

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](#))
- 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 passible 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

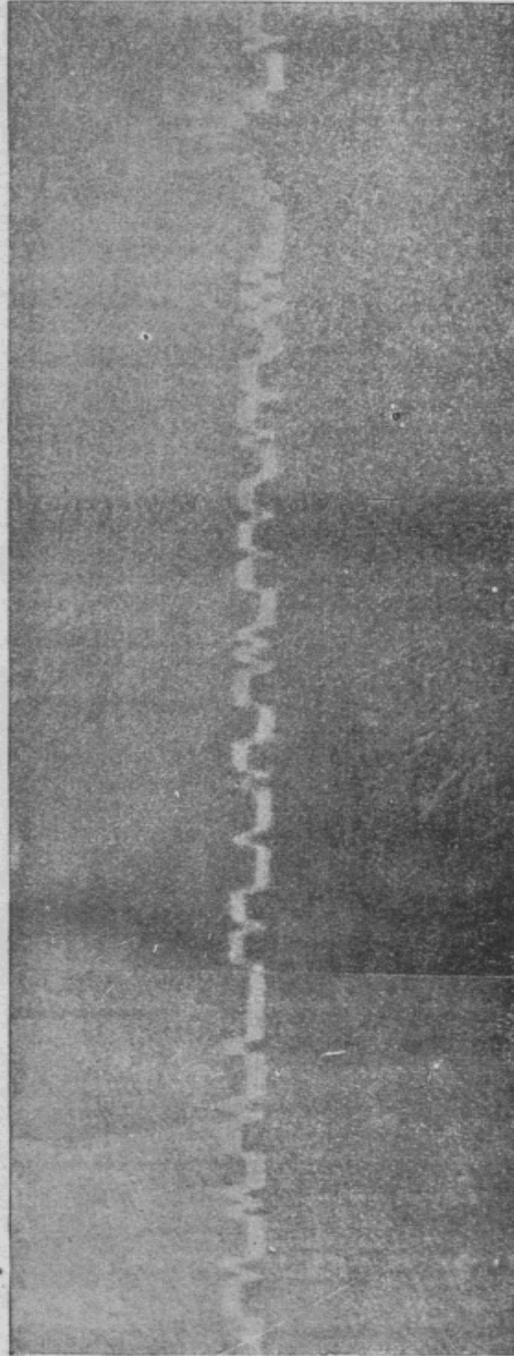
Auteur(s)	Erskine-Murray, James Robert (1868-1927)
Titre	Manuel théorique et pratique de télégraphie sans fil : à l'usage des ingénieurs électriciens, des étudiants et des praticiens
Adresse	Paris : H. Dunod et E. Pinat, éditeurs, 1916
Collation	1 vol. (XI-415 p.) : ill., tabl. ; 25 cm
Nombre d'images	429
Cote	CNAM-BIB 8 Ca 463
Sujet(s)	Télégraphie sans fil
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	20/01/2021
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?8CA463

MURRAY - MAGNIEZ

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS

MANUEL THÉORIQUE ET PRATIQUE
DE
TÉLÉGRAPHIE SANS FIL



Enregistrement photographique à Clifden d'un message transmis de Glace Bay.

8^o Ca 463

MANUEL THÉORIQUE ET PRATIQUE
DE
TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

A L'USAGE DES INGÉNIEURS ÉLECTRICIENS, DES ÉTUDIANTS
ET DES PRATICIENS

PAR

JAMES ERSKINE MURRAY, D. Sc.

PROFESSEUR DE TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE SANS FIL A L'INSTITUT
DE NORTHAMPTON, LONDRES
MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ ROYALE D'ÉDIMBOURG
MEMBRE DE L'INSTITUTION DES INGÉNIEURS ÉLECTRICIENS
MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ PHYSIQUE DE LONDRES

TRADUIT SUR LA CINQUIÈME ÉDITION ANGLAISE

PAR

HENRI MAGNIEZ

INGÉNIEUR ÉLECTRICIEN
ATTACHÉ A LA COMPAGNIE GÉNÉRALE DE RADIOTÉLÉGRAPHIE

PARIS

H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS

47 et 49, Quai des Grands-Augustins

1916

8^o Ca. 463.
30 x 6^o 7/15

PRÉFACE

DE LA PREMIÈRE ÉDITION ANGLAISE

Ce manuel de télégraphie sans fil, il est à peine besoin de le dire, n'est pas encyclopédique : il n'a pas non plus la prétention d'être un exposé élémentaire du sujet à l'usage des non-initiés. Il s'adresse plutôt à ceux qui, par profession ou par goût, ont été amenés à se familiariser au moins avec quelques-uns des rudiments de la théorie et de la pratique de la télégraphie sans fil, et chez qui, par conséquent, les définitions techniques éveilleront des idées concrètes.

Toutes les citations, ou presque, faites dans ce volume se rapportent directement à la télégraphie sans fil, et elles sont citées intégralement. Le lecteur a ainsi des données suffisantes pour se former une idée personnelle sur l'intérêt et la portée pratiques de quelques-unes des plus importantes découvertes des premiers chercheurs.

L'auteur adresse ses remerciements aux compagnies et aux maisons qui lui ont aimablement fourni des détails sur leurs travaux, ainsi que des gravures illustrant leurs systèmes. Elles lui ont permis ainsi de donner des descriptions tenant compte des derniers perfectionnements. Les citations de résultats obtenus sont toujours appuyées, autant que possible, par les rapports d'experts officiels : faute de quoi, on a donné les résultats qu'indiquent les inventeurs ou les propriétaires des brevets.

Le chapitre xvii donne les vues de l'auteur sur le mécanisme de la transmission. Ses déductions sont tirées sur les dernières recherches ; et bien que la théorie soit encore loin d'être complète en cette matière, on peut voir que quelque progrès a été fait

en tenant compte des circonstances réelles extérieures, en plus des résultats des mesures expérimentales.

Les tables du chapitre XXI, qui sont un des traits caractéristiques de l'ouvrage, sont destinées à l'usage des praticiens de la télégraphie sans fil. Elles ont pour la plupart été calculées par l'auteur et sont publiées pour la première fois. Elles contiennent des données sur les selfs des enroulements, la capacité des condensateurs de formes et de dimensions variées, la résistance aux courants de haute fréquence de différents conducteurs, et toutes quantités numériques analogues nécessaires au calcul d'établissement des appareils de télégraphie sans fil.

Le chapitre XX est une traduction presque littérale d'un mémoire sur le « *Calcul d'une station radiotélégraphique* » *synthétique*, par M. A. Montel, qui a été publié à Rome en 1906. Il présente d'une façon concise, avec exemples numériques, les calculs nécessaires à l'établissement d'une station moderne de télégraphie sans fil.

Ce qui précède montre que l'auteur s'est efforcé de se limiter à la télégraphie sans fil moderne à circuit ouvert, et de laisser de côté les méthodes de communication ne rentrant pas sous ce chef. En ce qui concerne les théories mathématiques, il a évité autant que possible la discussion par cette voie des problèmes que la pratique permet de solutionner d'une façon plus satisfaisante. Par exemple, la question des avantages respectifs de l'accouplement lâche ou serré de deux circuits, et beaucoup d'autres du même genre que soulève la pratique, est, il faut le rappeler, grâce aux appareils maintenant à la disposition des ingénieurs radiotélégraphistes, rapidement élucidée par quelques courtes expériences tout aussi démonstratives qu'une analyse mathématique.

L'auteur adresse ses remerciements aux auteurs et éditeurs qui l'ont aidé de leurs informations ou l'ont autorisé à publier des extraits ou des gravures de leurs articles. Il doit remercier particulièrement les propriétaires de l'*Electrician*, du *Philosophical Magazine*, de l'*Electrical World and Engineer* (New-York).

PRÉFACE

DE LA CINQUIÈME ÉDITION ANGLAISE

La présente édition diffère de la précédente en plusieurs points : les additions les plus considérables qui ont été faites ont trait aux systèmes à courant alternatif uniforme et aux systèmes à excitation par choc. On a également ajouté des mesures récentes faites sur la puissance transmise.

Je ferai remarquer à ce propos que bien que ce volume présente sous certains aspects le caractère d'un manuel, il n'a cependant jamais été une simple compilation de matières précédemment publiées, mais chaque édition a contenu quelques travaux originaux. Si par exemple la conception de la télégraphie sans fil moderne exposée dans la première édition avait été plus rapidement reconnue comme bien fondée par les écrivains techniques ultérieurs, beaucoup de temps et de travail aurait été épargné dans le développement du sujet.

On peut en dire autant de la preuve de l'importance de la résistance de la terre à la surface, donnée dans le chapitre sur la transmission, et de la discussion de l'existence et du rôle d'une couche supérieure conductrice de l'atmosphère.

La théorie du rendement télégraphique, et la méthode expérimentale pour la détermination du rendement en radiation et des autres constantes d'une station radiotélégraphique, déjà données dans la quatrième édition, étaient également presque entièrement nouvelles à l'époque de leur publication.

J. ERSKINE MURRAY.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE I	
Applications du courant électrique à la télégraphie.....	1
CHAPITRE II	
Premiers essais de télégraphie sans fil.....	25
CHAPITRE III	
Appareils utilisés pour la production des courants de haute fréquence.....	36
CHAPITRE IV	
Détecteurs pour courants très courts de haute fréquence constitués par des contacts électriques imparfaits.....	56
CHAPITRE V	
Détecteurs de courants oscillants de haute fréquence basés sur leur action sur le fer aimanté.....	69
CHAPITRE VI	
Détecteurs thermiques de courants oscillants de haute fréquence.....	85
CHAPITRE VII	
Détecteurs électrolytiques et détecteurs rectifiants.....	95
CHAPITRE VIII	
Le système Marconi. Le système Lodge-Muirhead.....	103

CHAPITRE IX	
Le système Fessenden	132
CHAPITRE X	
Le système Hozier-Brown	144
CHAPITRE XI	
Télégraphie sans fil dans l'Alaska	148
CHAPITRE XII	
Systèmes à courant alternatif uniforme (ondes entretenues).....	151
CHAPITRE XIII	
Le système Lepel, le système Telefunken et les autres systèmes d'excitation par chose	162
CHAPITRE XIV	
Antennes	172
CHAPITRE XV	
Quelques points de la théorie des oscillations et des résonateurs.....	186
CHAPITRE XVI	
Théorie de la transmission	206
CHAPITRE XVII	
Télégraphie par ondes terrestres	245
CHAPITRE XVIII	
Réglages, mesures électriques et recherche des défauts.....	259
CHAPITRE XIX	
Rendement télégraphique des moyens de communication radiotélégraphiques ..	282
CHAPITRE XX	
Calcul d'une station synchrone de télégraphie sans fil	296

TABLE DES MATIÈRES

XI

CHAPITRE XXI

Tables et notes	309
-----------------------	-----

APPENDICE

Signaux horaires et radiotélégrammes météorologiques transmis chaque jour par la tour Eiffel.....	325
Convention radiotélégraphique internationale	329
Règlement de service annexé à la convention radiotélégraphique internationale .	336
Instruction à l'usage des stations radiotélégraphiques.....	358
Code Morse	383
Abréviations courantes	407
Index alphabétique	411

MANUEL

DE

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

CHAPITRE I

APPLICATIONS DU COURANT ÉLECTRIQUE A LA TÉLÉGRAPHIE

Les progrès effectués dans la branche de la télégraphie électrique qu'on dénomme ordinairement télégraphie « sans fil » ont été si rapides que beaucoup des termes employés n'ont pas encore une signification bien précise. Ainsi l'expression « sans fil » est elle-même employée d'une façon vague pour qualifier plusieurs systèmes d'espèce totalement différente dont le seul trait commun est qu'aucun conducteur isolé ne réunit les stations d'émission et de réception. L'emploi de l'expression est certainement correcte, mais elle est vague et laisse dans l'incertitude le type d'appareil et le procédé de transmission.

Certains auteurs essaient de distinguer les méthodes plus modernes de télégraphie sans fil en les appelant « télégraphie par ondes électriques », « télégraphie dans l'espace », « télégraphie hertzienne », « télégraphie par étincelles », etc. Mais ces désignations ne sont pas encore très précises, et beaucoup pourraient s'appliquer tout aussi bien à des systèmes entièrement différents de ceux qu'elles sont censées représenter ; l'expression « radiotélégraphie » elle-même est ambiguë.

Examinons le mouvement du courant électrique dans les différents systèmes de télégraphie :

Dans la télégraphie ordinaire avec fil le courant passe par la terre et retourne par le fil. Les télégraphistes ordinairement le font circuler en sens inverse, mais cela n'a pas d'importance. Le circuit forme une boucle conductrice fermée et, sauf pertes accidentelles, tout le courant envoyé traverse le récepteur (*fig. 1*).

Dans les systèmes Morse, Lindsay et Willoughby-Smith, on fait circuler un courant entre deux plaques conductrices enfoncées dans le sol ou dans l'eau de la mer ; le courant de réception est recueilli par deux autres plaques placées suivant les lignes de flux du courant.

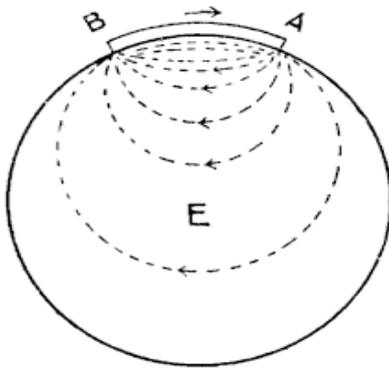


FIG. 1. — Télégraphie avec fils.

E, terre. — AB, fils isolés connectés à la terre par l'intermédiaire des instruments d'émission et de réception en A et B. — Les flèches indiquent la direction du courant.

Le circuit conducteur est ainsi toujours complètement fermé. Ce dispositif ressemble en fait exactement à un galvanomètre shunté. C'est le sol qui forme le shunt : il ne passe donc dans le récepteur qu'une faible proportion du courant transmis (fig. 2 et 3).

Un des systèmes dû à Sir Olivier Lodge, non le plus communément employé, repose sur la variation de l'induction magnétique à travers deux circuits conducteurs fermés ; l'un est situé à la station d'émission et l'autre à la station réceptrice. Il n'y a pas de

courant électrique allant de l'une à l'autre, mais seulement un flux magnétique.

Les systèmes qui ont le mieux réussi se placent entre ces extrêmes.

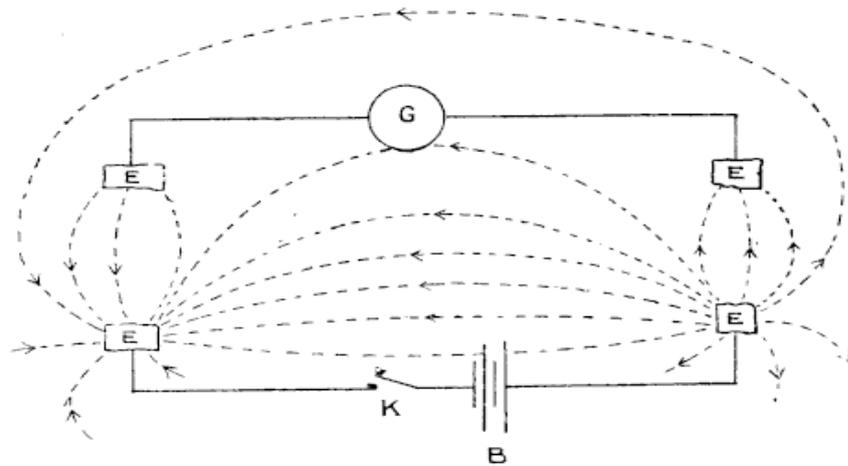


FIG. 2. — Schéma général de la télégraphie sans fil à circuit fermé (Morse, Lindsay, Willoughby-Smith).

E, plaques de terre. — B, courant. — G, galvanomètre de réception. — Les flèches indiquent la direction du courant.

Ils ont de commun que dans tous un courant non continu, mais alternatif, circule à travers les couches supérieures de la surface terrestre et va de la station d'émission à celle de réception. Comme il n'existe pas

de fil de retour, le courant rayonne, d'une manière générale, de façon égale dans toutes les directions autour du transmetteur.

Réduit à ses parties essentielles, le système actuel de télégraphie sans fil comprend une grande sphère conductrice (la terre) avec deux parties saillantes conductrices, placées sur elle ou à son voisinage (les antennes). Dans l'un de ces conducteurs est produit un mouvement oscillant d'électricité, qui se propage à la surface et provoque à son passage des courants alternatifs dans l'autre conducteur.

Dans plusieurs systèmes aucune connexion n'existe entre les antennes et la terre. Dans ce cas, le courant devient par endroits un déplacement diélectrique. C'est cependant un véritable courant dans le sens le plus général, et la disposition de ses lignes de flux est semblable à celle des systèmes avec connexions conductrices, il peut toutefois y avoir, comme dans le système Lodge-Muirhead, une série de lignes de force fermées, ou radiation directe, se propageant à l'extérieur au-dessus de la terre.

Jusqu'à présent nous avons considéré principalement le courant de conduction. Il y a toujours associé avec lui un déplacement fixe ou variable dans le diélectrique ou l'isolant qui l'entoure, dans notre cas l'atmosphère. En télégraphie sans fil, ce déplacement change rapidement de sens et constitue en lui-même un courant dans le diélectrique ou plutôt des courants, car les lignes de force, sauf dans le cas de stations rapprochées, ne relient pas directement les deux antennes. Naturellement si la première charge de l'antenne se fait comparativement lentement, exigeant, par exemple, plus d'un millième de seconde, les lignes de force auront le temps de s'étendre à une grande distance, et l'électrification des antennes et de la surface de la terre aura acquis un état pratiquement statique avant qu'aucun autre changement n'arrive. Les lignes de force se propagent à la vitesse de 300.000 kilomètres par seconde, de sorte qu'au bout d'un millième de seconde leurs extrémités les plus éloignées auront, à l'endroit où elles touchent la terre, parcouru une distance de 300 kilomètres, leurs extrémités les plus rapprochées touchant toujours l'antenne d'émission. Ceci nous montre comment il est possible d'obtenir un signal à plusieurs kilomètres de distance quand le circuit primaire d'une bobine est rompu, alors même qu'il ne se produit dans le circuit secondaire ni étincelle ni oscillation (fig. 4).

Dans les systèmes dans lesquelles l'antenne ne renferme pas d'éclateur, mais est couplée inductivement à un circuit oscillant distinct,

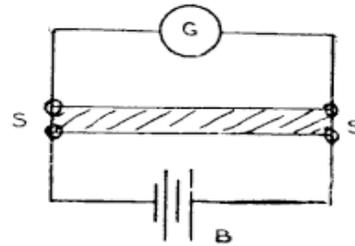


FIG. 3. — Galvanomètre shunté.

B, source. — SS, conducteur épais utilisé comme shunt. — G, galvanomètre.

cette première charge lente est probablement tout à fait négligeable ; elle est certainement réduite à presque rien. La plupart des systèmes actuellement en usage sont dans ce cas, et leurs émissions ne sont pas

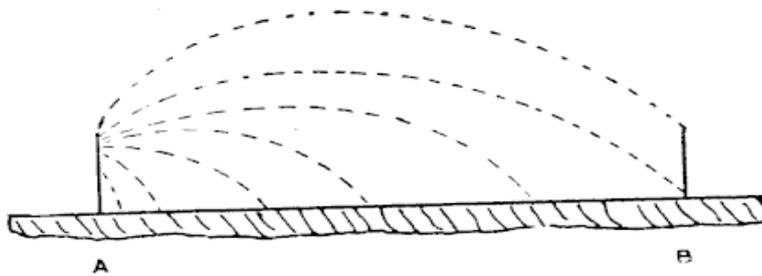


FIG. 4. — Distribution des lignes de force utiles avant que l'étincelle n'éclate pour une faible distance.

précédées d'une onde spéciale de grande longueur, mais commencent avec une onde de même longueur que celles qui suivront.

La télégraphie sans fil moderne est en général une

télégraphie à circuit ouvert, c'est-à-dire réunissant un conducteur à un autre sans fil de retour (fig. 5).

Dans la véritable télégraphie hertzienne, c'est-à-dire celle où les radiateurs de petites dimensions sont placés à une distance supérieure à une longueur d'onde au-dessus du sol, aucune partie conductrice continue ne relie les deux stations. Cette télégraphie hertzienne avec *petites ondes* n'a jamais pu dépasser des portées supérieures à 2 ou 3 kilomètres ; elle ne peut évidemment pas rivaliser avec les systèmes utilisant la terre comme conducteur pour guider le courant autour des obstacles, ou avec les systèmes à grande longueur d'onde dans lesquels la diffraction joue le même rôle. En fait, dans tous les systèmes actuellement employés, l'antenne est ou connectée directement avec la terre ou sa partie inférieure est si rapprochée du sol que le condensa-

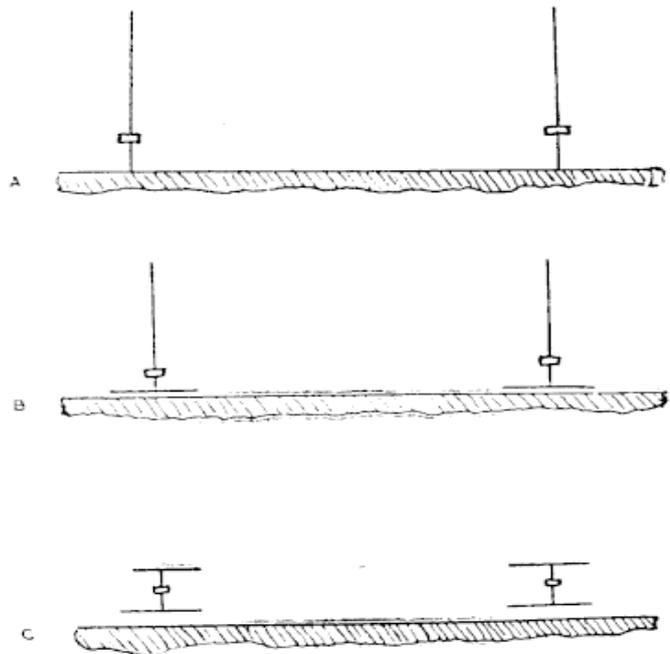


FIG. 5. — Conducteurs principaux dans la télégraphie sans fil moderne.

A. fils d'antenne reliés conductivement à la terre par l'intermédiaire des appareils d'émission et de réception. — B, fils d'antenne reliés inductivement à la terre par un réseau de fils étendu sur la terre. — C, système Lodge Muirhead.

teur ainsi formé permet au courant oscillant de passer à peu près comme dans un conducteur.

Je laisserai de côté les questions de priorité d'invention, les abandonnant aux historiens techniques ou aux hommes de loi; je décrirai seulement les expériences qui semblent avoir le plus directement contribué au développement du nouveau mode de communication. Il est bien entendu que, lorsque des dates sont mentionnées pour un appareil, elles ne s'appliquent qu'à cet appareil terminé, et ne fixent nullement le commencement des travaux d'un expérimentateur ni même sa première publication sur le sujet.

Télégraphie sans fil à circuit fermé. — Les premiers systèmes de télégraphie électrique sans fil⁽¹⁾, tels que ceux de Morse et Lindsay, consistaient à déceler les très faibles différences de potentiel se produisant entre deux plaques enfoncées dans la terre à quelque distance l'une de l'autre et situées sur une des lignes de flux du courant réunissant les deux plaques du transmetteur. Ces lignes de flux ressemblent, en forme, aux lignes de force réunissant les pôles d'un aimant, et l'intensité de l'action décroît, comme pour un aimant, très rapidement avec la distance à la source. Cette méthode était d'une application très limitée, car elle nécessitait l'emploi d'au moins deux fois autant de fil qu'il n'en aurait fallu pour connecter directement les deux stations, dans le cas où cela aurait été possible. Les longues lignes de base nécessaire pour réunir les deux plaques de terre aussi bien à la station d'émission qu'à la station de réception rendaient complètement impossible l'emploi de ce moyen pour communiquer entre les navires et la terre. Le cymophone de Helsing est à peu près le seul système moderne reposant sur ce principe, et, bien que des paires de plaques de terre soient employées, les appareils d'émission et de réception ont été si perfectionnés en puissance et en sensibilité que le rapport de la distance entre l'émetteur et le récepteur à la distance entre les plaques connectées d'une quelconque des paires a été énormément augmentée.

Sir W. Preece emploie également des plaques de terre aux extrémités de fils élevés tendus horizontalement, et, bien que le mode réel de transmission soit quelque peu différent, les portées sont aussi limitées. Ce système a cependant été utile dans certaines circonstances et il en existe quelques installations en exploitation en Angleterre.

Télégraphie sans fil à circuit ouvert. — Laissons de côté ces systèmes dans lesquels les lignes de force sont perpendiculaires à la direction de la transmission, et pour lesquels l'intensité de l'action décroît en

(1) Consulter l'*Histoire de la télégraphie sans fil*, par J.-J. FAHRE.

conséquence approximativement comme le cube de la distance, et considérons les systèmes plus modernes dans lesquels les lignes de force sont dans la direction de la transmission et où l'intensité décroît en raison simple de la distance. Cette différence constitue en elle-même un tel avantage en faveur du système de la connection unique à la terre et du fil vertical à l'encontre du long fil horizontal connecté aux deux extrémités que les progrès des systèmes reposant sur le dernier mode ont été complètement éclipsés par les succès de ceux dérivant du premier. Dans ce livre, je m'occuperai à peu près exclusivement des types d'appareils basés sur les travaux de Hertz, Lodge, Jackson, Troupton, Marconi et leurs nombreux successeurs, en excluant la téléphonie sans fil et les systèmes à circuit fermé.

Nous devons maintenant examiner les découvertes expérimentales antérieures à l'invention de la télégraphie sans fil moderne, mais qui lui servent de fondement. Celles-ci peuvent être en gros placées sous deux titres : 1° celles qui rendirent la production et la transmission d'oscillations électriques possibles ; 2° celles qui permirent de déceler ces oscillations. Aux premières sont attachés les noms de Henry, Von Bezold, Hertz, Lodge et Tesla, et aux secondes ceux de Hughes, Calzecchi-Onesti, Branly, Lodge et Rutherford.

Henry. — Le professeur Joseph Henry, de l'université de Princeton, fut le premier à démontrer expérimentalement que la décharge d'une bouteille de Leyde peut présenter un caractère oscillant, découverte qui conduit directement à l'invention de la télégraphie sans fil, non seulement à cause de la production d'une succession d'ondes, mais à cause de la rapidité des variations de potentiel infiniment plus grande que dans la décharge simple. En 1838, Henry réussit même à démontrer que les oscillations d'un circuit contenant une bouteille de Leyde et un éclateur induisaient des courants dans un circuit indépendant éloigné de plusieurs mètres. La télégraphie électrique était alors dans l'enfance et aucun essai ne fut fait pour adapter les appareils aux besoins de la pratique. Les observations de Henry sur le caractère oscillant de la décharge furent confirmées expérimentalement par Helmholtz et Feddersen, et leur théorie fut donnée par Lord Kelvin (voyez chapitre xvi).

Le professeur D.-E. Hughes. — En 1879, Hughes montra qu'il était possible de transmettre, sans fil de connection, des signaux d'une bobine d'induction à un microphone situé à plusieurs centaines de mètres de distance. Il croyait fermement que les oscillations se propageaient entre les appareils à travers le milieu isolant ; mais, découragé par le scepti-

cisme de quelques personnalités très notoires qui formaient un comité d'enquête, il ne poussa pas ses travaux au delà des limites de simples expériences. Ces résultats, bien que connus du comité, ne furent publiés que vingt ans plus tard, alors que Marconi avait déjà donné son système.

Sir Olivier Lodge. — En étudiant l'étincelle de décharge de condensateurs, Sir Olivier Lodge⁽¹⁾ reconnut qu'il était possible, en égalisant les dimensions électriques de deux circuits, d'obtenir un effet électrique identique à la résonance de deux vibrateurs mécaniques d'égale fréquence. Le phénomène a une grande importance dans la télégraphie sans fil moderne, et bien que dans sa forme primitive l'appareil employé n'éveillait l'idée d'aucun moyen de communication pratique, une combinaison identique de circuits de même fréquence forme la partie essentielle de presque tous les appareils de télégraphie sans fil. Il vaut donc la peine d'examiner attentivement ces expériences telles qu'elles furent exécutées à l'origine. Je cite la description de sir O. Lodge :

« Je vais montrer cette résonance électrique dans une forme qui demande une grande précision d'accord ou de syntonie, l'émetteur et le récepteur sont en effet capables de vibrer d'une façon persistante, produisant trente ou quarante vibrations avant que l'amortissement n'y ait un effet notable. Je prends deux bouteilles de Leyde avec des circuits ayant environ 1 mètre de diamètre, et distantes d'environ 2 mètres. Je charge et décharge une bouteille et observe que les oscillations provoquées dans l'autre peuvent y produire

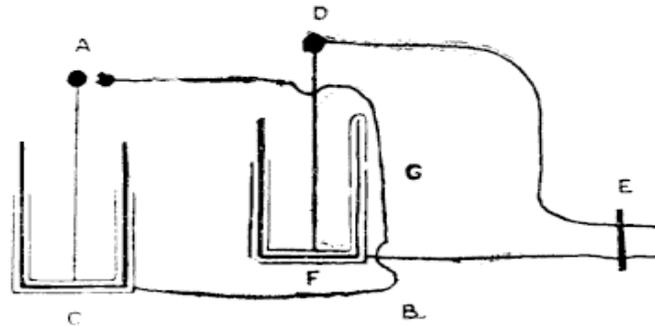


FIG. 6. — Circuits syntonisés à bouteille de Leyde de Lodge.

ABC, circuit d'émission. — DEF, circuit de réception. — A, éclateur. — E, curseur pour régler le circuit de réception. — G, petit éclateur pour déceler le courant reçu.

des étincelles si elle est syntonisée avec la première (voyez *Nature*, vol. XLI, p. 368; J.-J. THOMSON, *Recherches récentes*, p. 395). Un circuit fermé semblable à celui-ci est un faible radiateur et possède un faible pouvoir absorbant; il ne convient donc pas pour l'action à distance. En fait, je doute qu'il agisse d'une manière appréciable à une distance supérieure à $\frac{1}{4} \lambda$, pour laquelle on a affaire véritablement à l'énergie radiée.

(1) *Nature*, vol. XLI, p. 368, février 1890.

Si les armatures de la bouteille sont séparées par une plus grande distance, de telle sorte que le diélectrique y soit plus étendu, la radiation est plus forte ; car, dans le cas de radiation véritable, l'énergie sous

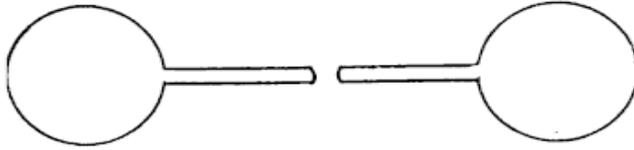


FIG. 6 A. — Oscillateur de Hertz.

forme électrostatique et magnétique sont égales, tandis que dans un circuit fermé l'énergie magnétique prédomine fortement. En écartant autant que possible les armatures, on

obtient un vibreur de Hertz (*fig. 6 A*) dont le diélectrique s'étend extérieurement dans la chambre et qui ainsi rayonne puissamment. »

Comme moyen de communication, les systèmes basés sur l'action mutuelle de deux circuits fermés en résonance ne peuvent pas entrer en compétition avec les systèmes à circuit ouvert, car l'énergie transmise décroît très rapidement avec la distance. Le fait seul que la possibilité de produire une résonance électrique se trouvait expérimentalement démontrée avait cependant une importance fondamentale et ouvrait la voie à d'autres expériences. Un grand nombre des caractères des courants alternatifs à très haute fréquence furent indiqués en premier lieu par Lodge. Poursuivant une observation faite par Faraday dans une expérience simple, mais remarquable, il montra que la self-induction d'une seule boucle de fil épais, de quelques décimètres de diamètre, était un obstacle suffisamment grand pour un courant oscillant de haute fréquence, pour qu'une étincelle de longueur considérable, indiquant une différence de potentiel de milliers de volts, sautât d'un point de la boucle à l'autre, quoique le conducteur formant la boucle n'eût qu'une fraction d'ohm de résistance.

L'importance énorme de la self d'un circuit où l'on se propose de faire passer des courants de haute fréquence ne saurait jamais être exagérée par ceux qui sont habitués au courant de basse fréquence.

Les tables placées à la fin de ce livre donnent quelques exemples du calcul de l'impédance d'un circuit pour courants de différentes fréquences.

La capacité joue un rôle aussi important dans la télégraphie sans fil et n'est jamais un facteur négligeable. En réalité, la plupart des problèmes en cette matière se ramènent à des questions de capacité et de self, et par suite dépendent de la forme géométrique des conducteurs. La nature du conducteur est généralement d'importance secondaire, mais sa dimension, sa forme, ainsi que les propriétés diélectriques de l'isolant environnant, déterminent la distribution des lignes de force électrique et, si celles-ci sont variables, le système de lignes magnétiques qui constitue la self-induction ou l'inertie du circuit. La forme

réelle du circuit a ainsi plus d'importance que la matière dont il est composé.

Von Bezold. — Von Bezold ⁽¹⁾ découvrit en 1870 que les courants ou les impulsions électriques sont réfléchis par l'extrémité isolée d'un conducteur, et il obtint ainsi des nœuds et des ventres de potentiel en différents points d'un fil. Il expérimentait alors avec les figures bien connues de Lichtenberg. Si on recouvre un côté d'une plaque de verre de papier d'étain et qu'on le connecte à la terre, une décharge venant de l'extrémité d'un fil située près du milieu de la face opposée laisse la surface nue du verre électrisée. Si l'on saupoudre alors la surface de poussière, celle-ci adhère au verre en formant des dessins caractéristiques présentant l'aspect de plantes marines, et dont les formes sont tout à fait différentes selon qu'il s'agit d'une décharge positive ou négative. Il est ainsi possible de distinguer une décharge positive d'une décharge négative, bien que la durée ne soit qu'une faible fraction de seconde.

La mise en évidence des nœuds sur un conducteur parcouru par des courants oscillants fut faite au moyen de l'appareil représenté schématiquement figure 7.

En variant les longueurs des boucles de fil DD', on trouva que les figures de poussière produites en B disparaissaient, tandis que celles formées en A et C étaient très développées, A, B, C étaient également rapprochés de l'étain relié à la terre, mais le résultat montrait que le potentiel en B ne s'élevait pas, tandis qu'en A, point

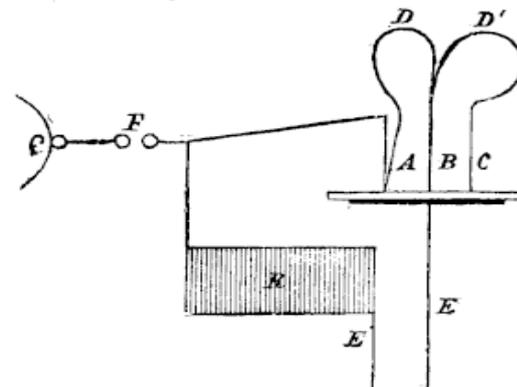


FIG. 7.

connecté à la terre par l'intermédiaire d'une grande résistance de forte self — ce que nous appellerions une self de protection — et en C, point complètement isolé, il y avait des ventres de tension.

La réflexion des ondes électriques par le bout isolé d'un conducteur était ainsi démontrée par la production de nœuds et ventres fixes de potentiel et l'existence d'une vitesse de propagation finie se trouvait établie.

Le résultat de cette recherche fut probablement la première confir-

⁽¹⁾ *Poggendorf's Annalen*, CXL, p. 541, ou *Heurz, Electric Waves*, p. 54 (Macmillan). — Les extraits et diagrammes (fig. 7-13) sont publiés avec l'autorisation gracieuse de M. Macmillan et du Dr J.-A. Barth, de Leipzig.

mation expérimentale de la théorie de Maxwell sur la propagation des oscillations électriques, car il était maintenant prouvé que leur vitesse de propagation était finie.

Von Bezold résume ainsi les résultats :

« 1. Si, après avoir sauté à travers un éclateur, une décharge électrique a devant elle deux chemins pour joindre la terre, l'un court et l'autre long et séparé par une plaque d'essai, le courant de décharge se divise tant que la distance d'étincelle est faible; mais, quand elle augmente, l'électricité passe seulement par le chemin le plus court, entraînant avec elle de l'électricité de même signe prise sur l'autre branche.

« 2. Si une série d'ondes électriques est envoyée le long d'un fil isolé à une de ses extrémités, les ondes sont réfléchies à cette extrémité, et les phénomènes accompagnant cet effet dans le cas de décharges alternatives sont produits par l'interférence entre les ondes directes et réfléchies.

« 3. Une décharge électrique traverse des fils également longs dans des temps égaux, quelle que soit la matière dont ceux-ci sont constitués. »

Il est à remarquer que von Bezold produisait des oscillations de haute fréquence à l'aide d'un éclateur, méthode qu'on n'a pas encore dépassée.

Hertz. — Dix-huit ans plus tard, Hertz publiait un compte rendu de ses expériences sur la propagation des ondes électriques le long des fils. Bien que certaines de ses conclusions aient dû être modifiées par suite de découvertes ultérieures, elles présentent cependant une telle importance fondamentale que nous devons les résumer.

1° Il montre que les vues de Faraday d'après lesquelles les forces électriques seraient produites par des polarisations électriques existant indépendamment dans l'espace sont confirmées par ses expériences.

2° Il est démontré que la vitesse de propagation de la force électrique dans l'espace est finie.

Nous arrivons maintenant à la série d'expériences qui ont principalement contribué à la célébrité de Hertz. Elles ne furent pas, comme il arrive souvent en pareil cas, le résultat d'une inspiration soudaine ou d'un hasard heureux, mais furent la suite du développement continu d'une même idée par un esprit doué d'une pénétration merveilleuse jointe à une grande persévérance et à une imagination remarquablement créatrice.

Dans les expériences décrites plus haut, il avait eu souvent l'occasion de remarquer que des étincelles se produisaient dans le circuit secondaire alors que celui-ci occupait des positions où nulle action directe n'était possible, et particulièrement au voisinage des murs ou autres

corps qu'on pouvait supposer capables de réfléchir l'action inductive.

L'explication la plus simple paraissait être que l'induction s'étendait alors comme des ondes autour du fil, que ces ondes étaient réfléchies par les murs et interféraient avec celles venant en sens contraire, produisant ainsi des points correspondant aux nœuds et aux ventres d'une onde stationnaire. Dans le but de trouver si des ondes libres étaient réellement émises, les conditions de l'expérience furent modifiées en facilitant la réflexion, et tout l'espace dans le voisinage du radiateur fut complètement exploré.

Le radiateur était formé, comme dans les expériences précédentes, de deux plaques de laiton carrées de $0^m,40 \times 0^m,40$, connectées à un fil de cuivre de $0^m,60$ de long, avec un éclateur en son milieu ; il était placé verticalement à 13 mètres de distance d'un mur sur lequel se trouvait une large plaque de zinc devant agir comme réflecteur. Le conducteur secondaire était, comme précédemment, formé par un anneau en fil de cuivre de 33 centimètres de rayon ; il était monté sur un bâti en bois pouvant tourner autour d'un axe vertical ou d'un axe horizontal. A une extrémité de l'axe horizontal était un petit éclateur réglable interrompant la circonférence. La production de petites étincelles à cet éclateur démontrait l'action inductrice, et mettait en évidence la position des nœuds et des ventres produits par l'interférence des ondes directes et réfléchies. C'était du moins ainsi qu'Hertz s'expliquait le phénomène, et, bien que quelques points aient dû être modifiés par suite des recherches de Bjerknæs et d'autres expérimentateurs, les faits principaux démontrés, c'est-à-dire : 1° l'émission d'ondes magnétiques libres circulant à travers le diélectrique et engendrées par des oscillations électriques ; 2° la vitesse finie de propagation de ces ondes, se sont trouvés complètement confirmés par les recherches ultérieures.

Clerk-Maxwell avait dit qu'il croyait à l'existence de telles ondes, et il avait donné, dans la 4^e partie, chapitre xx, de son traité *Electricité et Magnétisme*, les lois fondamentales de leur déplacement, mais il était réservé à Hertz de donner une preuve expérimentale de leur réalité et de découvrir des méthodes pour les produire et les déceler.

Hertz se proposa ensuite de montrer que les ondes produites par son oscillateur étaient en tous points analogues à des ondes de lumière de grande longueur, et qu'elles obéissaient en fait à toutes les lois connues de la propagation de la lumière. Il ne le fit pas avec le même oscillateur, car les ondes qu'il produisait avaient plusieurs mètres de longueur ; elles auraient donc nécessité, pour vérifier leurs lois, l'emploi de réflecteurs et de prismes extrêmement grands. Il fit un oscillateur beaucoup plus petit, donnant des ondes d'environ 60 centimètres. Cet appareil est constitué par deux barres épaisses de laiton, présentant

entre elles un petit intervalle servant d'éclateur, qu'il plaçait le long de la ligne focale d'un miroir parabolique en métal. Le récepteur était à

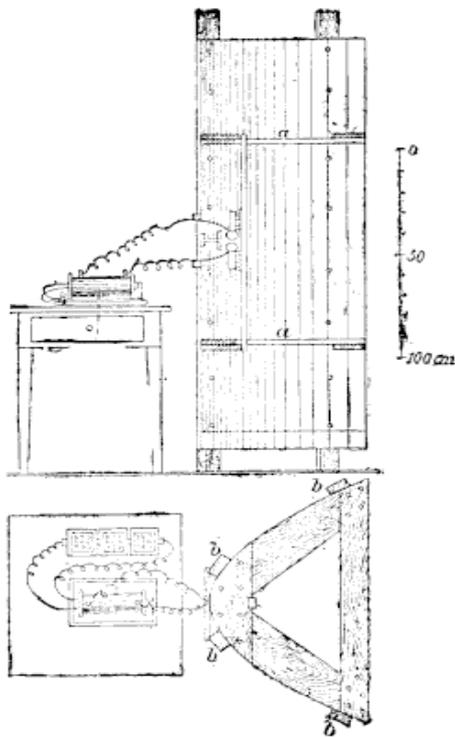


FIG. 8.

peu près semblable en forme, et placé également le long de la focale d'un miroir. Il comprenait un éclateur réglable pour déceler les oscillations induites (fig. 8).

Avec cet appareil, il fut possible de démontrer, en utilisant une feuille de métal carrée de 2 mètres de côté, que les ondes obéissaient à la loi de réflexion, c'est-à-dire que leur angle de réflexion sur le miroir était égal à leur angle d'incidence. Il fut aussi démontré que, si l'axe du miroir de réception était horizontal, celui de l'émetteur étant vertical, il n'y avait pas d'étincelles produites dans le premier : les ondes émises étaient donc planes et polarisées, comme il fallait s'y attendre. Cette conclusion fut confirmée en plaçant une grille de fils de cuivre parallèles sur le trajet du rayon. Le transmetteur et le récepteur ayant leurs axes verticaux, les fils de la grille

placés verticalement constituent un écran parfait ne permettant pas de recevoir ; si les fils de la grille sont placés horizontalement, c'est-à-dire perpendiculairement à l'axe des miroirs, la transmission est pratiquement aussi bonne qu'en leur absence.

Dans la première position, l'expérience montra que la grille n'agit pas seulement en absorbant les radiations, mais qu'elle en réfléchit une grande proportion, à la façon d'un miroir plan. A ce point de vue, le phénomène diffère de l'action d'une plaque de tourmaline sur la lumière, car la tourmaline absorbe les rayons qu'elle ne transmet pas.

Un grand prisme de bitume, ayant comme base un triangle isocèle

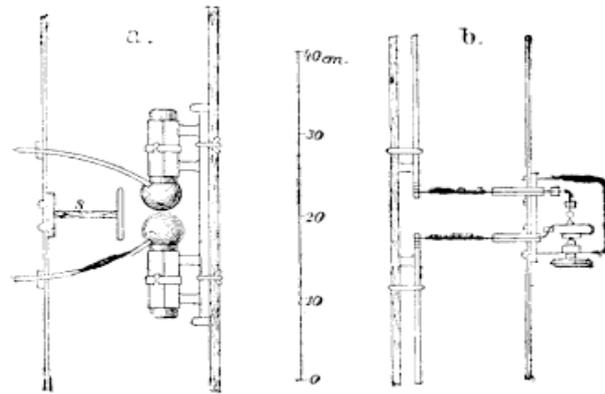


FIG. 9.

de 1^m,20 de côté et dont la hauteur était de 1^m,50, fut ensuite construit pour servir à déterminer si les rayons subissaient une réfraction en passant de l'air dans un milieu de réfringence différente. L'angle du prisme était de 30° environ. On trouva que le rayon déviait d'environ 22° en entrant dans le prisme ou en en sortant; comme l'angle du prisme était de 30° environ, l'indice de réfraction du bitume devait donc être de 1,69, valeur égale à 5 0/0 près à son indice de réfraction pour la lumière.

Hertz avait ainsi démontré l'existence des ondes électriques libres, et prouvé que la lumière, suivant les prévisions de Clerk-Maxwell, en est simplement une manifestation.

Le passage suivant est emprunté à la description par Hertz (1) de la forme et de la propagation des ondes électriques :

« Nous nous bornerons à considérer les résultats de la construction donnée dans les figures 10, 11, 12 et 13. Ces figures donnent la distribution du champ aux époques $t = 0, \frac{1}{4} T, \frac{1}{2} T, \frac{3}{4} T$, ou, en renversant simplement le sens des flèches, pour toutes les époques qui sont des multiples simples de $\frac{1}{4} T$. On a représenté à l'origine, dans sa position et à peu près à l'échelle, le dispositif employé dans nos premières expériences pour produire les oscillations. Les lignes de force ne sont pas continuées jusqu'à ce dessin, car nos formules supposent l'oscillateur infiniment petit, et sont donc inapplicables au voisinage de l'oscillateur fini.

