitre XVI. — Description de quelques postes
radiotélégraphiques.*

Description des postes de la <i>Guerre</i>	323
— postes de la <i>Marine</i>	331
— postes <i>Telefunken</i>	337
— postes <i>Poulsen</i>	343
— postes <i>Fessenden</i>	349
— postes <i>Marconi</i>	356

TROISIÈME PARTIE

LA RADIOTÉLÉPHONIE.

*Chapitre XVII. — Principe et historique de la Radio-
téléphonie.*

Généralités.	361
Production des sous.	362
Téléphonie avec fils.	364
Radiotéléphonie (Historique).	366

*Chapitre XVIII. — Dispositifs employés en Radio-
téléphonie.*

Généralités sur les dispositifs employés.	374
Émetteurs d'ondes : <i>Fessenden</i>	376
— <i>Poulsen</i>	377
— <i>Vanni</i>	378
— <i>Collins</i>	378
— <i>Dabilier</i>	379
— <i>Colin et Jeance</i>	379
— <i>Vreeland</i>	381
Micropphones : <i>Fessenden</i>	383
— <i>Collins</i>	383
— <i>Dabilier</i>	384
— <i>Egner-Holmström</i>	384
— <i>Chambers</i>	384
— <i>Majorama</i>	385
— <i>Vanni</i>	386
— <i>Ruhmer</i>	386
Dispositifs récepteurs : <i>Poulsen</i>	387
— <i>Majorama</i>	387 et 388
— <i>Telefunken</i>	388
— <i>de Forest</i>	388
— <i>Collins</i>	388

APPENDICE I

Électrotechnique.	391
Potentiel.	391
Charge électrique.	392
Décharge électrique.	393
Courant électrique.	394
Condensateurs.	397
Courants de déplacement.	398
Champ magnétique.	400
Induction électromagnétique.	404
Induction mutuelle.	405
Self-induction.	406
Générateurs électriques.	408
Machines à courant alternatif.	409
Machines à courant continu.	413
Bobines de self-induction.	416
Transformateurs.	418
Bobine de Ruhmkorff.	423

APPENDICE II

Convention radiotélégraphique internationale.	425
---	-----

APPENDICE III

Signaux horaires. — Détermination des longitudes. — Bulletin météorologique.	459
--	-----

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES ET DES NOMS D'AUTEURS

A

Abraham, 317.
 Accouplement direct, 53, 135, 150.
 — inductif, 48, 135, 150.
 — mixte, 55, 141, 152.
 — (coefficients d'), 136, 138, 139, 146, 147, 153, 422.
 Accumulateurs, 408.
Alexanderson, 320, 278.
 Alphabet Morse, 282.
 Alternateurs, 275, 408.
 — à haute fréquence, 37, 218.
 — *Alexanderson*, 220.
 — *Béthenod*, 223.
 — *Fessenden*, 220.
 — *Goldschmidt*, 226.
 — *Telefunken*, 229.
 Amortissement (diverses causes), 28.
 — dû à l'élinelle, 29.
 — — la résistance, 31.
 Ampère (unité), 396.
 Ampèremètres thermiques, 299, 396.
 Ampèremètre *Broca*, 300.
 — *Carpentier*, 301.
 — *Fleming*, 301.
 — *Hartmann et Braun*, 301.
 Amplitude, 3.
 Anode, 112.
 Antennes (différentes formes), 154.
 — horizontales, 265.
 — transmettrices, 129, 134, 304.
 — réceptrices, 145, 148, 308.
 Apériodique (circuit), 23.
 Appel (appareils d'), 322.
Arco, 96, 231.

Arlington (poste de), 351.
Arsonval (d'), 186, 278.
Arton, 254.
 Atomes, 397.
Audion de Forest, 126.
Austin (*L. W.*), 231.

B

Balsillie, 211, 247.
Bellini, 256.
Béthenod, 209, 223, 240, 277, 279.
Blane, 106.
Blondel (*A.*), 34, 35, 36, 59, 103, 183, 247, 253, 279, 313.
Blondot, 65, 75.
 Bobines d'accord, 295.
 — d'accouplement, 295.
 — d'induction, 269.
 — *Klingelfuss*, 270.
 — *Rochefort*, 271.
 — de *Rahmkorff*, 423.
 — de self-induction, 416.
 Boston (poste de), 350.
 Bouteille de Leyde, 399.
Brandes, 399.
Braun, 78, 104, 105.
Braun, 88.
Brenot, 118.
Broca, 300.
 Bulletin météorologique, 462.
Burstyn, 268.