« Commençons l'explication de nos diagrammes avec la figure 10. Alors $t = 0$; le courant a sa force maxima; mais les pôles de l'oscillateur rectiligne n'ont pas de charge électrique

— aucune ligne de force n'en émane. Mais, à partir du temps $t = 0$, des lignes de force commencent à émaner des pôles; elles sont comprises

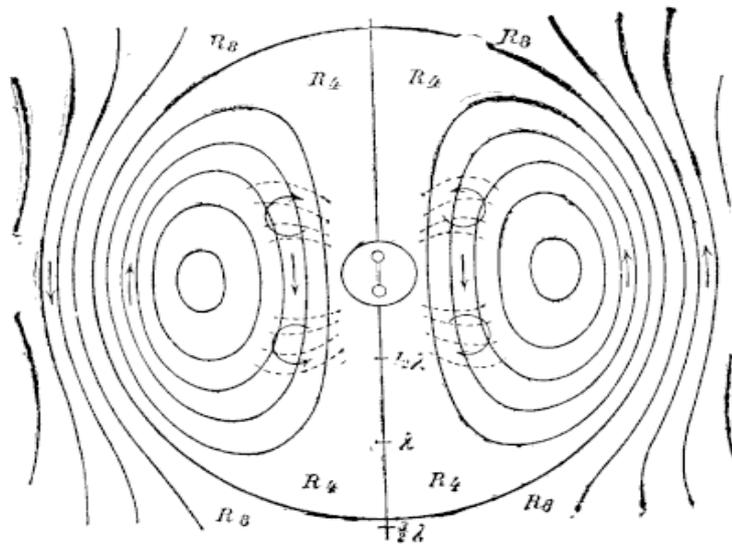


FIG. 10.

(1) HERTZ. *les Ondes électriques.*

à l'intérieur d'une sphère représentée par la valeur $Q = 0$. Dans la figure 10, cette sphère est infiniment petite, mais elle grandit rapidement

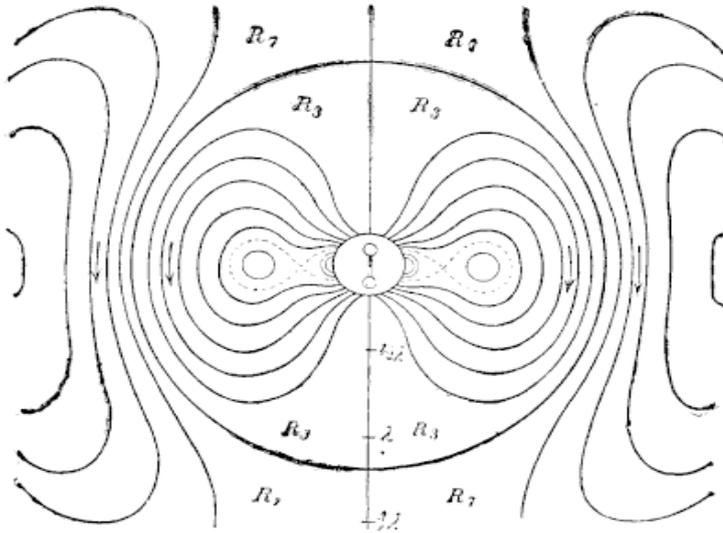


FIG. 11.

et, à l'époque $t = \frac{1}{4} T$ (fig. 11), elle remplit déjà l'espace R. La distribution des lignes de force à l'intérieur de la sphère est à peu près la même que celle qui correspondrait à une charge statique des pôles. La rapidité avec laquelle la sphère $Q = 0$ s'agrandit est d'abord beaucoup plus grande que $\frac{1}{\Lambda}$; pour cette dernière vitesse, la sphère au-

rait seulement, au temps $\frac{T}{4}$, le quart de la dimension indiquée. A une distance infinitésimale de l'origine, la rapidité de propagation est même infinie.

« C'est là le phénomène qui, d'après l'ancien mode d'expression, s'énonce en disant qu'à l'action électromagnétique se déplaçant avec la vitesse $\frac{1}{\Lambda}$, est superposée une action électrostatique se déplaçant avec une rapidité infinie. D'après notre théorie, nous représenterons correctement le phénomène en disant que les ondes développées ne sont pas formées uniquement par les phénomènes à l'origine, mais dérivent des conditions de l'espace environnant qui, d'après notre théorie, est le véritable siège de l'énergie. Quoi qu'il en soit, la sphère $Q = 0$ s'étend avec

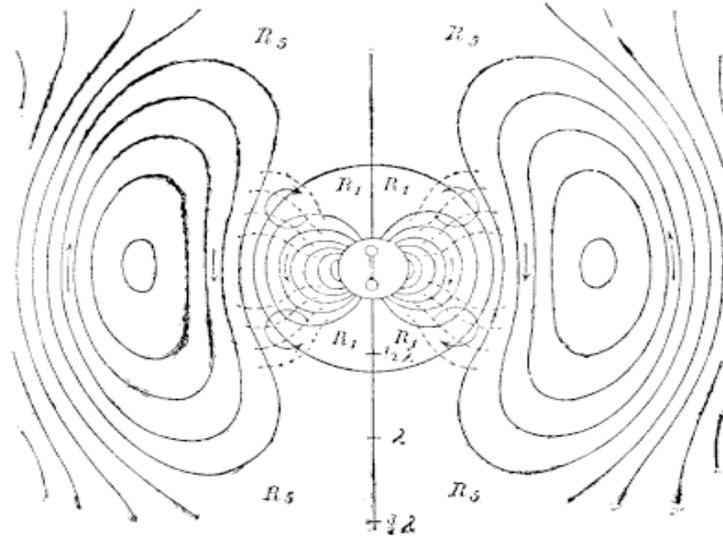


FIG. 12.

seulement, au temps $\frac{T}{4}$, le quart de la dimension indiquée. A une distance infinitésimale de l'origine, la rapidité de propagation est même infinie.

une vitesse qui diminue peu à peu jusqu'à $\frac{1}{\Lambda}$, et, au temps $t = \frac{T}{2}$, elle remplit l'espace R_2 . A ce moment, la charge électrostatique des pôles a atteint son maximum; le nombre de lignes de force qui en émane a sa valeur maxima. Le temps continuant à augmenter, aucune ligne de force nouvelle n'émane des pôles; bien mieux: celles qui existent commencent à se resserrer vers le conducteur oscillant, pour disparaître là comme lignes de force après avoir transformé leur énergie en énergie magnétique. Ici se produit une action particulière qui peut être facilement observée, du moins dans son commencement, en regardant la figure 13 ($t = \frac{3}{4} T$). Les lignes de force qui se resserrent le plus loin de l'origine

s'infléchissent latéralement par suite de leur tendance à se contracter sur elles-mêmes; comme cette inflexion augmente de plus en plus vers l'axe des z , une portion de chacune des lignes de force extérieures se détache sous forme d'une ligne de force fermée qui se meut librement dans l'espace, tandis que le reste se replie vers le conducteur oscillant pour y disparaître.

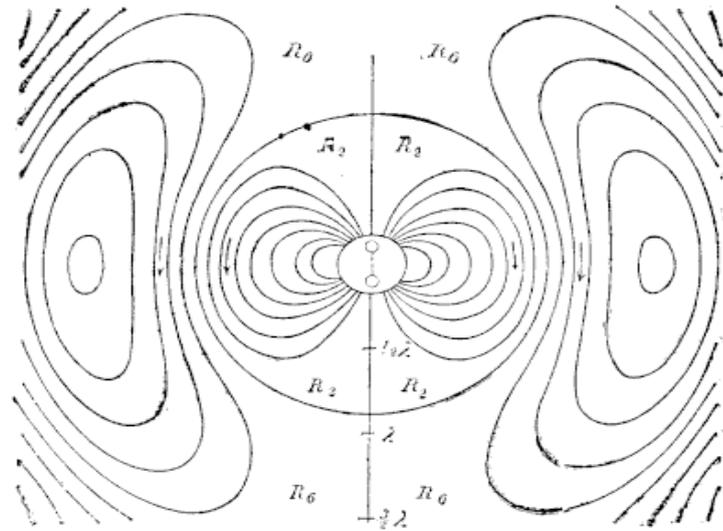


FIG. 13.

« Le nombre de lignes de force qui se replie ainsi est égal à celui de celles qui cheminent vers l'extérieur, mais leur énergie est nécessairement diminuée de celle emportée par ces dernières. Cette perte d'énergie représente le rayonnement dans l'espace. Il en résulte que les oscillations s'éteindraient rapidement si des forces nouvelles ne venaient leur restituer leur énergie. En traitant les oscillations comme non amorties, nous avons tacitement supposé la présence de telles forces. Dans la figure 10, à laquelle nous revenons au temps $t = T$, en supposant le sens des flèches changé, les portions de lignes de force détachées remplissent la sphère R_4 , tandis que les lignes de force émanant des pôles ont complètement disparu. Mais de nouvelles lignes de force sortent des pôles et font refluer dans l'espace R_5 , celles dont nous avons suivi le développement (fig. 11). On comprend comment ces lignes cheminent jusqu'aux espaces R_6 (fig. 12), R_7 (fig. 13), R_8 (fig. 10). Elles se transforment peu à peu en un pur mouvement ondulatoire qui se perd dans l'espace. La meilleure manière de représenter le jeu de ces forces serait

de dessiner les états correspondant à des intervalles de temps beaucoup plus courts et d'attacher les dessins à un disque stroboscopique.

« En examinant de plus près les diagrammes, on remarque que, pour les points qui ne sont situés ni sur l'axe des z ni sur le plan des xy , la direction de la force change continuellement. Si donc nous représentons la force en ce point, suivant le mode habituel, par un vecteur partant de ce point, l'extrémité de ce vecteur ne se déplacera pas simplement d'avant en arrière le long d'une ligne droite pendant la durée d'une oscillation, mais elle décrira une ellipse.

« Dans le but de trouver s'il existe des points où l'ellipse devient approximativement un cercle, et où par suite la force tourne dans toutes les directions sans changer approximativement de grandeur, superposons deux des diagrammes correspondant à une différence de temps de $\frac{T}{2}$, par exemple la figure 10 et la figure 12, ou la figure 11 et la figure 13.

« Aux points que nous cherchons, les lignes de force du premier système doivent nettement couper celles du second à angle droit, et l'écartement des lignes de force doit être égal dans les deux systèmes. Les petits quadrilatères formés par l'intersection des lignes des deux systèmes doivent donc être, aux endroits cherchés, des carrés. De telles régions peuvent en effet se trouver ; dans les figures 10 et 11, elles sont indiquées par des flèches circulaires dont la direction donne le sens de rotation de la force au même temps. Pour plus de clarté, on a représenté des lignes pointillées appartenant au système des figures 12 et 13. Nous trouvons de plus que les choses se passent ainsi non seulement aux points indiqués, mais encore dans toute la région allongée qui, s'étendant de ces points, forme le voisinage de l'axe des z . Cependant la force diminue si rapidement d'intensité dans cette direction que ce cas n'a d'intérêt qu'aux points mentionnés ».

C'est de ces recherches qu'est sortie la télégraphie sans fil moderne, et, bien que les radiations libres ne soient plus employées d'une manière générale, c'est cependant de Hertz que Marconi, comme beaucoup d'autres, s'inspira : son premier essai de télégraphie sans fil est l'invention d'un récepteur télégraphique servant de détecteur et d'enregistreur sous forme de signaux Morse, pour des ondes émises par un oscillateur de Hertz de la forme décrite.

En 1894, à une conférence à la *Royal Institution*, Sir Oliver Lodge montra que le cohéreur pouvait être utilisé comme détecteur d'ondes hertziennes jusqu'à une distance d'environ 140 mètres. Le récepteur ne pouvait cependant s'appeler un récepteur télégraphique, et la possibilité de le transformer de façon à en faire un n'était probablement pas entrevue alors par le conférencier. Son système syntonique, breveté en 1897, sera décrit plus tard.

Déjà en 1895, le professeur Popoff, de Saint-Petersbourg, avait décrit

un système d'étude de l'électricité atmosphérique, à l'aide d'un paratonnerre connecté, à travers un cohéreur, à la terre. Un relais et une batterie étaient mis encircuit avec le cohéreur, et le relais pouvait à son tour fermer le circuit d'une sonnerie électrique. Ce dispositif, qui ressemble aux récepteurs de Lodge de 1890 et 1894, fut proposé en décembre 1895 par Popoff pour l'utilisation télégraphique dans le cas où un générateur suffisamment puissant d'ondes électriques pourrait être trouvé pour servir de transmetteur. Ce ne fut probablement pas avant que les succès de Marconi eussent été connus que le professeur Popoff découvrit le transmetteur convenable. La figure 14 représente schématiquement le dispositif pour découvrir les perturbations électriques, qui fut proposé pour l'utilisation comme récepteur télégraphique. Le système est actuellement en usage en France et en Russie.

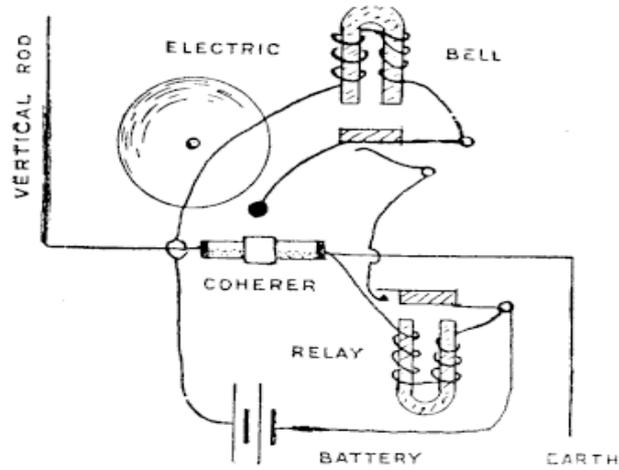


FIG. 14. — Récepteur de Popoff.

Le marteau frappe alternativement le timbre et le cohéreur, décoherant ce dernier après chaque onde.

Nikola Tesla. — Il est impossible de quitter la partie de notre sujet consacrée aux découvertes fondamentales sur lesquelles repose la télégraphie sans fil sans tenir compte de quelques dispositifs et inventions remarquables dues à Tesla. Bien que beaucoup de ce qu'on lui a attribué soit sans aucun doute dû à la grande imagination de la presse américaine, il n'en reste pas moins un nombre très considérable de faits, la plupart sous la forme de spécifications de brevets ou d'expériences de conférences, qui prouvent son extraordinaire pouvoir d'invention et sa remarquable connaissance des propriétés des courants alternatifs de haute et basse fréquence.

Parmi toutes ses inventions, qui remontent à 1913, la plus importante pour la télégraphie sans fil est sans doute sa méthode de production de longs trains d'ondes de haute fréquence, et leur transformation à haut voltage.

Après quelques essais infructueux, il construisit un alternateur capable de donner 30.000 périodes par seconde, et inventa une espèce de transformateur capable de transformer ces courants en courants de

très haut voltage. Il montra également que ce transformateur, ou « Tesla » comme il est communément désigné aujourd'hui, pouvait transformer des courants de fréquence beaucoup plus considérable que ceux produits par son alternateur, pouvant atteindre 100.000 ou 1.000.000 de périodes par seconde, comme ceux produits par la décharge d'une bouteille de Leyde. La figure 13 montre l'appareil dont il s'est servi.

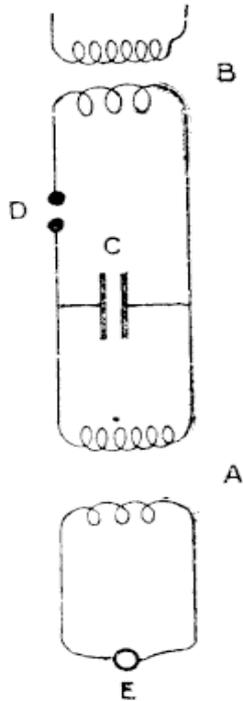


FIG. 13. — Transformateur de Tesla pour la production de courants alternatifs de haute fréquence.

A, transformateur. — B, transformateur spécial. — C, condensateur. — D, éclateur. — E, alternateur.

Même à de bas voltages, les courants de haute fréquence ont des particularités très remarquables, dont beaucoup n'existent pas pour les courants alternatifs ordinaires, sauf dans des cas très exceptionnels. L'effet Joule d'un courant de haute fréquence est par exemple énorme, car il n'utilise qu'une faible épaisseur du conducteur, au voisinage de la surface. Les pertes par hystérésis du fer placé dans un champ alternatif de grande fréquence sont également très grandes. C'est ainsi que Tesla trouva que la température d'un fil de fer de 1^{mm},58 de diamètre placé à l'intérieur d'une bobine de 250 spires, où circulait un courant évalué à 5 ampères, s'élevait jusqu'à 500° C. en deux secondes.

À de très hautes fréquences, la présence d'un noyau de fer dans les bobines n'augmentait pas sensiblement leur self, fait très intéressant d'application pratique immédiate dans la télégraphie sans fil.

Des effets remarquables peuvent être produits en réglant la capacité et la self dans un circuit de haute fréquence. Ainsi Tesla trouva que, si un condensateur était inséré dans le circuit, le potentiel à ses bornes pouvait s'élever bien au-dessus de celui de l'alternateur. Le fait que des effets analogues n'existent pas d'une façon appréciable aux basses fréquences est probablement dû à ce qu'il faudrait des condensateurs énormes pour produire la ré-

sonance électrique aux basses fréquences utilisées pour la distribution de l'énergie électrique. Pour déterminer la valeur d'un condensateur qui serait nécessaire pour un tel effet, prenons une self de basse résistance, telle que celle constituée par l'enroulement série des pôles d'un moteur de traction, et calculons la capacité qu'il faudrait y ajouter pour donner au circuit une fréquence naturelle de 50 périodes par seconde.

La période propre de vibration électrique d'un circuit de capacité C

microfarads et de self L centimètres, est donnée par la formule

$$n = \frac{5000000}{\sqrt{CL}}$$

Si nous faisons $L = 10^8$ centimètres et $n = 50$, nous trouvons pour C environ 100 microfarads. S'il était exactement réglé sur la période de l'alternateur, le circuit montrerait des effets de résonance énormes.

Retournons, quoi qu'il en soit, aux expériences de Tesla, dont les résultats éclairent singulièrement beaucoup de points dans la télégraphie sans fil, qui, sans elles, demeureraient difficilement compréhensibles. Quand un courant de haute fréquence est envoyé dans un transformateur élévateur, le voltage est considérablement augmenté, et l'on peut observer beaucoup de nouveaux phénomènes. De puissantes aigrettes et des décharges lumineuses sont produites par des conducteurs connectés aux bornes, l'air environnant étant réellement rendu chaud par le bombardement moléculaire intense, même si la fréquence ne dépasse pas 10.000 périodes par seconde. Avec une fréquence dix fois plus grande, les effets sont beaucoup plus marqués; pour les obtenir, cependant, un alternateur ne suffit pas, les plus grandes fréquences que Tesla obtint par ce moyen ne dépassèrent pas 30.000 périodes par seconde. On employa donc une bobine d'induction chargeant une bouteille de Leyde. Cette dernière était déchargée par un éclateur à travers le primaire d'un transformateur sans noyau. La décharge du condensateur étant oscillante, elle induisait dans le secondaire du transformateur des courants de même fréquence, mais de voltage considérable. A une fréquence aussi élevée, l'impédance d'un conducteur même épais et court est si grande que des potentiels de plusieurs centaines de volts peuvent être maintenus entre des points très rapprochés: des nœuds et des ventres de potentiel, qu'on peut mettre en évidence à l'aide d'une lampe à incandescence ordinaire, apparaissent également sur le conducteur.

Le transformateur employé pour produire ces effets était nécessairement très différent de ceux qu'on trouve ordinairement dans le commerce. Le primaire était formé par quelques spires d'un fil de cuivre épais placées à l'intérieur d'un tube de verre. Il n'y avait pas de noyau de fer, car à des fréquences aussi élevées l'induction magnétique ne pénètre pas le fer, et il n'y aurait pas d'intérêt à en avoir. A l'extérieur du tube en verre étaient deux petites bobines de fil de cuivre isolé à la gutta-percha. Le nombre de spires n'était pas grand, car l'élévation du voltage dépend principalement de la résonance du circuit secondaire, et non pas directement du rapport du nombre de spires dans le primaire et dans le secondaire. Le transformateur était tout entier plongé dans un bain d'huile isolante dont l'air avait été chassé à l'aide d'une pompe

à vide. Pour obtenir l'effet maximum, la fréquence du circuit secondaire est réglée sur celle du circuit primaire en variant sa capacité. On réalise cet effet soit à l'aide d'un petit condensateur, soit simplement en changeant la dimension des sphères qui forment les bornes secondaires. Tesla a montré que dans le maniement de ces courants, les diélectriques liquides sont de beaucoup supérieurs aux solides comme isolants. Le bombardement moléculaire chauffe la surface des solides, ou les particules de gaz que renferment ses cavités, au point de lui faire perdre rapidement ses propriétés isolantes (fig. 16).

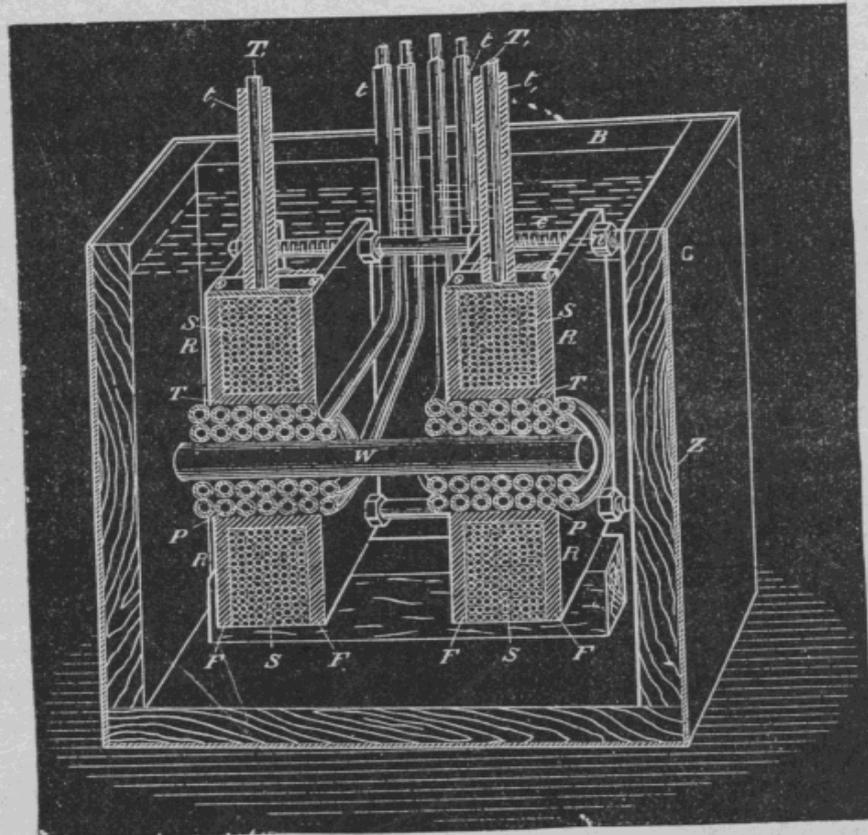


FIG. 16. — Transformateur de Tesla pour haute fréquence
P, primaire en fil recouvert de gutta. — S, secondaire. — R,R, bobines formant le secondaire.

Le pétrole, débarrassé d'air, donne des résultats de trois à quatre fois supérieurs à ceux du meilleur isolant solide, et offre l'avantage qu'en cas de décharge disruptive, la perforation faite se referme d'elle-même.

De semblables circuits transformateurs sont en usage dans presque toutes les stations de télégraphie sans fil et produisent les ondes électriques de haute fréquence et voltage élevé employées pour la transmission des signaux.

Un phénomène très curieux que Tesla pense pouvoir être d'une grande utilité en télégraphie sans fil, mais qui, croyons-nous, n'a pas encore été utilisé dans ce but, doit être mentionné. On peut le dénommer le rayon sensible. Une petite ampoule de verre sphérique, montée sur une tige tubulaire, est scellée dans une ampoule sphérique plus grande. Dans l'espace entre les deux ampoules on a fait un vide très élevé; dans la petite ampoule et dans la tige, l'air a été seulement assez raréfié pour le rendre conducteur. Si une des bornes du transformateur à haute fréquence est connectée à la tige, une légère lueur apparaît autour de la sphère centrale. Avec le temps, cette radiation diffuse se condense en un rayon bien défini qui est très sensible à la fois aux influences électriques et magnétiques. Un petit aimant permanent de seulement 2 centimètres de long agit sur le rayon à une distance de plusieurs mètres, et la seule présence d'un corps conducteur dans le voisinage de l'ampoule déplace le rayon de façon qu'il soit toujours opposé au conducteur. Malheureusement ces conditions sont instables; mais les causes du phénomène une fois connues, on pourrait trouver le moyen de les rendre stables. Cette découverte a été faite il y a plus de douze ans, alors que la télégraphie sans fil n'était pas encore entrée dans la pratique; peut-être un jour sera-t-elle reprise et formera-t-elle la base d'un récepteur particulièrement sensible.

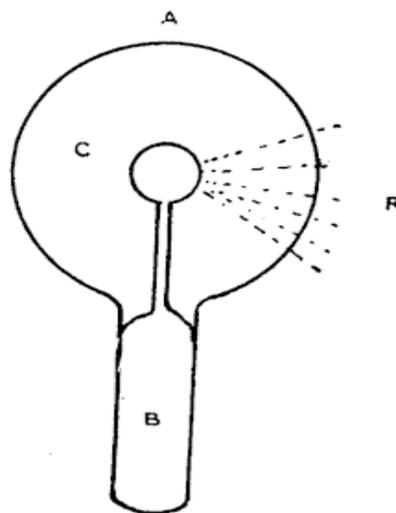


FIG. 17. — Le rayon sensible.

A, ampoule extérieure de verre (vide élevé). — B, bulbe interne (faible vide) connecté par un tube avec C. — R, rayons sensibles.

Superposition des petits mouvements vibratoires. — Une des expériences favorites des conférences de Lord Kelvin consistait à montrer l'accroissement de l'amplitude des oscillations d'un pendule long et pesant quand il était frappé par une masse très petite chaque fois qu'il atteignait la limite d'une de ses oscillations. On a reconnu que l'effondrement d'une usine avait eu pour cause le fait que le mouvement périodique des machines concordait avec la période naturelle de vibration de l'édifice. Ces deux faits illustrent un principe général de grande importance dans la nature, et d'importance primordiale dans la marche d'un système radiotélégraphique.

En radiotélégraphie, on cherche essentiellement à transmettre des messages à de grandes distances, et à empêcher les brouillages par les stations voisines. La solution des deux problèmes a jusqu'ici dépendu

principalement du principe de la superposition des petits mouvements périodiques. Pour que ce principe puisse être appliqué avec succès, il faut que les oscillations ne diminuent que faiblement d'amplitude, après un nombre considérable de périodes entières, c'est-à-dire que leur amortissement doit être faible. L'amortissement ou la décroissance de l'amplitude est due à deux causes : d'abord à la dissipation d'énergie en chaleur, dans les circuits locaux ; ensuite à l'énergie radiée. La première cause peut être réduite à un minimum en réglant convenablement la résistance, la capacité et la self des circuits ; la seconde est inévitable, car elle représente l'énergie transmise à l'extérieur dont une partie va actionner le récepteur.

Mais l'action du récepteur dépend généralement de l'amplitude de l'oscillation du voltage excité par les ondes venant de la station émettrice. Si celles-ci sont formées, comme dans le système direct de Marconi, d'une onde de grande amplitude suivie d'un train de trois ou quatre ondes diminuant rapidement, il est clair que la réception des signaux dépendra principalement de l'amplitude de la première onde, l'énergie des autres étant tout à fait négligeable comparativement.

Si au contraire on envoie un long train d'ondes dont l'amplitude ne diminue que très lentement, l'effet de chaque onde s'ajoutant aux autres



FIG. 18A.

A, onde transmise. — B, courant oscillant produit dans le récepteur.

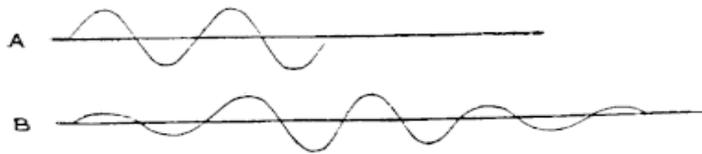


FIG. 18B.

A, deux ondes transmises. — B, courant résultant dans le récepteur montrant l'effet de la superposition des impulsions.

— pour un récepteur convenablement construit, — une oscillation de grande amplitude sera induite.

Il est plus facile de transmettre une grande somme d'énergie par une succession de petites ondes que par une seule de grande amplitude, car celle-ci exigerait une valeur extrêmement élevée du poten-

tiel et du courant. De là découle l'avantage, pour les transmissions à grande distance, d'employer des transmetteurs et des récepteurs accordés. Si les vibrateurs électriques ont même fréquence aux deux stations, et si la dissipation locale d'énergie est très petite, il est possible alors de communiquer en employant de longs trains d'ondes de voltage réduit. On peut ainsi couvrir des distances qui seraient impraticables si la transmission dépendait d'une seule onde ou simple impulsion.

Il est heureux que les conditions les plus favorables pour la transmission des signaux soient aussi celles qui permettent d'éviter les brouillages des stations voisines. Si un récepteur n'agit seulement que lorsqu'un nombre considérable d'ondes de période convenable est arrivé, nous pouvons nous arranger de façon qu'il ne soit pas actionné par les autres transmetteurs : nous n'avons qu'à disposer ceux-ci de façon qu'ils émettent des ondes de longueurs différentes n'actionnant pas le récepteur. Le point faible de ce système de différenciation entre les stations est que le récepteur peut être actionné par des trains d'ondes de fréquences légèrement supérieures ou inférieures à la sienne. Il y a donc une certaine marge en ce qui concerne la fréquence, et il en résulte que le nombre des stations voisines capables de ne pas se brouiller n'est pas illimité. La question a été récemment discutée par J. Hettinger⁽¹⁾, qui a déterminé les limites d'indépendance de deux stations.

Si un morceau de matière élastique, comme une baguette de métal, ou la colonne d'air d'un tuyau d'orgue, est mis en vibrations, on trouve que le mouvement tend à prendre certaines formes définies. Ainsi une corde tendue peut vibrer en entier, les seules parties sans mouvement étant les deux extrémités fixes. C'est ce qu'on appelle sa vibration fondamentale. Elle peut aussi avoir un point immobile en son milieu, le reste étant en mouvement. On appelle ce mode de vibration la première harmonique, ou l'octave. La fréquence est double de celle de la vibration fondamentale. D'une façon analogue, le corps vibrant peut osciller en 3, 4, 5, ou un nombre quelconque de parties égales ; les fréquences correspondantes des ondes émises seront 3, 4, 5 ou n fois celle de la vibration fondamentale. Le mouvement de l'électricité dans un vibreur électrique, et l'on entend par là un conducteur ou un ensemble de conducteurs limité par un diélectrique réfléchissant les oscillations électriques des extrémités du conducteur sur elles-mêmes, de façon à former une onde stationnaire de période fixe, suit une loi identique : la fréquence de la vibration est proportionnelle au nombre de segments dans lesquels elle vibre.

L'oscillographe de Duddell a permis récemment aux électriciens d'avoir une représentation claire des vibrations harmoniques ; bien que dans ce cas les harmoniques soient en général forcées, et non dues à la résonance propre, les ondes complexes ainsi obtenues sont du même type que celles formées par la superposition d'harmoniques naturelles. La figure 19 montre quelques types d'ondes complexes.

Les différents phénomènes en relation avec la production d'ondes électriques stationnaires dans les fils ont été étudiés très complètement

⁽¹⁾ *Electrical Review*, 1906.

par un grand nombre d'expérimentateurs. Entre autres, on peut citer von Bezold, Lodge, Hertz, Sarasin et de La Rive et Barton⁽¹⁾. Leurs recherches ont montré que la vitesse de propagation des ondes de haute fréquence le long des fils est pratiquement la même que celle de

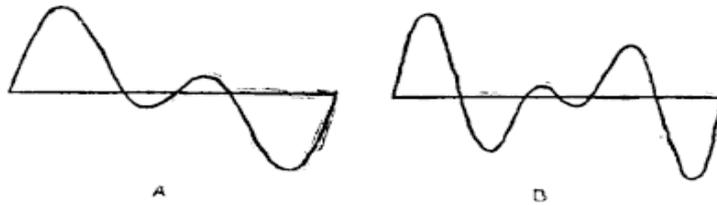


FIG. 19. — Oscillations complexes.

A, vibration fondamentale et première harmonique (fréquences dans le rapport $\frac{1}{2}$). — B, vibration fondamentale et troisième harmonique (fréquences dans le rapport $\frac{1}{3}$).

la lumière, c'est-à-dire environ 3×10^{10} centimètres, par seconde. En télégraphie sans fil, on a affaire à la fois à des ondes se propageant à l'extérieur le long d'un conducteur à peu près plan et à des ondes se propageant le long des

fils; la théorie du premier mode de propagation n'est pas si bien connue; notre connaissance à ce sujet est plutôt qualitative que quantitative. Dans la transmission à longue distance, on a aussi à tenir compte de la conductivité des couches raréfiées de l'atmosphère supérieure, ce qui peut ramener le mode de propagation au cas de deux conducteurs sphériques concentriques. Ces questions seront examinées dans un chapitre ultérieur.

Rutherford. — En 1896, le professeur Rutherford, en utilisant comme transmetteur un grand oscillateur de Hertz horizontal et comme récepteur son détecteur magnétique avec courts conducteurs non connectés à la terre, put transmettre des signaux à plus de 2 kilomètres.

(1) *Phil. Mag.*, 1899.

CHAPITRE II

PREMIERS ESSAIS DE TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

Après avoir, dans le chapitre précédent, décrit les recherches expérimentales qui tracèrent la voie à l'invention de la télégraphie sans fil moderne par haute fréquence, nous allons maintenant aborder les expériences réelles, formant la base du nouveau moyen de communication, et dont sont dérivés les systèmes actuellement en usage.

La découverte, faite par Hughes en 1879, que son microphone pouvait être influencé, à une distance considérable, par les oscillations émises par un conducteur connecté à un des pôles de l'éclateur d'une bobine d'induction, venait trop tôt; la science n'était pas mûre pour ces idées; comme d'ailleurs ses travaux n'ont pas été publiés, elles ne peuvent avoir influencé les autres inventeurs. Elles restent comme un avertissement aux chercheurs de ne pas avoir à se laisser décourager par les arrêts de savants qui, bien qu'instruits, n'ont pu pénétrer le détail des expériences et des déductions qui les ont conduits à leurs conclusions.

Le cohéreur, réinventé plus tard par Galzecchi-Onesti, Lodge et Branly, était simplement un contact imparfait comme le microphone, et, si les résultats de Hughes avaient été publiés en 1879, il est presque certain que l'existence de radiations électriques aurait été un fait démontré plusieurs années avant qu'Hertz n'ait effectué ses expériences.

Il est probable que les plus anciens essais de communication qui aient réussi à l'aide d'un système n'employant qu'une seule connexion à la terre à chaque station furent ceux du professeur Dolbear, qui, en 1882, demanda un brevet américain pour un système de communication électrique sans fils ni conducteurs entre deux ou plusieurs points.

Dans son premier essai, il employait pour transmettre une petite magnéto électrique, produisant du courant alternatif. Une seule borne était mise à la terre, l'autre était libre et prolongée par un conducteur de 30 ou 60 centimètres de long.

Le récepteur était un téléphone ordinaire dont une borne était mise à

la terre, l'autre étant tenue dans la main de l'observateur qui était isolé. La distance de transmission dans le premier essai fut d'environ 20 mètres : cette distance fut augmentée dans la suite en remplaçant la magnéto par une bobine d'induction avec une clé de Morse dans le primaire : de grandes capacités furent également attachées aux extrémités libres du transmetteur et du récepteur, et des paroles auraient ainsi été transmises téléphoniquement à une distance d'environ 800 mètres. La description du brevet ne donne pas clairement la théorie du système.

L'auteur indique qu'il est de grande importance de tenir les connexions à la terre inversement chargées au transmetteur et au récepteur et, dans ce but, il leur fixe les extrémités positive et négative de batteries de piles. L'avantage que cette disposition pouvait donner, alors que la transmission avait lieu en réalité par courants alternatifs, n'est nullement manifeste. La figure 20 montre les appareils employés avec ce système pour la transmission de la parole.

En suivant toujours l'ordre chronologique, nous trouvons qu'en 1893 Tesla proposa un système pour la transmission sans fil de l'énergie électrique — y compris, bien entendu, les messages télégraphiques — qui, bien que ressemblant par certains côtés au système de Dolbear, n'en contenait pas moins un perfectionnement important et même fondamental.

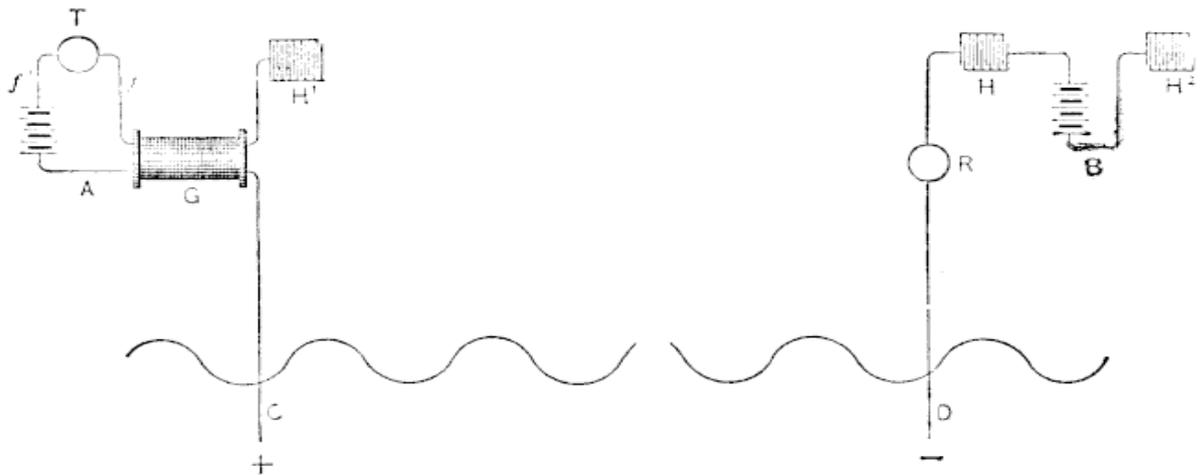


FIG. 20. — Système de Dolbear.

T, transmetteur. — R, récepteur. — CD, connexions à la terre.

Il proposait d'employer une capacité élevée et une simple terre, à chaque station. A la transmission, on employait une source de courants alternatifs comme dans le transmetteur de Dolbear, et à la réception un appareil de type approprié à la fréquence du courant employé. L'amélioration résidait dans le fait que la self-induction et la capacité du récepteur devaient être réglées de telle sorte que la période naturelle de vibra-

tion électrique fût égale à celle du courant émis. Le récepteur devait ainsi vibrer suivant les ondes reçues et les oscillations engendrées croître en amplitude à mesure que les ondes du transmetteur y arrivaient.

Une série d'ondes de très faible potentiel devenait ainsi capable de produire, avec le temps, une oscillation assez forte pour être enregistrée par l'instrument. Cette proposition, suite naturelle des découvertes de l'inventeur sur les propriétés des courants à haute fréquence, ne fut apparemment pas mise en pratique ni même brevetée avant 1897 (*fig. 21*). Cette même année, mais plus tôt, Oliver Lodge, abordant le problème par les ondes hertziennes, avait breveté un système de télégraphie sans fil dans lequel celles-ci étaient employées. Le transmetteur était une sorte d'oscillateur de Hertz, le récepteur ayant les mêmes dimensions électriques (c'est-à-dire capacité, etc.) et par conséquent la même période de vibration naturelle que le transmetteur. Ce brevet, avec le brevet américain de Marconi datant de 1896, sont les premiers pris pour des systèmes syntoniques.

Le brevet de Tesla, fondé sur sa proposition de 1893, ne fut pris qu'un peu plus tard. Il faut aussi noter qu'il ne proposait pas, comme Lodge, l'emploi de radiations libres, mais celui de courants oscillants conduits par la terre (*fig. 21*).

Le capitaine Jackson, de la marine royale, était parvenu dès 1893, avant que les inventions de Marconi eussent été publiées, à établir des



FIG. 21. — Système de télégraphie sans fil proposé par Tesla.

AA', capacités aériennes. — SS', appareils d'émission et de réception.

communications dans le code de Morse entre deux navires au moyen d'appareils ressemblant beaucoup à ceux inventés en même temps par Marconi. On n'a jamais publié de détails sur les appareils du capitaine Jackson, le système étant naturellement la propriété de la marine. Le professeur Trouton avait également effectué des expériences analogues.

Marconi. — Comme nous l'avons déjà mentionné dans le chapitre précédent, le premier système de télégraphie sans fil de Marconi (breveté en 1896) était fondé directement sur les expériences de Hertz. L'émetteur consistait en un oscillateur de Hertz placé sur la ligne focale d'un miroir parabolique, et actionné par une bobine d'induction. Le récepteur était également semblable à celui de Hertz, avec l'addition d'un cohéreur servant de détecteur et un dispositif automatique pour

décohérer immédiatement après la réception d'un signal. Ces modifications transformaient un appareil qui n'avait été jusqu'alors qu'un détecteur d'ondes électriques en un appareil de télégraphie permettant l'échange de messages. En employant des radiations directes, Marconi réussit avec ces appareils à communiquer à une distance d'environ 2 kilomètres, distance à laquelle aucun expérimentateur n'avait pu jusqu'alors percevoir même l'arrivée des ondes.

L'oscillateur de Lodge fut également employé dans beaucoup de ces expériences. Il diffère de celui de Hertz par l'addition de deux sphères

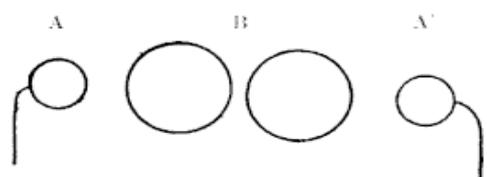


FIG. 22. — Oscillateur de Lodge.

AA', petites sphères connectées à la source de courant. — B, grandes sphères constituant l'oscillateur principal.

métalliques isolées placées entre les sphères des extrémités du circuit à haute tension de la bobine d'induction. Il y a ainsi trois étincelles en série : deux grandes aux extrémités et une petite au milieu entre les deux sphères isolées. Cet oscillateur donne des ondes de très haute fréquence, car la période est déterminée par les

dimensions de deux sphères (*fig. 22*).

Marconi n'avait encore expérimenté que très peu avec ces appareils lorsqu'il lui arriva d'augmenter leur puissance de transmission en connectant de chaque côté de l'éclateur de grands conducteurs isolés. Il attachait de semblables conducteurs au circuit récepteur et quand, finalement, la terre fut prise pour tenir lieu d'un des conducteurs, — l'autre était élevé beaucoup au-dessus à l'aide d'un mât, — il trouva qu'il était possible de recevoir des messages à des distances huit ou dix fois plus grandes que celles auxquelles les radiations hertziennes seules pouvaient parvenir.

On apprécia de suite la valeur pratique de ce grand progrès, mais on mit beaucoup plus de temps à reconnaître quel changement complet on avait opéré dans le mode de transmission par l'adjonction d'une terre. Il semble qu'hypnotisée par la découverte de Hertz des radiations électriques libres, la plupart des physiciens n'aient pas vu ce fait sinon évident que la capacité surélevée et la terre formaient maintenant l'oscillateur et que le récepteur était lui-même placé, à grande distance, sur l'oscillateur. Il est curieux de voir qu'on a pu si longtemps négliger le pouvoir conducteur de la terre, alors qu'elle servait déjà comme conducteur de retour pour les courants télégraphiques et téléphoniques.

Le premier brevet de Marconi se rapporte à : 1° de simples appareils pour radiations hertziennes; 2° des appareils pour courants oscillants avec une borne surélevée et l'autre connectée à la terre à chaque station. Ce dernier mode, remarque-t-il, est préférable pour des communi-

cations « à travers ou au delà de montagnes ou autres obstacles ». Les figures 23 et 24 montrent le dispositif général de transmission et de réception dans ce cas. On remarquera que l'oscillateur de Lodge fait

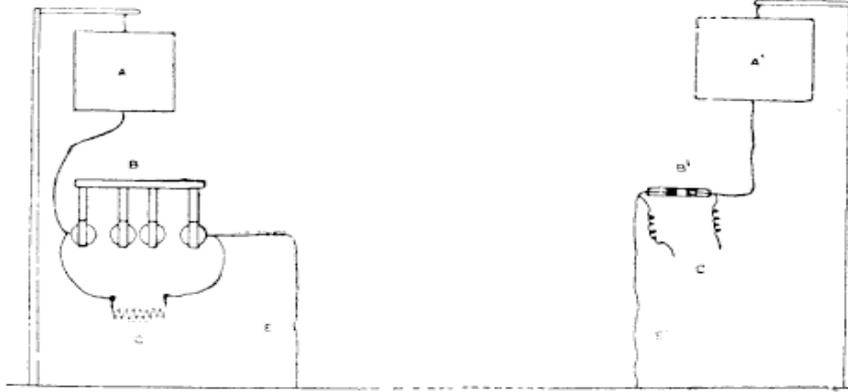


FIG. 23. — Système de Marconi avec mise à la terre (forme primitive).

AA, capacités élevées. — B, oscillateur de Lodge. — C, source de courant (bobine d'induction).
EE', connexions à la terre. — B', cohéreur. — C', connexions au récepteur.

partie du transmetteur, bien qu'on sache maintenant qu'il ne réglait pas la longueur d'onde du transmetteur. L'oscillateur principal était constitué par la terre et la capacité aérienne et donnait des oscillations

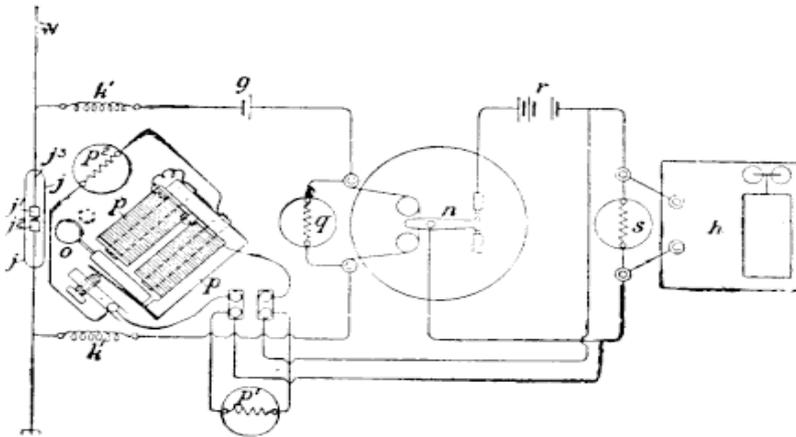


FIG. 24. — Récepteur de Marconi.

W, fil d'antenne. — E, fil de terre. — j, cohéreur. — o, frappeur. — KK', bobines de protection.
g, piles sèches. — n, relais. — r, batterie. — h, morse imprimeur. — p₁, p₂, q, s, shunts.

de fréquence beaucoup plus basses que les deux sphères. Tout l'effet de ces dernières était seulement de convertir une faible partie de l'énergie disponible en radiations de très haute fréquence qui, à des distances

très faibles, étaient déjà si amoindries qu'elles ne jouaient aucun rôle dans la transmission. Après une année, Marconi, instruit par l'expérience, remplaçait cet oscillateur par un éclateur à étincelle unique.

Le premier récepteur de Marconi mérite d'être décrit, car, bien que ceux actuellement en usage contiennent beaucoup de particularités nouvelles, il formait un appareil télégraphique tout à fait pratique. Si dans sa forme primitive cet appareil offrait moins de sécurité qu'un télégraphe ordinaire, il permettait de communiquer dans des cas où ce dernier était totalement impropre.

Les bornes du cohéreur étaient reliées : l'une au fil de la capacité aérienne, autrement isolée; l'autre au fil de terre. Une extrémité du cohéreur était également connectée à une pile sèche, l'autre extrémité étant reliée à travers la bobine d'aimant d'un relais à l'autre borne de la pile. Dans le circuit extérieur du relais étaient placées une batterie de huit piles et une sonnerie électrique dans laquelle le cohéreur était mis à la place du timbre. De petites bobines de self étaient insérées entre le cohéreur et le circuit du relais pour empêcher les courants oscillants de se dissiper dans le relais, et des shunts étaient placés en parallèle avec toutes les parties du circuit où pouvaient se produire des oscillations. En parallèle avec le circuit du frappeur était un récepteur Morse ou tout autre appareil enregistreur. Tout l'ensemble récepteur, sauf le Morse, était enfermé dans une boîte de métal qui le protégeait contre l'action du transmetteur de la station. La boîte était reliée à la terre; le fil d'antenne y était connecté seulement pendant la réception des signaux à travers un trou ménagé sur l'un des côtés. La borne non connectée à la terre de l'enregistreur était réunie à l'appareil à l'intérieur de la boîte par un dispositif ingénieux qui, bien que laissant passer les courants continus, faisait obstacle aux courants oscillants. Une certaine longueur de fil de cuivre isolé à la gutta-percha était recouverte d'étain, puis enroulée en bobine et mise en contact avec l'extérieur de la boîte. Une extrémité de ce fil était amenée à l'intérieur, l'autre étant connectée à l'enregistreur. Les courants continus pouvaient passer par le fil, mais les oscillations passaient du fil à l'enveloppe d'étain en traversant la gutta sous forme de déplacement diélectrique, et de là, par la surface de la boîte, gagnaient la terre. Cet arrangement rendait inutile la coupure de l'enregistreur pendant la transmission.

Cet appareil a permis de transmettre des dépêches à environ 65 kilomètres au-dessus de la plaine de Salisbury, avec des antennes supportées par des cerfs-volants. Une démonstration eut lieu avec l'aide du *Post Office* de part et d'autre du canal de Bristol à Lavernock, où sa largeur atteint près de 12 kilomètres, avec des antennes portées par des mâts de 43 mètres de hauteur environ.

Des stations d'expérience furent ensuite érigées aux Aiguilles ⁽¹⁾ et à Bournemouth, distants d'environ 23 kilomètres : cette dernière station fut transportée, en octobre 1898, à l'embouchure de Poole Harbour, à 96 kilomètres des Aiguilles. Des postes temporaires furent aussi placés à bord du yacht royal, pour communiquer avec Ryde, et au large de Kingstown à bord d'un remorqueur pour renseigner sur les péripéties des courses pendant les régates.

Le développement expérimental du système peut être suivi en se reportant aux annales de l'Office des brevets et aux conférences que M. Marconi fit aux différentes sociétés scientifiques. Dès les premières expériences, la grande capacité placée au sommet fut supprimée, un simple fil de 30 à 45 mètres ayant été trouvé suffisant.

En 1898, une amélioration capitale fut apportée dans le récepteur ; elle augmenta énormément à la fois la sensibilité et la sécurité de fonctionnement, et rendit possible l'accord de deux stations, de façon à empêcher les brouillages. Cette transformation essentielle consiste dans l'introduction d'un petit transformateur entre le fil d'antenne et le circuit du cohéreur.

On obtenait ainsi une triple amélioration. La sécurité était augmentée par la présence d'un circuit conducteur relié directement à la terre, et par lequel pouvait s'écouler librement l'électricité des décharges atmosphériques, sans affecter le cohéreur. Une plus grande sensibilité résultait de l'augmentation du voltage aux bornes du cohéreur, due un peu à l'action du transformateur élévateur, mais due surtout à ce que le circuit du cohéreur devenait capable de résonance. Ce résultat de la transformation rendait également possible la sélection entre les stations.

De nombreux types de transformateurs furent essayés avant d'arriver à un modèle permettant de recevoir les signaux. Le type finalement adopté était formé par une bobine primaire d'environ cent spires

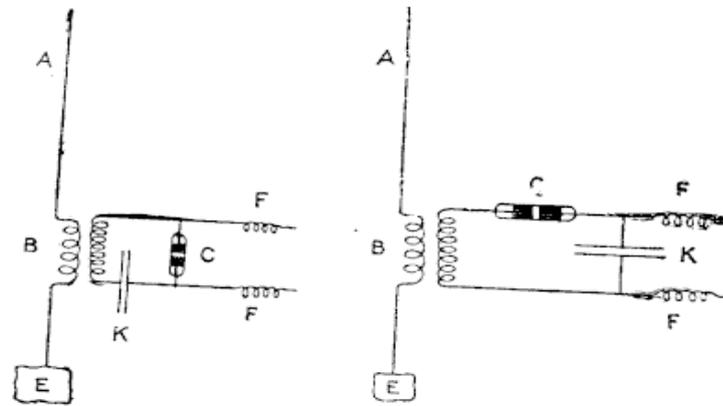


FIG. 25. — Transformateur de réception ou Jigger ; deux manières de connexions au circuit du cohéreur.

A, antenne. — B, jigger. — C, cohéreur. — E, terre. — K, petit condensateur. — FF, selfs de protection sur les fils allant à la batterie et au relais.

⁽¹⁾ Les Aiguilles (The Needles I of W).

de fil de cuivre fin enroulées sur un tube de verre de quelques millimètres de diamètre, le secondaire ayant environ deux cents spires de fil encore plus fin enroulées en une couche au sommet du primaire. Le primaire était connecté aux fils d'antenne et de terre ; le secondaire était relié d'un côté au cohéreur et de l'autre à travers un condensateur à la seconde borne du cohéreur. On trouva, pour des raisons qui seront expliquées dans un chapitre ultérieur, qu'il n'y avait pas avantage à augmenter le rapport de transformation par l'addition d'une deuxième ou troisième couche de fil sur le secondaire ; que même en pratique une

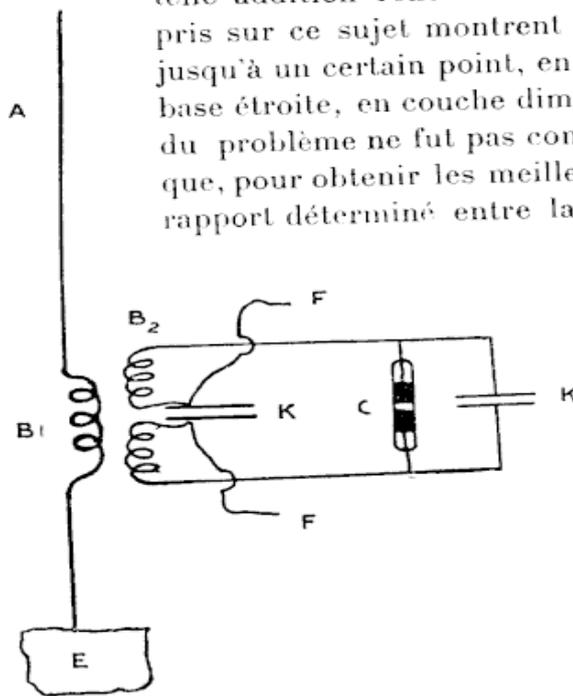


FIG. 26. — Jigger avec secondaire (coupe).

A, antenne. — B₁, B₂, primaire et secondaire du jigger. — C, cohéreur. — KK, condensateurs de fils allant au relais.

en faisant les connexions de manière à ne prendre que quelques spires dans le circuit de l'antenne. Cette méthode de connexion est appelée maintenant « couplage direct », opposé au couplage par induction réalisé par un primaire et un secondaire différents. Ces transformateurs sont représentés dans la figure 27.

En 1900, Marconi améliora les ondes émises par le transmetteur en employant un circuit générateur de haute fréquence séparé, de capacité et de self convenables, et comprenant un éclateur. L'antenne était couplée à ce circuit primaire par un transformateur. Si dans la figure 23 on

telle addition rendait le transformateur inactif. Les brevets pris sur ce sujet montrent que la difficulté a été surmontée jusqu'à un certain point, en enroulant le secondaire sur une base étroite, en couche diminuant de longueur. La solution du problème ne fut pas complète tant qu'on n'eût pas trouvé que, pour obtenir les meilleurs résultats, il devait y avoir un rapport déterminé entre la longueur du secondaire et celle de l'antenne ; qu'en réalité, le circuit secondaire agissait comme un résonateur dont la fréquence devait être égale à celle des ondes transmises. Nous retrouverons ce sujet au chapitre XVI.

L'auteur apporta une nouvelle amélioration en coupant le secondaire et insérant en son milieu un petit condensateur : les connexions au relais partent des bornes de ce condensateur, tandis que les extrémités du secondaire sont reliées au cohéreur. Un autre perfectionnement consista à utiliser la partie centrale du secondaire comme primaire,

admet que G représente un éclateur et F, F les fils de liaison avec la bobine d'induction, cette figure représente alors le transmetteur.

Ces améliorations eurent à tel point la sensibilité du récepteur que des distances de plus de 160 kilomètres purent être atteintes avec un transmetteur d'une puissance qui n'aurait suffi auparavant que pour 15 à 20 kilomètres.

Lodge — Sir Olivier Lodge prit, en 1897, un brevet pour un système de télégraphie sans fil syntronique fondé directement sur ses propres études de la décharge des bouteilles de Leyde, et sur les résultats expérimentaux de Hertz. Le transmetteur consistait en deux grands cônes en feuille de métal ayant leurs axes verticaux, et munis d'un éclateur entre leurs sommets.

Dans un autre type de transmetteur, une seule sphère métallique, séparée par de petits éclateurs des bornes d'une bobine d'induction, servait de radiateur. Ces deux systèmes produisaient des radiations hertziennes directes, le dernier donnant naissance à des ondes de très haute fréquence. L'oscillateur sphérique était partiellement renfermé dans un cylindre de cuivre, ouvert d'un côté, ayant pour but de condenser les rayons électriques dans une direction. Le récepteur employé avec les grands cônes consistait en deux cônes semblables reliés par l'intermédiaire du primaire d'un transformateur dont le secondaire était connecté au circuit du cohéreur. Les dimensions du transmetteur et du récepteur étaient réglées de manière à avoir des périodes naturelles égales et par suite à être en résonance. Il n'y avait pas de connexions à la terre, le but cherché étant la transmission uniquement au moyen d'ondes libres. Le radiateur conique du début est maintenant remplacé par les conducteurs horizontaux, ainsi qu'il est montré dans la figure 5. Des stations munies de ce dernier dispositif fonctionnent maintenant en diverses parties du monde (fig. 28).

Les systèmes dont nous venons d'esquisser le développement peuvent être considérés comme formant la base fondamentale sur laquelle re-

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL.

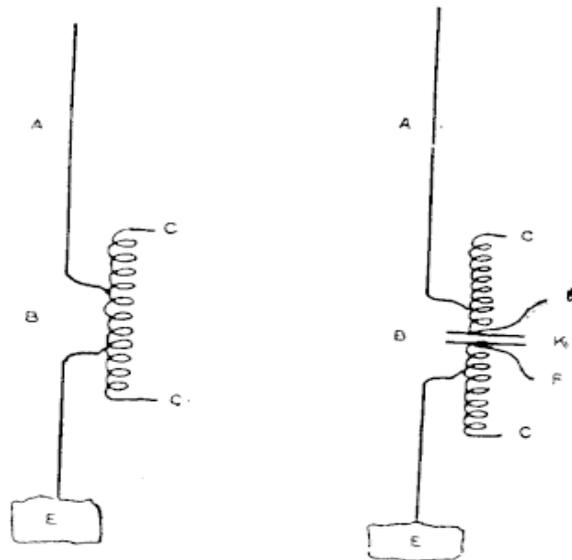


Fig. 27. — Antenne directement couplée et circuit de réception avec ou sans condensateur.

A, antenne. — B, jigger. — CC, connexions au circuit du cohéreur. — E, terre. — K, condensateur. — FF, fils allant au relais.

posent tous les travaux plus récents dans cette branche de la télégraphie électrique. D'innombrables inventeurs ont travaillé le sujet, et le résultat a été une quantité toujours plus grande de brevets, dont un ou deux mille ont été déjà délivrés, rien qu'en Angleterre. Beaucoup de ces brevets ont naturellement trait à des changements peu importants, à de soi-disant améliorations déjà depuis longtemps rejetées par les premiers inventeurs; il n'en reste pas moins un grand nombre de dispositifs ayant ou pouvant avoir une réelle valeur.

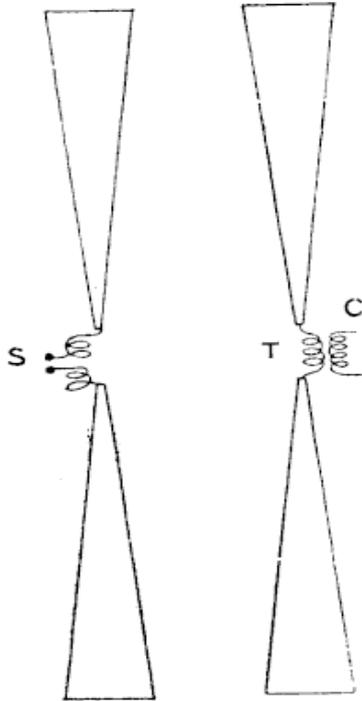


FIG. 28. — Système synchrone de Lodge. Conducteurs principaux.

S, éclateur. — T, jigger de réception. — C, fil allant au cohéreur.

premier dans lequel on employait une antenne connectée aux deux bornes d'une bobine d'induction. L'antenne était disposée en forme d'arche, avec un éclateur à la partie inférieure d'un des côtés. Si les deux moitiés de l'arche sont de mêmes dimensions électriques, il n'y a pas de radiations; mais, si la capacité ou la self de l'une est beaucoup plus grande que celle de l'autre, le circuit est dissymétrique et devient un bon radiateur. Il est avantageux de connecter une des bornes à la terre.

Les expériences des professeurs Braun et Slaby et du comte Arco ne sauraient être passées sous silence, d'autant plus que leurs résultats sont maintenant incorporés dans les brevets de la Société allemande de Télégraphie sans Fil (*Gesellschaft für drahtlose Telegraphie*), et forment ce qu'on appelle le système *Telefunken*.

Cette compagnie travaille d'accord avec les services publics en Allemagne, et elle a probablement plus de stations qu'aucune autre en fonctionnement. A l'assemblée annuelle de 1908, le rapport indiquait que 518 installations avaient été faites.

Le système Slaby-Arco fut probablement le

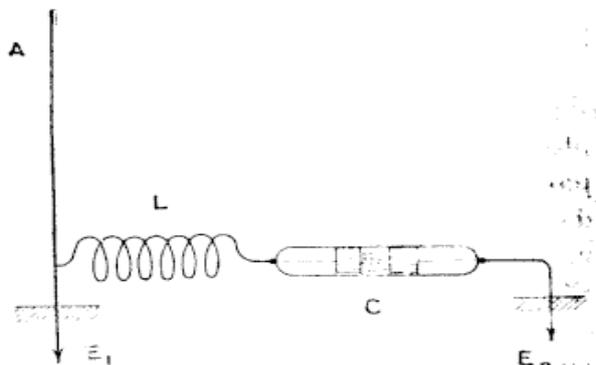


FIG. 29. — Station réceptrice de Slaby, conducteurs principaux et double prise de terre.

A, antenne. — E_1 , E_2 , connexions à la terre. — L, self. — C, cohéreur.

Maskelyne emploie une antenne quelque peu semblable. Ce système d'antenne a quelques avantages sur le système à un seul fil, mais est beaucoup plus difficile à construire. Il semble ne plus être depuis longtemps en usage courant. Une autre méthode employée par Slaby consistait à utiliser un seul fil d'antenne, mais avec deux connections à la terre : elles étaient connectées par un fil à travers le récepteur. Le récepteur est dans ce cas accordé par l'addition d'une self en série avec lui, et ne reçoit que les ondes d'une fréquence déterminée. Les troubles atmosphériques, à moins d'être excessivement violents, ne l'affectent pas, pas plus que les émissions sur longueur d'onde différente ⁽¹⁾.

Pour l'émission, l'éclateur placé entre les bornes de la bobine d'induction est situé au milieu du fil horizontal dont une extrémité est reliée à la terre à travers un condensateur et une self, tandis que l'autre est connectée à la terre par l'intermédiaire d'une self seulement. Dans les cas où un enregistrement des signaux n'est pas nécessaire, un microphone combiné à un téléphone forme un récepteur très sensible. Le microphone agit, comme Hughes l'a montré, à la façon d'un cohéreur, et le son produit dans le téléphone rend le signal perceptible. Un téléphone ainsi combiné avec un type quelconque de détecteur pour courant de haute fréquence est employé dans beaucoup de systèmes actuels — notamment par Marconi, avec son détecteur magnétique; par de Forest et beaucoup d'autres avec différents types de cohéreurs ou de microphones.

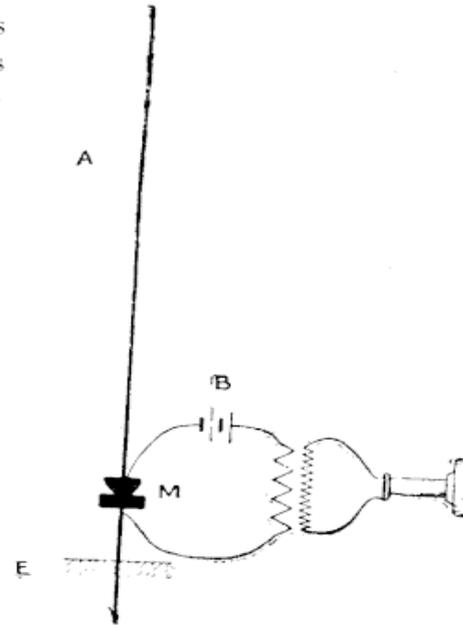


FIG. 30. — Microphone avec téléphone utilisé comme détecteur.

M, microphone. — B, batterie. — A, antenne. — E, terre.

⁽¹⁾ SLABY, *Fortschritte der Funkentelegraphie* (Zeitschr. des Vereines Ingenieure, 27 juillet 1901).

CHAPITRE III

APPAREILS UTILISÉS POUR LA PRODUCTION DE COURANTS DE HAUTE FRÉQUENCE

Les méthodes pour produire des courants convenant à la transmission de l'énergie électrique à la surface de la terre sans emploi de fil de retour, c'est-à-dire sans aucun fil reliant les stations, ont été esquissées au chapitre II. Nous avons maintenant à décrire, avec quelques détails, les types d'appareils employés dans ce but. Puisqu'il n'existe pas de fil de retour, il est déjà clair que le seul moyen applicable pour la distribution de l'énergie nécessaire à la télégraphie est l'emploi de courants alternatifs. L'énergie transmise dépendant à la fois du courant et du voltage, il est indispensable, pour éviter l'emploi de capacités extrêmement grandes, d'obtenir de grands courants tout en n'employant que de faibles quantités d'électricité, ce qui porte à accroître la rapidité d'alternance du courant. Une grande fréquence et un voltage relativement élevé sont donc presque toujours de règle en télégraphie sans fils.

Dans les alternateurs du type habituel des stations de force, le nombre d'alternances par seconde est régi par le nombre de pièces polaires et la vitesse de révolution. Les conditions électriques et mécaniques semblent rendre impossible l'accroissement indéfini de ces deux quantités : les pertes par courants parasites et par hystérésis deviennent en effet énormes, et il y a également danger de voir la machine éclater par suite des grandes vitesses requises. Tesla en 1893 put obtenir un courant de plusieurs ampères à une fréquence variant de 10.000 à 30.000 périodes par seconde ; dix ans plus tard, Duddell construisait une génératrice donnant environ un dixième d'ampère à une fréquence de 120.000 périodes par seconde.

La figure 31 montre une génératrice construite par Tesla en coupe verticale, avec quelques pièces de détail. Comme on voit, la machine comprend une carcasse magnétique annulaire, à l'intérieur de laquelle sont ménagées un grand nombre de pièces polaires D. A cause du grand

nombre et des faibles dimensions des pôles, comme à cause de la petitesse des espaces qu'ils comprennent, les bobines de champ sont formées en enroulant un conducteur isolé en zigzag dans les rainures, comme il est montré, en lui faisant parcourir autant de fois l'anneau qu'il est nécessaire pour obtenir autant de couches qu'on le désire. De cette manière les pièces polaires D présentent des polarités alternées le long de l'anneau. Comme armature, Tesla emploie une sorte de volant portant une bague J creusée au tour, sauf à ses extrémités, de façon à former une sorte de canal où l'on vient loger une masse de fils de fer fins recuits K, qui sont enroulés tout autour et forment le noyau nécessaire pour les

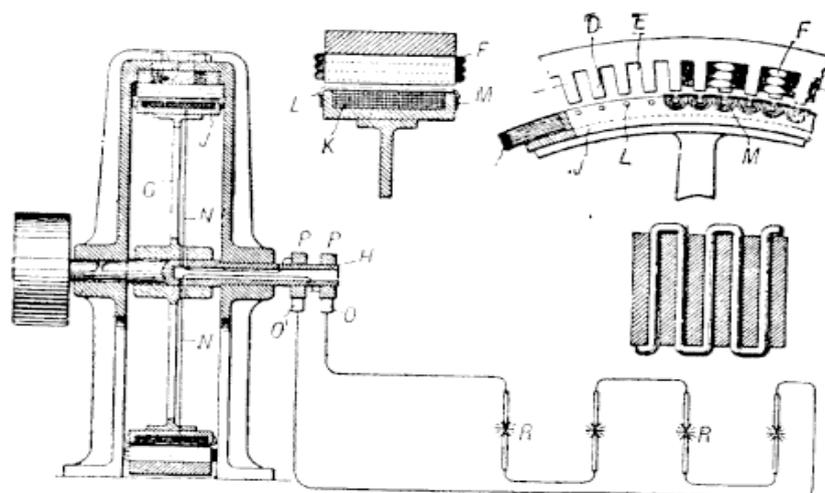


FIG. 31.

bobines d'armature. Des goujons L sont placés sur les côtés, et les bobines M sont enroulées sur la périphérie de l'armature et viennent passer autour des goujons. Les bobines M sont connectées en série, et les deux extrémités sont amenées à travers l'arbre creux H jusqu'à deux bagues collectrices, où les courants sont pris par les balais O. De cette manière on peut construire une machine ayant un grand nombre de pôles. On peut facilement, par exemple, obtenir ainsi trois cent soixante-quinze à quatre cents pôles dans une machine pouvant tourner avec sécurité à une vitesse de 1.500 ou 1.600 tours à la minute, ce qui donne 10.000 ou 11.000 alternances par seconde. Dans la figure on voit des arcs R, R reliés en série à la machine. Fessenden a employé des alternateurs à haute fréquence de ce type.

Alternateur à haute fréquence de Goldschmidt. — La grande difficulté, on peut dire l'impossibilité pratique, de construire sur les principes que nous venons d'énoncer une machine donnant satisfaction

a conduit, il y a quelques années, le D^r R. Goldschmidt à étudier le problème dans le but de rechercher un système qui rendit possible la construction d'une machine à haute fréquence de bon rendement. Ses recherches ont abouti, au moins en ce qui concerne les machines propres aux transmissions à longue distance, et actuellement des alternateurs pouvant donner 150 kilowatts à 30.000 périodes sont terminés. Ils ont donné pleine satisfaction. Dans la machine de Goldschmidt, la haute fréquence est obtenue par l'adjonction de champs magnétiques tournants à la véritable rotation mécanique. Les difficultés de construction venant de la tendance qu'a le volant à éclater à des vitesses exagérées, et l'obligation de n'employer que des cavités polaires de petites dimensions qui

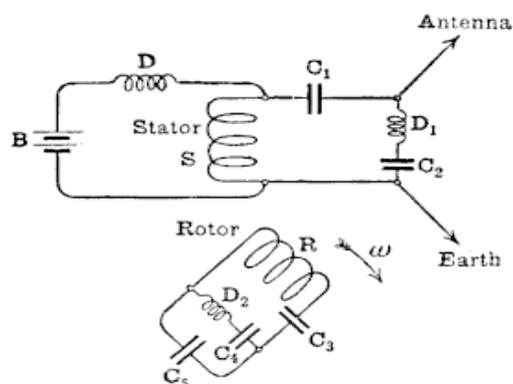


FIG. 32 et 33. — Alternateur à haute fréquence de Goldschmidt.

B, batterie pour courant continu d'excitation. — C et c, condensateurs. — D, self de protection. — D₁, D₂, selfs.

en résultait nécessairement pour les types anciens d'alternateurs à haute fréquence, n'existent plus ainsi. On obtient donc avec une vitesse beaucoup plus réduite un rendement électrique beaucoup plus grand que dans les machines de Tesla ou celles de types similaires.

En pratique, la machine est composée d'un rotor et d'un stator, tous deux à enroulements ondulés simples, bobinés pour donner 15.000 périodes à la vitesse normale, cette fréquence étant à peu près la plus élevée qu'une machine de rendement convenable construite d'après

(1) Le courant alternatif de fréquence $15.000 = np$ (p nombre de paires de pôles, n nombre de tours par seconde du rotor) produit deux champs magnétiques tournant en sens inverse, de vitesse relative par rapport au rotor de 15.000 (en supposant $p = 1$, sinon $\frac{15.000}{p}$). Par rapport au rotor leur vitesse relative est 30.000 et zéro. Le courant de fréquence 30.000 , ainsi engendré dans le stator, donne deux champs de vitesse $+ 30.000$ et $- 30.000$, dont la vitesse relative par rapport au rotor est 45.000 et 15.000 . Ce dernier champ produit simplement une force électromotrice se superposant à la précédente, 45.000 dans le rotor et ainsi de suite. On a dans le stator les forces électromotrices de fréquences paires, dans le rotor celles multiples impaires de 15.000 . L'existence de ces forces électromotrices de parités différentes dans le stator et le rotor d'une machine d'induction a été indiquée la première fois par Boucherot.

fréquence de 60.000, qui correspond à la longueur d'onde de 5.000 mètres, le rendement électrique de la machine est remarquablement élevé et comparable à celui d'un alternateur ordinaire. Dans la figure 32, un diagramme de la machine montre la méthode suivant laquelle les courants de fréquence réduite peuvent circuler librement dans des circuits oscillants fermés, de manière à obtenir finalement le courant de haute fréquence. L'énergie est transportée entre le rotor et le stator par induction électromagnétique, de sorte que des liaisons conductrices ne sont pas nécessaires.

Le stator peut être excité avec du courant continu ou du courant alternatif. Avec le premier on obtient un courant uniforme de haute fréquence, tandis qu'avec le second la variation correspondant à la fréquence du courant d'excitation se trouve superposée. Une note musicale très pure est perçue à la réception si la fréquence d'excitation est convenable. En mettant un microphone dans le courant continu d'excitation, on peut transmettre la parole avec une grande netteté. Ce résultat montre la grande perfection à laquelle a été amenée l'étude et la construction de la machine. C'est ainsi, par exemple, que dans un essai fait par l'auteur, deux microphones ordinaires placés en série dans le courant d'excitation pouvaient commander exactement et faire varier dans de grandes proportions le débit d'une machine donnant 3 à 4 kilowatts de puissance en haute fréquence. Ce résultat est sans aucun doute dû en partie à ce que la machine est en réalité dans une grande mesure auto-excitatrice: le courant d'excitation primaire est très petit comparé à celui qui serait nécessaire pour un alternateur ordinaire; il montre aussi que la construction de la machine est telle que la téléphonie sans fil est rendue possible d'une manière simple et dans une mesure qu'on ne pouvait jusqu'alors envisager, et qu'on ne peut prévoir de sérieuses difficultés dans l'obtention de très grandes vitesses de transmission télégraphique.

Transformateurs statiques de fréquence. — Goldschmidt, et presque en même temps Vallauri en Italie et Joly en France ont inventé des transformateurs de fréquence qui reposent sur la différence de phase entre les courants alternatifs traversant deux circuits dérivés dans l'un desquels le retard dû à l'hystérésis d'un noyau de fer est plus grand que dans l'autre. Le rendement d'un tel transformateur paraît être bas, mais l'appareil peut être utile pour obtenir des fréquences plus élevées que celles données par l'alternateur dans les cas où le rendement électrique n'a pas grande importance.

Production de courants uniformes de haute fréquence par l'introduction d'une partie gazeuse dans un circuit de courant

continu. — Il existe un nombre considérable de méthodes pour la production de courants uniformes de haute fréquence par l'emploi de ce qu'on appelle encore ordinairement « un arc ». Ce terme cependant ne

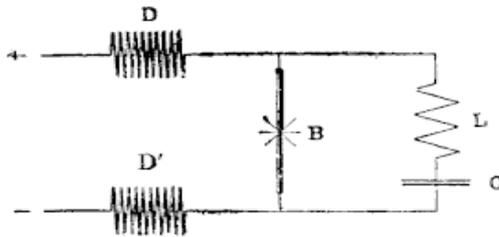


FIG. 34.

B, Section gazeuse. — L, self. — C, capacité.
DD, selfs de protection.

rend pas correctement compte du phénomène électrique, et ne distingue pas entre les nombreux modes de décharge, pouvant aller du courant continu à une série intermittente d'étincelles oscillantes de décharge, ces modes étant employés par les différents inventeurs dans leurs appareils.

On peut classer d'une façon grossière ces systèmes sous les titres suivants en admettant d'abord que la source d'énergie est dans tous les cas du courant continu à voltage sensiblement constant : 1° Un courant alternatif sinusoïdal non amorti produit par un courant continu à travers l'air, l'arc étant shunté par un circuit de capacité et de self suffisantes pour lui donner une période propre d'oscillation naturelle (Duddell) ; 2° Un courant continu à travers le gaz hydrogène, produisant un courant alternatif plus puissant et d'une fréquence plus grande (Tesla, Poulsen). Dans ces cas la composante du courant continu est toujours plus grande que la composante alternative, et le courant à travers le gaz ne s'annule jamais et ne change jamais de direction, il varie simplement d'intensité ; 3° Des décharges interrompues de même sens se produisant en haute fréquence ; elles se produisent quand un soufflage par l'air ou un soufflage magnétique agit sur la partie gazeuse du circuit précédent (Thomson, Fessenden ⁽¹⁾, Poulsen, Galetti, Moretti).

Dans ce cas, le courant dans l'arc est nul pendant un intervalle de

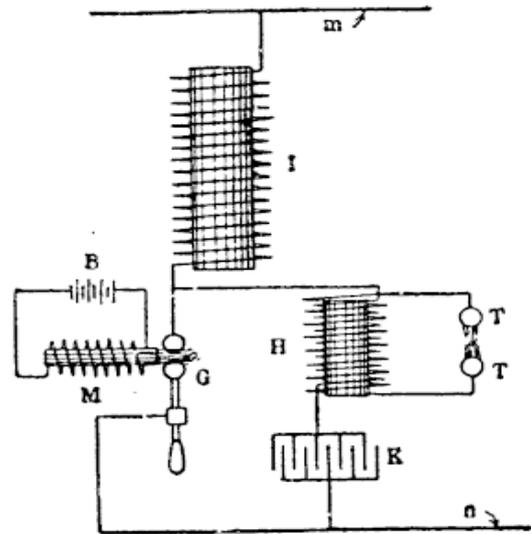


FIG. 35. — Générateur de Elihu-Thomson.
mlg, circuit principal. — KH, shunt. — MB, champ magnétique. — m, source continue.

(1) Fessenden emploie une résistance élevée, grâce à laquelle on peut obtenir un nombre quelconque de décharges par seconde à travers la section gazeuse, c'est-à-dire donnant des oscillations forcées.

temps qui peut être extrêmement petit ou qui peut s'élever à plusieurs fois la période naturelle d'oscillation du circuit, c'est-à-dire que les oscillations sont forcées; 4° Le cas dans lequel le courant ne s'annule pas seulement, mais change réellement de sens, bien que sa forme ne soit pas sinusoïdale, et que la période entre deux maxima positifs ne soit pas la période naturelle du circuit. C'est un mode de courant sans rendement qu'on évite dans la pratique, car il n'amène pas le circuit récepteur à résonner, les ondes positives et négatives étant d'inégale durée.

On arrive au mode suivant quand les intervalles entre les maxima positifs augmentent assez pour que le courant inversé ait le temps de s'éteindre; 5° Alors la décharge se produit sous forme d'une série d'étincelles se suivant avec grande rapidité, leur nombre n'ayant aucune relation avec la fréquence naturelle du circuit oscillant, bien que les oscillations amorties de chaque étincelle correspondent à la fréquence de ce circuit.

Nous sommes ainsi arrivés, en partant d'un courant alternatif oscillant librement à la période naturelle de son circuit, et en passant par différents types d'oscillations forcées, à une série intermittente de décharges dont chacune oscille avec la période naturelle du circuit. Le premier mode de décharge est justement appelé « l'arc », et le second, « l'étincelle ». En outre des modes de production de courants à haute fréquence précédents dans lesquels un seul circuit comprenant une capacité est placé en shunt, il existe des systèmes où le circuit oscillant est plus compliqué. Il y a par exemple : 6° le circuit à double action de Marconi avec deux parties gazeuses (chap. viii), qui paraît produire un courant non amorti de haute fréquence, et 7° l'éclateur de Lepel, dans lequel une partie gazeuse est associée avec un circuit complexe. Les oscillations produites par ces deux derniers systèmes sont étudiées dans les chapitres viii et xiii.

Dans (6), le courant est presque non amorti, et dans (7) il consiste en une succession très rapide de trains d'onde très peu amortis.

Conductibilité des gaz. — Les propriétés des gaz en ce qui concerne leur conductivité électrique sont en beaucoup de points totalement différentes de celles d'un conducteur métallique.

D'abord la plupart des gaz, à la température et à la pression atmosphérique, sont des isolants presque parfaits. Si cependant on élève suffisamment la température ou qu'on abaisse la pression, il se produit une ionisation, c'est-à-dire une séparation des molécules, et le gaz devient conducteur. On obtient le même résultat en élevant le voltage entre deux électrodes solides placées dans le gaz jusqu'à obtenir une décharge disruptive.

Courbe caractéristique du courant de l'arc en fonction du voltage. — Comme un courant électrique circulant à travers un gaz élève sa température, la conductance du gaz sera maintenue et, en général, plus le courant sera grand, plus grande sera la conductance de la colonne de gaz située entre les deux électrodes. Si l'accroissement de conductibilité était simplement proportionnel au courant, le voltage nécessaire aux bornes d'une section gazeuse quelconque d'un circuit serait le même quel que soit le courant. Mais, comme l'effet calorifique croît plus rapidement que le courant, le résultat final est que plus le courant est grand, moindre est le voltage aux bornes de la section, tant que le refroidissement par radiation et convection ne compense pas l'accroissement rapide de conductance, et n'amène pas un régime stable. La valeur à laquelle le voltage doit tomber avant que ce régime ne soit atteint varie suivant la nature des gaz et celle des électrodes.

Dans l'éclairage par lampe à arc avec courant continu, le courant est généralement à ce régime stable.

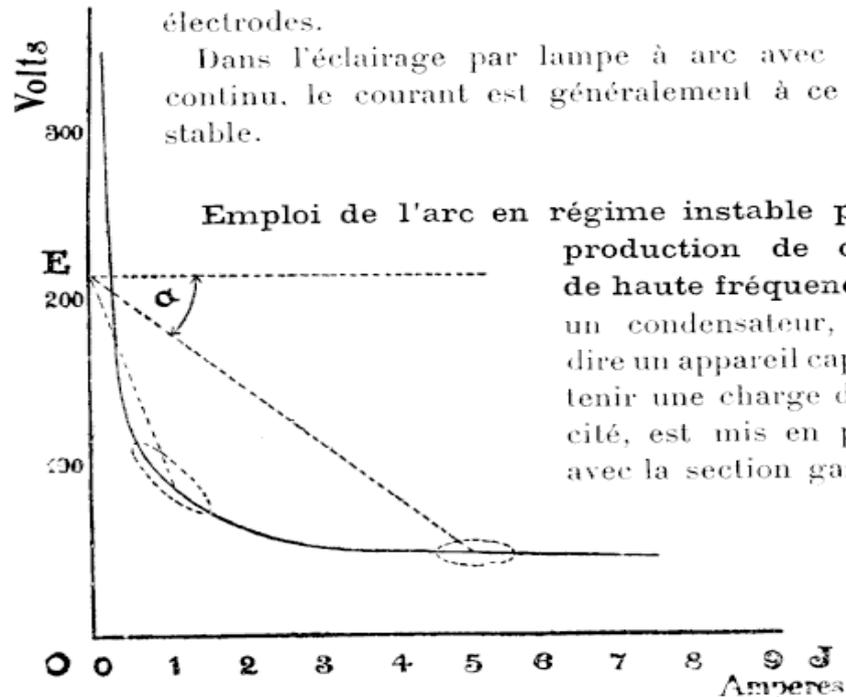


FIG. 36. — Caractéristique de l'arc de Ayrton.

Les courbes pointillées fermées correspondent à des variations cycliques. La ligne horizontale pointillée représente le voltage de la source. Tangente α est proportionnel pour une courbe cyclique donnée à la résistance en série avec l'arc.

se charge au voltage de la source de courant continu. Si l'arc est allumé, le voltage de la section baisse, et le condensateur se décharge à travers cette section en provoquant une chute de tension plus rapide. Quand l'électricité emmagasinée est déchargée, le courant décroît, et la résistance augmentant par suite du refroidissement

du gaz, le voltage s'élève de nouveau. Le condensateur se recharge de nouveau, et ainsi de suite (*fig. 40*).

Si les dimensions électriques du circuit placé en shunt sont telles que ce circuit n'est pas capable de vibrer électriquement, c'est-à-dire si $4L$ est inférieur à R^2C , les oscillations seront forcées et leur période dépendra principalement de la valeur du produit R^2C ⁽¹⁾; si le circuit peut vibrer librement, c'est-à-dire si $4L$ est plus grand que R^2C , ce sera surtout sa fréquence naturelle d'oscillation qui réglera le mouvement d'électricité, et l'oscillation résultante sera plus grande. Il en résulte qu'en général la fréquence d'oscillation d'un tel circuit n'est pas la même que pour un circuit métallique et ne saurait être déduite, même approximativement, uniquement de la capacité et de la résistance. Il y a des facteurs variables, tels que la rapidité de refroidissement du gaz et des électrodes, qui n'interviennent pas dans un circuit métallique, mais qui influencent sérieusement la rapidité de charge ou de décharge du condensateur.

Tout le phénomène ressemble en réalité à l'action d'un archet sur une corde de violon, où un mouvement continu constant provoque également des vibrations. Sur le violon il est très facile de produire avec l'archet des notes très différentes de celles correspondant à la vibration naturelle de la corde, et qu'on obtiendrait en pinçant la corde avec les doigts et en l'abandonnant à elle-même. Pour la même raison, la fréquence d'oscillation électrique d'un circuit à capacité contenant une portion gazeuse et qui est relié à une source de courant constante n'est en aucune façon nécessairement égale à la période propre du circuit.

L'expérience a montré que chaque changement dans la longueur de la section gazeuse provoque une variation dans la fréquence. D'où la nécessité de maintenir la section gazeuse constante à tous points de vue, problème très difficile pour lequel on a proposé beaucoup de solutions. Le procédé ordinaire consiste à faire tourner les électrodes, de manière que la décharge s'effectue toujours sur une surface nouvelle, ou de provoquer le déplacement de la décharge le long de la surface, ce qui produit le même effet (Poulsen, Ruhmer et autres). Le résultat obtenu est l'uniformité dans les conditions de la section gazeuse, et, si le mouvement est suffisamment rapide, un accroissement du nombre de changements de voltage pendant une oscillation, dû au fait que la décharge se produit continuellement à travers une région de gaz froide et non ionisée (Marconi). Pour obtenir ce dernier résultat, on a également employé le soufflage par un courant d'air, ou par un puissant champ magnétique transversal (Elihu Thomson, Poulsen, etc.), ce qui chasse des électrodes le gaz ionisé. La présence d'hydrogène ou d'un composé

⁽¹⁾ Page 189; voir également M. La Rosa, *Accad. Lincei. Atti*, XVI, 20 janvier 1907

hydrogéné accroît également la fréquence ainsi que l'énergie des oscillations. Les causes de cet effet ne sont pas complètement connues, mais on a cependant invoqué comme explication la haute conductibilité calorifique de l'hydrogène ; il y a sans aucun doute en plus l'avantage secondaire qu'il n'y a pas combustion des électrodes et que leur état reste ainsi plus constant que dans l'air.

Différents modes de décharges obtenus par l'application d'un voltage constant à la partie gazeuse d'un circuit oscillant. — Deux types d'oscillations uniformes, pouvant se produire sous différentes conditions dans la section gazeuse d'un circuit, sont représentés dans les figures 37 et 38. La première se rapporte à l'arc chantant de Duddell,

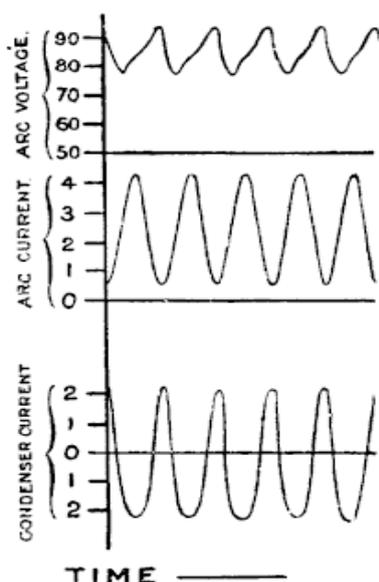


FIG. 37. — Courants sinusoïdaux.

En abscisses les temps, en ordonnées les ampères ou les volts.)

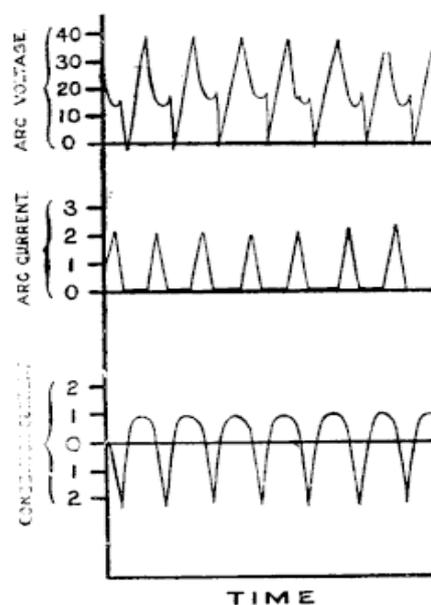


FIG. 38. — Courants aperiodiques.

où la variation du courant de l'arc prend la forme d'une onde sinusoïdale superposée au courant continu. Ce dernier est cependant toujours plus grand que la composante alternative, et le courant résultant dans l'arc ne s'annule et ne se renverse jamais.