C

Capacité électrique, 393, 397.

472 TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES ET DES NOMS D'AUTEURS

<i>Carpentier (J.)</i> , 273, 301.	Diélectriques, 398.
<i>Cathode</i> , 112.	Différence de potentiel, 393, 395.
<i>Chaffee</i> , 263.	Dispositifs radiotélégraphiques <i>Acton</i> , 254.
<i>Chambers</i> , 207, 249, 384.	Dispositifs radiotélégraphiques <i>Balsillie</i> , 211, 247.
Champ électrique, 23, 392, 394.	Dispositifs radiotélégraphiques <i>Bellini-Tosi</i> , 256, 262.
Champ magnétique, 23, 400.	Dispositifs radiotélégraphiques <i>Béthenod</i> , 209, 233, 240.
Charge électrique, 392.	Dispositifs radiotélégraphiques <i>Blondel</i> , 255.
Circuits accouplés, 44.	Dispositifs radiotélégraphiques <i>C. G. R.</i> , 237.
Circuit apériodique, 23.	Dispositifs radiotélégraphiques <i>Chambers</i> , 207, 249.
— magnétique, 419.	Dispositifs radiotélégraphiques <i>Ferrari</i> , 189, 235.
Circuits oscillants, 19, 57.	Dispositifs radiotélégraphiques <i>Fessenden</i> , 207, 220, 250.
— syntonisés, 46.	Dispositifs radiotélégraphiques <i>Fleming</i> , 97, 238.
<i>Clifden</i> (poste de), 358.	Dispositifs radiotélégraphiques de <i>Forrest</i> , 188, 235, 237.
Coefficient d'accouplement, voir Accouplement.	Dispositifs radiotélégraphiques <i>Galetti</i> , 200.
Coefficient d'induction, 405.	Dispositifs radiotélégraphiques <i>Goldschmidt</i> , 226, 251.
Cohéreurs, 102.	Dispositifs radiotélégraphiques de la Guerre, 189.
<i>Colin</i> , 379.	Dispositifs radiotélégraphiques <i>Hettlinger</i> , 243.
Collecteur, 415.	Dispositifs radiotélégraphiques de <i>Lepel</i> , 195.
<i>Collins</i> , 378, 383, 388.	Dispositifs radiotélégraphiques <i>Lodge</i> , 88, 207.
Compas radiotélégraphique <i>Marconi</i> , 262.	Dispositifs radiotélégraphiques <i>Marconi</i> , 204, 240.
Compas radiotélégraphique <i>Telefunken</i> , 260.	Dispositifs radiotélégraphiques de la Marine, 190, 237.
Condensateurs, 285, 307.	Dispositifs radiotélégraphiques <i>Moretti</i> , 247.
— <i>Fessenden</i> , 355.	Dispositifs radiotélégraphiques <i>Poulsen</i> , 214, 249.
— <i>Gaiffe</i> , 288.	Dispositifs radiotélégraphiques des Postes et Télégraphes, 191, 247.
— <i>Moscicki</i> , 287.	Dispositifs radiotélégraphiques <i>Peuckert</i> , 199.
Conducteurs, 392.	Dispositifs radiotélégraphiques <i>Stone</i> , 187, 239.
Conductibilité électrique, 295.	Dispositifs radiotélégraphiques <i>Telefunken</i> , 188, 196, 235, 236, 246.
Constante diélectrique, 398.	Dispositifs radiotéléphoniques <i>Colin</i> et <i>Jeanne</i> , 379.
Convention radiotélégraphique, 425.	Dispositifs radiotéléphoniques <i>Collins</i> , 378, 388.
Courants alternatifs, 411.	
— continus, 413.	
— de déplacement, 58, 398.	
— électriques, 394.	
— de Foucault, 412.	
— induits, 404.	
— polyphasés, 413.	
<i>Cullercoats</i> (poste de), 345.	
<i>Cymomètre Fleming</i> , 169	

D

Décharge électrique, 393.
— oscillante, 24.
Détecteurs, 310.
— à cristaux, 116.
— électrolytiques, 112.
— magnétiques, 119.
— <i>Marconi</i> , 119.
— thermiques, 108.
— thermo-électriques, 110.
— à vide, 125.
— à arc, 213.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES ET DES NOMS D'AUTEURS 473