La seconde figure a trait à une série de décharges par impulsions qui ne sont pas des décharges ordinaires par étincelle, puisqu'elles ne sont pas oscillantes, et qui diffèrent en même temps du mode précédent, puisque la composante alternative n'a plus la forme d'une onde sinusoïdale ni même celle d'une onde quelconque, car elle est constituée par une suite de courtes décharges de grande amplitude dans une seule

direction, séparées par de longues périodes pendant lesquelles le courant est nul. La durée pendant laquelle le courant reste nul dépend non seulement de la capacité et de la self du circuit oscillant, mais encore de la résistance et du voltage du circuit d'alimentation, et de l'état de la section gazeuse. C'est ainsi, par exemple, qu'un accroissement dans le champ magnétique transversal appliqué augmente la durée pendant laquelle le courant reste nul, et change ainsi le caractère de la décharge. Ainsi, bien que ce type de décharge résulte de la charge et décharge d'un condensateur, sa fréquence n'est pas celle du circuit considéré isolément. C'est un mode de décharge forcé, qui peut être rendu plus énergique que le mode par onde sinusoïdale. Bien que plus puissant, un tel courant ne saurait exciter la résonance au même degré que le courant de décharge sinusoïdal.

Il y a encore un troisième type qui est pratiquement une suite très rapide de décharges par étincelles. Ici la décharge n'est plus uniforme, mais est une série de décharges oscillantes rapidement amorties se suivant à des intervalles n'ayant aucune relation avec la période propre du circuit, bien que la fréquence du courant dans chaque décharge soit celle du circuit.

Les arcs de Duddel, Tesla et Poulsen, sans champ magnétique ou avec un champ très faible appliqué, donnent le premier type du courant. Les disques tournants de Marconi à deux circuits donnent le premier ou le second type ; l'interrupteur d'arc de Ruhmer et l'arc de Poulsen avec champ magnétique transversal donnent le second ; l'éclateur d'Elihu Thomson donne le deuxième et le troisième type ; et avec le perfectionnement de Fessenden, on peut obtenir, suivant les conditions du circuit, un quelconque des trois types.

Courbes caractéristiques de courants de haute fréquence uniformes. — La meilleure méthode pour étudier les divers types de courant produit par les générateurs de haute fréquence est l'examen de leurs caractéristiques obtenues au moyen d'un oscillographe à rayon cathodique (tube de Braun), et pour lesquelles les coordonnées verticales et horizontales sont respectivement proportionnelles au voltage et au courant de la section gazeuse. Une courbe ainsi obtenue est une caractéristique d'énergie, analogue au diagramme d'un indicateur de machine à vapeur, et représente le travail réel par cycle (voy. p. 48).

Les courbes représentées dans la figure 40 proviennent de photographies obtenues à l'aide de l'oscillographe à rayon cathodique.

Oscillographe à rayon cathodique de Braun. — Cet instrument consiste en un tube de verre contenant du gaz à très faible pression. Il

est muni d'électrodes, et de l'une d'elles partent des rayons cathodiques de couleur vert pâle quand une haute tension produite par une machine de Wimshurst, par exemple, y est appliquée. Une plaque métallique percée d'un petit trou est placée sur le trajet des rayons, de sorte que seul un faible pinceau de rayons peut aller dans l'autre partie du tube. Ces rayons sont constitués par des molécules en mouvement du gaz chargées électriquement, et constituent un courant électrique de convection. Le rayon est dévié par un champ électrique ou magnétique, et l'importance de la déviation dépend de l'intensité du champ. L'inertie du rayon étant infime, sa déviation peut suivre les variations les plus rapides du champ. A l'extrémité du tube est placé un écran fluorescent sur lequel le rayon

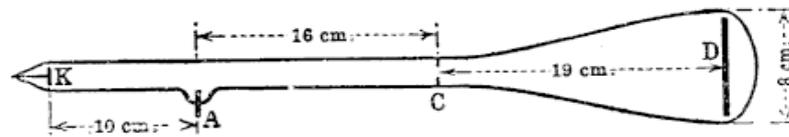


FIG. 39. — Oscillographe de Braun.

K, cathode. — A, anode. — D, écran fluorescent. (Voyez les figures 41 et 42).

produit une large tache brillante. Sur la surface du tube, et avec leurs plans à angle droit, on place deux petites bobines de quelques tours de fil (ou deux paires de plaques si l'on étudie un champ électrique). Dans l'une, on fait passer le courant principal, et dans l'autre un courant proportionnel au voltage du circuit étudié. La tache restera fixe en un point de l'écran pour des valeurs données du courant et du voltage, et, si ces derniers varient, elle décrira une courbe. Pour les courants alternatifs, la courbe sera fermée, chaque alternance étant un cycle complet, finissant où il a commencé. Pour chaque cycle d'un courant uniforme, la tache parcourra donc la même courbe, et, si la fréquence est suffisamment élevée, la courbe apparaîtra fixe sur l'écran. Elle pourra donc être photographiée ou dessinée sans difficulté. On peut aussi utiliser l'appareil comme ampèremètre ou voltmètre pour haute fréquence : si une seule des bobines est excitée, la tache parcourra une ligne de longueur proportionnelle à l'amplitude du courant dans la bobine, et par conséquent à celle du courant ou du voltage dans le circuit principal.

Différents types de courbes caractéristiques. — Les courbes représentées dans la figure 40 proviennent de photographies prises par M. Ruhmer. Elles montrent la grande augmentation d'énergie qui peut être obtenue par cycle en employant un champ magnétique intense transversal à la section gazeuse. On doit cependant remarquer que,

pour comparer la puissance des générateurs, il faut tenir compte non seulement de l'aire du diagramme, mais encore de la fréquence des oscillations. Les puissances ne sont proportionnelles aux aires des courbes que si les fréquences sont égales.

La courbe relative à l'arc Poulsen a été prise sans champ magnétique transversal. Dans les appareils les plus récents de Poulsen, il existe cependant un champ très puissant. Leur courbe caractéristique doit alors certainement être approximativement celle de l'interrupteur de

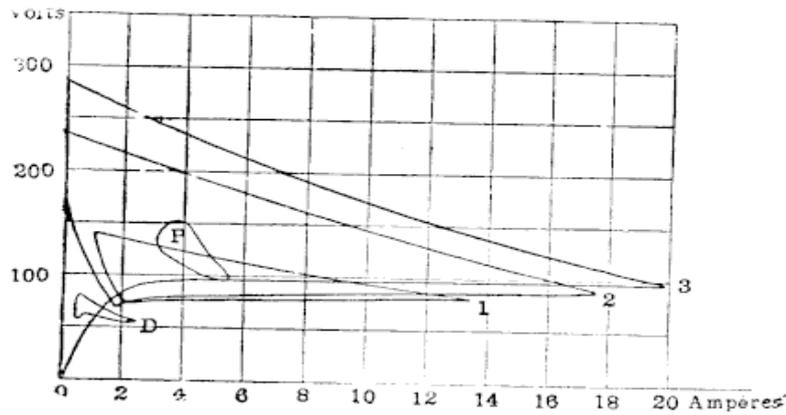


FIG. 40.

Courbes caractéristiques de : D, l'arc de Duddell. — P, l'arc de Poulsen. — 1, 2, 3, de l'arc dans un champ magnétique puissant (Ruhmer).

Ruhmer, et la décharge passe du mode sinusoïdal du circuit de Duddell au mode par impulsions apériodiques de l'interrupteur. Des mesures expérimentales récentes ont montré que tel était en effet le cas. On a trouvé par exemple que dans ces conditions il n'est pas rare qu'un circuit d'arc donne, non seulement sa vibration fondamentale, mais encore quatre ou cinq autres vibrations de fréquences plus élevées. C'est une complication à laquelle il est encore plus difficile de remédier qu'à la double fréquence (amortie) des circuits à étincelle (voy. p. 201), car les vibrations secondaires sont trop différentes de la fondamentale. Ainsi, bien que l'accord puisse être très aigu avec chacune d'elles, l'existence des autres n'en causera pas moins des brouillages dans les stations voisines dont la longueur d'onde est beaucoup plus faible que la longueur fondamentale de la station à arc. De fait, on n'a pu obtenir une absence complète de brouillage en employant des arcs de ce type.

Détermination des courbes caractéristiques. — Le Dr Barkhausen, dans un opuscule très intéressant sur la production des oscillations, a montré comment l'oscillographe de Braun fournissait une méthode pratique pour la mesure de la puissance réelle d'un générateur de haute

fréquence. Si, par exemple, A est un arc, ou toute autre résistance variable, et C une capacité dans le circuit alternatif (fig. 41), la courbe décrite par le point lumineux sur l'écran fluorescent de l'oscillographe de Braun, les connexions étant celles de la figure, représentera la rela-

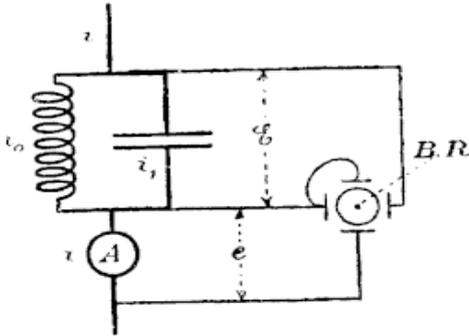


FIG. 41. — Méthode du condensateur pour déterminer la courbe caractéristique (énergie) et les watts par période par l'oscillographe de Braun (Barkhausen).

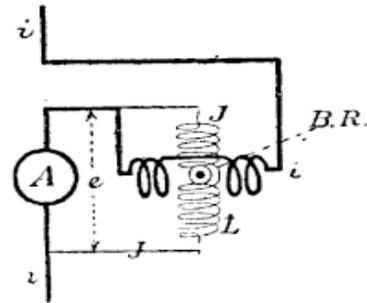


FIG. 42. — Méthode de la self pour déterminer la caractéristique (énergie) et les watts par période par l'oscillographe de Braun (Barkhausen).

NOTE. — La capacité et la self du circuit oscillant ne sont pas représentés.

tion liant la tension aux bornes de l'arc e à la tension du condensateur du circuit alternatif E . Mais l'énergie fournie par période est :

$$W = \int_0^{\pi} e dq,$$

q étant la charge du condensateur. Comme on a $eE = \frac{q}{C}$, C étant la capacité du condensateur, il vient :

$$W = \int_0^{\pi} e dq = C \int_0^{\pi} e dE,$$

puisque C est constant. L'énergie produite par période est donc égale à C fois l'aire de la courbe $e = f(E)$ décrite par le point lumineux sur l'écran. Une grande self est placée en parallèle avec le condensateur pour permettre le passage du courant continu généralement employé pour l'alimentation de l'arc. Dans toutes ces mesures, il est naturellement nécessaire d'étalonner d'abord l'oscillographe en déterminant les valeurs des déviations obtenues par l'application de voltages fixes dans les directions des deux axes de coordonnées.

Il y a une seconde méthode, généralement plus commode, pour déterminer l'énergie fournie. Dans la méthode décrite ci-dessus, il est nécessaire d'avoir la capacité C en plus de la capacité du circuit oscillant,

sinon la self de ce dernier formerait court-circuit pour le courant continu. On peut trouver une intégrale analogue (c'est-à-dire une courbe) où \mathcal{L} prend la place de C par la méthode suivante.

Si, comme dans la figure 42, une bobine de grande self, mais de faible résistance, est placée en parallèle avec l'arc A, le courant I qui la traverse est déterminé par l'équation :

$$e = \mathcal{L} \frac{dI}{dt}$$

et l'énergie du courant alternatif par période est

$$W = \int_0^{\pi} i_1 e dt = \mathcal{L} \int_0^{\pi} i_1 di_1,$$

i_1 étant la composante alternative. Mais, comme I a des valeurs égales au commencement et à la fin d'une période, cette quantité est égale à

$$W = \mathcal{L} \int_0^{\pi} i di,$$

où i est le courant total à travers les bobines en série de l'oscillographe.

Donc, si la courbe donnant la relation du courant i dans l'arc au courant I dans la grande self est obtenue par l'oscillographe, son aire est :

$$\int_0^{\pi} i di = \frac{W}{\mathcal{L}};$$

le travail par période est donc égal à \mathcal{L} fois l'aire. Le travail total avec un courant uniforme, c'est-à-dire le nombre de watts, peut donc être trouvé en multipliant le travail par période par le nombre de périodes par seconde, c'est-à-dire par la fréquence.

Décharges par étincelle. — Le phénomène de la décharge oscillante d'un condensateur à travers un circuit de basse résistance a été également appliqué. Pour obtenir le haut voltage nécessaire à la charge du condensateur, on peut employer deux méthodes. On peut premièrement se servir d'une machine électrostatique; mais, en raison de la faible puissance qu'ont ces machines, même de grandes dimensions, cette méthode n'a pas reçu d'application dans la télégraphie pratique. On peut aussi transformer un courant de basse tension en courant de très haut voltage à l'aide d'un type quelconque de bobine d'induction ou de transformateur. Dans la bobine d'induction, un courant interrompu de même sens dans la bobine primaire induit un courant alternatif de

haut voltage dans le secondaire. En fermant le circuit primaire, le courant qui le traverse augmente relativement lentement, et induit un courant opposé secondaire de bas voltage, attendu que ce voltage dépend directement de la vitesse de variation du courant dans le primaire. En coupant le circuit, le courant primaire cesse presque instantanément, et induit un courant de haut voltage dans le secondaire. C'est ce courant qui, dans les systèmes les plus simples de télégraphie sans fil, est utilisé pour charger le fil d'antenne jusqu'au voltage où l'électricité éclate entre lui et le fil de terre à travers l'éclateur. La fréquence maxima d'interruption qu'on a pu atteindre jusqu'à ce jour ne dépasse pas mille à deux mille interruptions par seconde; il en résulte que le courant dans l'antenne consiste en courts trains d'oscillations de très haute fréquence se suivant l'un et l'autre à des intervalles relativement longs; par exemple chaque train d'ondes durera $\frac{1}{100.000}$ de seconde, et l'intervalle qui le séparera du suivant sera de $\frac{1}{1.000}$ de seconde; les parties d'intervalles non utilisés peuvent être cent fois plus longues que les parties utiles.

De grands progrès ont été réalisés dans ces dernières années dans la construction de la bobine d'induction, et le plus important est dû à la découverte du fait signalé par Tesla en 1893, que les meilleurs résultats ne peuvent être obtenus que si les périodes naturelles d'oscillation des circuits primaires et secondaires sont en relation simple. Pour atteindre ce but, on peut construire les circuits de manière que leurs dimensions électriques leur donnent la même fréquence de vibration. On le réalise simplement en réglant la capacité et l'inductance des deux circuits de manière que la racine carrée de leurs produits soit la même pour les deux circuits.

Bobines d'induction à résonance. — Ce perfectionnement a été réalisé dans un grand nombre de bobines actuellement sur le marché. Le résultat en est une grande augmentation du rendement dû à la plus faible quantité de fil nécessaire dans le secondaire pour obtenir un voltage donné.

Le secondaire du transformateur qui fournit le courant à un circuit accordé du genre de celui mentionné page 32 est en série avec la capacité et la self du circuit à haute fréquence. Il est donc possible, en réglant la self du secondaire, d'accorder tout ce circuit à la fréquence de l'alternateur fournissant le courant primaire. Si N est la fréquence d'alimentation, L_p la self du primaire, n le rapport du nombre de tours secondaires ou nombre de tours primaires (rapport de transformation),

et C la capacité du circuit secondaire, on a pour la résonance des circuits primaire et secondaire, approximativement :

$$n = \frac{1}{4\pi^2 L_p C N^2}$$

A cause de la réaction du secondaire sur le primaire, n peut cependant dépasser ce chiffre de 30 0/0. On peut donc déterminer le nombre de tours du secondaire.

Dans ces conditions, on obtient dans le secondaire un voltage beaucoup plus considérable qu'avec une bobine sans résonance et on peut avoir une plus grande étincelle donnant plus d'énergie dans le circuit de haute fréquence et donc une plus grande radiation de l'antenne, M. W.-H. Wilson a pu obtenir de très grands voltages (*Proc. Roy. Soc.*, A, 87, 1912) sans

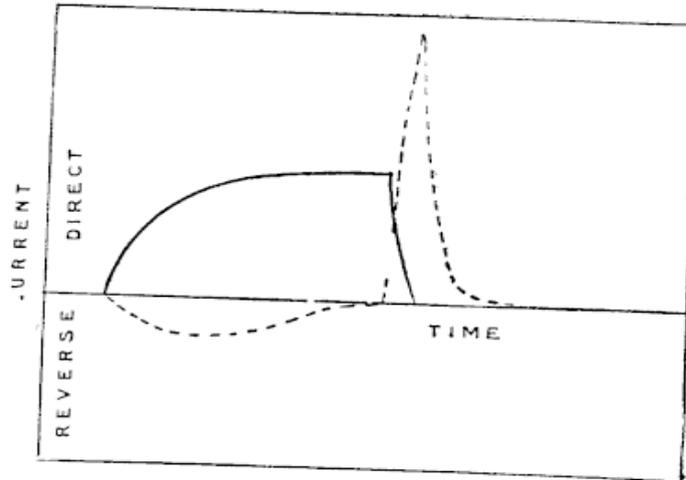


FIG. 43. — Action d'une bobine d'induction.

En abscisses les temps, en ordonnées les courants ou voltages. La courbe en traits pleins représente le courant primaire, et la courbe pointillée le voltage secondaire induit.

utiliser la résonance en employant dans le primaire un courant de haute fréquence. Il a ainsi réduit considérablement les dimensions des bobines nécessaires pour obtenir les voltages élevés convenant aux rayons X et à la T. S. F. M. Coursey a également construit un transformateur employant un principe analogue.

Nombre d'étincelles. — Il est erroné de croire qu'un très grand nombre d'étincelles, tel que celui donné par l'interrupteur de Wehnelt, soit nécessaire pour un travail télégraphique rapide. Pour des vitesses beaucoup plus considérables que celles qui sont atteintes généralement en T. S. F., des interruptions au nombre d'environ 100 par seconde, telles que celles données par l'interrupteur à trembleur, sont tout à fait suffisantes. La vitesse de 30 mots à la minute, qui peut être considérée comme très rapide dans tout système de télégraphie sans fil, quand la manipulation est faite à la main, correspond à 150 fois la répétition de la lettre V dans une minute. La lettre V, dans le code Morse, est représentée par trois points et un trait. Pour transmettre cette lettre correctement, il suffit de dix étincelles ou vibrations du marteau : une pour

chaque point, trois ou quatre pour le trait, et quatre de plus qui se seraient produites dans les intervalles si la lettre avait été différente. Comme 150 V par minute correspondent à 2,5 par seconde, il faut donc 25 étincelles à la seconde. Les 100 étincelles qui peuvent être données par un interrupteur à trembleur ordinaire sont donc plus que quatre fois suffisantes, c'est-à-dire donnent un coefficient de sécurité égal à 4. En fait, l'auteur a reçu correctement des V envoyés à la vitesse de 60 mots — soit 300 V — à la minute, à l'aide d'un manipulateur automatique en série avec un interrupteur ordinaire. Il est essentiel, pour une bonne transmission, que chaque étincelle soit bonne; mais leur nombre est moins important. La raison en est que l'action de presque tous les détecteurs ne dépend que du courant ou du voltage maximum reçu, et non de l'intégration du courant comme on pourrait le lire sur un instrument; et l'augmentation du nombre d'étincelles ne fait qu'augmenter ce courant d'intégration. L'augmentation du nombre d'étincelles au delà d'une certaine limite doit être tout à fait désavantageux, car le temps que demande le noyau du transformateur pour parcourir les cycles d'aimantation n'est nullement infinitésimal; et à de hautes fréquences, les pertes par courants parasites deviennent considérables.

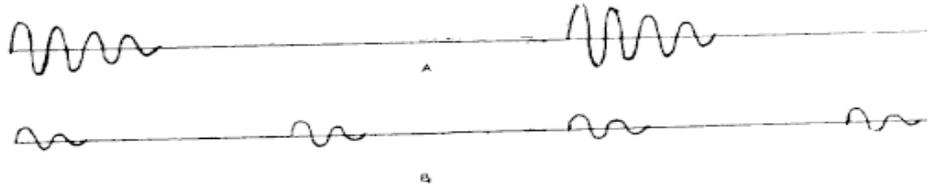


FIG. 44. — Types d'ondes radiées.

A, trains d'onde de grande amplitude. — B, trains d'onde d'amplitude moindre mais plus fréquents.
— (N. B. — Les intervalles réels entre trains d'onde sont généralement beaucoup plus grands que ne l'indique la figure.)

Un des avantages de l'interrupteur à trembleur, qui certainement contre-balance quelques-uns de ses inconvénients, est la facilité avec laquelle on peut réaliser deux réglages importants. On peut régler facilement le nombre de vibrations, et, ce qui est plus important, la durée du contact. En tournant simplement une vis, on peut régler la durée pendant laquelle le courant passe dans le primaire, et par suite le maximum d'induction magnétique du noyau peut être varié suivant la charge. Le plus grand inconvénient est la rapidité avec laquelle s'usent les contacts quand on emploie de grands courants, et le fait qu'il est impossible d'employer des courants de plus de 25 volts sans production d'arc.

Les interrupteurs à mercure sont de deux types; dans les plus anciens, le mercure contenu dans une cuvette formait un pôle, et l'autre était un piston plongeant dans le mercure et périodiquement rappelé par un

mécanisme de rappel. Cette forme n'est plus guère employée. Dans les appareils plus modernes, l'une des bornes est formée par un jet de mercure qu'une pompe à turbine lance contre une sorte de roue dentée tournante et formant l'autre pôle. La largeur des dents va en diminuant vers la circonférence, de sorte qu'en réglant la position du jet qui les frappe on peut obtenir des contacts plus ou moins longs. L'inconvénient principal de ce genre d'appareils provient de ce que le mercure se mélange au pétrole ou à l'isolant liquide remplissant la cuve, et forme une sorte de produit épais qui doit être de temps en temps sorti et nettoyé. Dans un laboratoire, où l'on a sous la main les produits chimiques nécessaires, ce n'est pas un grand inconvénient ; mais, pour une station de T. S. F. qui peut être située dans une région très éloignée même d'un village, c'est un ennui sérieux, d'autant que pendant que l'appareil est nettoyé il est impossible de répondre à un appel ou d'envoyer un message urgent. C'est la raison pour laquelle les interrupteurs à mercure n'ont pas complètement remplacé les autres, bien qu'on les ait fréquemment employés à cause de leur grande régularité qui dure aussi longtemps que le mercure et le pétrole ne se sont pas mélangés.

Dans les stations radiotélégraphiques qui emploient le courant continu, les interrupteurs le plus généralement employés sont le trembleur ou la turbine à mercure ; mais, dans beaucoup de stations, on préfère employer les alternateurs. Dans les stations primitives, la source d'énergie était généralement une batterie de piles sèches d'environ 50 grandes piles, par exemple ; jointes parfois à un accumulateur transportable. Maintenant on emploie de préférence à une batterie avec bobine d'induction un moteur à essence actionnant un alternateur qui alimente un transformateur à haute tension. La fréquence de l'alternateur n'est pas en relation avec la fréquence des oscillations, mais règle seulement indirectement le nombre des étincelles par seconde. Le nombre réel d'étincelles n'est pas exactement le double de la fréquence, comme on pourrait s'y attendre, étant donné l'existence d'un maximum positif et négatif à chaque période ; il peut être beaucoup plus grand ; en réalité on peut avoir jusqu'à dix étincelles par alternance. Ce fait est probablement dû à des surtensions dans le circuit, c'est-à-dire à la superposition d'ondes plus courtes à l'onde donnée par l'alternateur. Ce phénomène dépend de l'induction de la ligne du transformateur à l'éclateur, et de la capacité à charger. On doit mettre de la self dans cette ligne, sinon il se formerait un arc inutilisable pour la formation d'oscillations. La self diminue le courant quand l'étincelle a lieu, et produit son extinction soudaine sous forme oscillante. Ce phénomène peut se reproduire plusieurs fois par période. Ces faits ont été étudiés par le professeur Fle-

ming, qui a réalisé pour compter les étincelles un ingénieux dispositif ⁽¹⁾.

Dans les stations alimentées par du courant alternatif, le courant est produit à bas voltage et transformé à très haut voltage à l'aide d'un ou de plusieurs transformateurs. Ceux-ci doivent avoir de grands rapports de transformation et naturellement un grand isolement. Un potentiel d'environ 30.000 volts ou plus est fréquent dans ces installations, bien que certains inventeurs, notamment le professeur Fessenden, emploient des voltages plus bas.

L'alternateur tourne généralement à une vitesse telle que la suite des étincelles produise une note musicale. Dans certains cas la note musicale est produite en faisant éclater les étincelles entre une électrode fixe et un disque tournant portant des saillies. L'avantage d'une note déterminée est que chaque station peut être reconnue par la hauteur et la qualité de sa note par les stations correspondantes. L'opérateur peut ainsi distinguer les signaux qu'il veut lire même s'il en entend d'autres simultanément.

Grande fréquence d'étincelles. — Un grand nombre de détecteurs modernes peuvent ajouter ou intégrer les effets d'une suite de pulsations électriques se succédant à une fréquence descendant jusqu'à quelques milles par seconde. Ainsi une soudure thermo-électrique chauffée par les courants intermittents reçus augmente de température pendant une fraction assez importante de seconde. Il est donc possible d'ajouter les effets d'une suite d'étincelles si celles-ci sont suffisamment rapprochées. Des moyens ont été inventés pour la production d'étincelles très fréquentes, par Sohulka entre autres. Une méthode très simple a été décrite dans le brevet anglais n° 7687 de 1907, dû à Webb. Un transformateur à haut voltage, en série avec une soupape, maintient chargé un condensateur. Ce condensateur forme un réservoir qui alimente, par l'intermédiaire de lignes de très haute résistance, l'éclateur d'un circuit oscillant. En réglant la résistance des lignes, on trouve qu'il est possible de maintenir une grande fréquence d'étincelles à l'éclateur. Chaque étincelle est oscillante, comme lorsqu'on emploie une bobine d'induction, mais la fréquence d'étincelles s'élève jusqu'à 4.000 par seconde, permettant ainsi au thermo-détecteur de la station réceptrice d'intégrer les effets calorifiques d'un certain nombre d'étincelles.

Circuits employés pour la transmission. — Dans les systèmes utilisant un courant uniforme de haute fréquence produit soit par un

⁽¹⁾ FLEMING, *Electric wave telegraphy*, p. 257.

arc, soit par une dynamo, le générateur est souvent placé en série avec l'antenne et la terre.

Dans les systèmes à excitation par choc, un primaire très amorti est accouplé à l'antenne qui seule contient un courant propre à la transmission.

Dans les premiers types de systèmes à étincelle, dus à Marconi, le circuit principal générateur est distinct du circuit radiateur et est accouplé à lui par induction magnétique ou de toute autre manière. Dans ce cas le courant primaire et le courant dans l'antenne sont du même genre.



CHAPITRE IV

DÉTECTEURS POUR COURANTS TRÈS COURTS DE HAUTE FRÉQUENCE CONSTITUÉS PAR DES CONTACTS ÉLECTRIQUES IMPARFAITS

Pour déceler les courants oscillants dans le fil circulaire qu'il utilisait comme résonateur, Hertz avait fait une petite coupure dans le conducteur et observait le flux d'étincelles qui s'y produisait. Cette méthode est évidemment peu sensible, attendu qu'un voltage considérable doit exister à la coupure pour qu'une étincelle éclate, même si la distance des deux extrémités est très faible⁽¹⁾. Aucun système pratique de télégraphie ne pouvait donc être basé sur l'emploi d'un détecteur si peu sensible.

Les appareils ordinaires de télégraphie ne peuvent aucunement être employés à déceler les courants de haute fréquence, car même les plus sensibles n'agissent que si un courant de même sens les traverse pendant une durée d'environ $\frac{1}{500}$ de seconde. Les courants employés en radiotélégraphie, outre qu'ils sont oscillatoires, n'ont qu'une durée d'environ $\frac{1}{100.000}$ de seconde; pour les déceler, il faut donc des appareils sensibles à des courants d'une durée environ 200 fois moindre que ceux capables d'agir sur les appareils ordinaires. Et de plus, comme ils sont oscillants, on ne peut employer les électro-aimants d'un usage si général en télégraphie ordinaire. Même le téléphone ne peut être employé à cause de sa self et aussi à cause de l'insensibilité de l'oreille aux vibrations de très haute fréquence.

Pour la radiotélégraphie, il fallait donc non seulement un type nouveau de transmetteur, mais encore un système tout à fait particulier

(1) Voyez les tables (chap. xxi).

pour mettre en évidence les courants transmis et conséquemment pour percevoir les signaux.

Le premier détecteur pratique pour courants oscillants de haute fréquence fut le contact imparfait entre conducteurs, que Hughes appela microphone, et dont il démontra la faculté de déceler les vibrations mécaniques ou électriques. Si le contact imparfait a lieu entre deux charbons, la variation de résistance est instantanée, et son effet ne peut être révélé par un galvanomètre, mais peut être indiqué par le téléphone, d'inertie beaucoup moindre. Avec des contacts métalliques, il se produit un changement permanent de résistance qui peut être décelé par un galvanomètre ou un appareil télégraphique en circuit avec le contact et une pile. Le contact ne revient cependant pas de lui-même à son état primitif de sensibilité : il reste cohéré tant que les pièces métalliques ne sont pas de nouveau mécaniquement séparées. La force réelle qui doit être appliquée pour séparer deux pièces métalliques cohérées électriquement a été mesurée par le D^r P. Shaw ⁽¹⁾. Les cohéreurs formés simplement par deux conducteurs en contact imparfait ont l'inconvénient d'être très sensibles aux vibrations mécaniques et sont par conséquent peu sûrs et peu employés en télégraphie. Le microphone à charbon a cependant été employé comme détecteur, entre autres par Braun, avec grand succès.

La sensibilité des contacts imparfaits à l'action des courants électriques a été redécouverte par Calzecchi-Onesti, Lodge et Branly. Ce dernier employait la forme qui est devenue le cohéreur employé pratiquement en télégraphie.

Le tube de Branly comportait une électrode à chaque extrémité et était rempli de limaille métallique. On remédiait ainsi à l'incertitude d'un seul contact, et l'effet des vibrations mécaniques

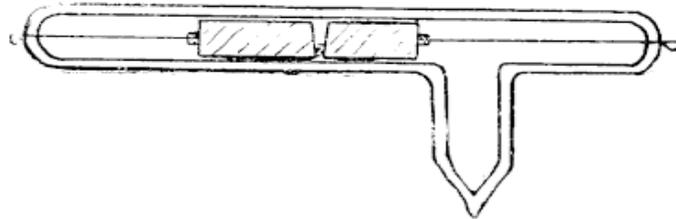


FIG. 45. — Cohéreur de Marconi.

était en même temps réduit. Dans sa forme primitive, son action était parfois intempestive ; Marconi en a fait cependant un appareil qui, convenablement manié, est aussi sûr dans son action que tout autre appareil télégraphique. Les premiers expérimentateurs parlaient du cohéreur comme étant délicat et offrant peu de sécurité ; ces critiques n'étaient en réalité qu'une preuve d'ignorance de sa vraie construction et de ses conditions d'emploi, et, bien que dans beaucoup de cas il ait

⁽¹⁾ *Phil. Mag.*, mars 1901 et août 1904.

été remplacé par des détecteurs plus sensibles, il est cependant encore en usage dans quelques stations de diverses compagnies. Marconi réduisit la dimension du tube de telle sorte que la limaille était comprise dans une petite cavité cylindrique de moins de 1 millimètre de long et d'environ 5 millimètres de diamètre et pressée entre deux crayons d'argent. La limaille ne remplissait qu'un tiers de la cavité et était formée principalement de nickel, avec un peu d'argent pour augmenter la sensibilité, et l'on faisait partiellement le vide dans le tube.

Sur les conseils de l'auteur, la limaille fut passée au tamis de soie, de façon à obtenir l'uniformité de dimension des grains. Le mode définitif de construction ne fut naturellement trouvé qu'après de multiples essais avec des tubes de différentes dimensions et avec de la limaille de différents métaux. L'avantage du cohéreur pour la T. S. F. est qu'il reste cohérent tant que la limaille n'est pas de nouveau agitée. Le courant oscillant instantané se traduit donc par un changement permanent de la résistance du tube qui dure tant qu'il n'est pas secoué. L'introduction d'un cohéreur dans un circuit de courants oscillants fournit donc un moyen d'actionner un appareil ordinaire de télégraphie, et cet appareil n'agira que si des courants oscillants traversent le cohéreur. La cohérence persistera et permettra au courant d'une batterie locale de traverser le circuit et de mettre en action l'appareil télégraphique qui décelera leur présence. Si l'effet sur le cohéreur avait été simplement momentané, au lieu d'être semi-permanent, il eût été impossible d'employer un appareil télégraphique enregistreur, ou même tout appareil actionné par électro-aimant.

Le cohéreur ne revenant pas de lui-même à son état primitif, il faut un dispositif qui le secoue immédiatement après l'enregistrement du signal. Cela implique l'emploi d'un mécanisme agissant de concert avec l'appareil enregistreur et donnant sur le tube un choc suffisant pour décoherer la limaille. Le récepteur complet est donc sensiblement plus compliqué que celui qui emploierait un détecteur régénérable ; mais il a l'avantage de donner un enregistrement permanent des signaux reçus sur une bande de papier télégraphique. Avec un détecteur régénérable les signaux doivent généralement être perçus d'après le son qu'ils produisent dans un téléphone.

Bien qu'un grand nombre de modèles aient été proposés par de nombreux inventeurs, l'utilité du type de cohéreur à limaille construit par Marconi est prouvée par son emploi continu dans les stations de nombreuses compagnies tant en Europe qu'en Amérique. Le mode d'action du cohéreur à limaille a fait l'objet de nombreuses discussions. Parmi les premiers expérimentateurs, beaucoup ont commis l'erreur logique de croire que, les ondes électriques causant la cohérence, elles devaient

nécessairement être indispensables. En réalité, la seule condition nécessaire est qu'un certain voltage soit appliqué aux bornes du tube ; que la tension soit oscillante ou continue a probablement peu d'importance. Si on applique aux bornes d'un cohéreur une tension croissant lentement, mais d'une manière continue, sa résistance diminuera aussi rapidement lorsqu'une certaine tension a été atteinte qu'avec le passage d'ondes électriques. En somme, les ondes électriques sont simplement des variations rapides de tension, et la cohérence n'est pas occasionnée par la rapidité des variations, mais par la différence de potentiel. Sur mon instigation, le Dr Eccles a fait une étude expérimentale complète du sujet, et ses conclusions (comme je l'avais toujours supposé) ont été que les oscillations n'ont absolument rien à voir avec le phénomène, c'est-à-dire qu'elles ne sont nullement essentielles à la cohérence. Ces résultats sont si importants au point de vue théorique et pratique que je citerai plus tard entièrement quelques extraits de son étude.

Dans le procédé bien connu de Faraday pour mettre en évidence les lignes de force d'un aimant, des particules de fer forment des chaînes quand on les place dans un champ magnétique. Si ces particules sont placées sur une surface relativement rugueuse, comme le papier, des choes légers, en les projetant momentanément en l'air et en leur permettant ainsi de se placer librement suivant les lignes de force, facilitent leur orientation. Robertson a montré que de petites particules conductrices, comme de la poussière métallique, se comportent exactement de même dans un champ électrostatique. Leurs extrémités se chargent, et, comme les extrémités des particules voisines, suivant la direction de la ligne de force, sont chargées d'électricité contraire, elles s'attirent l'une l'autre et forment des chaînes conductrices. Le résultat final est une plus grande conductivité de toute la masse. Il est important de noter que de légers choes favorisent la formation des chaînes, comme dans l'expérience de Faraday. Cela explique l'influence bien connue du réglage du frappeur dans un récepteur de télégraphie sans fil.

J'ai remarqué que, si le voltage dans le circuit d'un cohéreur était augmenté jusqu'à une certaine valeur à l'aide d'un potentiomètre, la sensibilité de l'appareil était très accrue. Si la tension constante appliquée est presque suffisante pour causer la cohérence, la plus légère augmentation due aux ondes amènera le résultat.

Après ces explications, je citerai quelques passages de l'étude du Dr Eccles ⁽¹⁾.

« *Introduction.* — Les recherches décrites dans les pages qui suivent ont été commencées dès 1900 et ont eu pour but d'examiner ce qui était alors

⁽¹⁾ *Electrician* (23 et 30 août 1901) avec l'autorisation des éditeurs.

connu sur l'influence relative des tensions oscillantes et continues au point de vue de la cohération des cohéreurs à limaille. On espérait arriver à un résultat qui démontrerait nettement si l'action des oscillations électriques avait un caractère semblable ou non à celle d'une tension constante. L'importance, à plusieurs points de vue, de cette différence est manifeste ; et cette différence, si elle existe, n'a pas encore été démontrée, non plus qu'on n'a déterminé si elle n'existait pas, comme peut le montrer un examen des études publiées sur ce sujet.

« *Expériences.* — En vue de confirmer ou de modifier le peu de données qu'on possédait sur les effets de tensions constantes appliquées aux cohéreurs à limaille, et pour augmenter ces connaissances, les expériences suivantes furent entreprises au printemps de 1900. Elles purent être faites grâce à l'amabilité du Dr Murray, et furent commencées dans son laboratoire ; l'auteur a eu la bonne fortune, pendant les premiers essais de pouvoir profiter de son aide et de ses conseils. Le plan qu'on se proposait était de soumettre à l'influence d'un voltage continu croissant une série de cohéreurs de sensibilité connue et d'observer à quelle tension la cohération se produisait. Grâce à l'amabilité du Dr E. Murray, l'auteur a pu se servir d'une grande quantité de cohéreurs préalablement essayés à l'aide de signaux reçus sur une antenne, et dont la sensibilité était bien connue.

« Ces cohéreurs furent soumis à des tensions produites par un dispositif potentiométrique. Pour éviter la possibilité d'à-coups dans les variations de tension, on adopta un potentiomètre à solution de sulfate de cuivre. Cet appareil consistait simplement en un long tube gradué rempli d'une solution étendue de sulfate de cuivre, muni d'une électrode mobile et de deux électrodes fixes. Les électrodes fixes étaient en cuivre et servaient à l'arrivée et au départ du courant principal fourni par une batterie de 10 volts. L'électrode mobile était aussi en cuivre, mais n'avait que son extrémité en contact avec l'électrolyte, la tige qui servait à le déplacer étant isolée. Sa position était lue sur la graduation du tube, et la valeur du voltage correspondant au chiffre de la graduation était trouvée par une expérience séparée. Une des électrodes fixes (mise généralement à la terre) et l'électrode mobile formaient avec l'électrolyte intercalé une portion d'un circuit contenant un galvanomètre à bobine mobile, une résistance de 12.000 ohms et le cohéreur à étudier. Ce procédé permettait d'appliquer au cohéreur une force électro-motrice croissant graduellement de 0 à 10 volts, et cela sans crainte de créer des surtensions dans le circuit du cohéreur. Quelques expériences préliminaires avaient d'ailleurs montré l'utilité d'intercaler une grande résistance dans le circuit du cohéreur sa présence empêchait le passage d'un courant assez fort capable d'endommager le cohéreur. Les cohéreurs employés étaient tous du même type, étaient faits par le même ouvrier et avec les mêmes matériaux et consistaient en limaille de nickel placée entre des électrodes d'argent distantes de 3 millimètres, scellées dans un tube où on avait fait le vide.

« On trouva dans tous les cas que la cohération se produisait toujours

d'une façon soudaine. Elle était indiquée par le déplacement brusque du miroir du galvanomètre, et l'on coupait alors immédiatement le courant principal, en même temps que l'on faisait la lecture de la position de l'électrode mobile. Le cohéreur était alors ramené à son état initial par de légers chocs durant quelques secondes, et l'expérience était reprise. On trouva que la force électro-motrice nécessaire pour cohérer le même tube pouvait varier de 20 à 60 0, 0 suivant les cas. Tout déplacement d'une personne dans la chambre voisine modifiait de façon sensible le chiffre trouvé, et de légers mouvements des tubes assuraient la cohérotation à de bas voltages. L'effet de chocs plus forts était, comme Branly et d'autres l'avaient déjà montré, très irrégulier et l'observation du miroir du galvanomètre montrait que le phénomène prenait souvent l'aspect d'une suite de cohérations et de décohérotions successives. Pour la façon dont se comportaient différents cohéreurs dans des conditions identiques, on ne put trouver, même en prenant les plus grands soins pour soustraire le tube aux actions mécaniques extérieures, aucune loi reliant la force électromotrice produisant la cohérotation à la sensibilité telle qu'elle apparaît avec une antenne excepté dans les deux cas extrêmes de cohéreurs ou très sensibles ou très inertes à la réception. On avait alors en règle générale de faibles tensions (0,1 à 0,5 volts) dans le premier cas, de fortes tensions (6 à 10 volts ou même davantage) dans le second. Dans le cas de tubes très sensibles, le mouvement du galvanomètre était très irrégulier à l'approche du voltage de cohérotation. On ne pouvait attribuer ces irrégularités à aucune cause extérieure définie ; mais elles pouvaient provenir d'ébranlements mécaniques produits à distance et transmis par les murs à la table d'expériences. Le tableau I donne un extrait des chiffres trouvés. Chaque chiffre est la moyenne de trois observations obtenues dans des conditions aussi semblables que possible. A côté de ces chiffres est porté, pour la comparaison, le résultat des essais commerciaux faits indépendamment sur les cohéreurs, en recevant à l'aide d'une antenne les signaux d'une station éloignée.

« Le potentiomètre à liquide fut ensuite enlevé et remplacé par un potentiomètre ordinaire à fil. Les expériences qui viennent d'être décrites furent répétées avec les mêmes cohéreurs, en évitant intentionnellement un contact permanent entre le frotteur et le fil du potentiomètre. Le tableau I montre que les chiffres obtenus, en tenant compte des erreurs possibles, sont sensiblement les mêmes que ceux obtenus avec le potentiomètre à liquide.

« Jusqu'à présent, on n'avait en somme que confirmé les résultats d'autres observateurs. Mais il était maintenant démontré, par l'emploi du potentiomètre à liquide, qu'il était possible d'obtenir la cohérotation par l'application d'une force électromotrice non oscillante. De plus, il était bien établi que les surtensions électriques produites par la connexion soudaine avec la source n'avaient d'effet pour produire la cohérotation qu'en raison du voltage maximum obtenu. En d'autres termes, il paraissait suffisamment démontré que la cohérotation était simplement un effet de la tension. Renonçant à trouver un moyen pratique pour empêcher

toute agitation mécanique, l'auteur s'employa à faire en sorte que ces agitations fussent uniformes. Ceci fut réalisé plus ou moins en fixant le cohéreur à un cadre maintenu légèrement agité par un trembleur de sonnerie. Malheureusement de nombreuses mesures faites d'après les procédés qu'on a indiqués montrèrent qu'il n'y avait pas d'amélioration, les chiffres obtenus avec les mêmes cohéreurs, bien que tous plus faibles que ceux obtenus avec la méthode précédente, étaient aussi différents en valeur et probablement aussi peu en relation avec la sensibilité réelle du détecteur aux radiations que ceux indiqués dans le tableau I.

TABLEAU I

CARACTÈRE DU COHÉREUR A L'ESSAI DE RADIATION	VOLTAGE DE COHÉRATION	
	POTENTIOMÈTRE A LIQUIDE	POTENTIOMÈTRE A FIL
A, trop sensible.....	0,05 0,2	0,45 0,4
B, très sensible.....	0,6	0,8
C, sensibilité modérée.....	2,0	4,2
	0,4	1,2
	3,5	4,1
D, peu sensible.....	4,4	0,7
	5,2	3,6
E, très peu sensible.....	0,3	0,5
	4,2	5,0
F, trop peu sensible.....	10	10
	5	8

« L'auteur pensa alors à réduire le temps d'une seule observation à une fraction de seconde, en faisant frapper d'une manière continue le cohéreur en observation par le marteau d'un frappeur. Pendant les intervalles entre deux coups, la cohération pouvait s'établir et un courant passer à travers le galvanomètre. La décohération suivait immédiatement et était suivie par une autre cohération, et ainsi de suite. Si on pouvait obtenir l'uniformité dans la force des coups, chaque cycle d'opération ressemblait exactement au précédent : le galvanomètre intégrait les courants pulsatoires le traversant et donnait leur valeur moyenne. Il restait à voir si le temps séparant deux coups était suffisant pour produire la cohération. Le trembleur employé d'abord donnait environ 50 vibrations à la seconde. Le cohéreur choisi était de sensibilité modérée. La figure 46 montre les résultats obtenus.

« Étant donnée la longue expérience des cohéreurs qu'avait l'auteur, la constance des lectures du galvanomètre, et la précision avec laquelle la déviation au galvanomètre suivait le mouvement du curseur sur l'échelle du potentiomètre, paraissaient presque incroyables. Parfois cependant, il y avait des chocs violents qui envoyaient le spot en

dehors de l'échelle, ou des chutes qui le faisaient tomber au zéro. Un certain nombre de cohéreurs furent ainsi essayés et donnèrent des chiffres conduisant à des courbes semblables. On décida donc de refaire le dispositif d'essai et de poursuivre à fond la nouvelle méthode. Il était remarquable que dans chaque cas un changement se produisait dans la conductivité du cohéreur à des voltages beaucoup plus bas que les voltages critiques obtenus par les essais précédents des mêmes cohéreurs.

« L'appareil fut complètement modifié. La continuité dans la variation de résistance n'étant pas de grande importance, on fit un potentiomètre en enroulant quelques mètres de fil de résistance nu sur une baguette

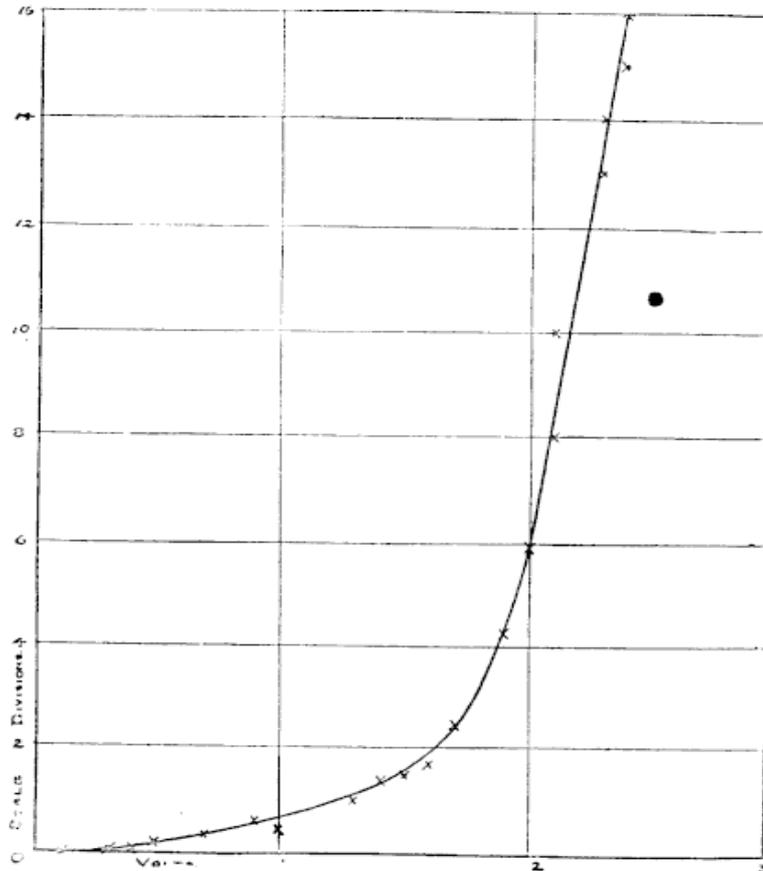


FIG. 46.

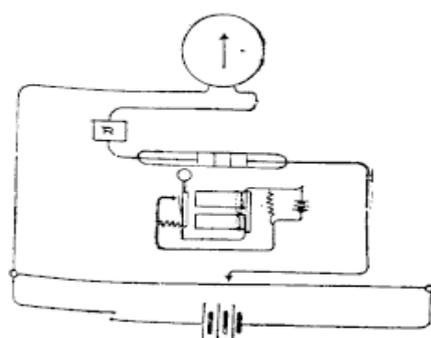


FIG. 47.

ronde d'ébonite. Mis en série avec six piles ; la différence de tension entre deux spires consécutives était de 0,02 volt environ. La prise de contact se déplaçait parallèlement à l'axe de la baguette d'ébonite. Un galvanomètre à bobine mobile à miroir avait un shunt tel qu'une déviation de 1 centimètre sur l'échelle correspondait à 3 micro-ampères. On se procura une sonnerie à trembleur, d'un réglage très précis tant pour la vitesse que pour l'amplitude. Une résistance de 100.000 ohms fut mise en série avec le

circuit du cohéreur et du galvanomètre.

« La figure 47 reproduit schématiquement le dispositif. Avec ce dis-

positif, on construit les courbes caractéristiques pour un grand nombre de tubes, les conditions d'essai étant les mêmes pour chaque tube. La figure 48 donne un choix des courbes ainsi obtenues. On y voit immédiatement, ce que confirment toutes les autres courbes obtenues, que, la position des courbes correspond pour les différents tubes à leur sensibilité telle qu'elle est déterminée par l'essai de radiation. Il faut remarquer que l'existence de la cohérence rapide est indi-

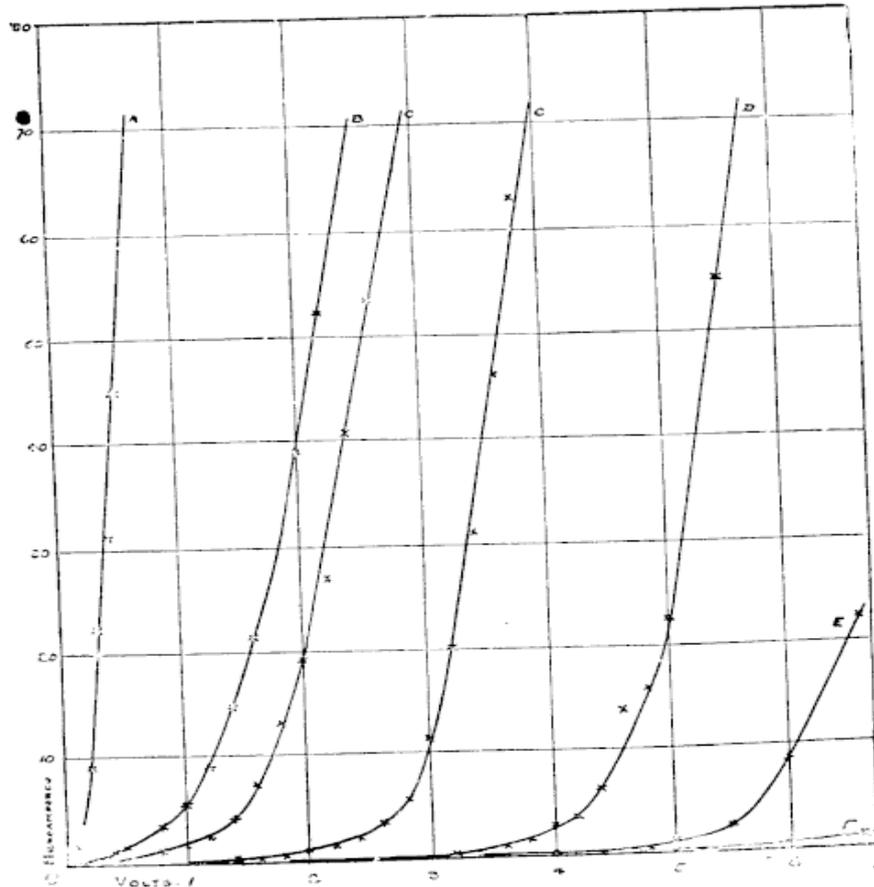


FIG. 48.

Les courbes A, B, etc., sont pour différents cohérents de sensibilité décroissante.

quée sur ces courbes par leur convexité vers l'axe des tensions; si la conductibilité du cohérent était constante, les courbes deviendraient des droites passant par l'origine. Tous les cohérents examinés, sauf ceux que l'on connaissait pour peu sensibles, ont donné des courbes présentant une certaine convexité même pour de faibles tensions. De plus, dans aucun cas, il n'y a eu, la tension augmentant, d'accroissement subit dans le courant; au contraire, l'accroissement a toujours été graduel. On doit également remarquer que, quand la tension appliquée devient assez grande, la relation entre le courant et la tension devient

approximativement linéaire, montrant que la cohération croît uniformément et lentement. Pour examiner plus à fond si l'on pouvait trouver trace de cohération à des voltages relativement bas, on augmenta la sensibilité du galvanomètre en modifiant son shunt, et l'on soumit à de bas voltages deux des cohéreurs dont les caractéristiques sont données dans la figure 48 à l'action d'un trembleur dont la fréquence était la même. La figure 49 reproduit les courbes qui furent obtenues. Elles semblent montrer que la chute dans la résistance d'un cohéreur commence très rapidement, mais qu'aussi il n'y a pas de grande variation tant qu'un certain voltage, différent pour chaque cohéreur, n'est pas appliqué. Un autre essai analogue effectué sur des cohéreurs très peu

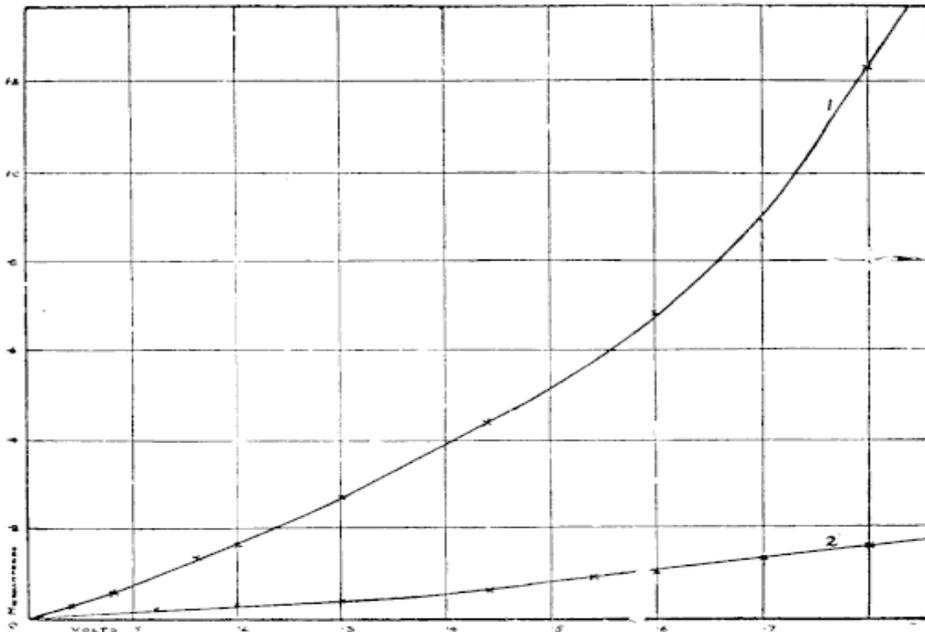


FIG. 49.

sensibles pour lesquels on employa des tensions allant jusqu'à 9 volts fit voir que pour tous les cohéreurs on pouvait, si on le voulait, arriver à la portion droite de la caractéristique. Deux de ces courbes, semblables en tous points à celles de la figure 48, sont données dans la figure 50.

« L'été dernier, l'occasion se présenta d'employer cette méthode d'examen à un grand nombre de cohéreurs. La conclusion à laquelle conduisirent ces essais doit être ici citée. La relation complète entre la sensibilité des cohéreurs aux radiations électromagnétiques et la position de leur courbe caractéristique fut définitivement démontrée.

« Les résultats donnés par la masse d'observations qui ont été brièvement décrites, et l'étude des courbes caractéristiques, conduisirent l'auteur à adopter une théorie cinétique des cohéreurs à limaille dans laquelle le cohéreur type serait formé de limailles pouvant se déplacer librement dans un espace limité par deux surfaces planes conductrices.

« Quand une différence de potentiel fixe ou oscillatoire est établie entre deux faces planes dont la distance est faible par rapport à leurs dimensions, elles créent entre elles un champ électrique sensiblement uniforme. Toute matière conductrice, non sphérique, placée dans cet espace, et capable de s'y mouvoir librement, sera soumise à un couple tendant à placer son plus grand axe parallèlement au champ. Si d'autres particules sont présentes, elles seront soumises aux mêmes effets, et, si elles arrivent au repos tandis que le champ est maintenu, elles présenteront une orientation différente. Le degré d'orientation de la masse dépend évidemment de la force du champ, c'est-à-dire de la tension

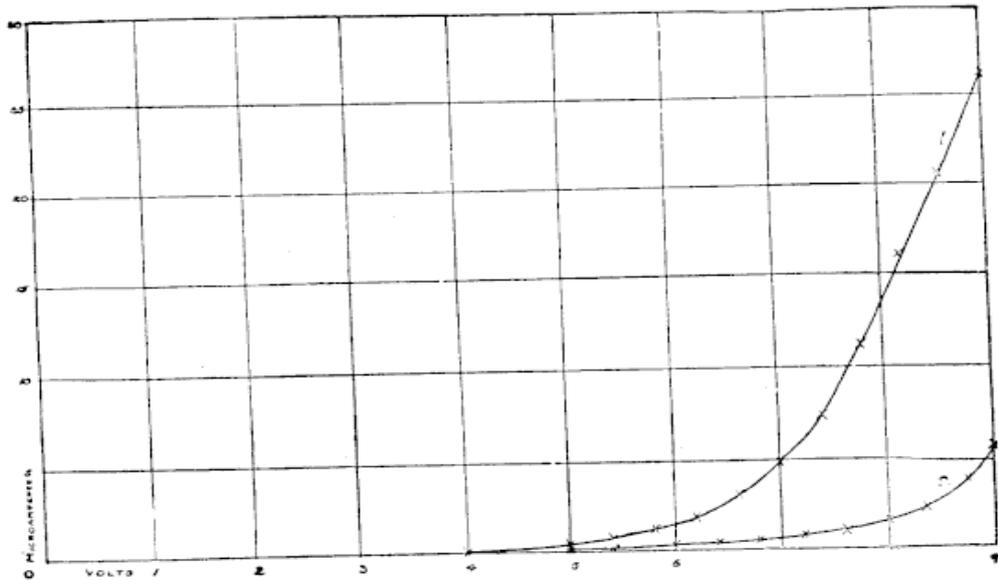


FIG. 50.

appliquée. Dans cet état, le phénomène proprement dit de cohérence sera plus facile que si l'arrangement des particules est quelconque. Si on accepte alors les vues de Lodge, et qu'on admet que de véritables soudures se produisent entre les différentes particules, de façon à former des chaînes complètes à travers l'espace, on peut remarquer que la perfection de ces soudures dépendra, selon toute probabilité, de la tension qui les produira. Ainsi, pour les cohéreurs à limaille, l'auteur croit qu'il existe deux actions distinctes : l'une, mécanique, oriente les particules ; l'autre, la cohérence proprement dite, les agglomère ; ces deux actions dépendent de la tension appliquée. L'auteur pense que l'action mécanique est prépondérante. »

Le D^r Eccles traite ensuite le sujet par les mathématiques et décrit des expériences confirmant sa théorie. Finalement, il conclut ainsi :

« *Conclusion.* — La première série d'essais avec les potentiomètres à liquide et à fil a démontré suffisamment que les surtensions électriques,

comme il s'en produit sans aucun doute dans tout circuit où une force électromotrice est subitement appliquée n'ont — en tant que surtensions — aucun effet de cohération. Ces résultats permettent de conclure, comme Branly et d'autres l'avaient déjà indiqué, que le phénomène de cohération est purement une action de voltage. Ces expériences comportent en outre les différentes irrégularités qui ont valu au cohéreur la réputation universelle d'un appareil capricieux et peu sûr.

« La deuxième partie des essais a conduit à une méthode générale pour l'examen des cohéreurs. L'usage de cette méthode permet d'éviter les anomalies qui accompagnaient toujours la manipulation des cohéreurs et permet de tracer une courbe caractéristique du cohéreur. On peut l'appeler une méthode quantitative de détermination des qualités d'un cohéreur. Les courbes montrent très clairement que des lois définies et invariables règlent l'action des cohéreurs. Elles montrent en plus que la cohération est un phénomène continu et qu'il ne peut y avoir, à proprement parler, de « voltage critique ». De plus l'accord parfait qui s'est révélé, pour des centaines de cohéreurs, entre la sensibilité aux radiations et la position de la courbe d'essai prouve surabondamment que le phénomène de cohération est le même pour des tensions continues que pour des tensions oscillantes. La production de la cohération par les radiations est sans doute due entièrement aux oscillations de potentiel produites dans le circuit du cohéreur. »

Les résultats des recherches admirables du Dr Eccles peuvent se résumer ainsi : 1° les cohéreurs à limaille agissent sous l'action d'une différence de potentiel appliquée à leurs bornes, cette différence pouvant être continue ou oscillatoire ; 2° un voltage très faible est suffisant pour produire un certain courant ; mais au voisinage d'un certain voltage, variable suivant les cohéreurs, la résistance décroît très rapidement, permettant un accroissement très rapide de courant, qui permet l'agglomération de la limaille et occasionne une autre diminution de résistance ; 3° la sensibilité des cohéreurs pour les tensions continues est proportionnelle à leur sensibilité pour les tensions oscillantes ; 4° le phénomène complet peut s'expliquer mathématiquement en admettant que l'action se produit en deux temps : d'abord l'orientation des particules sous l'action du champ et ensuite une soudure de leurs extrémités, ainsi rapprochées, due au passage d'un courant.

Le lieutenant Solari, de la marine italienne, a découvert qu'une petite goutte de mercure placée entre deux tiges de fer forme un cohéreur auto-régénérable très sensible. Il a l'inconvénient de nécessiter un réglage fréquent.

Le Dr Muirhead l'a perfectionné en le formant d'un disque tournant en acier effleurant la surface d'une petite quantité de mercure recouverte d'une lame d'huile. Le mouvement du disque empêche le mercure de s'attacher à l'acier et assure en même temps la propreté de la surface.

Un des avantages de ce cohéreur est sa basse résistance quand il est cohéré, ce qui permet de l'employer avec un siphon recorder ou tout autre instrument télégraphique sensible, sans interposition de relais.

Anticohéreurs. — Si les oscillations électriques ont pour effet d'augmenter la résistance du détecteur, celui-ci s'appelle anticohéreur. Les plus importants de ces appareils sont le dispositif électrolytique de Forest et le détecteur à oxyde de plomb de Brown, qui sont décrits plus loin. Contrairement aux cohéreurs à contacts métalliques qui peuvent être cohérés par les oscillations sans qu'une pile soit en série avec eux, les anticohéreurs n'agissent que si un voltage constant est maintenu dans leur circuit, et reviennent de même à leur état primitif après la réception des signaux. Dans le cas des cohéreurs, ce sont les vibrations qui produisent le même effet. Les cohéreurs à charbon sont généralement autorégénérables. Il est probable cependant que la régénération doit être due à des vibrations mécaniques qui permettent au contact d'arriver à une position d'équilibre plus ou moins stable.

Mesures du voltage dans le circuit du cohéreur par MM. Duddell et Taylor. — Nous reproduisons, avec l'autorisation des auteurs, un extrait d'un mémoire présenté en 1905 par eux à l'Institut des Ingénieurs électriciens, et donnant des chiffres déduits de résultats expérimentaux sur les voltages dans les circuits de cohéreur.

« Bien qu'aucune mesure précise n'ait été faite sur ce point, on peut déduire de la manière dont le cohéreur employé dans les essais répondait aux longues distances que le voltage de 6,6 volts donné dans le paragraphe précédent était environ 8 fois plus fort qu'il n'était nécessaire pour recevoir des signaux sur ce cohéreur. La force électromotrice de chaque train dans l'antenne réceptrice nécessaire pour actionner le cohéreur serait donc d'environ $\frac{6,6}{8} = 0,8$ volt. Ce voltage n'était cependant pas le voltage réel aux bornes du cohéreur, car le cohéreur était toujours connecté dans un circuit secondaire accordé en résonance, dans lequel on peut admettre que la force électromotrice était augmentée dix fois environ, donnant à peu près 8 volts par train. Dans ce circuit secondaire de réception, toutes les précautions ont été prises pour réduire au minimum l'amortissement. Pour avoir une idée du voltage maximum obtenu pendant le passage d'un train d'oscillations dans le circuit, il faut tenir compte de l'incrément et du décrétement du train. En en tenant compte, on peut admettre qu'une force électromotrice maxima d'environ 5 fois la tension par train, soit 40 volts, doit exister dans le circuit de résonance du cohéreur pour donner de bons signaux. Comme dans la pratique on doit prévoir une marge considérable au-dessus de ce chiffre, il est clair que les voltages maxima produits ne sont pas faibles ».

CHAPITRE V

**DÉTECTEURS DE COURANTS OSCILLANTS
DE HAUTE FRÉQUENCE
BASÉS SUR LEUR ACTION SUR LE FER AIMANTÉ**

L'effet d'un champ magnétique oscillatoire sur l'acier ou le fer aimanté varie considérablement suivant les circonstances. Un changement permanent dans l'état d'aimantation du fer apparaît cependant presque toujours. Les effets dépendent des qualités et de l'état d'aimantation de la matière, de l'intensité et du genre des oscillations, et des directions relatives de l'aimantation et du champ oscillatoire. On sait depuis les premiers jours du siècle dernier que la décharge d'une bouteille de Leyde aimante ou désaimante des aiguilles d'acier. Le professeur J. Henry fit un grand nombre d'observations sur le phénomène et jeta beaucoup de lumière sur la nature de la décharge d'un condensateur; mais ce n'est qu'en 1895 que la possibilité de découvrir par ce moyen les ondes électriques à de grandes distances fut montrée par Rutherford. Cette même année, en employant un grand résonateur de Hertz muni de plateaux de 1 mètre sur 2 mètres et un résonateur formé de deux baguettes de cuivre de 30 centimètres environ de longueur, il put déceler les radiations jusqu'à des distances de 20 kilomètres. Les baguettes du résonateur étaient reliées par des petites spires de fil fin dans l'axe desquelles se trouvait une aiguille magnétisée ou un faisceau de fils d'acier très fins. Un magnétomètre indiquait la quantité de magnétisme de l'aiguille, et la diminution de sa déviation décelait l'arrivée des ondes. Après chaque observation, il fallait remagnétiser l'aiguille, aucun dispositif automatique n'ayant été prévu à cet effet. Le professeur Rutherford m'avait indiqué dès 1900 que les oscillations pourraient s'inscrire sur une bande d'acier, comme dans le télégraphone. Mais j'étais alors trop occupé par d'autres travaux pour entreprendre les recherches expérimentales nécessaires pour établir un récepteur pratique de télégraphie sans fil.

En 1900, l'auteur construisit un récepteur magnétique automatique. Il était analogue au premier appareil de Rutherford, sauf que la réaimantation de l'aiguille était produite par une batterie dont le circuit était fermé par le magnétomètre. Il semble que ce soit là le premier récepteur qui ait employé le détecteur magnétique.

Trois ans plus tard, en 1903, Marconi faisait breveter deux formes de détecteurs magnétiques un peu différents en principe de ceux qui viennent d'être décrits. Au lieu de laisser l'acier rester désaimanté pendant un certain temps, et de le réaimanter ensuite en fermant un circuit

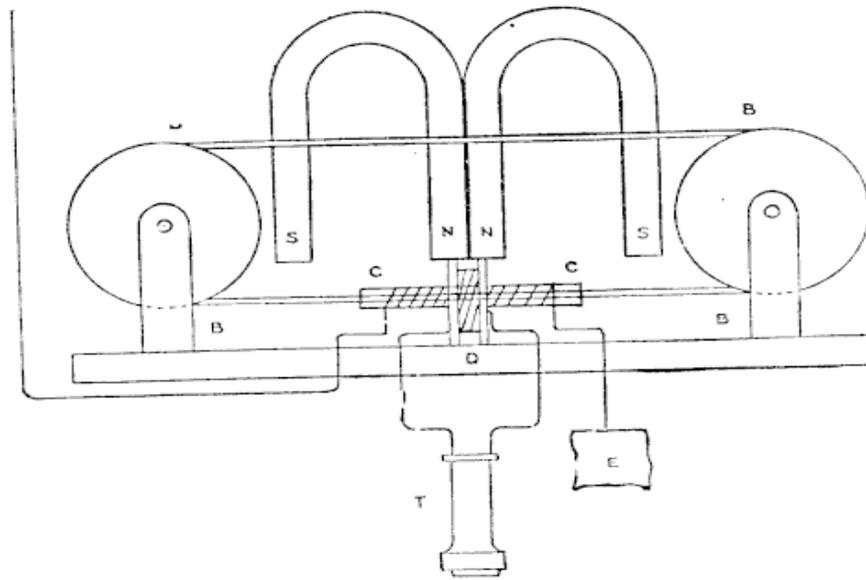


FIG. 51. — Détecteur magnétique de Marconi.

A, antenne. — E, terre. — BB, ruban de fer s'enroulant sur les poulies. — NS, aimants permanents. — CC, enroulement primaire sur le tube de verre que traverse le ruban de fer. — D, enroulement secondaire. — T, téléphone. — Dans une forme plus récente d'appareil un seul circuit magnétique est employé, les pôles extrêmes étant opposés au lieu d'être identiques.

d'accumulateurs, il soumettait le noyau métallique à un champ alternatif de longue période.

Quand le noyau parcourt son cycle d'aimantation, cette dernière retarde sur la force appliquée. Si cependant un champ oscillant de haute fréquence est soudain superposé au champ alternatif de longue période, les molécules du noyau de fer sont ébranlées et le retard disparaît; l'aimantation saute immédiatement à la valeur correspondant à la force appliquée. Un choc mécanique produit un effet semblable. Le changement instantané de l'induction du noyau est observé à l'aide d'un récepteur téléphonique en circuit avec une bobine de fil entourant le noyau du détecteur. A l'arrivée des ondes sur le détecteur, le courant

instantané induit par la variation d'aimantation occasionne un bruit dans le téléphone.

Le deuxième détecteur de Marconi atteint le même but d'une façon un peu différente. Un ruban sans fin formé de fils de fer très fins isolés est tenu en mouvement entre deux poulies de bois à la vitesse d'environ 8 centimètres à la seconde. Auprès d'une des parties du ruban sont fixés deux aimants en fer à cheval dont les deux pôles de même nom sont accolés, les pôles contraires étant de part et d'autre. Une grande quantité de lignes de force passe des pôles centraux dans le ruban et, après y avoir circulé une certaine distance de part et d'autre, atteint les pôles extrêmes des aimants. Deux bobines concentriques de fil fin sont enroulées sur un tube de verre que traverse le ruban à cet endroit. La bobine intérieure est connectée à l'antenne et à la terre et la bobine extérieure aux bornes d'un téléphone. Quand la courroie métallique avance lentement, les lignes de force sont entraînées dans le sens du mouvement à cause de l'hystérésis du fer ; une portion de celles qui coupent le circuit du téléphone quand la courroie est au repos ne le coupent pas lorsqu'elle est en mouvement. Quand les courants oscillants arrivent par l'antenne, ces lignes sont rendues libres et reviennent en arrière coupant le circuit du téléphone. Elles induisent ainsi un courant instantané produisant un bruit dans le téléphone.

Le D^r Austin, du bureau naval de T. S. F. des États-Unis, a étudié les propriétés de ce détecteur. Il le compara à la sensibilité d'un détecteur zincite-chalcopryrite (perikon) qui avait été étalonné à l'aide d'un couple thermo-électrique.

Employé normalement, le détecteur magnétique nécessitait 2, 4 fois plus d'énergie pour donner un son perceptible que le perikon utilisé sans force électromotrice extérieure. D'autres expériences montrèrent cependant qu'en plaçant un condensateur de 0,05 microfarad en série avec le téléphone, ce qui accordait grossièrement le circuit avec le régime d'étincelles des signaux, on doublait la sensibilité. Ces expériences furent faites avec une longueur d'onde de 900 mètres.

D'autres expériences ont montré que le détecteur magnétique pour des longueurs d'onde de 3.000 mètres était, avec un circuit téléphonique accordé, à peu près 4 fois et demie aussi sensible que le perikon. Pour une longueur d'onde de 2.000 mètres ils étaient sensiblement équivalents et pour 350 mètres le perikon était environ 5 fois plus sensible que le détecteur magnétique.

Le D^r Austin démontra également expérimentalement et mathématiquement que ces divergences étaient principalement dues à la différence de résistance du détecteur magnétique pour les différentes fréquences. Par exemple, pour $\lambda = 350$ mètres, $R = 110$ ohms ; tandis que pour

$\lambda = 3000$ mètres, $R = 10$ ohms. L'intensité des signaux dans le téléphone du détecteur magnétique fut trouvée proportionnelle non au carré du courant, mais à peu près à sa puissance 1,4.

Chaque étincelle au transmetteur occasionne ainsi un signal perceptible au récepteur. Comme dans les autres modes de télégraphie sans fil une courte suite d'étincelles forme un point, et une longue suite un trait. On peut ainsi transmettre des messages dans le code Morse. Ce récepteur est plus sensible que le cohéreur et est également plus facilement réglable. Ces avantages font qu'il est maintenant généralement em-

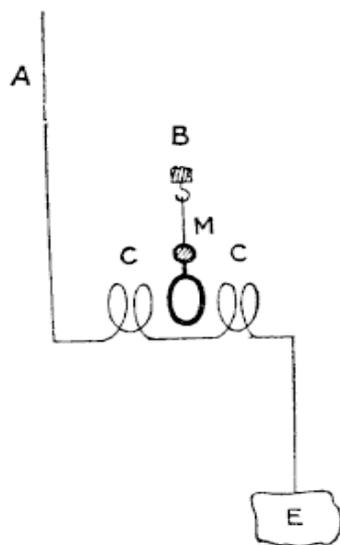


FIG. 52. — Détecteur électromagnétique de Fessenden.

A, antenne. — B, support des parties mobiles. — M, petit miroir, en dessous duquel est un petit anneau métallique.

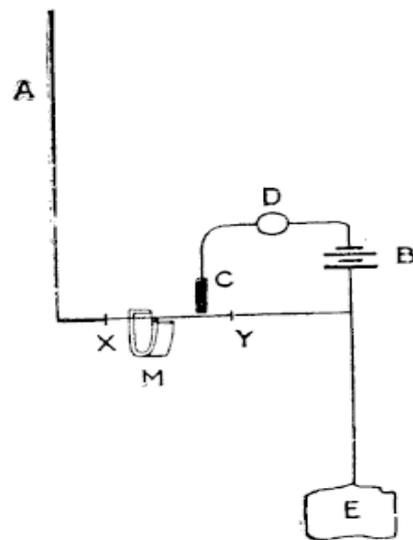


FIG. 53. — Détecteur magnétique de Fessenden.

A, antenne. — XY, fil lin d'acier. — E, terre. — M, aimant permanent. — C, contact microphonique à charbon. — B, batterie. — D, galvanomètre.

ployé, mais l'impossibilité d'actionner par lui un instrument enregistreur est en certains cas un inconvénient, surtout si l'opérateur n'est pas très expert et que le message est en chiffres. Dans l'administration des postes, pour le télégraphe ordinaire, l'inconvénient est tourné par l'emploi d'un télégraphe imprimeur toutes les fois qu'il est possible, et les causes d'erreur à la station réceptrice sont ainsi évitées. Dans les autres cas, la répétition du message de station à station est recommandée par l'administration comme essentielle à l'exactitude, quand les télégrammes sont en chiffres ou rédigés suivant un code secret.

En 1899, le professeur Fessenden inventa plusieurs types de récepteurs magnétiques. Les premiers utilisent la réaction entre un circuit fermé de basse résistance et un autre circuit, ou bobine, traversé par

des courants oscillants. Le circuit fermé est formé d'un anneau très léger de fil portant un miroir, et suspendu par un fil très fin. Les courants oscillants traversent une bobine fixe et induisent dans l'anneau mobile des courants qui réactionnent sur ceux de la bobine fixe. Les signaux sont indiqués par les déviations d'un spot lumineux, comme c'est généralement le cas en télégraphie sous-marine. Cet appareil ne comportait ni fer ni acier.

Son deuxième détecteur, représenté figure 53, est entièrement différent comme principe et repose sur les propriétés magnétiques de l'acier. Un fil d'acier fin est intercalé dans le circuit antenne-terre, et un champ magnétique puissant agit perpendiculairement à sa direction. Une des extrémités du fil est également reliée à une batterie d'accumulateurs dont l'autre pôle aboutit à une borne placée tout près, mais sans le toucher, du fil d'acier. Le fil est normalement aimanté transversalement par le champ magnétique, et est ainsi soumis à une force tendant à le déplacer dans la position où le champ a la plus grande densité; il est ainsi dévié dans la direction des pôles de l'aimant fixe. Les courants oscillants traversant le fil réduisent subitement la perméabilité, ou produisent quelque effet équivalent, et le fil se redresse et presse le contact, fermant ainsi le circuit des accumulateurs. L'emploi d'un appareil enregistreur semble possible avec ce détecteur, bien qu'un téléphone soit certainement plus sensible. En somme, cet appareil ne paraît pas convenir à la réception de courants très faibles.

Dans le galvanomètre « Einthoven » récemment inventé et qui est d'une sensibilité extraordinaire pour les courants continus, on emploie également un simple fil dans un champ magnétique très intense; mais ce fil n'est pas en matière magnétique. Avec des courants oscillants, il tendrait à vibrer en accord avec les oscillations à une vitesse trop grande pour être perceptible, même si les forces produites étaient suffisantes pour occasionner une vibration mécanique d'amplitude supérieure à l'ordre infinitésimal. L'adaptation de cet appareil aux besoins de la télégraphie sans fil paraît donc peu probable.

En 1904, M. Walter et le professeur Ewing brevetèrent un détecteur magnétique fondé sur la découverte que les courants oscillants le long d'un fil d'acier fin augmentent son hystérésis. Une description de cet appareil fut donnée en 1904 à la Société royale ⁽¹⁾, et nous en extrayons les passages suivants :

« Il nous fut possible de mettre en évidence le changement dans l'hystérésis en appliquant le principe employé dans un appareil ⁽²⁾ in-

⁽¹⁾ *Proc. Roy. Soc.*, vol. LXXIII, février 1904.

⁽²⁾ *Journ. Inst. Electr. Engineers*, vol. XXIV, p. 398-430 (1895).

venté, il y a quelques années, par l'un de nous, pour la mesure mécanique de l'hystérésis. Dans cet appareil, l'hystérésis est mesurée par le couple mécanique entre le champ magnétique et le fer, quand on fait tourner soit le fer, soit l'aimant produisant le champ. Par exemple, si le champ tourne, le fer tend à être attiré avec lui, comme conséquence de l'hystérésis dans les changements du magnétisme, et, si le mouvement est empêché à l'aide d'un ressort de tension (ou de tout autre moyen de contrôle), il prend une position déviée. Supposons qu'on fasse agir sur le fer des oscillations : tout changement dans l'hystérésis occasionnera un changement correspondant dans la déviation. Nous supposons, d'accord avec les vues généralement admises que les oscillations diminuent l'hystérésis, que leur présence serait révélée par une diminution dans la déviation.

« Dans cette hypothèse, un appareil d'expérience fut établi, comportant un électro-aimant qu'un moteur électrique faisait tourner autour d'un axe vertical.

« Les armatures de l'aimant étaient évidées circulairement, et entre elles était suspendu, par une bande de bronze phosphoreux, une bague composée de trois petits anneaux plats de fer doux, attachés ensemble, et pourvus à leur partie inférieure d'un pivot. La bague pouvait tourner librement à l'intérieur de deux bobines formées de fil fin de cuivre, le plan de l'enroulement étant perpendiculaire à celui de la bague. Ces bobines étaient traversées par des courants oscillants, produits de la façon ordinaire à l'aide d'un éclateur.

« Dans les premières expériences, on remarqua une très petite déviation de la position correspondant à l'hystérésis normal, indiquant, comme on s'y attendait, une diminution de l'hystérésis au passage des oscillations. L'appareil fut également essayé en remplaçant les oscillations par un courant alternatif de 100 périodes, avec le résultat que la déviation due à l'hystérésis normal était presque entièrement annulée.

« Différents essais furent ainsi faits avec des résultats peu intéressants, quand il nous vint à l'esprit qu'il y aurait avantage à faire traverser aux oscillations la partie magnétique elle-même, en la faisant de fil magnétique. On enroula donc une bobine de fil de fer doux isolé, et les extrémités furent soudées aux deux bouts de l'axe, qui était lui-même isolé au centre, sa partie supérieure portant le ressort de contrôle, et sa partie inférieure plongeant dans du mercure d'où partait une connexion aboutissant à l'autre borne. En faisant passer des oscillations à travers cette bobine, on arriva à un résultat remarquable et inattendu. La variation de déviation était beaucoup plus marquée que dans le cas précédent, et avait lieu en sens opposé, indiquant un accroissement et non une diminution de l'hystérésis. Par la suite, on employa de l'acier dur au lieu de fer doux, et l'on nota un effet beaucoup plus accentué dans le même sens, celui de l'augmentation d'hystérésis.

« Ces résultats encourageants nous décidèrent à continuer les expériences dans le même sens, en abandonnant l'autre mode, où il s'agissait d'une diminution de l'hystérésis. La première bobine construite avait

environ 8 millimètres de diamètre extérieur et environ 6^m^m,5 de hauteur utile de fil. Le fil enroulé était un fil de fer n° 32 de la jauge, à deux couches de coton. On s'est aussi servi de fil n° 40 et 46, ce dernier ayant donné les meilleurs résultats.

« On remarqua bientôt que tout moyen ayant pour effet d'augmenter le courant oscillant dans les fils, comme celui consistant à enrouler la bobine avec deux fils d'un nombre de tours légèrement différent, était avantageux et donnait une plus grande déviation. On essaya aussi d'enrouler sur la bobine parallèlement au fil magnétique un fil fin de cuivre, d'abord avec les extrémités isolées, puis avec les extrémités soudées ensemble. On observa un accroissement notable de déviation quand le fil secondaire était fermé sur lui-même, ce qui montrait que la nature magnétique du fil lui-même influait. En conséquence, une bobine fut bobinée en fil d'acier isolé, le fil étant doublé sur lui-même. Cet enroulement non inductif donna de beaucoup les meilleurs résultats et est uniquement employé, sauf quand on cherche des effets spéciaux.

« L'appareil, bien que décrit comme détecteur d'oscillations électriques, est aussi propre à mesurer qu'à déceler et donne des indications quantitatives aussi bien que qualitatives : il peut se régler depuis une sensibilité du même ordre que celle d'un cohéreur moyen jusqu'à une insensibilité presque complète à de fortes étincelles dans la même chambre.

« Dans l'appareil représenté sur la figure 54, l'électro-aimant a la forme d'un anneau pouvant tourner autour d'un axe vertical et muni à l'intérieur de deux longues pièces polaires M, M en forme de coin, le courant étant transmis aux enroulements par des balais frottant sur les bagues isolées inférieures. L'aimant est entraîné par un électromoteur : la vitesse la plus favorable est de 5 à 8 révolutions par seconde, mais l'électro-aimant peut être remplacé par un système à aimant permanent

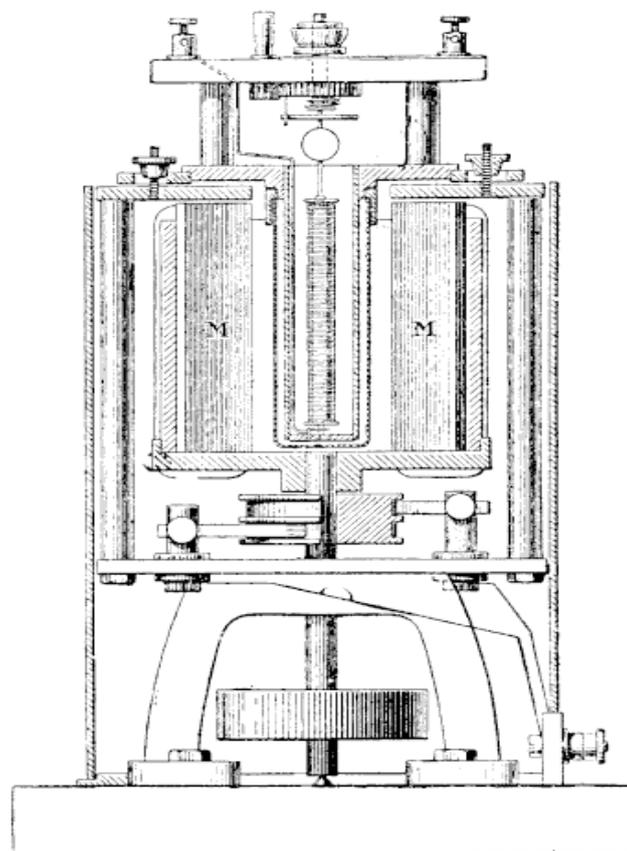


FIG. 54.

donnant le même champ. Un cadre extérieur à l'aimant supporte la platine portant la bobine axée et ses dispositifs de centrage. La bobine elle-même est en os et a environ 6 centimètres de long. Elle est munie d'un axe d'acier à chaque extrémité, portant sur des coussinets, les deux parties de l'axe étant isolées. L'enroulement, qui est autant que possible non inductif, est formé d'environ 500 spires de fil d'acier étiré, n° 46 de la jauge, isolé à la soie. La bobine est plongée dans du pétrole ou dans un mélange de pétrole et d'huile lourde qui remplit le double but d'augmenter l'isolement et de produire l'amortissement nécessaire pour rendre fixe la déviation due à l'attraction de l'aimant tournant. Les lectures sont faites à l'aide d'un spot lumineux, comme pour les galvanomètres à miroir parlant, mais on a prévu également un siphon recorder, et toute espèce de contact pour manœuvrer un relais peut être employée.

« Le détecteur, ainsi qu'on l'a déjà dit, donne des mesures quantitatives et parfois la déviation peut être trop grande pour être lue sur l'échelle. Dans ce but, on a prévu un shunt permettant de régler la déviation.

« Pour son emploi en télégraphie sans fil, l'appareil a l'avantage de donner des mesures. On n'a point besoin d'insister sur les facilités qui en résultent, par exemple, pour le réglage. »

M. Walter a plus récemment inventé un autre type de détecteur magnétique auto-régénérable basé sur un principe tout à fait différent et capable de produire des courants de même sens — c'est-à-dire continus — quand il est excité par les oscillations. Ce détecteur est en théorie un progrès sur les précédents et je reproduis, avec sa permission, la description qu'il en a donnée dans un rapport à la Société royale en avril 1906 (1).

« La méthode a été le résultat d'expériences en relation avec un appareil précédemment décrit (2) et ayant pour but de déterminer la cause de l'accroissement des pertes par hystérésis résultant du passage d'oscillations. On trouva que cette augmentation est due en grande partie, sinon en totalité, à l'augmentation d'induction produite, la perte correspondant à cette induction ainsi augmentée étant plus grande que celle correspondant à l'intensité du champ. D'après cela, on pensa que cet accroissement d'induction pourrait être utilisé à produire des courants continus de même sens; il suffisait de créer une force électromotrice de même sens (commutée) en faisant couper à des conducteurs les lignes de force d'un champ magnétique; en faisant alors agir les oscillations sur une masse magnétique soumise à des inversions d'aimantation dans ce champ, on augmentait ainsi la force électromotrice engendrée; on opposait une deuxième force électromotrice égale à la première de telle sorte qu'il

(1) *Proc. Roy. Soc. of Edinb.*, 20 novembre 1905.

(2) *Elettricità*, p. 445, 15 mai 1905.

n'y eût pas normalement de différence de potentiel extérieure. Ainsi, on devait obtenir des courants continus de même sens pendant le passage des oscillations dans la masse magnétique.

« Un appareil expérimental fut réalisé suivant ces principes; la figure 55 en donne une reproduction schématique. Deux bobines d'ébonite B, B, montées sur le même axe, tournent dans le champ de deux aimants permanents en fer à cheval NS, N₁S₁, ces bobines étant bobinées de façon semblable à celles précédemment décrites avec environ 4 mètre de fil d'acier de résistance convenable. Un système de deux bobines W, W', à angle droit l'une de l'autre et d'une centaine de spires, est placé sur chaque bobine, à angle droit du plan des spires d'acier, comme dans une armature à tambour; les bobines correspondantes, c'est-à-dire W et W₁, W' et W'₁, sont connectées de telle sorte que les forces électromotrices engendrées sont égales et opposées. Les extrémités des enroulements sont connectés aux segments d'un collecteur à quatre lames C. Les enroulements en fil d'acier des deux bobines sont exactement identiques, les extrémités de l'un sont isolées, et celles de l'autre sont connectées à une paire de bagues r, r et de balais par lesquels les oscillations sont amenées.

« En essayant l'appareil dans les conditions normales, avec l'armature entraînée par un petit moteur électrique, et sans passage d'oscillations, il n'y avait aucune différence de potentiel aux balais, le zéro d'un galvanomètre sensible Ayrton-Mather connecté aux bornes T, T restant invariable. Au passage des ondes, on obtenait une déviation constante du galvanomètre dans une direction correspondant à un accroissement de force électromotrice, engendrée par l'armature (bobine) influencée par les oscillations. Si les oscillations cessent, le galvanomètre revient au zéro. L'effet était naturellement très faible dans les premières expériences, mais on a trouvé qu'en proportionnant convenablement les enroulements magnétiques et en réglant le nombre de spires de l'armature, on peut obtenir une sensibilité considérable. La vitesse normale était d'environ 8 révolutions par seconde; de plus grandes vitesses donnaient un plus grand effet, mais le zéro n'était plus aussi constant.

« Le modèle reproduit ne donne pas les meilleurs résultats, sa forme ayant été choisie seulement pour des motifs de construction. Une grande partie du fil d'armature est inutile, et on a construit un nouveau type,

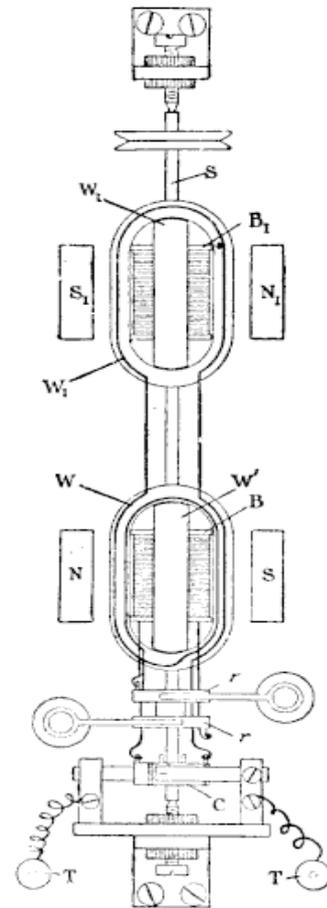


FIG. 55.

où les armatures ressemblent à de petits anneaux de Gramme et où le fil est plus complètement utilisé.

« Les résultats obtenus avec le premier appareil ont donné l'idée que la masse magnétique pourrait être logée autre part dans le circuit de M, par exemple en B (fig. 56), et soumise à de lentes inversions d'aimantation à la vitesse la plus favorable; une armature à anneau ordinaire A pourrait alors être employée, cette dernière pouvant tourner à une vitesse beaucoup plus grande, de façon à donner, pour des oscillations données, une plus grande différence de potentiel; deux générateurs identiques sont naturellement, comme dans la méthode précédente, opposés l'un à l'autre. Les quelques expériences faites dans ce sens n'ont cependant pas donné de bons résultats jusqu'à présent, mais cela semble être dû plutôt à des défauts d'appareils qu'à la méthode. »

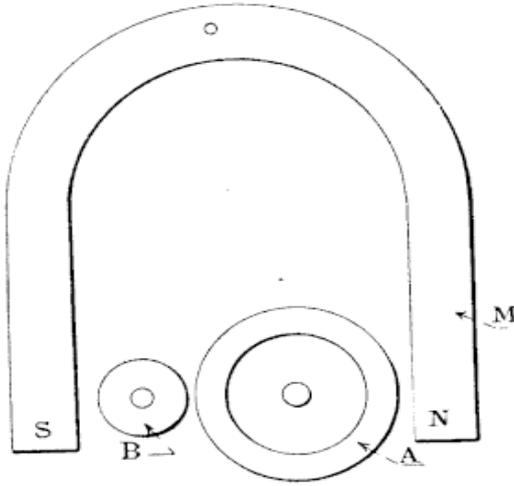


FIG. 56.