Dispositifs radiotéléphoniques <i>Dubilier</i> , 379.	<i>Foucault</i> , 424. <i>Franck</i> , 138.
Dispositifs radiotéléphoniques <i>Fessenden</i> , 368, 376, 387.	Fréquence, 3, 25, 26, 411. Fréquencemètres, 40, 177.
Dispositifs radiotéléphoniques <i>Majorama</i> , 370.	Fuites magnétiques, 410.
Dispositifs radiotéléphoniques <i>Poulsen</i> , 376, 387.	
Dispositifs radiotéléphoniques <i>Ruhmer</i> , 371.	G
Dispositifs radiotéléphoniques <i>Telefunken</i> , 372.	<i>Gaiffe</i> , 274, 280, 288. <i>Galetti</i> , 200.
Dispositifs radiotéléphoniques <i>Vreeland</i> , 381.	Galyanomètres, 315. Galvanomètre <i>Abraham</i> , 317. — unifilaire, 317.
<i>Dönitz</i> , 171.	<i>Garcia</i> , 265.
<i>Drude</i> , 110.	Générateurs électriques, 408.
<i>Dubilier</i> , 379, 384.	Glace-Bay (poste de), 358.
<i>Ducretet</i> , 89, 103, 294.	<i>Goldschmidt</i> , 226, 251.
<i>Dudell</i> , 34, 111.	<i>Guthe</i> , 106.
<i>Dunwoody</i> , 117.	
	H
	<i>Hartmann et Braun</i> , 301. <i>Hartmann-Kempf</i> , 40.
E	<i>Helsby</i> , 118. <i>Hertz</i> , 16, 56, 62, 63, 66.
<i>Eccles</i> , 105, 230.	<i>Hettinger</i> , 243. <i>Hirsch</i> , 176.
Éclateurs, 290.	<i>Howe</i> , 139, 211.
<i>Egner-Holmström</i> , 379.	Hystérésis diélectrique, 399. — magnétique, 403.
<i>Einthoven</i> , 316.	
<i>Eisenstein</i> , 204.	I
Electrolyse, 112.	Impédance, 418. Inducteur, 405.
Electro-aimant, 403.	Induction électro-magnétique, 404. — mutuelle, 405. — propre, 405.
Electrons, 397.	Induit, 405.
Energie électrique, 396.	Intensité de courant, 395.
Energie rayonnante, 17.	Interférence, 67.
Ether, 5.	Interruateurs, 272.
Etincelles fréquentes, 193. — rares, 182.	Isolants, 392.
<i>Ewing</i> , 122.	
Excitateur, 56.	J
Excitation par chocs, 194.	<i>Janet (P.)</i> , 34. <i>Jeance</i> , 379. <i>Jégou</i> , 115.
F	K
Facteur d'amortissement, 3.	<i>Kiebitz</i> , 266.
<i>Ferric</i> , 104, 106, 113, 175, 177, 235, 384, 294, 349.	
<i>Fessenden</i> , 95, 108, 207, 220, 244, 250, 288, 295, 368, 376, 383.	
<i>Fleming</i> , 97, 121, 126, 169, 170, 183, 238, 293, 301.	
Flux magnétique, 401.	
Force électromotrice, 395, 404.	
<i>Forest (L. de)</i> , 126, 188, 235, 237, 388.	

474 TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES ET DES NOMS D'AUTEURS

Klemencic, 110.
Klingelfuss, 270, 273.
Knockroe (poste de), 349.

L

Lebedew, 111.
Lecher, 73.
Lepel (*de*), 195.
Lévy (*Max*), 275.
 Lignes de forces électriques, 392, 394.
 — magnétiques, 400.
Lodge (*O.*), 79, 88, 93, 105, 207.
 Longitudes (détermination des), 461.
 Longueur d'onde, 11.
Lyngby (poste de), 343.