Le D^r H. Eccles a étudié récemment le phénomène dans des conditions très voisines de celles de la télégraphie sans fil actuelle. Il m'a permis de faire l'extrait de son travail :

« Dans les expériences que nous allons décrire, on a fait un effort pour tourner les difficultés provenant du *skin effect*. On a utilisé des oscillations si faibles qu'elles intéressaient seulement les couches extérieures des fils de fer; les parties centrales des fils de fer n'ont donc pas été utilisées.

« Des difficultés considérables résident aussi dans la manière de produire des oscillations d'un caractère invariable et bien déterminé. Mairain, dans la plus grande partie de ses travaux sur ce sujet, paraît avoir utilisé les oscillations passant à travers plusieurs spires en série avec une bouteille de Leyde qui était alimentée par une bobine d'induction et produisait des étincelles fortes et continues. Russell ⁽¹⁾, dans quelques expériences, soumettait le fer aux oscillations traversant une bobine connectée directement en série avec une petite bobine d'induction. Cette dernière méthode nous paraît soumettre le fer à un traitement très violent d'une nature dont il est difficile de se rendre compte avec précision; car il est impossible de savoir de combien les simples surtensions secondaires dépassent en importance les oscillations véritables. Piola ⁽²⁾ travaillait avec des oscillations très amorties, car il avait trouvé qu'elles

(1) *Proc. Roy. Soc. A*, vol. LXXVII, avril 1906.

(2) WALTER et EWING, *Proc. Roy. Soc.*, vol. LXXIII, p. 420 (1906).

donnent le maximum d'effet. Il avait en effet, après Rutherford, utilisé ce fait à la détermination de l'amortissement d'un circuit. Mais, dans les expériences actuelles, les causes d'erreur ont autant que possible été évitées en employant un seul train d'ondes au lieu d'une suite ininterrompue de tels trains, et des oscillations aussi peu amorties que possible.

« Le présent travail ne s'occupe que d'oscillations dont le champ magnétique est dans la direction du champ principal.

« Dans ces expériences, de l'acier très doux suédois, ancien, ne venant pas d'être étiré, fut soumis un grand nombre de fois à chaque cycle magnétique choisi (comme dans les essais ordinaires de magnétisme) jusqu'à ce qu'on atteignît ce qu'on peut appeler un état cyclique. On donnait alors au champ toute valeur désirée, et le fer était soumis à un seul train d'ondes. Pour cela, les oscillations étaient engendrées dans un serpentín entourant le fil. Le changement d'aimantation résultant était indiqué par la déviation d'un magnétomètre à miroir. Ces essais étaient répétés un certain nombre de fois pour chaque point de la courbe cyclique. Les chiffres donnés dans le tableau ci-dessous sont donc la moyenne d'un grand nombre d'essais.

Dans le détail, l'appareil adopté consistait en deux solénoïdes droits ayant chacun 3.270 spires de fil de cuivre n° 20 enroulé en dix couches sur une longueur de 59 centimètres sur un tube de laiton fendu. Ils étaient placés horizontalement sur la même ligne magnétique est-ouest, mais de chaque côté d'un magnétomètre à miroir. L'aiguille du magnétomètre était sur l'axe commun des deux solénoïdes. Les solénoïdes étaient connectés en série et placés de telle sorte que, quand un fort courant les traversait, l'aiguille du magnétomètre ne bougeait pas. Une résistance liquide, un milli-ampèremètre Weston, des interrupteurs et des commutateurs ainsi qu'une batterie de six accumulateurs complétaient le circuit du solénoïde. La bobine siège des oscillations était formée de 1.252 spires de fil de cuivre n° 26 enroulé sur une seule couche sur un tube de verre de 70 centimètres de long et 0^m,5 de diamètre extérieur, et avait une résistance d'environ 3 ohms. Toute la bobine était entourée de papier paraffiné et placée dans le tube du solénoïde Est.

« Le fil de fer étudié était en fer de Suède non recuit, de 0^{mm},749 de diamètre, et était employé en longueurs de 56 centimètres. Sa courbe caractéristique est donnée dans la figure 57. Le magnétomètre était formé d'un fil de soie avec miroir suspendu portant quatre très petits aimants; les lectures étaient faites sur une échelle distante de 88 centimètres.

« Le but atteint en employant des solénoïdes jumelés est évident. En plaçant des quantités égales de fil de fer dans chaque solénoïde et en réglant avec soin leurs positions, on pouvait obtenir une très faible variation du magnétomètre quelles que fussent les variations magnétiques que subissait le fer, celui placé dans un solénoïde compensant l'effet de celui placé dans l'autre.

« Il était alors possible d'augmenter considérablement la sensibilité

du magnétomètre. On y arrivait en réduisant le champ magnétique directeur de l'aiguille à l'aide d'un courant permanent auxiliaire.

« Dans les expériences, on employa trois fils de fer isolés l'un de l'autre et attachés en un faisceau, placés dans chaque solénoïde, le fais-

ceau du solénoïde Est étant naturellement placé dans le tube de verre supportant la bobine parcourue par les ondes.

« Les extrémités intérieures des fils de fer étaient à une distance de $9^{\text{m}},3$ de l'aiguille du magnétomètre. Le champ à l'aiguille était réduit à $0,034$ unité C. G. S. Avec ces dispositions, on arrivait à une sensibilité telle que, certains jours du mois d'août, on perçut les effets d'éclairs éloignés, par leur effet sur le fer de la bobine destinée au passage des oscillations,

« Les oscillations employées étaient produites en connectant l'extrémité Est libre de la bobine des oscillations, c'est-à-dire l'extrémité la plus écartée du magnétomètre, à un éclateur micrométrique. L'autre extrémité de la bobine des oscillations restait isolée. Les bornes de l'éclate-

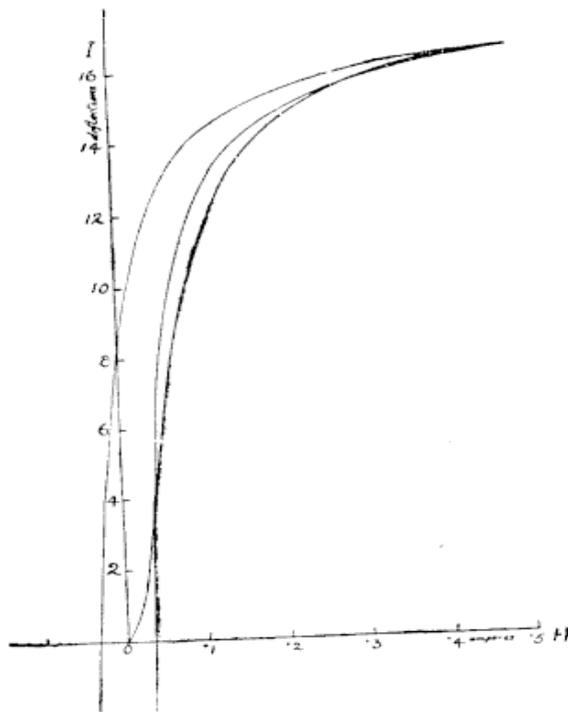


FIG. 37.

teur étaient connectées à celles d'une petite machine à influence, la borne non connectée à la bobine d'oscillation étant mise à la terre. Quand la poignée de la machine d'influence était tournée d'un certain angle (dépendant de l'éclateur) à une vitesse facile à repérer, il se produisait une étincelle qui excitait des oscillations dans la bobine. La distance d'étincelle à laquelle on s'arrêta fut d'environ $1/2$ millimètre. Il était alors possible d'obtenir toujours la même déviation du magnétomètre pour chaque étincelle, pourvu que l'effet des oscillations précédentes fût annulé en soumettant le fer à un cycle d'aimantation. Comme ces étincelles étaient insonores, leur présence était révélée par la déviation du magnétomètre. La période calculée des ondes stationnaires de la bobine d'oscillations était de $5,7 \times 10^{-7}$ seconde.

« La série type des opérations était la suivante : Le fer était démagnétisé par des inversions d'aimantation. Une amplitude du cycle étant alors adoptée, le fer était soumis plusieurs fois à ce cycle. Cette dernière opération était arrêtée au point du cycle adopté pour les opérations, et la lecture du magnétomètre faite. On faisait passer une étincelle, et la lecture du magnétomètre était faite de nouveau après trente secondes.

On soumettait alors le fer à un cycle complet finissant au même point, faisait passer une étincelle, etc. Généralement on étudiait cinq ou six points de chaque cycle, chaque point comportant six observations. Nous avons, cependant, noté ici les effets de l'étincelle comme si les observations avaient été faites sur la moitié ascendante de la courbe d'hystérésis : les chiffres donnés sont en réalité les moyennes d'effets mesurés à des points symétriques par rapport à l'origine des branches ascendantes et descendantes de la courbe d'hystérésis (tableau I).

TABLEAU I

Courant en milliampères	-150	-100	-75	-50	-40	-30	-20	0	20	30	40	50	75	100	150	200
50 cycles...	"	"	"	"	0,04	0,10	0,13	0,28	0,38	0,55	0,60	0,55	"	"	"	"
100 — ...	"	"	"	0,27	"	"	"	0,68	1,08	"	"	1,26	1,20	1,18	"	"
150 — ...	"	0,20	"	0,44	"	"	"	0,92	"	1,32	"	1,51	1,62	1,57	1,19	"
200 — ...	0,20	0,36	"	0,68	"	"	"	1,22	"	1,47	"	1,71	1,75	1,55	0,93	0,38

« Dans ce tableau, les chiffres donnés peuvent être ramenés à des mesures absolues ainsi : les nombres au sommet de chaque colonne représentant le courant à travers le solénoïde en milliampères donnent, multipliés par 0,0696, le champ magnétique en unités C. G. S. appliqué au fer. Les déviations portées dans les colonnes donnent la variation de force polaire, due à l'étincelle en les multipliant par 0,017 ; ou la variation par unité de volume d'intensité d'aimantation en les multipliant

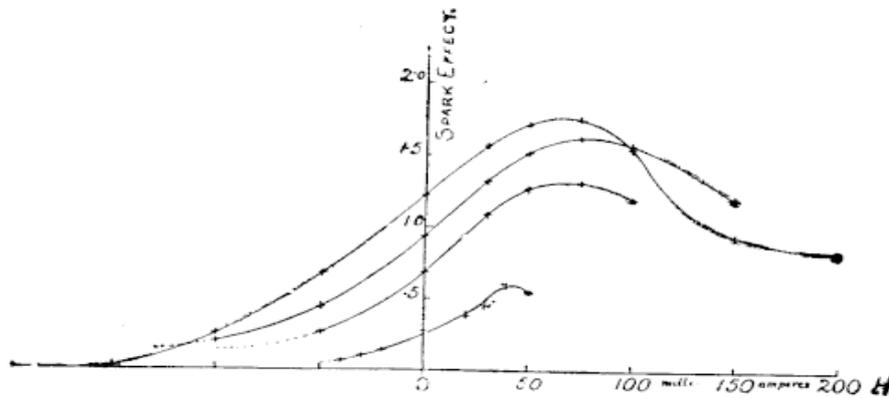


FIG. 58.

par 1,27, ou la variation totale de moment magnétique en les multipliant par 0,940.

« La figure 58 est tracée d'après le tableau précédent. Les courbes montrent clairement que pour des cycles d'amplitudes croissant dans les limites étudiées, l'effet de la même étincelle est accru. Les courbes présentent des maxima très nets. Il est en outre évident que l'importance de l'effet en tout point est étroitement liée à l'allure de la courbe

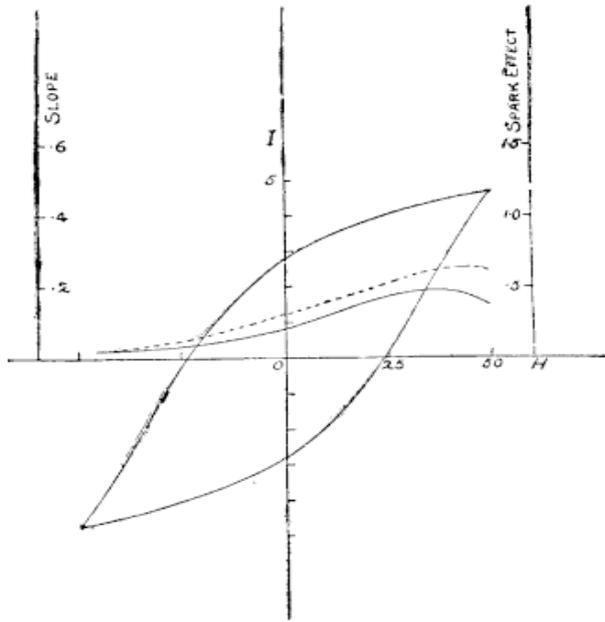


FIG. 59.

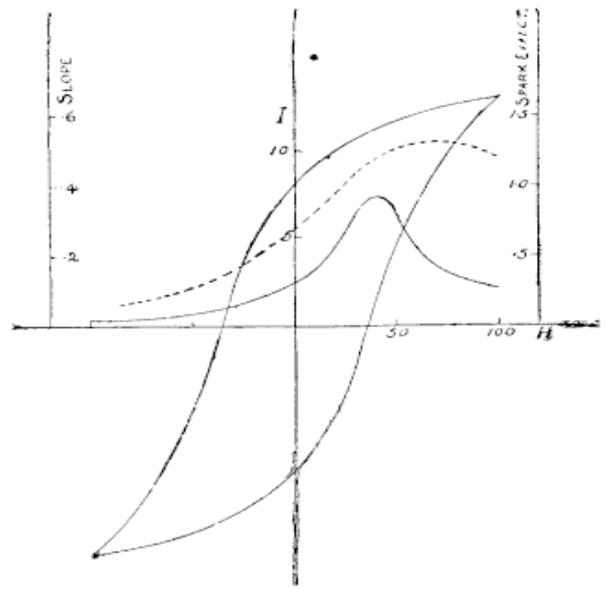


FIG. 60.

La courbe pointillée montre l'effet de l'étincelle.

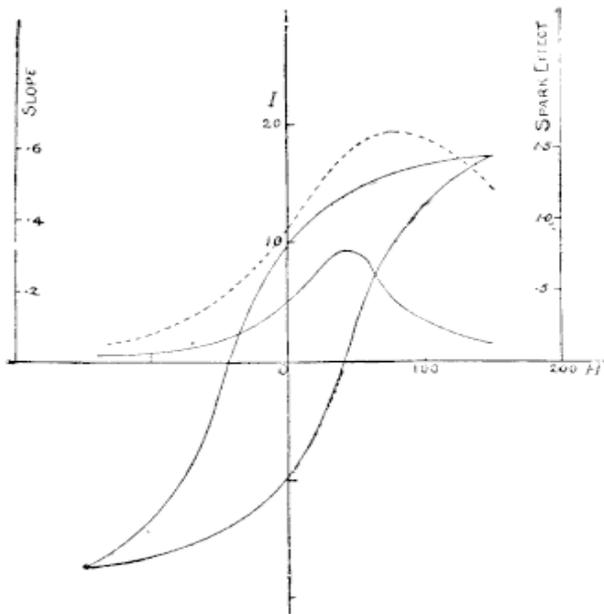


FIG. 61.

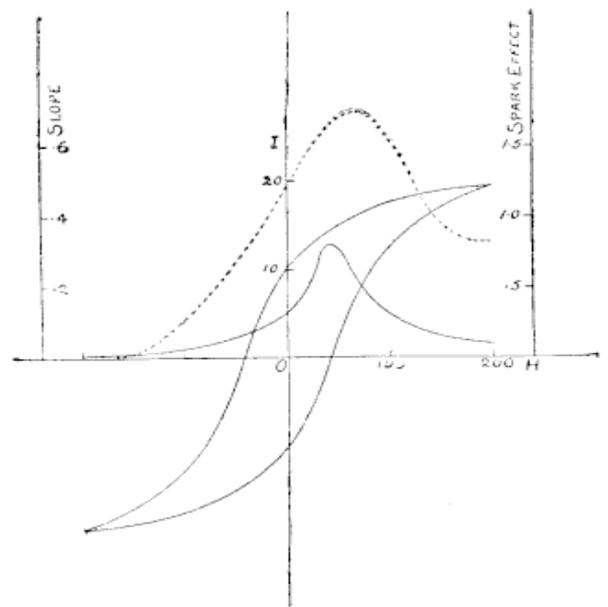


FIG. 62.

La courbe pointillée montre l'effet de l'étincelle.

d'hystérésis. En somme, les courbes corroborent le fait — déjà mentionné dans un brevet en 1902 par E. Wilson — que la sensibilité du fer aux oscillations est la plus grande dans l'état représenté par le point d'inflexion de la courbe du magnétisme. Pour permettre d'examiner plus à fond la question, les courbes représentant l'effet de l'étincelle sont reproduites dans les figures 59, 60, 61, 62, chacune le long de la courbe ordinaire, déduite du cycle d'aimantation. Pour permettre de définir l'état magnétique du fer, la courbe d'hystérésis correspondante est reproduite sur chaque diagramme. Ces courbes furent déduites de plusieurs expériences, le champ terrestre contrôlant l'aiguille du magnétomètre (le facteur de réduction pour I est 67,5).

« Dans ces figures, les abscisses pour toutes les courbes sont en milliampères (à multiplier par 0,0696 pour avoir des unités C. G. S.). Les figures ont été tracées de sorte que, excepté pour les courbes d'hystérésis, des ordonnées équivalentes dans les différentes figures représentent des effets absolument égaux. Les facteurs de réduction pour les courbes affectées par l'étincelle sont donnés au tableau I. Dans toutes les courbes, les ordonnées donnent immédiatement à peu près le changement d'intensité d'aimantation par 0,001 C. G. S. d'augmentation du champ. Mais les ordonnées de cycles d'hystérésis sont réduites 21 fois dans la figure 59, 42 fois dans la figure 60, 63 fois dans la figure 61, 84 fois dans la figure 62 ; elles ne sont donc pas directement comparables entre elles ni avec les autres courbes.

« En revenant aux courbes ordinaires et à celles modifiées par l'étincelle, on remarque que l'effet de l'étincelle n'est pas une simple fonction de l'amplitude du cycle. Les courbes montrent en outre que l'effet maximum de l'étincelle est plus grand dans les cycles de plus grande amplitude ; et non seulement parce que les courbes d'hystérésis sont plus redressées dans les grands cycles que dans les petits, mais aussi parce que dans les petits cycles l'effet des oscillations est, pour des raisons inconnues, beaucoup plus petit que la courbe ordinaire ne le ferait espérer.

« On doit mentionner que dans ces essais l'effet de changer le signe de la charge donnée à la bobine d'oscillation a été souvent essayé. Il n'y a jamais eu de différence appréciable dans la déviation du magnétomètre. L'amortissement des oscillations a donc dû être très faible. »

Détecteur Sella-Tiéri. — Un type de détecteur très intéressant a été inventé par Sella et perfectionné par Tiéri. Dans sa forme définitive, il comprend un noyau de fils de fer doux, soudés ensemble à leurs extrémités, et placé dans un tube de verre plus court que le noyau. A l'extérieur du tube sont bobinées deux bobines connectées respectivement à l'antenne et à la terre et au téléphone. Un courant passe le long du noyau, qui est en même temps tordu et détordu par un dispositif mécanique. Le noyau est ainsi aimanté circulairement par le courant et, par l'effet des torsions continues, est rendu sensible au champ oscillant.

longitudinal produit par les oscillations. Le téléphone enregistre les variations subites d'aimantation se produisant à la réception d'un signal.

Téléphone « hétérodyne ». — Fessenden a inventé un récepteur ingénieux très pratique pour la télégraphie sans fil. C'est une sorte de téléphone ayant deux enroulements, dont l'un est solidaire de la membrane et l'autre est fixe. Le courant reçu par l'antenne circule dans l'un d'eux et l'autre est parcouru par un courant local d'une fréquence peu différente de celle du courant reçu. L'action résultante de ces deux courants est une série de battements donnant une note de fréquence audible au téléphone (*Voy. Téléphonie sans fil* de E. Ruhmer).

CHAPITRE VI

DÉTECTEURS THERMIQUES DE COURANTS OSCILLANTS DE HAUTE FRÉQUENCE

Un grand nombre d'appareils employés mesurent l'énergie des courants oscillants dans le circuit de réception, et non le voltage ou le courant comme le font les cohéreurs ou les détecteurs magnétiques. Leur mode d'action repose sur la rapidité avec laquelle de la chaleur est dégagée dans un fil fin et court à travers lequel passent les courants oscillants de haute fréquence.

L'énergie des vibrations électriques peut être mesurée par leur effet calorique sur un conducteur. Dans quelques types de détecteurs thermo-électriques, la variation avec la température de la résistance de fil fin dans lequel l'énergie est transformée en chaleur est utilisée comme indicateur; dans d'autres, la chaleur du fil agit sur un couple thermo-électrique faisant partie du circuit d'un galvanomètre. Une troisième classe ne convenant qu'aux courants de quelque importance utilise la dilatation du fil. A la première classe appartiennent le barreter du professeur Fessenden, le pont bolométrique du lieutenant Tissot; à la deuxième classe, le thermogalvanomètre de Duddell et beaucoup d'autres; à la troisième classe se rattachent les ampèremètres thermiques dont la construction est basée soit sur l'élongation directe d'un fil, comme dans le voltmètre de Cardew, soit sur la détorsion d'un ressort à spirale, comme dans les instruments de Ayrton et Perry. Il existe également une quatrième classe, très employée en Allemagne, dans laquelle l'échauffement du fil est mesuré par la dilatation de l'air dans une ampoule entourant le fil.

La méthode thermométrique est la seule qui se prête à des mesures exactes du courant ou de l'énergie, et, comme la vitesse de production de chaleur est proportionnelle au carré du courant, le détecteur thermométrique peut être facilement gradué de façon à donner directement le courant efficace. Les cohéreurs et les tubes à vide n'agissent que quand le voltage s'élève suffisamment, les détecteurs magnétiques que si le

courant acquiert une certaine valeur, mais le thermogalvanomètre indique dans toute son échelle le courant réel efficace. En 1902, le professeur Fessenden a fait breveter un type de récepteur thermique qui s'est révélé être du même ordre de sensibilité que les autres détecteurs utilisés en T. S. F. Un petit morceau de fil de platine extrêmement fin,

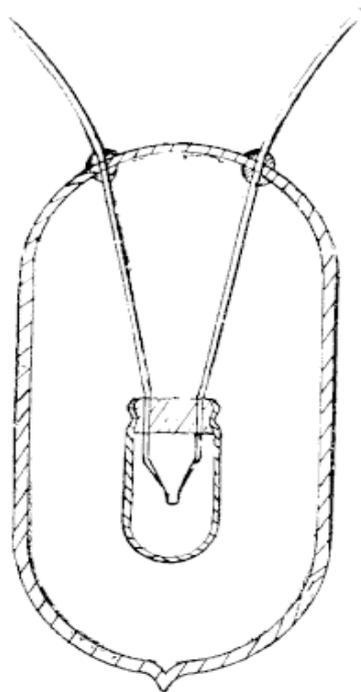


FIG. 63. — Barreter de Fessenden ou détecteur thermique.

enfermé dans un tube à vide, est connecté à l'antenne et à la terre et forme un côté d'une sorte de pont de Wheatstone. Les oscillations dans le récepteur chauffent le fil de platine et, comme celui-ci a une très faible capacité calorifique et une très petite surface de rayonnement, et qu'il est dans le vide, sa température augmente rapidement. L'élévation de température occasionne un accroissement de résistance qui est indiqué par le pont de Wheatstone ou par un siphon recorder ou tout autre moyen.

Le système a donné une grande sécurité de fonctionnement, mais le fait qu'il fonctionne d'après l'énergie reçue et non simplement d'après le voltage ou le courant le rend peu apte à concourir avec les autres détecteurs pour les grandes distances; car si le voltage efficace des oscillations reçues tombe proportionnellement à la distance, l'énergie du courant oscillant induit dans le récepteur décroît proportionnellement au

carré de cette distance. Comme détecteur, son efficacité variera par conséquent proportionnellement au carré de la distance. J'apprends que le professeur Fessenden a maintenant abandonné ce détecteur, du moins pour les longues distances et l'a remplacé par un dispositif électrolytique qui sera décrit dans un prochain chapitre.

Pont bolométrique de Tissot. — Le lieutenant Tissot, de la marine française, a imaginé une sorte de bolomètre pour la mesure de courants reçus en télégraphie sans fil et a effectué avec lui un grand nombre de mesures intéressantes. Je cite avec sa permission cet extrait d'un rapport présenté par lui à l'Association des Ingénieurs électriciens en 1906 :

« Le principe du bolomètre de Langley est bien connu. Deux fils fins de métal sont placés respectivement dans les deux branches d'un pont de Wheatstone. Une variation de température dans l'un des fils produit

une variation dans sa résistance qui est indiquée par le galvanomètre du pont, celui-ci ayant d'abord été équilibré.

« En appliquant le bolomètre à la réception d'ondes électriques, il est indispensable d'assurer la parfaite isolation calorifique des bras bolométriques, et de localiser l'action des ondes sur un seul bras.

« Pour atteindre ce but, les bras, qui sont en fil droit et courts — 1^m,5 de fil de platine de 10^e dans les modèles les plus sensibles — sont placés très près l'un de l'autre dans la même ampoule.

« Dans un des modèles employés, ces bras sont dans le vide. Le récipient dans lequel ils sont contenus est aussi étroit que possible et est enfermé dans deux enveloppes successives de laiton argenté entre lesquelles est un petit espace d'air. Le tout est immergé dans une petite ampoule remplie d'eau. Dans un autre type, l'isolement calorifique est obtenu d'une manière plus simple par un tube à vide de Dewar.

« Suivant l'espèce de mesures auxquelles l'appareil est destiné, deux méthodes différentes sont utilisées pour localiser l'effet des oscillations. Dans une de ces méthodes, semblable à celle employée par Rubens, chaque bras du bolomètre est formé de quatre bouts exactement égaux de fil disposés en pont (*fig. 64 et 65*).

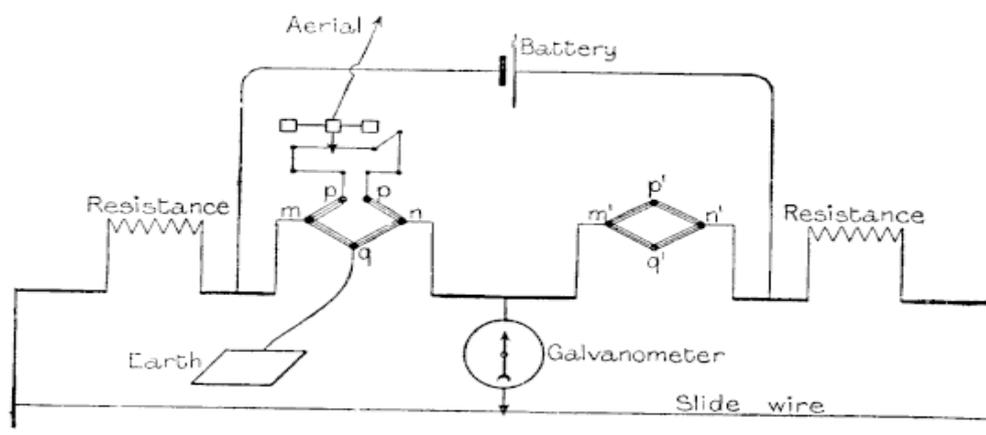


FIG. 64.

« Les résistances de réglage du pont sont ou en *maillagehort* ou en *platinoïde* et sont immergées dans le pétrole. Le réglage du pont principal est assuré au moyen d'un fil à curseur de grand diamètre. L'antenne et la terre sont respectivement connectées aux points *p*, *p* et *q* de la diagonale qui n'est pas dans le circuit du pont principal.

« L'appareil peut être calibré directement avec du courant continu, et peut être employé comme wattmètre (la résistance étant connue et la self-induction négligeable). La méthode employée pour les mesures consiste dans l'observation de la déviation permanente du galvanomètre du pont principal sous l'action des oscillations reçues pendant un temps suffisant. L'antenne et la terre sont ensuite déconnectés, et on les remplace par une source de courant continu capable de fournir le courant

nécessaire au pont bolométrique $mnpq$ pour produire la même déviation du galvanomètre du pont principal.

« Comme il est nécessaire que le dérèglement du pont principal soit dû uniquement à la chaleur dégagée dans le pont auxiliaire $mnpq$, un dispositif extérieur de réglage (une sorte de fil à curseur) fut ajouté au pont bolométrique de manière à réaliser exactement les conditions désirées. Celles-ci sont réalisées quand le galvanomètre donne exactement la même déviation en inversant le courant du pont auxiliaire.

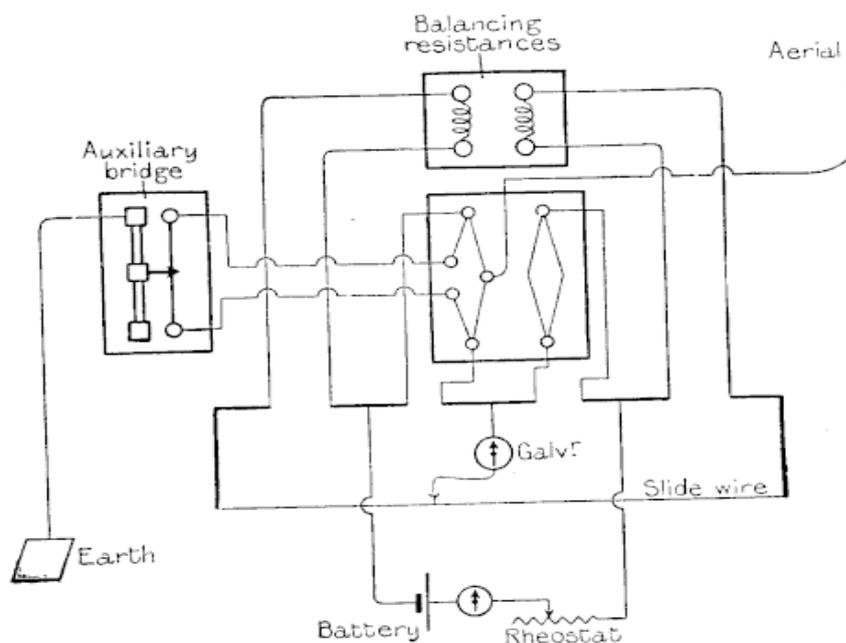


FIG. 65.

« Une autre méthode pour localiser l'effet des oscillations consiste à insérer entre les bras bolométriques, formés chacun d'un seul bout de fil, des sels de protection convenables sans fer et de dimensions déterminées par la pratique. L'antenne et la terre sont alors connectées comme le montre la figure 66. La sensibilité de ces dispositifs dépend naturellement de celle du galvanomètre employé.

« Pour des degrés moyens de sensibilité, on employait un galvanomètre apériodique de d'Arsonval. L'appareil peut alors servir à bord d'un bateau. Où il fallait une extrême sensibilité, on employait un galvanomètre à aiguille mobile (du type de Thomson) avec deux aiguilles verticales parallèles, la résistance du galvanomètre étant choisie égale à celle de chacun des bras du pont. On pouvait ainsi obtenir des déviations d'environ 10 millimètres avec un courant de 100 microampères (l'échelle étant à 1 mètre de distance).

Si la longueur de l'antenne d'émission A est maintenue constante, et que l'antenne de réception B varie progressivement, on peut remarquer

que les déviations du bolomètre atteignent un maximum pour une certaine valeur de B . Le système d'antennes $A B$ sont alors en résonance et ont la même période propre.

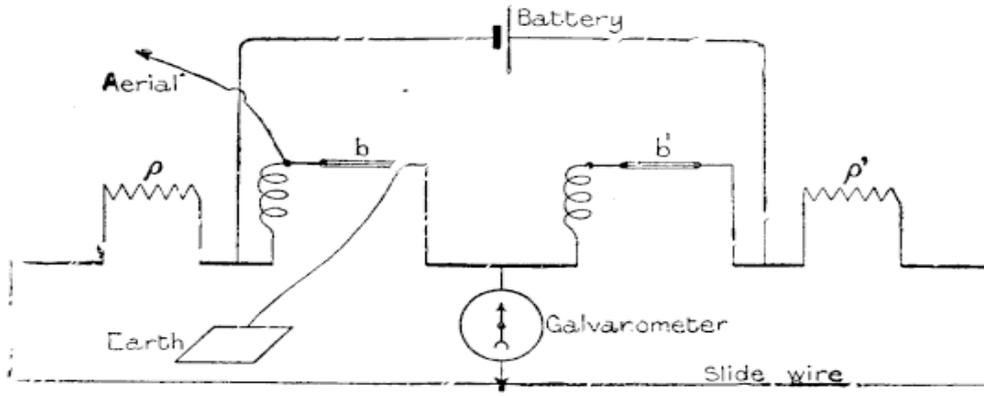


FIG. 66.

« Quand les antennes A et B ont la même forme, si elles sont toutes deux constituées par exemple de fils simples ou de quatre fils parallèles, on trouve que la résonance a toujours lieu quand les longueurs sont égales, quelle que puisse être la courbure ou l'inclinaison des antennes. »

Le professeur Braun, de Stasbourg, et d'autres chercheurs allemands ont fait un grand usage dans leurs expériences d'un ampèremètre thermique du type des thermomètres à air inventé en 1827 par Snow Harris. Comme tous les autres appareils thermiques, il mesure la température constante atteinte par le fil quand la production de chaleur et le rayonnement se compensent. Un fil court et fin est placé dans l'air à l'extrémité d'un tube scellé en V ; un liquide emplit la partie inférieure du tube en V , dont l'autre branche est graduée. La chaleur dilate l'air et l'élévation de la colonne de liquide indique la température et par suite le courant. Cet instrument est simple de construction, mais il faut appliquer beaucoup de corrections aux lectures avant d'obtenir la valeur réelle du courant. Il est très employé comme indicateur dans les mesures de longueur d'onde, où on n'a besoin que de connaître les valeurs relatives du courant.

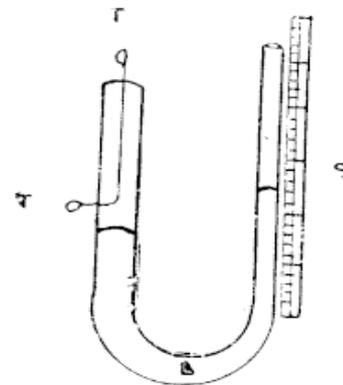


FIG. 67. — Thermogalvanomètre de Snow-Harris.

TT, extrémités en fil fin. — L, liquide dans le tube en V . — S, échelle.

Thermo-galvanomètre et ampèremètre de Duddell. — Dans le but de mesurer le courant fourni par un alternateur de haute fréquence,

donnant environ 120.000 périodes par seconde, M. Duddell inventa une paire d'appareils qui, à eux deux, pouvaient donner des mesures dans une grande étendue, depuis environ 1 microampère jusqu'à plusieurs ampères. Ces appareils sont portatifs et facilement réglables et sont jusqu'à présent les meilleurs instruments qu'on puisse se procurer pour la mesure des courants ou des voltages de haute fréquence.

Voici la description tirée du rapport présenté par M. Duddell devant la Société physique et publié dans le *Philosophical Magazine* de juillet 1904 :

« Le premier appareil était conçu pour prendre rapidement son équilibre, et était sensible à un faible courant, de sorte qu'on pouvait l'employer comme un voltmètre rapide.

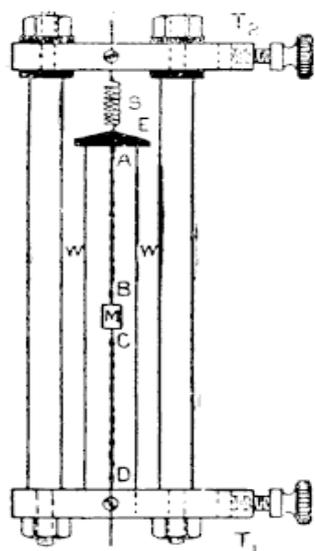


FIG. 68.

C'est essentiellement un ampèremètre très sensible Ayrton et Perry à ruban tordu qui a été perfectionné par l'addition d'un système de compensation pour la température qui amoindrit la déviation du zéro quand la température de tout l'instrument change. Les parties essentielles de l'appareil sont représentées dans la figure 68. ABCD est la bande tordue de Ayrton Perry, la partie AB étant tordue dans une direction, la partie CD dans l'autre. Au centre sont placés un miroir M et une petite vanne d'amortissement en mica. Cette bande est tendue dans un cadre formé d'un bloc de laiton T_1 portant une borne et une pièce d'ébonite E; les côtés du cadre sont formés de fils W, W. Ce cadre est tendu lui-même à l'aide d'un ressort en spirale fixé à l'autre bloc T_2 .

La bande tordue ABCD et les fils W, W sont en même métal; en fait, la bande ABCD est faite des mêmes fils que W, mais aplatis, de sorte que

la bande tordue et les fils ont les mêmes coefficients de dilatation.

Si les fils et les bandes augmentent également de température, tout le cadre EWT_1W s'allonge simplement et il n'y a pas de torsion du miroir. Si cependant un courant passe de T_1 à T_2 à travers la bande, il l'échauffe et la détourne, faisant tourner le miroir M. A cause de la finesse de la bande (0,001" platine-argent) chauffée par le courant, l'appareil prend très rapidement son équilibre. La période d'oscillation mécanique est aussi très faible, environ $\frac{1}{15}$ de seconde, de sorte qu'il peut suivre avec sûreté des courants variant entre de faibles limites à la vitesse de un à deux cycles par seconde.

Les données de cet appareil sont : résistance, 29 ohms; courant donnant 25 centimètres de déviation à 100 centimètres de distance de l'échelle, 22×10^{-3} ampère; différence de potentiel donnant 25 centimètres à 100 centimètres de distance de l'échelle, 0,44 volt.

De sorte qu'en supposant que 1 centimètre soit la plus faible déviation mesurable, et $0^{\text{mm}},1$ le plus petit mouvement perceptible,

Le plus faible courant mesurable est... $4,4 \times 10^{-3}$ ampère;
 Le plus faible courant perceptible est... $0,3 \times 10^{-3}$ ampère.

Les watts nécessaires pour produire la plus faible déviation mesurable c'est-à-dire 1 centimètre, se montent à 387 microwatts.

Il est évident que cet appareil très simple a beaucoup d'usages. Il est très facilement installé, ne nécessitant aucune surface particulièrement nivelée, et est très robuste. L'instrument ici présent que j'ai fait il y a trois ans a été souvent transporté tel quel dans la poche.

La self-induction du fil est très faible et le coefficient de température de la résistance du fil est également très faible (Pt-Ag); de sorte que l'appareil peut servir de voltmètre pour mesurer des voltages descendant jusqu'à 0.1 volt, et je l'ai employé en série avec de grandes résistances pour mesurer des voltages allant jusqu'à 10.000 volts. L'appareil peut naturellement être shunté pour la mesure des grands courants; mais, si l'on désire une bonne déviation d'environ 25 centimètres, la chute de voltage dans le shunt, 0,44 volt, est importante. Son principal défaut est qu'il doit être protégé contre les vibrations de l'ordre de $\frac{1}{15}$ de se-

conde, son amortissement étant faible. On y arrive facilement en plaçant l'appareil sur un bloc massif suspendu au moyen de fils et de ressorts comme dans la suspension Julius pour les galvanomètres.

Le deuxième appareil est beaucoup plus délicat et sensible. Il a été conçu originairement pour mesurer des voltages ou des courants très faibles avec des fréquences allant jusqu'à 120.000 périodes par seconde. A cette haute fréquence, l'alternateur que j'ai construit n'avait qu'un très faible débit; il fallait donc, pour faire les expériences, réduire à sa plus faible valeur la puissance nécessaire pour actionner l'appareil. J'ai dénommé cet appareil un thermo-galvanomètre.

Le principe du thermo-galvanomètre est très simple. Il consiste en une résistance chauffée par le passage du courant à mesurer et dont la chaleur radiée tombe sur le couple thermo-électrique d'un radiomicromètre de Boy⁽¹⁾. Dans sa construction primitive, il comprenait une résistance faite de trois ou quatre spires de fil de platine argent $0^{\text{mm}},025$ de diamètre enroulée sur un morceau de mica, et placée aussi près que possible du plateau récepteur des radiations d'un radiomicromètre de Boy construit par la Cambridge Scientific Instrument Cy. Cet appareil était sensible, mais très long à agir, exigeant plus d'une minute pour atteindre la déviation correspondant au courant.

On construisit donc un autre radiomicromètre en suivant les instructions données par le professeur Boy dans son rapport, en munissant l'appareil d'une boucle suspendue beaucoup plus faible qu'à l'ordinaire.

La plaque réceptrice des radiations était également supprimée pour

(1) *Philosophical Transactions of R. S.*, 1889, vol. CLXXX, p. 459.

réduire la quantité de métal à chauffer et la résistance chauffante était placée directement sous le couple thermo-électrique, de sorte que la soudure en recevait de la chaleur à la fois par rayonnement et convection.

La figure 69 représente schématiquement la disposition de l'appareil.

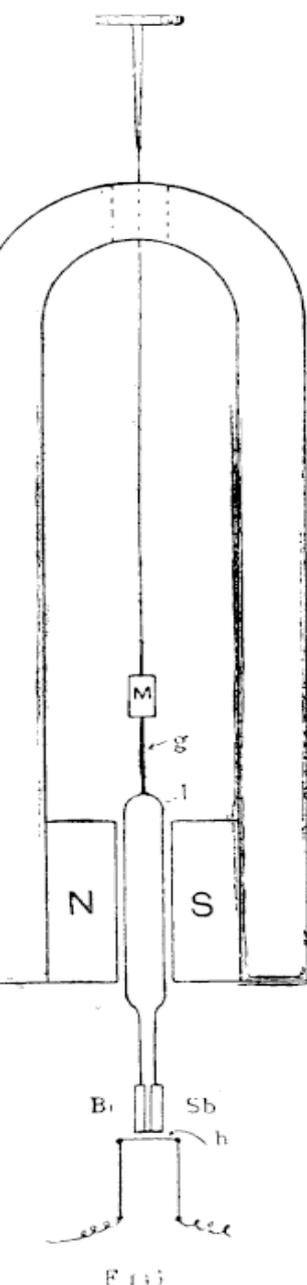
Dans le champ de deux pièces polaires N, S (fig. 69) d'un aimant permanent est suspendue, par un fil de quartz, une boucle de fil b , à l'extrémité inférieure de laquelle est fixé le couple thermo-électrique Bi-Sb.

Cette boucle est surmontée par un axe de verre g et un miroir M. Sous la soudure inférieure du couple est fixée la résistance de chauffage h dont une extrémité est connectée au cadre de l'appareil pour éviter les forces électrostatiques. Le mode d'action de l'appareil est le suivant. Le courant à mesurer traverse h et élève sa température qui élève la température de la soudure inférieure du couple thermo-électrique et produit un courant dans la boucle qui est déviée par le champ magnétique, le couple antagoniste étant produit par la torsion du fil de quartz.

Les données de l'appareil sont : résistance, 18 ohms ; courant donnant 25 centimètres de déviation, l'échelle étant à 100 centimètres 8×10^{-4} ampère ; différence de potentiel donnant 25 centimètres de déviation, l'échelle étant à 100 centimètres, $14,4 \times 10^{-3}$ volts.

Ainsi, en prenant comme plus haut 1 centimètre comme la plus petite déviation mesurable et 0,1 millimètre comme la plus faible déviation perceptible, le plus petit courant mesurable est $1,6 \times 10^{-5}$ ampère ; le plus petit courant perceptible est $0,2 \times 10^{-4}$ ampère ; les watts nécessaires pour produire la plus petite déviation mesurable sont de 0,46 micro-watts.

Les déviations de l'instrument étaient sensiblement proportionnelles au carré du courant ; supposant l'appareil correct pour 100 divisions de déviation, alors les déviations plus élevées avaient besoin d'être augmentées graduellement d'une quotité qui s'élevait à 4 ou 5 divisions pour 400 divisions de lecture, pour que la déviation corrigée fût exactement proportionnelle au carré du courant.



Pour donner une idée du temps que l'appareil exige pour prendre la

déviaton permanente correspondant à chaque courant, le tableau I ci-après donne les déviations à différentes époques après le passage d'un courant de 8×10^{-4} ampère, ainsi qu'après l'arrêt de ce courant, pour montrer le temps nécessaire pour le retour au zéro. On peut voir ainsi que l'appareil atteint sa déviaton définitive après dix secondes, à 1 division sur 500 près, ou, étant donné que c'est un instrument donnant le carré, donne le courant réel à 0,1 0,0 près (tableaux I et II).

TABLEAU I

TEMPS en secondes après la fermeture d'un courant de 8×10^{-4} ampère	DÉVIATION en divisions de l'échelle	TEMPS en secondes après l'interruption du courant	DÉVIATION et divisions de l'échelle
5	500,5	5	1,5
10	501,0	10	1,0
30	501,5	30	0,5
60	502,0	60	0
120	502,0	120	0
180	503,0	180	0

TABLEAU II

Pour une déviaton de 25 à 100 centimètres de l'échelle.

APPAREIL	RÉSISTANCE en ohms	COURANT en microampères	DIFFÉRENCE de potentiel en volts	PUISANCE en microwatts
Thermo-galvanomètre, fil d'or.....	18	800	14,4	11,5
Thermo-galvanomètre, fil de platine sur verre.....	103	346	35,6	12,3
<i>id.</i>	202,5	275	55,6	15,3
<i>id.</i>	363	231	84	19,4
<i>id.</i>	1,071	121	130	15,7
<i>id.</i>	3,367	88	296	26,0
<i>id.</i>	13,910	31	431	13,9
Ayrton-Perry à bande tordue.....	20	22.000	440	9,680

Cet appareil, qui forme pratiquement un galvanomètre sensible pour courants alternatifs, a donné d'excellents résultats même pour les hautes fréquences de 120.000 périodes par seconde. Comme exemple de sa sensibilité on peut citer qu'en envoyant un son dans un récepteur téléphonique de Bell, on engendre un courant suffisant pour envoyer le spot au delà de l'échelle, et que, si le thermo-galvanomètre est connecté aux fils d'un transmetteur microphonique disposé de la manière ordinaire, en sifflant à une distance de 5 à 6 mètres du microphone on

produit des déviations de l'instrument de plus d'une centaine de degrés.

Une série de résistances de chauffage ont été faites et employées dans ce galvanomètre; les résultats obtenus sont donnés dans le tableau II. Les courants, différences de potentiel et puissance sont celles nécessaires pour donner une déviation de $\frac{1}{4}$ de l'échelle, ce qui donne une base très convenable pour comparer les instruments agissant d'après le carré. J'ai ajouté l'appareil à bandes de Ayrton-Perry comme comparaison. »

La dernière classe de détecteurs thermiques ou ampèremètres, reposant sur la dilatation du fil chauffé lui-même, comprend des appareils d'une construction si simple et si analogues aux appareils déjà connus, qu'il n'est pas nécessaire de les décrire ici. Ils ne sont pas suffisamment sensibles pour remplir l'office de détecteurs dans les communications à longue distance. Le thermo-galvanomètre de Duddel, d'autre part, bien qu'un peu paresseux, a une sensibilité comparable à celle du cohéreur, et peut être employé pour des distances considérables. Les lectures de l'appareil étant proportionnelles au carré du courant, il est clair qu'il est plus sensible dans la partie la plus élevée de l'échelle que dans la plus basse.

En résumé, les détecteurs à fil chaud sont peu employés dans la pratique actuelle, mais presque toutes les mesures de l'énergie électrique mise en jeu dans les différents phénomènes de la T. S. F. ont été faites avec leur aide.

A l'Association américaine pour l'avancement des sciences, en 1899, le professeur Fessenden a décrit un appareil de mesure du courant basé sur le même principe que le thermo-galvanomètre de Duddel.

CHAPITRE VII

DÉTECTEURS ÉLECTROLYTIQUES ET DÉTECTEURS RECTIFIANTS

Les détecteurs électrolytiques peuvent être divisés en deux classes principales, toutes deux très employées en télégraphie sans fil. La première classe est du genre anticonhéreur, c'est-à-dire que la résistance est accrue par l'action des oscillations. La seconde classe est du genre des soupapes électriques, et leur action ressemble beaucoup à celle de l'interrupteur Wehnelt. La théorie est très en retard sur la pratique pour ces détecteurs; aussi la première chose à faire est évidemment de donner une description des appareils sans explications. Dans la première classe, le détecteur de de Forest est un des meilleurs et des plus sensibles.

Il est formé d'un tube contenant deux électrodes métalliques avec une pâte électrolysable de litharge et de glycérine ou de vaseline mêlée d'eau ou d'alcool, et d'un peu de limaille métallique. En appliquant une force électromotrice continue, produite par une batterie, en série avec une résistance de 30.000 à 40.000 ohms, un faible courant continu traverse la pâte, y formant les fines cristallisations connues sous le nom d'*arbres de Saturne*.

L'antenne et la terre sont également connectées aux bornes du détecteur. A l'arrivée des oscillations électriques, la résistance augmente momentanément, et le changement rapide de courant qui en résulte se traduit par un bruit dans un téléphone placé dans le circuit.

Le Dr de Forest a découvert, à l'aide d'observations microscopiques, que les cristallisations analogues, formées par l'électrolyse de différentes solutions métalliques, sont détruites par les courants oscillants, mais reformées instantanément par le courant des accumulateurs. Il semble que les bouts des arbres soient fondus ou brûlés par les courants oscillants. Les feuilles des arbres sont en plaques très minces terminées par des arêtes très pointues; il en résulte que la résistance doit être presque

entièrement localisée aux arêtes, et qu'un courant très faible est suffisant pour les fondre et rendre le circuit discontinu. La rapidité avec laquelle le circuit reprend sa continuité prouve que les changements doivent être très faibles, les cristaux reprenant immédiatement leur forme primitive sous l'influence du courant des accumulateurs. Ce détecteur s'est montré très sensible et d'une grande sécurité.

Le second type de détecteur électrolytique a uniquement un liquide

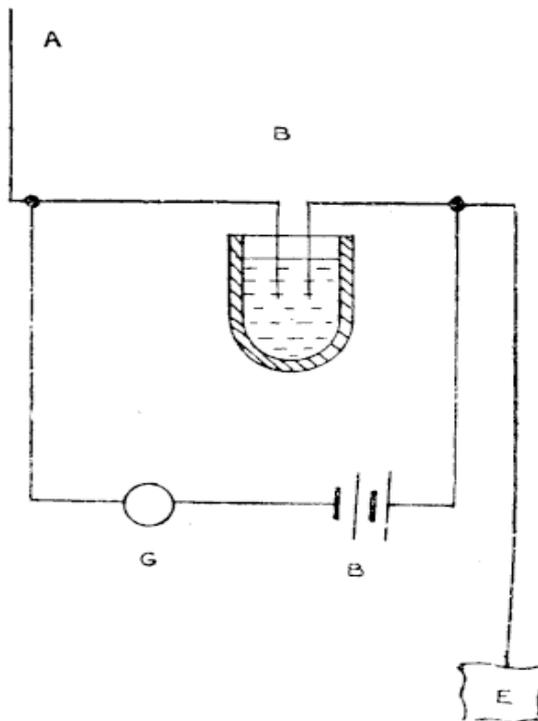


FIG. 70. — Détecteur électrolytique de Pupin.
A, antenne. — B, détecteur. — E, terre. — B, batterie. — G, galvanomètre ou téléphone.

entre les électrodes, dont l'une au moins d'entre elles doit être très petite. Le meilleur électrolyte pour la réception paraît être l'acide nitrique. Une batterie et un téléphone sont placés en série avec le détecteur. Si les bornes du détecteur sont également connectées aux fils d'antenne et de terre, on peut recevoir comme avec les autres types de détecteurs. L'invention paraît devoir être attribuée à Pupin (U. S. patent 713045 du 4 janvier 1898).

L'appareil est pratiquement un petit interrupteur de Wehnelt, pour lequel le voltage de la batterie appliqué est trop petit pour entretenir un courant appréciable sans l'intervention des oscillations. Un interrupteur de Wehnelt ne part pas s'il n'y a pas un minimum de self dans le circuit.

Cette condition prouve que l'interrupteur ne fonctionne que s'il y a des surtensions, l'effet des selfs étant de rendre possible ces sautes de tension. Dans ces conditions, l'électrolyse simple du liquide est remplacée par le passage d'un courant beaucoup plus intense, mais intermittent, convenant à l'alimentation du primaire d'une bobine d'induction. Peut-être la théorie qui convient le mieux aux deux cas est celle qui admet que les surtensions détruisent la « polarisation » de l'appareil, permettant ainsi un afflux soudain de courant de la batterie, lequel cesse lui-même aussitôt à cause de la reformation de la pellicule qui cause la polarisation. L'arrêt soudain occasionne de nouvelles surtensions, si la résistance du circuit est faible, comme c'est le cas pour le Wehnelt, et ces surtensions détruisent de nouveau la polarisation. Dans le détecteur

ou barreter, comme l'appelle le professeur Fessenden), le voltage appliqué n'est pas assez élevé pour entretenir un courant interrompu en occasionnant des surtensions au commencement et à l'arrêt; le courant ne passe donc que quand les surtensions sont amenées par une cause extérieure, c'est-à-dire par les oscillations transmises au détecteur par le circuit antenne-terre.

Différentes opinions ont été émises sur le mode d'action de ces détecteurs; le professeur Fessenden admet qu'elle est due à la variation de résistance de l'électrolyte par l'échauffement produit par le courant, tandis que d'autres l'attribuent à la polarisation. Ce qui rend difficile de décider entre les deux théories est l'insuffisance de nos connaissances sur le mécanisme réel de la polarisation; ainsi on peut observer qu'une mince pellicule de vapeur produite par l'échauffement, et non par l'électrolyse, serait aussi efficace pour augmenter la résistance et peut expliquer le fonctionnement de l'interrupteur de Wehnelt. Il paraît possible d'expliquer autrement les phénomènes moléculaires se produisant dans le détecteur, en tenant compte des observations du D^r Sand sur l'augmentation rapide de résistance qui se produit à une électrode immédiatement après le passage d'un courant continu dans l'électrolyte. Le D^r Sand a montré que, même dans une pile où la polarisation ne se produit pas d'une manière habituelle, la résistance de la couche d'électrolyte la plus voisine de l'électrode est beaucoup moindre au commencement que lorsque le régime permanent est atteint, et il a montré que cette augmentation de résistance est due à ce que la couche la plus voisine de l'électrode est en partie *privée* des ions qu'elle avait avant l'application de la force électromotrice.

Dans le *barreter*, cette action doit être ajoutée aux autres et est peut-être la plus importante de toutes. La tension oscillante, en créant des ions, augmente la conductibilité, qui est immédiatement perdue par l'application du voltage continu de la batterie. Il est donc possible d'expliquer le phénomène sans faire intervenir les pellicules de gaz ou même les variations de résistance dues à l'échauffement.

Ce type de détecteur est très sensible et est en usage dans le monde entier dans une quantité de stations radiotélégraphiques.

Valve de Fleming. — Le professeur Fleming a découvert en 1890 qu'un courant passait facilement du fil incandescent d'une lampe à un autre conducteur placé dans l'ampoule. Si ce conducteur est un morceau de métal, le courant ne passera du métal au carbone à travers l'espace que si la borne positive est connectée au métal, et que la borne négative

(1) *Proc. Faraday Soc.*, vol. 1, p. 1 (1904).

est elle-même connectée à la borne négative de la batterie qui alimente le filament de carbone. Le dispositif devient ainsi une valve, c'est-à-dire que,

si un voltage alternatif est connecté aux bornes, il ne passera qu'un courant intermittent de même sens. L'appareil peut être employé comme détecteur de courants oscillants avec un galvanomètre ordinaire, car dans des circonstances favorables, c'est-à-dire si le filament de carbone donne environ une bougie par 3 watts et que le conducteur métallique est froid, le rendement est de 80 à 85 0/0.

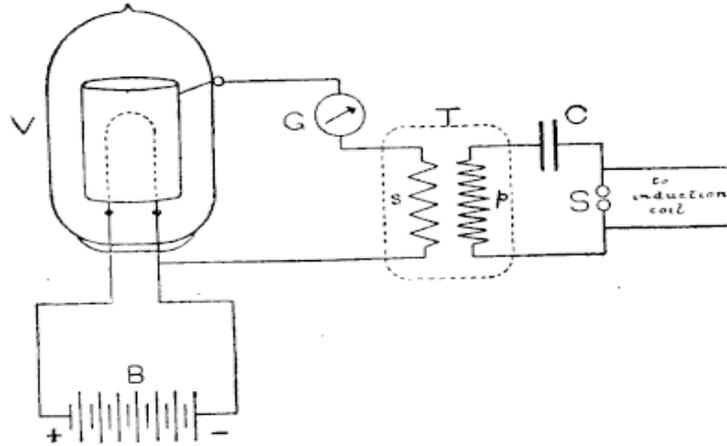


FIG. 71. — Valve employée pour décèler les oscillations et les rendre sensibles à un galvanomètre G.

De Forest a perfectionné ce détecteur en ajoutant une source séparée et de plus haut voltage entre le filament et l'écran de métal, et par l'addition d'une électrode froide. L'appareil a reçu le nom d'*Audion*. Ce n'est pas une simple valve, il a une action de relais le rendant plus sensible que le dispositif de Fleming (voy. note p. 102).

Détecteurs électrocapillaires de Armstrong et Orling. — MM. Armstrong et Orling ont montré qu'un électromètre capillaire de Lippmann peut être employé comme détecteur d'oscillations. Un tube de verre étiré à une extrémité jusqu'à ne plus présenter qu'une ouverture très réduite plonge dans un tube plus large. Dans le large tube est placé du mercure surmonté d'un peu d'acide sulfurique dilué. Du mercure est également placé dans la partie supérieure et large du tube étiré, mais sa tension superficielle l'empêche d'atteindre le fond. La partie inférieure de ce tube plonge dans l'acide sulfurique du tube plus large, et, en comprimant le mercure dans le tube supérieur et le laissant se rétracter, on chasse l'air de ce tube, et l'électrolyte acide relie d'une manière continue les deux électrodes de mercure. De très faibles variations de voltage occasionnent un changement de la tension superficielle du mercure, et produisent un mouvement de la colonne du tube mince qu'on peut observer facilement à l'aide d'une lentille et qui peut être enregistré photographiquement ou autrement.

J'ai rapporté ces descriptions dans le but de montrer la grande variété de dispositifs pouvant servir à déceler les ondes.

Le succès dans la télégraphie sans fil dépend beaucoup plus de l'adaptation du détecteur, de quelque type qu'il puisse être, à l'ensemble des appareils, que du type réel de détecteur employé.

Détecteurs à cristaux. — Les membres d'une grande classe de détecteurs récemment découverts utilisent les propriétés rectifiantes ou thermo-électriques de nombreux cristaux. Parmi eux on peut citer le carborundum, le silicium, la molybdénite, la galène. On peut les employer sans source, bien que souvent un faible voltage additionnel soit avantageux. L'action de ces détecteurs est fondée sur les phénomènes thermo-électriques au contact d'un métal et du cristal; elle ressemble à la cohérence en ce que c'est une action de surface.

Cette conclusion est fondée sur les expériences de Pierce sur le carborundum et d'Austin sur le silicium. Pierce a montré que pour un cristal de carborundum platiné d'un seul côté, le rendement de la rectification, c'est-à-dire le rapport du courant dans une direction ou courant dans l'autre direction pour le même voltage peut atteindre 1.000 à 1, mais que si les deux surfaces sont platinées, le rapport ne dépasse par 1.66 à 4. Une grande surface métallique réduit énormément le rapport. Austin, dans une étude complète du silicium, arrive à la conclusion que son mode d'action est un phénomène de contact.

Un grand nombre d'études sur les détecteurs à cristaux et les autres détecteurs auto-régénérables ont été publiées en 1909 et 1910. Parmi les

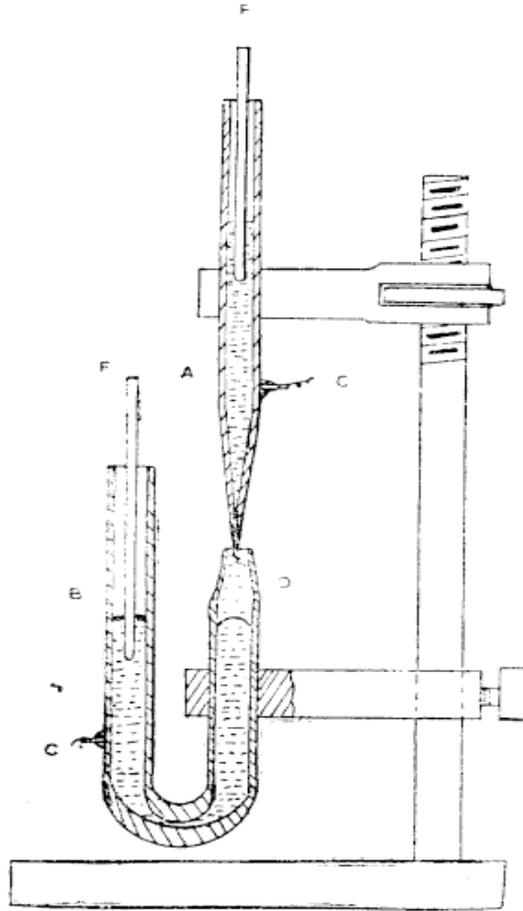


FIG. 72. — Détecteur capillaire de Orling et Armstrong adapté de l'électromètre de Lippmann.

A, tube de verre terminé en pointe, rempli de mercure. — B, tube en U avec mercure. — C, Acide dilué en D. — CC, fils de platine connectant le mercure à l'antenne et à la terre. — FF, baguettes pour régler le niveau du mercure.

plus importantes on peut citer celles de Pierce⁽¹⁾, Torikata⁽²⁾, Eccles⁽³⁾ et Austin⁽⁴⁾. Le premier a donné beaucoup de courbes montrant les propriétés rectificatrices de la pyrite de fer, de la molybdénite et d'autres cristaux en contact avec de l'acier, de l'aluminium ou d'autres métaux ; le deuxième, une grande liste de corps essayés au point de vue de leurs propriétés comme détecteurs avec des notes sur leur sensibilité et des diagrammes de leurs courbes courant-voltage; le troisième a abordé le sujet dans le but d'élucider la théorie de l'action des détecteurs en général. Comme les expériences du D^r Eccles jettent une grande lumière sur

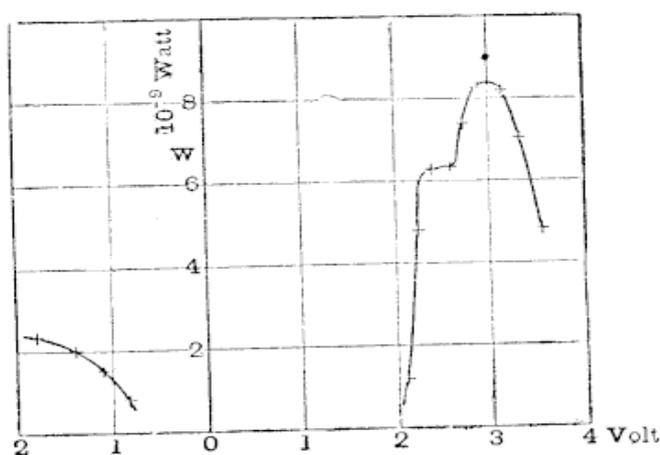


FIG. 73. — Détecteur électrolytique. Courbe de sensibilité (Eccles).

$$W = 6,2 \times 10^{-9} \text{ watt.}$$

Ce détecteur était formé par deux électrodes de platine dans de l'acide sulfurique étendu (1 partie d'acide pour 5 d'eau). Une électrode était un fil de platine de 0^m,00005 de diamètre étiré par le procédé de Wollaston, plongeant d'une fraction de millimètre dans l'électrolyte; l'autre était un fil épais bien immergé. — W, est la puissance du courant de fréquence utilisé, et ω , la puissance recueillie au téléphone.

avec la température de la résistance de l'oxyde est très grande, elle décroît de 1 0/0 environ par élévation d'un degré centigrade; le passage d'un courant très faible à travers la mince couche d'oxyde est donc suffisant pour détruire l'équilibre du courant continu de la batterie en circuit. La résistance tombant, le courant s'élève et actionne la membrane du téléphone. Le fait que la variation de résistance avec la température est négative, c'est-à-dire que la résistance décroît quand la température s'élève, fait que l'accroissement du cou-

(1) *Electrician*, 11 février 1910.

(2) *Electrician*, 16 septembre 1910.

(3) *Electrician*, 12, 19 et 20 août 1910 et 11 novembre 1910.

(4) *Bull. Bureau of Standards*, vol. VI, n° 4 (1910).

les caractères de quelques types de détecteurs les plus usuels, j'en donnerai un court extrait. Dans un rapport lu devant la Société physique de Londres en mars 1910, il étudie un détecteur formé d'une aiguille d'acier légèrement oxydée par chauffage, et d'une plaque de fer ou d'une goutte de mercure.

Il trouva que l'action de ce détecteur pouvait s'expliquer par le changement de résistance résultant de l'élévation de température causée par le passage du courant de haute fréquence à travers la couche d'oxyde. La variation

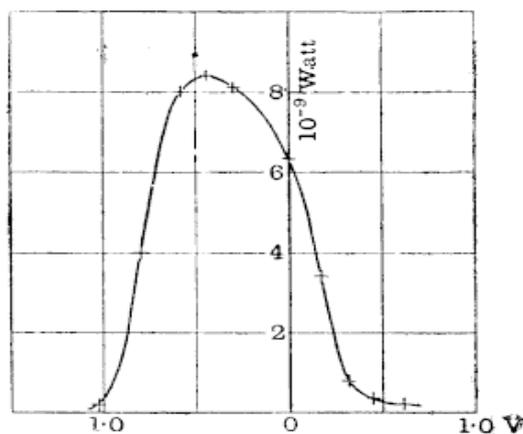
rant est quelque peu prolongé, et l'action sur le téléphone plus sensible. Le rapport contient, en outre, des résultats expérimentaux, une discussion mathématique du problème conduisant à la conclusion que tous les effets peuvent s'expliquer en admettant que les seuls phénomènes électriques agissant sont l'effet Joule et le coefficient de température de la résistance de l'oxyde.

Le D^r Eccles contrôla sa théorie en faisant un détecteur de deux morceaux semblables de galène, la résistance de ce cristal ayant un grand coefficient de température négatif. Les mesures faites avec ce détecteur confirmèrent la théorie et montrèrent en outre que le détecteur était sensible et satisfaisant quand un voltage convenable y était appliqué. En fait, ce détecteur galène-galène a déjà été breveté en Australie, en mars 1910, par H. Sutton, qui pense qu'il agit en partie par diminution de résistance de contact, due à l'augmentation de pression résultante de la dilatation des points de contact chauffés.

Dans le cas de détecteurs agissant sans source auxiliaire, le D^r Eccles pense que le phénomène peut s'expliquer par la combinaison des effets Joule et Peltier ; cette idée peut s'appuyer sur l'analyse suivante de leur mode d'action que j'ai faite.

Action des détecteurs à cristaux. — Pellier a découvert que, si un courant continu passe d'un conducteur à un autre de différente nature, la température de la jonction est élevée si le courant est dans une direction et abaissée s'il est en sens inverse, c'est-à-dire que de la chaleur est créée ou détruite suivant la direction et l'intensité du courant. Supposons alors, comme c'est le cas pour cette sorte de détecteurs, que la résistance d'une des deux substances a un grand coefficient de température. Supposons qu'un voltage alternatif analogue à celui qui est reçu par l'antenne d'une station de réception, soit appliqué au détecteur ; alors le courant passant dans une direction, la température de la jonction s'élèvera à cause de la production de chaleur par effet Joule et à cause de l'effet Peltier. Le résultat sera une grande diminution de résistance et il en résultera un grand courant. Si nous supposons que la résistance décroît quand la température augmente, il se produit un effet cumulatif, chaque accroissement de courant augmentant à la fois la production de chaleur par effet Peltier et la conductibilité de la jonction. Un grand courant passera donc dans cette direction sous l'influence du voltage appliqué. Cependant, quand le voltage est renversé, pendant la deuxième moitié du cycle, les conditions sont différentes. L'effet Peltier pour le courant dans cette direction est un refroidissement, et ce refroidissement augmente avec le courant. Au lieu d'une grande réduction de résistance due à la somme des effets Joule et Peltier, l'échauffement dû à l'effet Joule est compensé par le refroidissement dû à l'effet Peltier, et la

résistance demeure élevée. Quand le voltage est dans ce sens, le courant sera donc très petit par rapport au courant quand il est dans l'autre sens. En somme, le courant est rectifié et peut agir sur un téléphone.



Zincite négative. Zincite positive.

FIG. 74. — Courbe de sensibilité du détecteur Zincite-Chalcopirite (Eccles.)

$W = 6,2 \times 10^{-8}$ watt.

ce dernier est cependant compensé par sa sûreté et son insensibilité aux vibrations mécaniques. Ces rendements sont pratiquement indépendants de la puissance fournie, comme le montrent d'autres diagrammes non reproduits ici.

NOTE. — Austin trouve que la valve de Fleming a, avec $\lambda = 350$, seulement la moitié, et avec $\lambda = 900$ mètres, seulement un dixième de la sensibilité du perikon. Il attribue la petitesse trouvée pour ce dernier chiffre au fait que l'accouplement dans son appareil n'avait pas la valeur voulue. L'audion de Forest était une fois et demie plus sensible que l'électrolytique, c'est-à-dire à peu près trois fois plus sensible que le perikon.

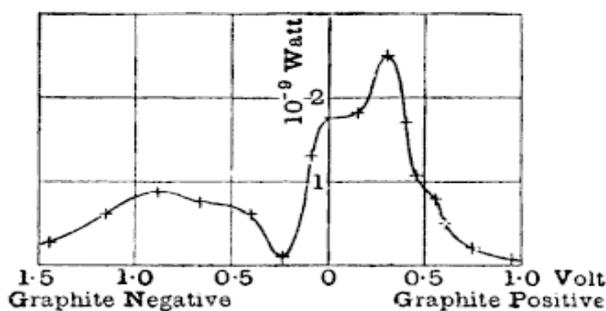


FIG. 75. — Courbe de sensibilité du détecteur galène-graphite (Eccles.)

$W = 7,8 \times 10^{-8}$ watt.

CHAPITRE VIII

LE SYSTÈME MARCONI LE SYSTÈME LODGE-MUIRHEAD

M. Marconi a toujours devancé les autres dans les transmissions à longue distance. Il fit un premier grand pas en décembre 1901 quand il parvint à recevoir à Terre-Neuve des signaux de Poldhu, en Cornouailles, pendant le jour. C'était là, comme les découvertes suivantes l'ont montré, un fait très remarquable. Aucun autre expérimentateur n'est arrivé à envoyer de signaux à travers l'Atlantique avant 1903, et alors seulement de nuit. En février 1902, Marconi fit sa découverte de la différence de transmission de jour et de nuit, alors qu'il était en voyage d'expériences sur le *Philadelphie* ; des signaux furent reçus pendant ce voyage jusqu'à une distance supérieure à 2.000 milles (voy. chap. xvi). La même année, une station complète fut élevée à Glace Bay, au Cap-Breton ; cette station a communiqué avec Poldhu à 4.184 kilomètres. Des messages ont été également transmis de la station plus ancienne du cap Cod (Massachusetts) à Poldhu en 1903, à une distance de plus de 3.000 milles, ce qui était la plus grande distance atteinte alors. D'autres expériences à longue distance furent faites entre le *Carlo Alberto*, de la marine italienne, et Poldhu, et la distance parcourue dans ce cas fut de plus de 1.000 milles, en grande partie au-dessus de la terre.

L'expérience acquise dans ces essais et dans beaucoup d'autres conduisit M. Marconi à construire une grande station à Clifden et à augmenter la puissance de Glace Bay : en octobre 1907, il pouvait inaugurer un service télégraphique régulier à travers l'Atlantique. Depuis lors plusieurs millions de mots ont été transmis et payés, sans compter un grand nombre de télégrammes de service et d'essais expérimentaux.

Dans ces stations transatlantiques, Marconi emploie son nouveau générateur de haute fréquence décrit plus bas ; beaucoup de modifications durent être faites aux plans originaux de l'appareil à cause de difficultés

imprévues provenant de la grande puissance utilisée ; ces difficultés ont pu cependant être en grande partie surmontées par de patientes recherches, et le service est maintenant effectué avec une régularité remarquable étant donné le peu de temps qu'a fonctionné ce service.

Les perfectionnements les plus importants apportés dans les installations modernes sont : 1° l'emploi d'un transformateur de réception, ou

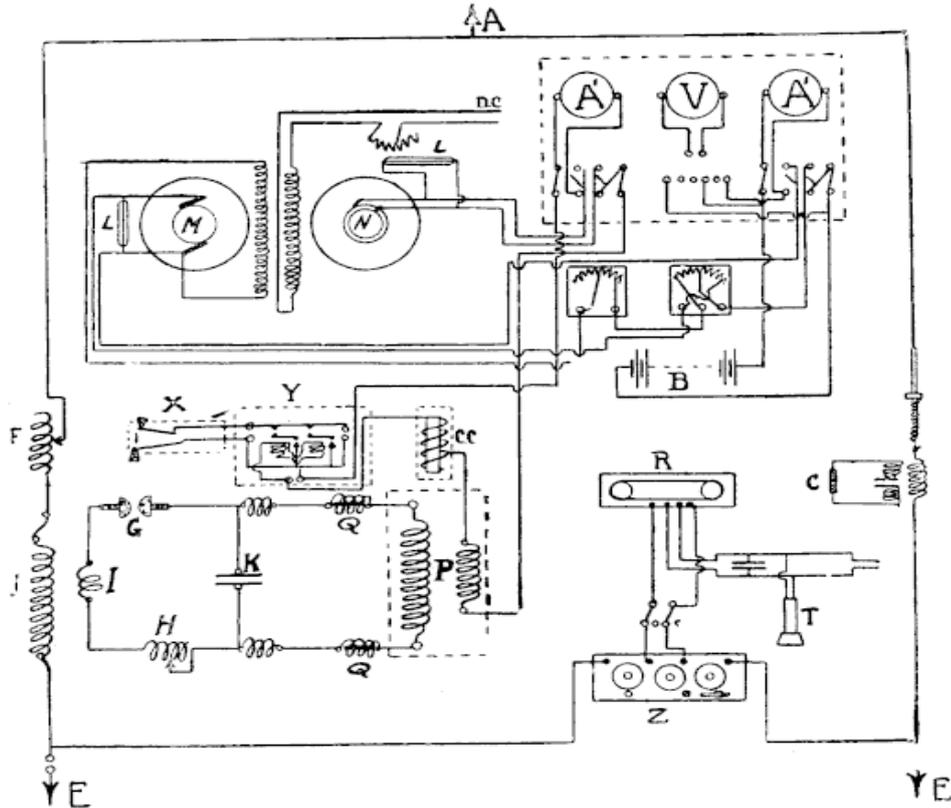


FIG. 76. — Station Marconi moderne.

A, antenne. — B, batterie de 52 piles. — C, réception au cohéreur pour sonnerie d'appel. — ce, self de protection réglable sur le circuit d'alimentation. — E, terre. — F, self d'accord. — G, éclateur. — H, self d'accord. — I, primaire. — J, secondaire de résonateur. — K, condensateurs. — L, lampes de protection. — M, dynamo à courant continu pour charger les accus ou moteur. — N, alternateur accouplé au moteur. — P, transformateur. — QQ, chokers. — R, détecteur magnétique. — T, téléphone. — V, voltmètre. — X, manipulateur actionnant. — Y, interrupteur de Gray. — Z, tuner.

jigger ; 2° l'adoption de circuits accouplés pour la production de longs trains d'oscillations de haute fréquence et de grand voltage, et 3° l'emploi du détecteur magnétique. D'autres améliorations consistent dans l'emploi de courant alternatif de haute fréquence, produit par le générateur décrit page 109, et dans différentes combinaisons de selfs et de capacités ayant pour but de rendre le récepteur seulement sensible aux oscillations d'une certaine fréquence. De grandes difficultés se sont présentées du

fait de l'énorme puissance de l'étincelle dans les grandes stations, car, bien que l'énergie totale envoyée à chaque étincelle puisse être comparativement faible, inférieure à un demi-kilogrammètre par exemple, sa durée

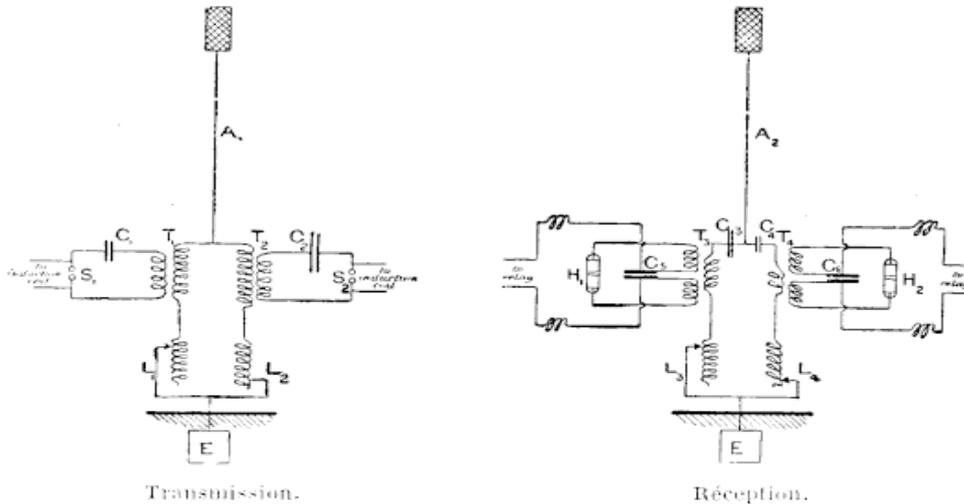


FIG. 77. — Disposition des appareils d'émission et de réception dans le système Duplex-Marconi.

est si courte que l'activité pendant la durée de l'étincelle est très grande. Dans une petite station qui envoie environ $0^{k500},1$ d'énergie par étincelle, la puissance pendant l'étincelle est d'environ 300 HP ; dans une grande station, elle est proportionnellement beaucoup plus élevée, se montant

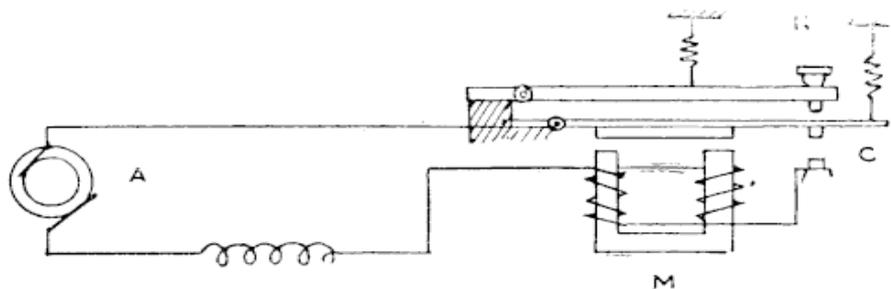


FIG. 78. — Manipulateur de Gray pour courant alternatif.

A, alternateur. — M, électro-aimant. — C, contact fermant le circuit. — K, manipulateur. Le contact C ne s'ouvre sous l'action du ressort qu'au moment où l'attraction de l'aimant, et par suite le courant principal, est nulle. Tout arc est ainsi évité.

probablement à des dizaines ou des centaines de milliers de chevaux. Cette rapidité de travail, bien que seulement momentanée, exige des conducteurs et des isolateurs de types spéciaux adaptés aux nouvelles conditions. La détermination des formes convenables pour les multiples appareils nécessaires a été, pour l'achèvement de quelques-unes des

plus grandes stations, une cause de retards absolument imprévus. Les difficultés préliminaires ont cependant été surmontées avec succès, et depuis quelque temps la transmission des messages à des distances de plus de 2.000 milles a été effectuée avec régularité. La figure 76 montre schématiquement la disposition d'une station moderne du système Marconi.

Un détail important des appareils est notamment le manipulateur d'émission breveté par la Compagnie Marconi, et dû à M. Andrew Gray. Avec l'emploi des courants alternatifs intenses utilisés dans les grandes stations, il était évidemment impossible de se servir d'un manipulateur ordinaire de Morse à cause de l'arc qui se formait entre les contacts. Pour obvier à cette difficulté, le manipulateur représenté figure 78 fut inventé. Il est construit de telle façon que le contact ne peut être ouvert qu'au moment où la valeur instantanée du courant est nulle. Comme le courant s'annule environ 100 fois par seconde, l'ouverture réelle du contact ne retarde pas d'une façon appréciable sur la manœuvre de la poignée par l'opérateur. Les contacts sont maintenus fermés par un électro-aimant commandé par le courant alternatif, et ne peuvent donc être libérés que quand le courant s'annule, soit deux fois par période.

L'étincelle elle-même était au commencement cause de beaucoup d'ennuis dans les stations de grande puissance ; la grande chaleur produite formant des champignons dans le métal des boules d'éclateur à l'endroit de l'étincelle. Le bruit assourdissant de la décharge était aussi très pénible pour les opérateurs. Ces difficultés cependant ne se rencontrent plus avec le générateur de courants uniformes maintenant employé dans les stations transatlantiques.

Le dispositif extérieur d'une grande station est représenté figure 79. L'antenne en pyramide de la figure, bien qu'ayant une grande capacité et une forme avantageuse, présente l'inconvénient que les ondes émises par un côté interfèrent dans une certaine mesure avec celles émises par l'autre, car elles arrivent au récepteur avec des phases différentes. Ce fait a été indiqué par de Forest, qui a trouvé qu'une antenne en éventail rayonnait beaucoup mieux dans une direction perpendiculaire à son plan que dans son plan lui-même, ce qui est également vrai en ce qui concerne l'absorption des radiations par une antenne en éventail à la station de réception. Nous reverrons ces matières au chapitre xiv.

Un perfectionnement du système Marconi est le « X-stopper », dispositif ayant pour but de ne transmettre que les oscillations d'une fréquence définie du circuit antenne-terre au détecteur. Ceci est réalisé en faisant deux connexions de terre à l'antenne. L'une d'elles, contenant une grande capacité et une grande self, et par conséquent ayant une période donnée d'oscillation, forme le circuit récepteur ; l'autre est un fil de

terre de très peu de capacité et de self qui conduit à la terre, comme oscillations forcées, les ondes de toutes périodes : il est connecté au circuit principal en un point où se trouve un nœud de la période propre d'oscillation. Il ne prend donc pas d'énergie au circuit de réception. Si des oscillations de la fréquence propre sont reçues par le circuit antenne-

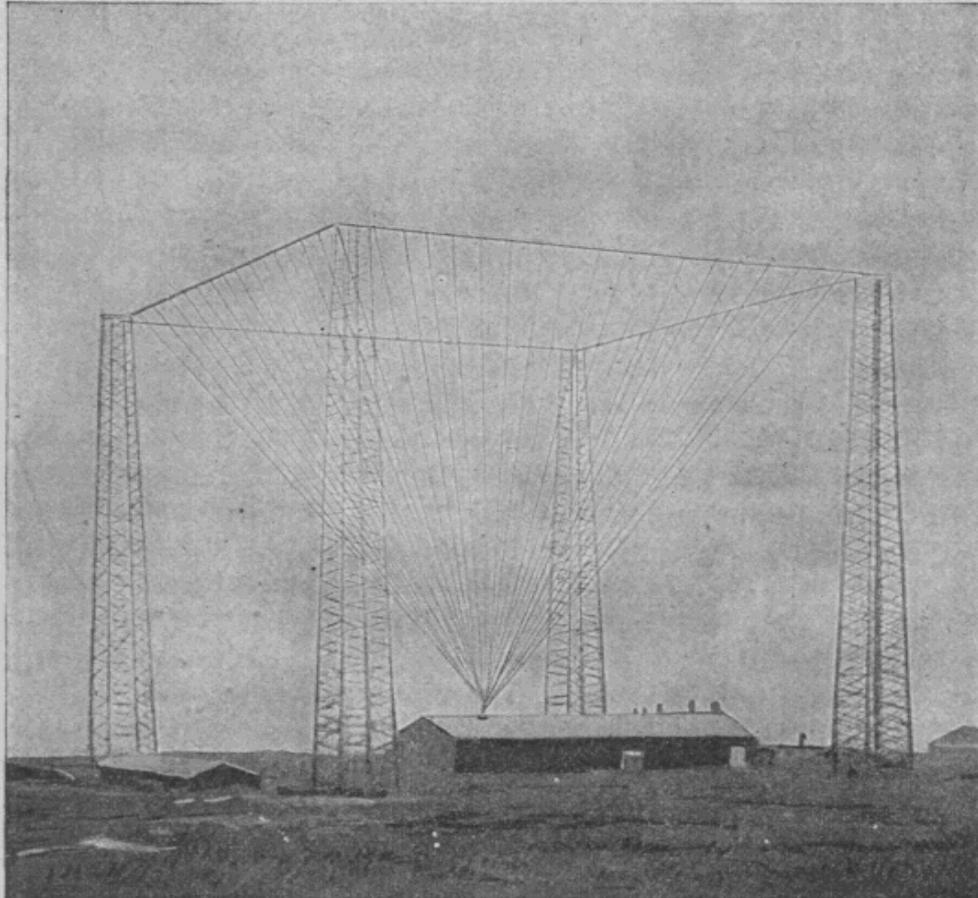


FIG. 79. — Station Marconi de Glace Bay.

L'antenne a été récemment changée en antenne dirigée.

terre, elles excitent le circuit récepteur et sont reçues par le récepteur ; si des parasites d'autre fréquence arrivent, ils ne traversent pas le récepteur, mais passent à la terre par le second circuit, dont l'inertie électrique est beaucoup plus faible.

On obtient les meilleurs résultats en employant en série un certain nombre de ces vibrateurs à self et à capacité, chacun ayant son fil de terre propre, et le récepteur étant monté sur le dernier vibrateur.

Le X-stopper (ce qui veut dire le dispositif arrêtant les ondes parasites

ou les ondes X, peut être comparé à l'antenne de Saby à fil horizontal avec deux plaques de terre à laquelle il ressemble. Le professeur

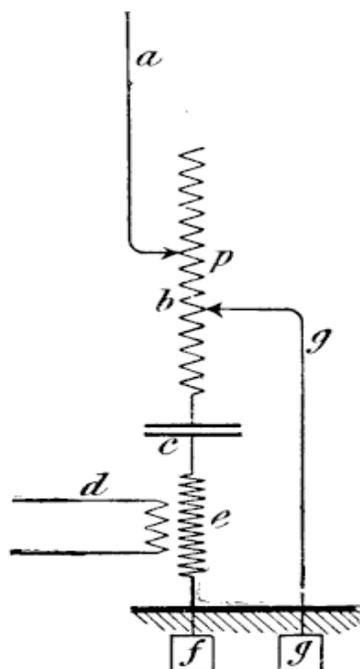


FIG. 80.

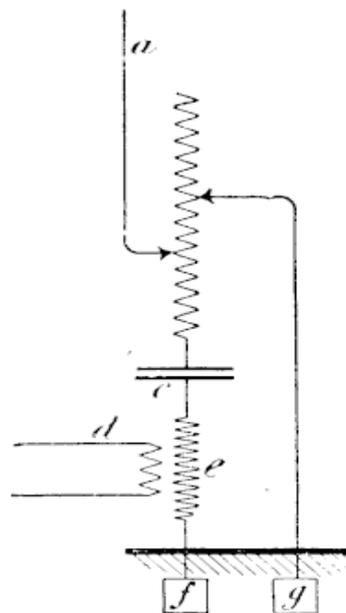


FIG. 81.

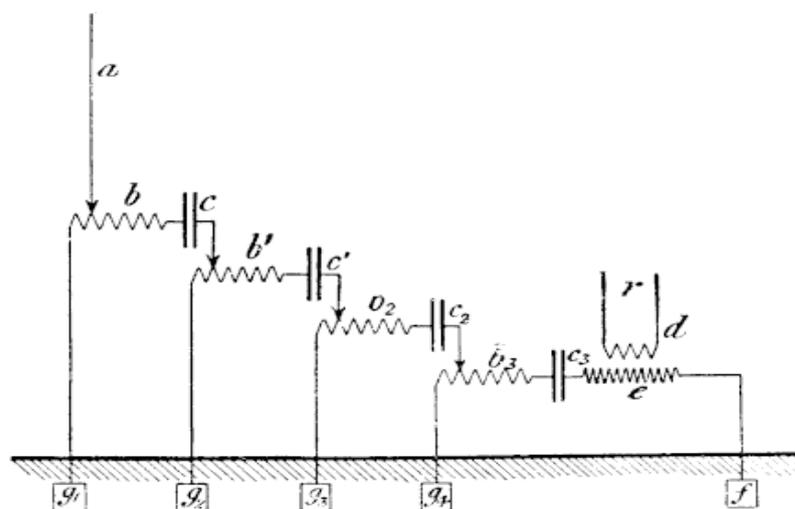


FIG. 82. — Schéma des connexions dans le « X stopper » Marconi.

a, antenne de réception. — *b*, self avec curseur. — *c*, condensateur. — *ed*, jigger du cymoscope.
g_i, plaques de terre.

Fessenden et de nombreux inventeurs ont fait breveter des combinaisons de selfs et de capacités remplissant un but analogue.

Le Tuner. — Un autre appareil ayant un but analogue a été récemment inventé (1908). Il a reçu le nom de « Tuner » (syntoniseur) et contient les selfs, capacités et dispositifs d'accouplement nécessaires à l'accord d'une station de réception. Le tout est renfermé dans une boîte d'un peu plus de 30 centimètres de long, sur le couvercle de laquelle sont des *graduations* indiquant les longueurs d'onde et les autres quantités mesurables telles que la self et l'accouplement. Le dispositif est représenté schématiquement figure 83.

La citation suivante, empruntée à une conférence faite par M. Marconi, le 13 mars 1908, à la Royal Institution, donne une description succincte des progrès récents dans la télégraphie sans fil à grande distance. J'y ai ajouté mon explication sur le fonctionnement de son nouveau générateur.

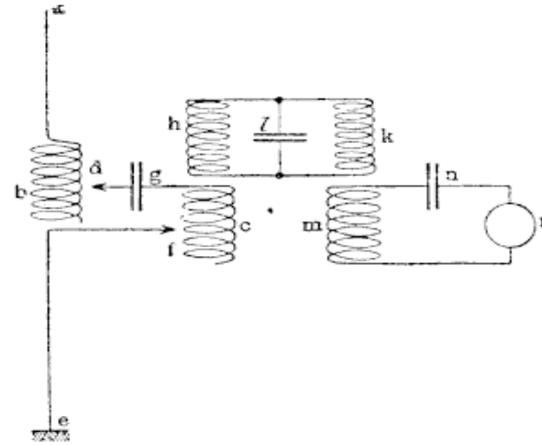


FIG. 83. — « Tuner » Marconi pour réception.

a, antenne. — *b*, self d'antenne. — *g*, condensateur principal. — *hkk*, circuit intermédiaire. — *mmr*, circuit du détecteur.