M

Magunna, 313.
Majorama, 370, 385, 387, 388.
 Manipulateurs, 281.
 — *Ferré*, 284, 325.
Marconi, 82, 89, 96, 119, 204, 231,
 240, 262, 264, 265, 288, 356.
 Mâts démontables, 304.
Maxwell, 16, 58, 59, 398.
Mercadier, 313.
 Mesure (appareils de), 299.
 Microfarad, 285.
 Microphones *Chambers*, 384.
 — *Collins*, 383.
 — *Dubilier*, 384.
 — *Egner-Holström*, 384.
 — *Fessenden*, 383.
 — *Majorama*, 385.
 — *Ruhmer*, 387.
 — *Vanni*, 386.
 Monotéléphones, 313.
Moretti, 217.
Morse, 282, 321.
Moscicki, 287.
 Mouvement vibratoire, 2.
 — — — harmonique, 3.
Muirhead, 93.
 Multiplicateur *Slaby*, 169.

N

Nanen (poste de), 339.
 Nœuds de vibration, 71.

O

Ondes (formation des), 58.

Ondemètres, 166.
 — *G. G. R.*, 308.
 — *Dömitz*, 171.
 — *Ferré*, 175.
 — *Fleming*, 169.
 — *Hirsch*, 176.
 — *Seibt*, 167.
 — *Slaby*, 169.
 Ondes orientées, 253.
 — stationnaires, 67, 71.
 Orientation des ondes, 253.
 Oscillateur, 56.
 Oscillations amorties, 23.
 — électriques, 19.
 — entretenues, 33, 229.
 — forcées, 39.

P

Péri, 176.
 Période, 3, 25, 411.
 Période propre, 26.
 Perméabilité, 402.
Peuckert, 199.
 Phase, 4.
Pickard, 117.
Pierce, 116, 118.
 Piles, 408.
 Polarisation, 112.
Popoff, 80, 103.
 Postes *Fessenden*, 349.
 — de la Guerre, 322.
 — *Marconi*, 356.
 — de la Marine, 331.
 — *Poulsen*, 343.
 — *Telefunken*, 337.
 — de la Tour Eiffel, 323.
 Potentiel, 391.
 Potentiomètre, 115.
Poulsen (*W.*), 36, 214, 249, 316, 343,
 376, 387.
Preece (*L.*), 231.
 Primaire, 405.
 Prise de terre, 159, 306.
 Propagation des ondes, 160.
 — le long des fils, 73.
Pupin, 112.

R

Radiation, 6.
 Radioconducteur, 78.
Radioélectrique (*Société française*), 209,
 223.
 Radiotéléphonie, 361, 367.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES ET DES NOMS D'AUTEURS 475

Rapport de transformation, 421.
 Rayonnement, 6.
 Rayons calorifiques, 13.
 — chimiques, 13.
 — électriques, 13, 16.
 — lumineux, 13.
 Récepteurs téléphoniques, 312, 364.
 Réflexion des ondes, 65.
 Réfraction des ondes, 67.
 Règlement radiotélégraphique, 433.
Reich, 34, 36.
 Relais, 318.
 Relais téléphonique, 314.
 Résistance, 402.
 Rendement, 409.
 Résistance électrique, 395, 396.
 — inductive, 417.
 — ohmique, 417.
 Résonance électrique, 43.
 — mécanique, 39.
 — primaire, 183.
 Résonateur, 63.
 Rhéostats, 396.
Righi, 65.
Rochefort, 95, 271.
Rossi, 123.
 Rotor, 412.
Rubens, 108.
Ruhmer, 370, 387.
Ruhmkorff, 423.
 Rupteur *Carpentier*, 273.
Rutherford, 119.

S

Schaefer, 111.
Schloemilch, 113.
Shaw, 105.
 Secondaire, 405.
Seibt, 167, 279.
 Self-induction, 405, 416.

Signaux horaires, 459.
Simon, 34, 36.
Slaby, 87, 96, 169.
 Solénoïde, 402.
 Stator, 412.
Stone Stone (J.), 187, 239.

T

Telefunken, 187, 196, 235, 236, 246,
 260, 315, 322, 337, 372, 388.
 Téléphonie avec fils, 364.
 — sans fils, 366.
 Tension, 409.
Tesla (V.), 77, 88.
Thomson (E.), 33.
Tissot, 108.
Tosi, 256.
 Tour Eiffel (poste de la), 323.
 Transformateurs, 278, 419.
 — à haute fréquence, 52.

V

Valve *Fleming*, 126.
Vanni, 378, 386.
 Variomètre, 199, 398.
 Ventes de vibration, 71.
Villard, 276.
 Volt, 396.
 Voltamètre, 112.
Vreeland, 381.

W

Walter, 122.
 Watt (unité), 396.
Wien, 194.