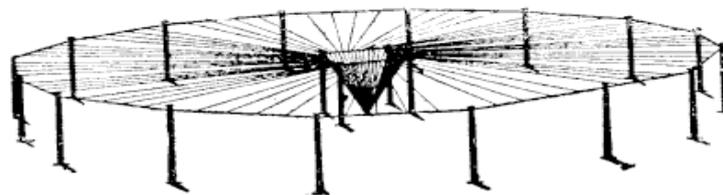


FIG. 84. — Antenne de Glace Bay.
(Forme primitive.)

« Au commencement de 1905, la construction de la nouvelle station de Glace Bay était suffisamment avancée pour permettre d'effectuer les essais préliminaires. L'antenne était très grande et comprenait au milieu une partie verticale de 67 mètres de long (220 pieds), supportée par quatre pylônes et reliée à des fils horizontaux, au nombre de deux cents, ayant chacun 304 mètres de long, s'étendant tout autour suivant les

rayons d'un cercle, et soutenus à une hauteur du sol de 55 mètres (180 pieds) par un cercle intérieur de huit mâts et un cercle extérieur de seize mâts (*fig.* 84).

« La longueur d'onde propre de cette antenne était de 3660 mètres (12.000 pieds).
« La capacité employée était de 4.8 microfarad et la longueur d'étincelle de 1^m,9 ($\frac{3}{4}$ inch).

« Les signaux et les messages de cette station furent reçus à Poldhu de jour comme de nuit, mais on ne fit alors aucun usage commercial de

la station, parce que les signaux, bien que parvenant le jour et la nuit, étaient extrêmement faibles, et aussi parce que la station correspondante du même type n'avait pas encore été élevée en Irlande.

« Un autre progrès fut l'adoption pour les stations transatlantiques de l'antenne dirigée représentée figure 85.



FIG. 85. — Antenne dirigée, employée à Glace Bay et à Clifden.

« Quand ce type d'antenne fut adopté à Glace Bay, il en résulta un accroissement considérable dans la force des signaux

reçus à Poldhu. Il fut décidé d'adopter l'antenne dirigée pour toutes les stations à grande distance (voy. p. 221).

« Un autre perfectionnement introduit à Clifden et Glace Bay consistait dans l'emploi de condensateurs à air composés de plaques métalliques isolées suspendues dans l'air à la pression ordinaire. De cette manière il est possible d'éviter la perte d'énergie due à l'hystérésis diélectrique du verre employé comme diélectrique dans les précédents condensateurs ; et une économie très appréciable d'exploitation, due à l'absence de ruptures de diélectrique, est réalisée. Ces condensateurs à air, en usage depuis le mois de mai de l'année dernière, ont donné pleine satisfaction.

« Après des retards et des dépenses considérables, la nouvelle station de Clifden fut prête pour les essais vers fin mai 1907 et les expériences commencèrent avec Glace Bay.

« La longueur d'onde employée pendant ces essais était de 3.660 mètres, la capacité de 1,6 microfarad et la tension de charge du condensateur de 80.000 volts.

« De bons signaux furent reçus au Cap-Breton dès le commencement des essais, mais des difficultés se présentèrent du fait de l'électricité atmosphérique due à la fréquence d'orages dans la partie orientale du Canada pendant les premiers jours des essais.

« En même temps que ces essais, d'autres furent faits de Poldhu à Glace Bay avec un nouveau système de transmetteur pouvant produire des oscillations continues ou semi-continues.

« Comparativement à l'énergie employée, les signaux de Poldhu étaient si supérieurs à ceux de Clifden que je résolus d'adopter ce nouveau transmetteur à Clifden et à Glace Bay. L'appareil que j'ai employé pour produire des trains d'oscillations continus ou presque continus est le suivant ⁽¹⁾ :

« Un disque métallique A (fig. 86), isolé de la terre, tourne à une grande vitesse, entraîné par un moteur électrique à grande vitesse ou une turbine à vapeur.

« A côté de ce disque, que j'appellerai disque central, sont situés deux autres disques C₁, C₂, qu'on peut appeler disques polaires, et qui peuvent

⁽¹⁾ Demande de brevet, n° 20119, 9 septembre 1907 [Angleterre].

également tourner à une grande vitesse. Ces disques polaires doivent avoir leurs périphéries très voisines de la surface ou des arêtes du disque du milieu. Si on n'emploie que peu d'énergie, on peut remplacer les disques par des saillies fixes ou des pointes.

« Les deux disques polaires sont connectés respectivement à l'aide de balais aux bornes de deux condensateurs K reliés en série, ces deux condensateurs étant eux-mêmes reliés par des résistances inductives convenables aux bornes d'une génératrice qui peut être une dynamo à courant continu à haute tension.

« Sur le disque à grande vitesse du milieu appuie un balai ou un frotteur; entre ce frotteur et le point milieu des deux condensateurs est connecté un circuit oscillant formé d'un condensateur E en série avec une self qui elle-même

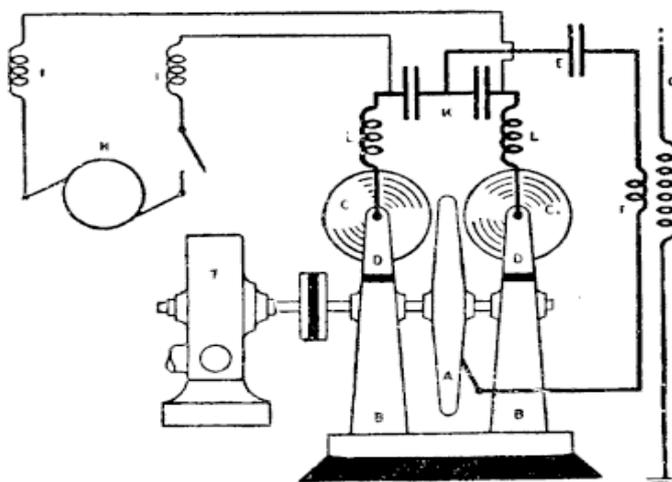


FIG. 86. — Générateur d'ondes uniformes Marconi.

est accouplée inductivement ou galvaniquement à l'antenne.

« Si les conditions nécessaires sont remplies, et si une force électromotrice suffisante est employée, une décharge se produira entre les disques extérieurs et le disque du milieu; cette décharge, qui n'est ni une étincelle oscillante ni un arc ordinaire, produira de puissantes oscillations dans le condensateur d'émission E et dans le circuit oscillant F.

« J'ai trouvé que pour obtenir une bonne marche, il faut une vitesse périphérique de plus de 100 mètres à la seconde; il faut donc prendre des précautions spéciales pour la construction des disques. Des oscillations électriques d'une fréquence atteignant 200.000 par seconde peuvent être ainsi obtenues.

« Le mode d'action de l'appareil est probablement le suivant: supposons que la source d'électricité charge graduellement les deux condensateurs et augmente le potentiel des disques; par exemple que C_1 soit chargé positivement, C_2 négativement. A un certain moment le potentiel en augmentant produira une décharge par exemple de C_2 à A. Le condensateur E se charge alors et commence à osciller; la charge, en oscillant, éclatera de A à C_1 qui est chargé au potentiel opposé. La charge de E s'inversera encore, en empruntant son énergie à chaque inversion aux condensateurs K. Le même processus se reproduit indéfiniment, les pertes d'énergie se produisant dans le circuit oscillant EF étant compensées par l'énergie fournie par la source H.

« Si le disque ne tourne pas, ou ne tourne que lentement, il s'établit

de suite un arc entre les faibles distances d'éclatement, et il ne se produit pas d'oscillations.

« Le refroidissement efficace de la décharge par la rotation rapide du disque semble être une des conditions indispensables pour la production du phénomène.

« Des essais furent faits avec cet appareil ; on trouva, comme il fallait s'y attendre, que les oscillations étaient trop continues et d'une fréquence trop élevée pour actionner un récepteur tel que le détecteur magnétique, à moins d'insérer un interrupteur dans un des circuits du récepteur. Un récepteur syntonisable à cohéreur fonctionnerait cependant à cause de l'augmentation de potentiel qui se produirait à ses bornes du fait de la résonance.

« Les meilleurs résultats pour les longues distances ont cependant été obtenus avec un grand disque dont la surface active n'est pas lisse, mais présente un certain nombre de saillies ou de pointes, au passage desquelles la décharge se produit à intervalles réguliers. Dans ce cas, naturellement, les ondes ne sont pas continues, mais sont formées par une succession régulière de trains d'ondes non amorties ou très peu amorties.

« De cette manière, il est possible de faire que les trains d'oscillations émis donnent une note musicale à la réception laquelle, perçue dans le téléphone, se distingue plus facilement des signaux émis par d'autres stations et des bruits atmosphériques. Cette méthode permet en outre une résonance très aiguë avec des réceptions appropriées ».

La différence principale entre le générateur de Marconi et les circuits de Cram, Thompson et Duddell est la suivante : dans ces derniers, le circuit oscillant principal est en parallèle avec la section gazeuse (avec l'arc), tandis que dans le générateur de Marconi, il est réellement connecté à une extrémité et par l'intermédiaire de condensateurs aux deux bornes de la source, et à l'autre extrémité au milieu de la section gazeuse.

Ainsi, si le courant ne traverse pas un des éclateurs, le circuit oscillant principal connecte en série avec le deuxième éclateur les bornes de la source.

On a avancé que les intervalles entre les électrodes forment deux arcs semblables en série tels que les emploie Poulsen. Ce n'est cependant certainement pas le cas, sinon il ne se produirait pas d'oscillations dans le circuit oscillant principal dont les bornes seraient connectées en des points qui, dans ces circonstances, seraient au même potentiel, chacun d'eux étant au milieu d'une branche dérivée sur la source d'alimentation.

Le mode d'action doit donc présenter un caractère très différent et doit être à peu près le suivant : Le courant continu venant de la borne positive de la source que nous supposerons à la droite du dessin, saute à l'éclateur de droite et charge le condensateur du circuit oscillant

principal. En conséquence de la nouvelle distribution de charge, le potentiel de l'électrode de gauche est abaissé, et la tendance à la production d'un arc du disque à l'électrode de gauche est réduite. La charge du condensateur (d'émission) augmentant, le courant diminue dans l'éclateur et finalement s'annule quand la charge du condensateur a atteint son maximum.

La rotation du disque central, en chassant les gaz ionisés, régénère immédiatement le diélectrique de l'éclateur.

Le disque central est alors chargé positivement, l'électrode de droite également, l'électrode de gauche négativement, de sorte que la décharge suivante se produit du centre à gauche. Le condensateur d'émission se décharge donc, et prend une charge inverse, le disque central devenant négatif. Alors le cycle recommence, sa fréquence dépendant principalement de la fréquence propre du circuit oscillant principal.

La composante de courant continu de la charge passe donc par deux voies différentes d'une des bornes de la source à l'autre — d'abord, de la borne positive à travers l'éclateur de droite au condensateur d'émission, et secondement de ce condensateur à la borne de gauche par l'éclateur de gauche. La composante purement oscillante qui atteint son maximum constant après quelques cycles va et vient du condensateur d'émission à travers les circuits formés par les condensateurs auxiliaires.

Il est donc évident que les éclateurs ne produisent jamais d'arcs en série, dans les conditions normales de travail. Cela se conçoit de suite en se rappelant que le disque central est alternativement positif et négatif, tandis que les électrodes latérales sont de signe fixe.

J'indiquerai qu'une forme un peu plus simple, bien que sans doute moins efficace, est possible pour ce générateur. On pourrait le construire ainsi : une extrémité d'un long conducteur, par exemple de l'antenne, serait connectée au disque central. Les bornes positive et négative de la dynamo seraient connectées aux électrodes latérales. Il n'y aurait pas besoin absolu d'autres appareils, bien qu'il serait avantageux de connecter chacune des électrodes latérales à la terre par un condensateur.

En 1910, M. Marconi a marqué un nouveau record de transmission à longue distance en recevant à Buenos-Aires des messages de Clifden et de Glace Bay, un grand cerf-volant supportait le fil d'antenne, et comme à un moment 1.500 mètres (3.000 pieds) de fil ont été déroulés, la hauteur du cerf-volant devait être de 600 mètres (environ 2.000 pieds). Les détecteurs employés étaient le détecteur magnétique et la valve Fleming.

De bons signaux lisibles furent obtenus sur ces détecteurs. La distance est d'environ 6.000 milles (11.000 kilomètres) et est de beaucoup la plus grande distance couverte jusqu'alors en T.S.F. On ne fit pas d'émission

vers le nord; mais, comme les expériences ont montré la possibilité de la télégraphie sans fil à cette distance, cela n'était pas nécessaire.

L'intéressante photographie reproduite au frontispice de cette édition est un exemple de ce qui peut être fait dans les stations transatlantiques. C'est une portion d'un message transmis par Glace Bay et enregistré

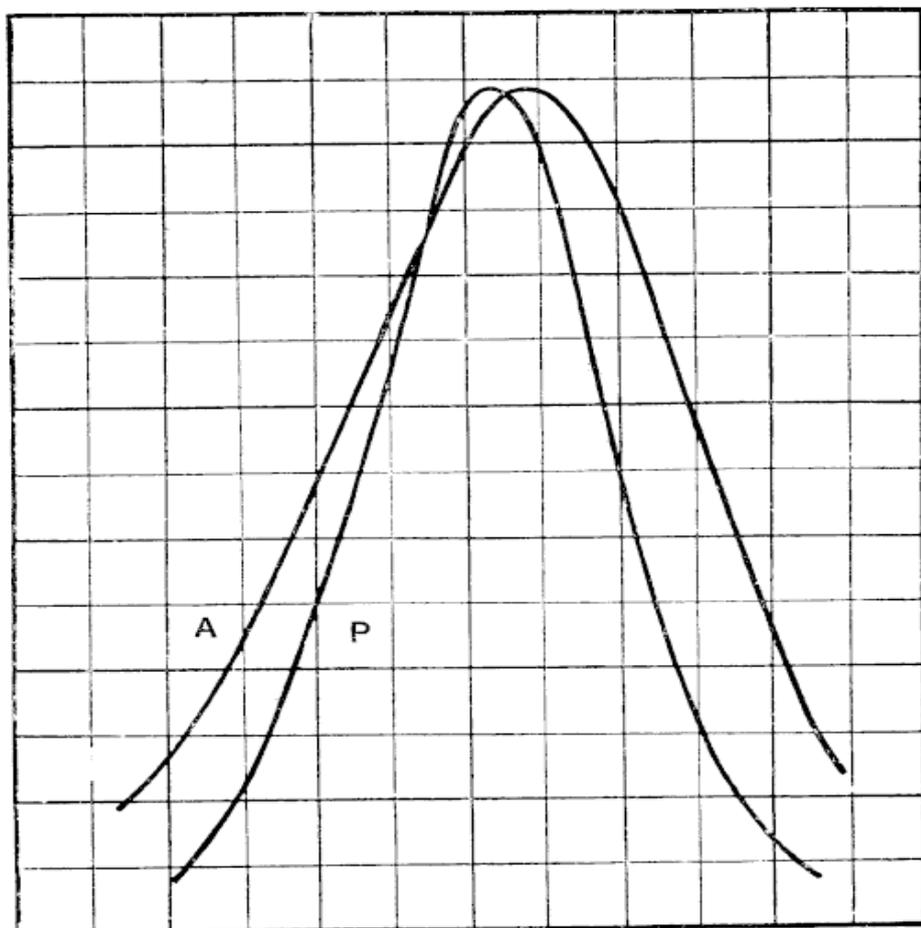


FIG. 87. — Courbes de résonance de la station de Clifden.

P, courant primaire, $\delta_1 = 0,013$. — A, courant d'antenne, $\delta_2 = 0,013$.
 Décroissement de l'ondemètre = 0,95. — En abscisses les longueurs d'onde en pieds; en ordonnée le courant dans l'ondemètre en milliampères.)

photographiquement à Clifden. Le fait qu'une réception automatique peut être faite à de si grandes distances donne de grands avantages; on peut par exemple émettre à des vitesses beaucoup plus grandes que celles limitées par la lecture au son et l'écriture à la main.

A des distances moins grandes, Poulsen a déjà obtenu une bonne réception automatique à plus de 120 mots à la minute. On fera la même

chose à travers l'Atlantique aussitôt qu'on aura achevé les pièces mécaniques d'un transmetteur automatique. Deux postes de T. S. F. correspondants seront alors plus qu'équivalents à un câble.

L'appareil actionné par le courant du détecteur et produisant l'enregistrement est un galvanomètre à corde de Einthoven, les mouvements du spot s'inscrivant sur un film photographique qui est ensuite développé.

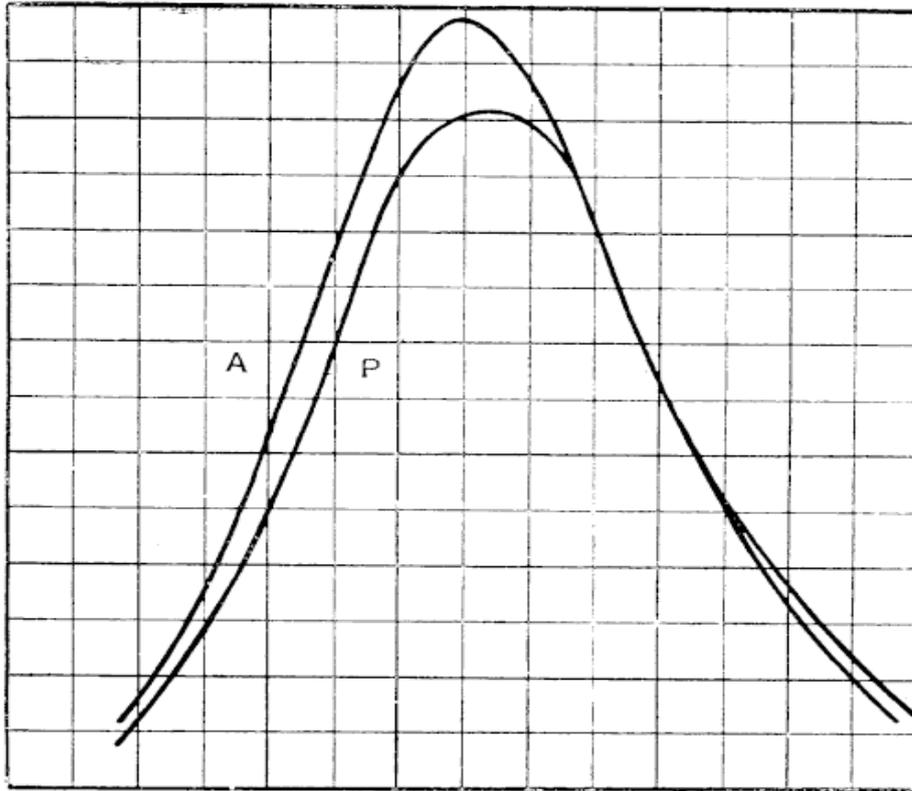


FIG. 88. — Courbes de résonance de Clifden.

P, courant primaire, $\delta_1 = 0,028$. — A, courant d'antenne, $\delta_2 = 0,024$.

Décroissement de l'ondemètre 0,05. — En ordonnée le courant dans l'ondemètre en millampères; en abscisses les longueurs d'onde en pieds).

SYSTÈME LODGE-MUIRHEAD

Bien que ce système ait été racheté par la Compagnie Marconi, l'histoire de sa conception et de son développement n'en reste pas moins un chapitre intéressant dans les annales de la télégraphie sans fil. C'est pourquoi j'ai conservé les descriptions d'appareils et de fonctionnement qui ont paru dans les précédentes éditions de cet ouvrage.

Sir Olivier Lodge, comprenant mieux que les autres inventeurs l'importance d'avoir un transmetteur et un récepteur de même fréquence propre, fit breveter en 1897 un système de télégraphie sans fil syntonique. Ses appareils étaient fondés directement sur les expériences de radiation de Hertz et sur ses propres circuits résonants et son cohéreur à pointe.

Dans le chapitre II, on a donné une esquisse des formes primitives. Je vais maintenant décrire complètement le système tel qu'il est actuellement employé commercialement en différents points du monde, en me servant de la description ci-après reproduite, due à M. C. Marillier et qui a paru dans l'*Electrician* du 26 mars 1903.

M. Marillier commence son article en rappelant brièvement les essais préliminaires auxquels ont été soumis les appareils inventés par Lodge et Muirhead, dont les résultats (dit-il) sont tels que les inventeurs peuvent avec justice le présenter comme en avance sur tous les systèmes préconisés jusqu'alors, en ce qui concerne la justesse et la sécurité de son fonctionnement.

La prétention des inventeurs, continue-t-il, est suffisamment justifiée par le modèle de télégramme (*fig. 89*) pris dans des conditions ordinaires de travail à l'aide d'un siphon recorder accouplé directement à un nouveau type de cohéreur sans relais ni frappeur, ce qui constitue déjà un perfectionnement marqué.

Les brevets fondamentaux sur lesquels repose le système Lodge-Muirhead, furent pris en grande partie en 1897 et visent les points essentiels suivants :

1° La combinaison, dans les circuits d'émission et de réception, de deux surfaces formant capacité et d'une bobine de self, comme essentielles à un système syntonisable de télégraphie sans fil. Les surfaces formant capacité peuvent être regardées comme les deux armatures d'une bouteille de Leyde développées dans l'espace, l'une étant suspendue dans l'air et l'autre à proximité de la terre, pouvant être, en réalité, la terre elle-même si on veut.

Entre elles est placé l'éclateur et entre l'éclateur et la surface inférieure est la self et un condensateur, tous deux réglables (*fig. 90*) (1). Leur but est d'allonger la

(1) Dans les figures 90, 91, 92, 93, la connexion supérieure *a* mène à la surface supérieure, et les connexions X, X à la surface inférieure.

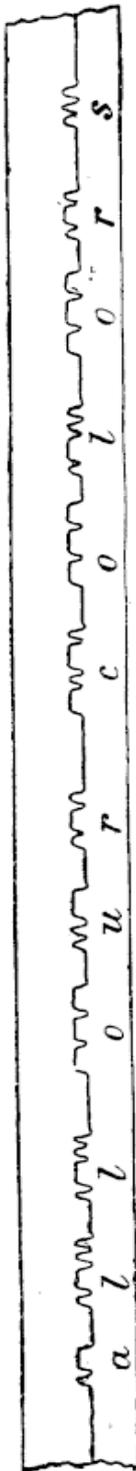


FIG. 89. — Fréquence de l'alternateur 600; environ 15 mots à la minute.

période et, en les réglant, d'accorder le transmetteur à la fréquence voulue, et de permettre ainsi la syntonisation du récepteur. L'idée dominante de Sir Olivier Lodge, en ce qui concerne la transmission, a toujours été de produire une succession d'ondes véritables de fréquence bien définie qui, en ajoutant leurs effets, produisent un son perceptible dans un récepteur convenablement accordé, quelque faibles que soient les ondes, suivant le principe de résonance. Cette action est électriquement illustrée par la vieille expérience de Sir O. Lodge sur

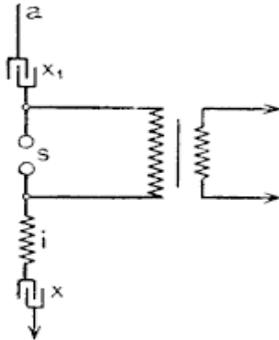


FIG. 90. — Circuit d'émission ouvert.

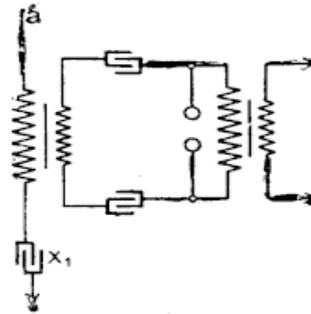


FIG. 91. — Circuit d'émission fermé.

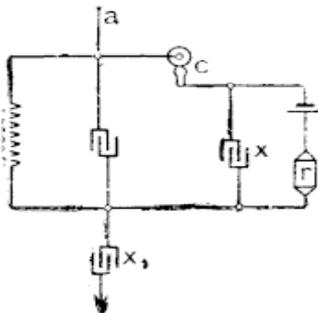


FIG. 92. — Circuit de réception ouvert.

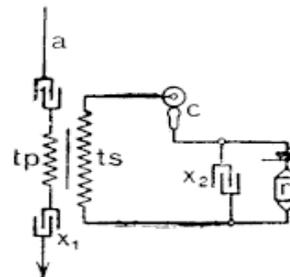


FIG. 93. — Circuit de réception fermé.

les bouteilles de Leyde syntonisées; dans cette expérience, le circuit fermé d'une des bouteilles répond à l'autre de telle sorte que l'étincelle éclate, ou que tout autre phénomène montrant qu'elle se charge se produit, chaque fois que l'autre bouteille se décharge à travers son propre circuit accordé au premier. Le réglage de la self et du condensateur rend également possible l'accord des deux circuits, de sorte qu'ils peuvent être protégés contre certaines vibrations parasites extérieures.

Mais, pour un accord très précis de cette sorte, il faut des dispositifs plus complexes que nous n'étudierons pas ici.

2° La deuxième revendication des inventeurs est l'emploi d'un trans-

formateur, ou bobine d'induction sans noyau de fer, dans le circuit de réception (t_p , t_s , fig. 93).

Ce dispositif est sans doute indispensable à la télégraphie sans fil à longue distance et, si des contestations s'élevaient plus tard relativement aux revendications d'inventeurs, c'est une disposition qui pourrait probablement triompher.

Son objet peut être indiqué brièvement : il a pour but d'amplifier la force électromotrice et de placer le cohéreur dans un deuxième circuit, au lieu de le mettre en série avec le fil supérieur et la capacité inférieure. Le passage concernant cette revendication, qui se trouve dans le brevet anglais de Sir Olivier Lodge n° 11573, de 1897, est le suivant :

« Dans certains cas, je peux... entourer la bobine de syntonisation du résonateur (récepteur) d'une autre bobine secondaire (réalisant ainsi une sorte de transformateur), et mettre cette seconde bobine dans le circuit du cohéreur, de telle sorte qu'elle soit influencée par induction par les courants alternatifs excités dans le conducteur du résonateur (récepteur) et que le cohéreur soit ainsi actionné par les courants de cette bobine secondaire plutôt que par les courants de la bobine de syntonisation elle-même : l'idée étant de laisser le résonateur (récepteur) plus libre de vibrer électriquement, sans le gêner par des fils de connexion. »

3° L'emploi d'un condensateur shunt (x_2 , fig. 93) dans le circuit du cohéreur, de manière à donner à ce circuit une période définie, comme le décrit le brevet Lodge-Muirhead n° 18644 de 1897. L'addition du condensateur en shunt élimine en ce qui concerne les oscillations l'influence de la batterie et de l'appareil de réception, et est regardée par les inventeurs comme ayant une grande importance.

Ce perfectionnement a été adopté en principe, comme le transformateur, par beaucoup de constructeurs et une modification habituelle consiste à diviser en deux parties le transformateur, le condensateur étant placé entre elles. Dans le brevet Lodge-Muirhead n° 29069 de 1897, le condensateur est placé entre la capacité inférieure, ou capacité de terre, et la self de syntonisation décrite en 1°.

Quand on emploie un transformateur, la pratique a montré qu'il était préférable d'avoir deux condensateurs, celui dont on vient de parler et un autre dans le circuit secondaire du transformateur (fig. 93).

Ce dernier brevet prévoit également la disposition du cohéreur dans une boîte métallique entièrement fermée, précaution qui, en pratique, est réalisée avec un dispositif court-circuitant automatiquement le cohéreur quand on passe de l'émission à la réception.

À côté de ces caractères plus ou moins essentiels du système, de nombreux perfectionnements de détail ont été apportés par Lodge et Muirhead

aux appareils pour simplifier ou améliorer leur usage. Le plus intéressant de ces perfectionnements concerne le nouveau cohéreur. Il y a encore peu de temps, les inventeurs pensaient avoir atteint le point de perfection désiré avec un cohéreur à tube de limaille pourvu de deux pointes d'aiguille à la place des fiches ou des saillies habituellement employées, le tube étant continuellement frappé par un frappeur actionné par un mouvement d'horlogerie, comme O. Lodge l'avait montré en 1894.

Tous les cohéreurs à limaille métallique offrent cependant de grands inconvénients. Ils nécessitent un frappeur spécial réglé avec soin, et beaucoup de ces appareils sont capricieux et se détériorent facilement. Le nouveau cohéreur inventé par Lodge et Muirhead n'a pas besoin de frappeur; il est maintenu constamment sensible par la rotation d'un petit disque d'acier séparé d'une colonne de mercure par une petite pellicule d'huile minérale.

Le choc des oscillations détruit la pellicule et établit momentanément une liaison entre le disque et le mercure.

La figure 94 montre le cohéreur dans sa boîte métallique; les figures 95 et 96 donnent les détails de construction :

a est le disque tournant en acier, *b* le mercure dans le godet *d*, avec un ressort en platine amalgamé *c* qui le connecte à la borne *h*; *e* est un balai en cuivre formant contact avec

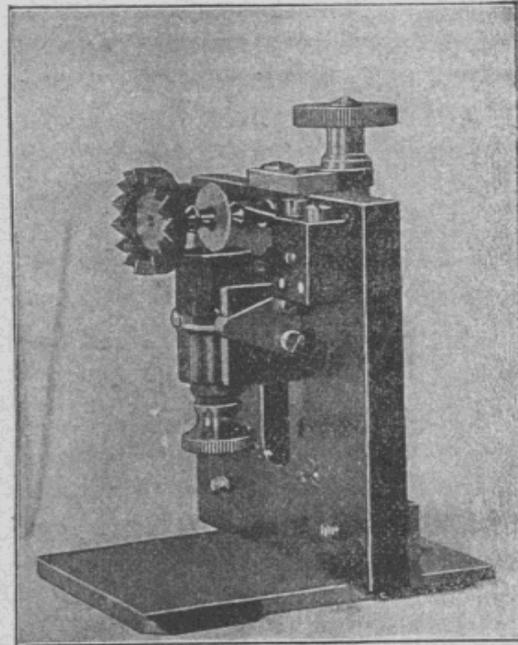
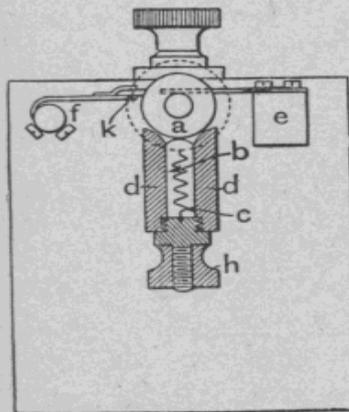


FIG. 94. — Cohéreur.



Sectional Elevation

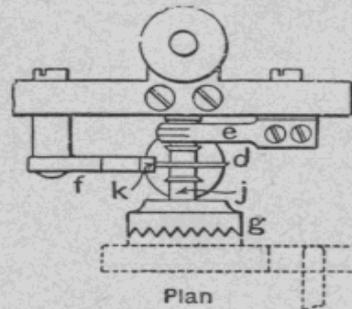


FIG. 95 et 96. — Cohéreur en élévation et en plan.

connecte à la borne *h*; *e* est un balai en cuivre formant contact avec

le disque par l'intermédiaire de son axe j . f est un ressort portant un petit coussin de feutre k appuyant doucement sur le disque d'acier et ayant pour objet de le maintenir propre et d'enlever les poussières avant

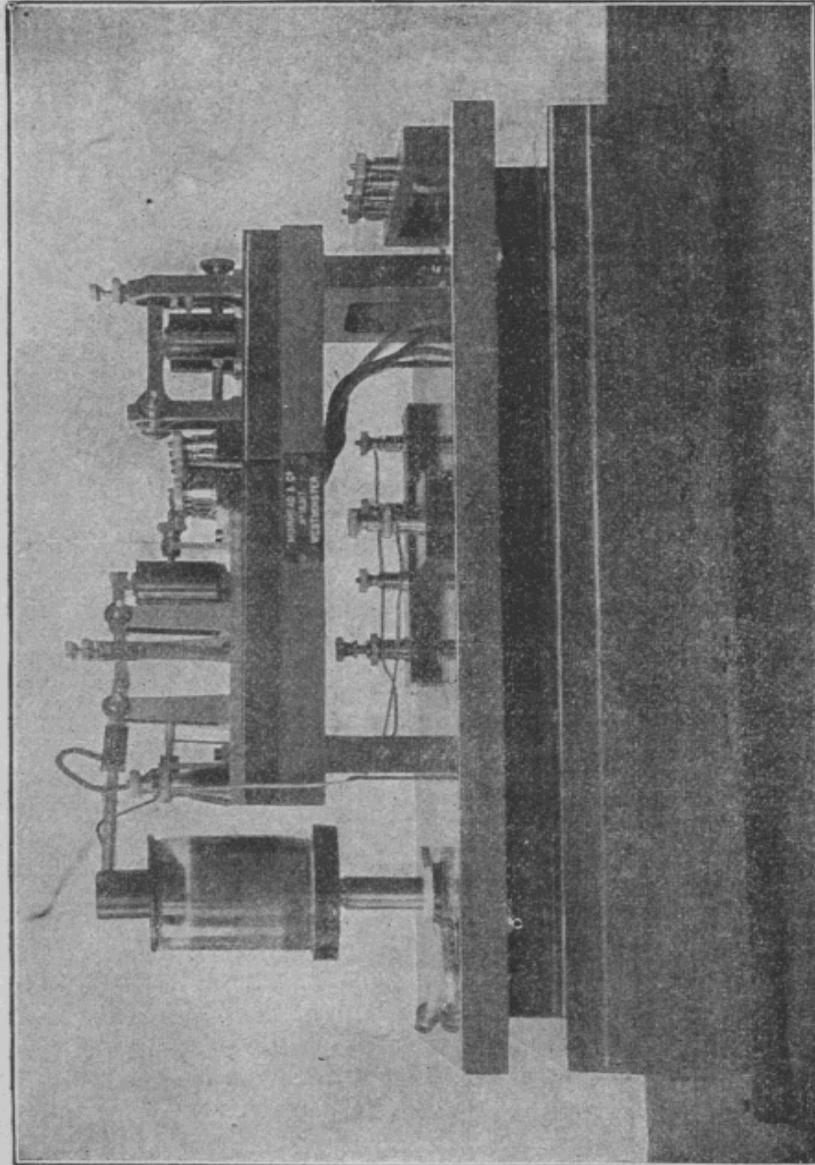


FIG. 97. — Le buzzer (interrupteur).

et après passage sur le mercure; g sont des roues en ébonite reliant le disque d'acier au mouvement d'horlogerie actionnant le siphon recorder, aux côtés duquel la boîte du détecteur est placée.

Le cohéreur est placé directement en circuit avec le siphon recorder, sans l'interposition de relais; il est connecté également avec un poten-

liomètre servant à régler la tension aux bornes de 0,03 à 0,5 volts suivant les cas. Le cohéreur est si sensible, quand le disque tourne lentement, que l'application d'un seul volt est suffisante pour rompre la pellicule d'huile et établir la cohérence. On ne doit donc employer qu'une fraction de batterie, le reste du circuit étant de résistance suffisamment basse ; et on conçoit clairement que la moindre surtension électrique produisant quelque effet électrostatique, suffise à rompre la pellicule à fermer le contact, et donner le signal voulu. Il est difficile d'imaginer qu'un instrument enregistreur quelconque agissant électrostatiquement puisse être plus sensible et plus sûr que ce simple appareil.

Le circuit d'émission dans un circuit ouvert ordinaire consiste essentiellement en une capacité élevée, de préférence une grande sphère ou un toit, bien qu'en pratique on puisse employer une cage en fil, offrant aussi peu de résistance que possible au vent (*fig.* 102 et 104). A cette capacité est suspendu le fil d'antenne qui est amené dans la chambre d'émission et connecté à une des boules de l'éclateur. La bobine de self et le condensateur sont connectés en série à l'autre boule et un fil les connecte en dehors de la chambre à la deuxième capacité. Le système comprend en outre une bobine de Ruhmkorff produisant les étincelles et une batterie de cinq accumulateurs, remplacée dans les postes à grande distance par un alternateur. Différentes méthodes d'arranger les connexions en circuit

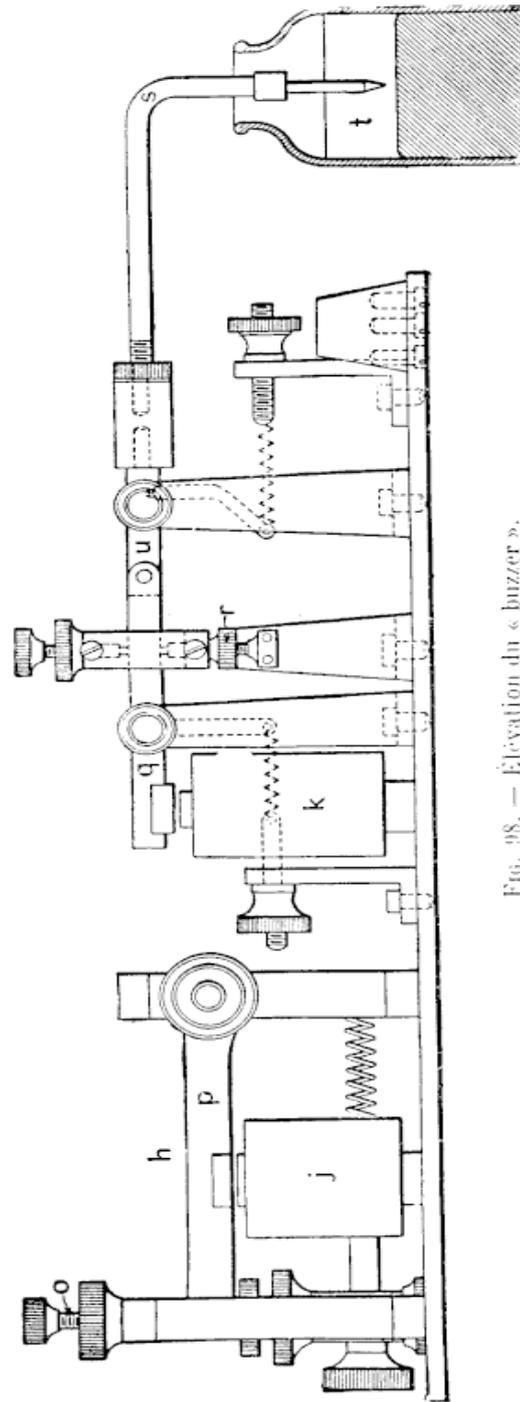


Fig. 98. — Élévation du « buzzer ».

fermé ou ouvert sont représentées dans les figures 90 à 93 et 99 à 101.

Les appareils d'émission consistent soit en un manipulateur Morse spécial, manœuvré à la main, ou, ce qui est une des améliorations caractéristiques de Muirhead, un manipulateur automatique employé avec perforateur d'un type spécial. Dans tous les cas, le circuit d'émission contient un appareil destiné à fermer et à interrompre à une certaine vitesse le primaire de la bobine d'induction. Cet appareil, représenté

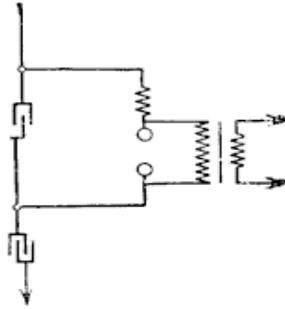


FIG. 99. — Autre forme de circuit d'émission fermé.

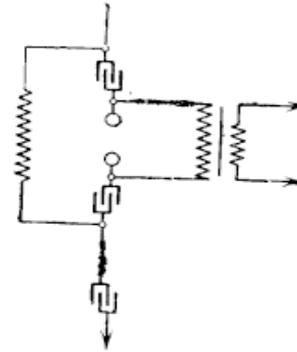


FIG. 100. — Autre forme de circuit d'émission fermé.

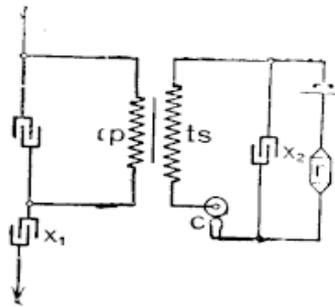


FIG. 101. — Circuit de réception fermé avec transformateur.

figure 97 et schématiquement figure 98, est composé de deux sounders télégraphiques connectés de façon à agir l'un après l'autre. Un bras d'aluminium muni d'une tige de cuivre plongeant dans le mercure est attaché à l'armature du deuxième sounder et la fermeture et l'ouverture rapide du circuit entre le mercure et la tige de cuivre (environ 600 fois à la minute) fixe la fréquence des étincelles. L'appareil est appelé « buzzer », et sa fonction est, pendant que le manipulateur est abaissé, de transformer le courant en une rapide succession d'étincelles, sans que l'opérateur ait à s'en occuper (sauf qu'il peut avoir à régler les armatures des sounders ou la distance de plongée dans le mercure suivant les cas), de sorte que tout ce qu'il a à faire est d'envoyer, à la manière

télégraphique habituelle, des signaux longs ou courts. Ceux-ci sont transformés par le « buzzer » de façon convenable pour la signalisation par étincelles, et sont traduits par le recorder en signaux longs ou courts inscrits sur la bande (voir l'exemple d'inscription donnée). Si le nombre d'étincelles est insuffisant, le signal se transforme en une ligne brisée ou onduleuse, et non en une ligne continue ; mais, si la rapidité de succession des étincelles augmente, l'ondulation disparaît, et l'aiguille du

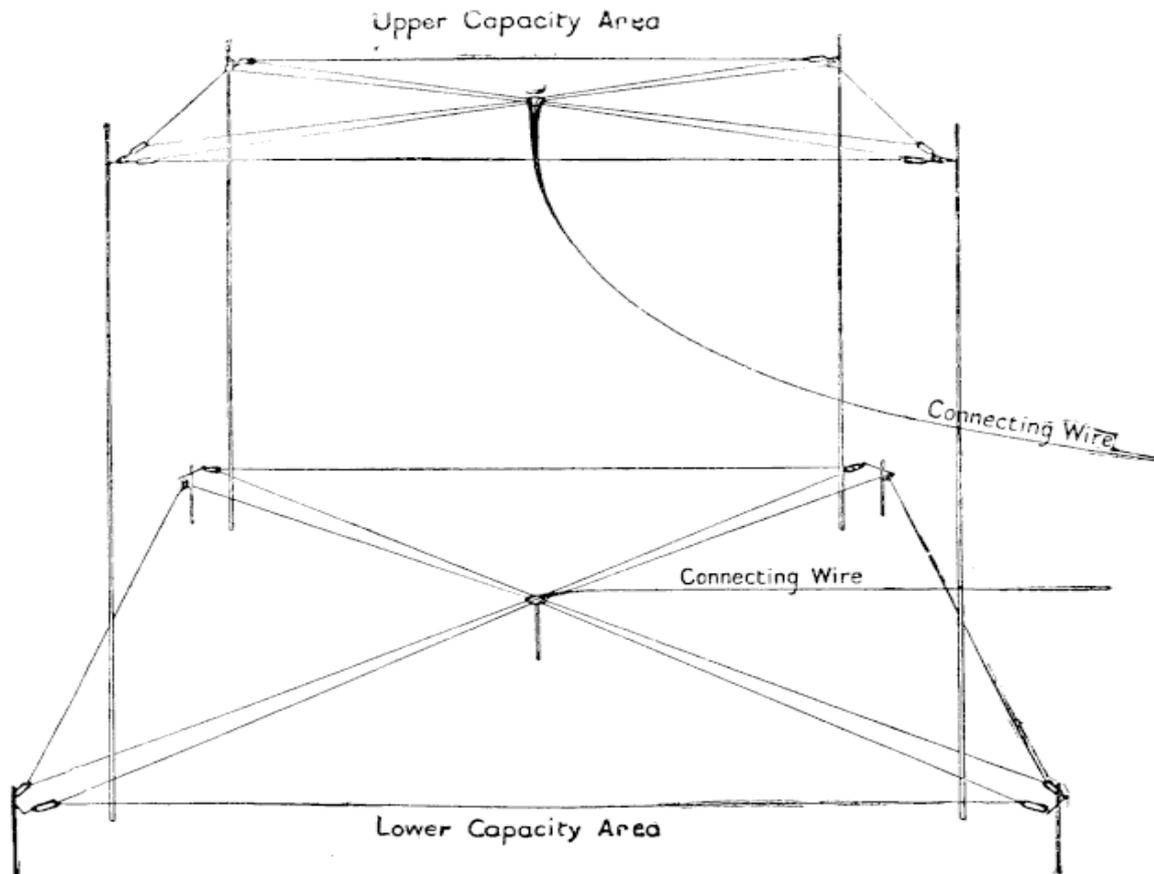


FIG. 102. — Capacités isolées formant oscillateur employé en 1907.

recorder est simplement maintenue, donnant une déviation constante d'un certain temps pour représenter un trait et une déviation momentanée pour un point. Cette constance dans la déviation, bien qu'agréable à l'œil, n'est cependant pas réellement indispensable, et l'on peut déchiffrer également bien, avec un peu de pratique, les signaux quand les étincelles sont si rares qu'il n'y en a que trois pour représenter un point et un trait. On doit remarquer cependant que le nouveau cohéreur, combiné avec le recorder, suit chaque fluctuation et chaque singularité des ondes reçues et indique les inégalités et les incertitudes qui peuvent se

produire au transmetteur. Cette méthode de réception est bien préférable à celle qui nécessite l'intervention d'un relais, et convient pour étudier les changements amenés par toute variation dans le régime de

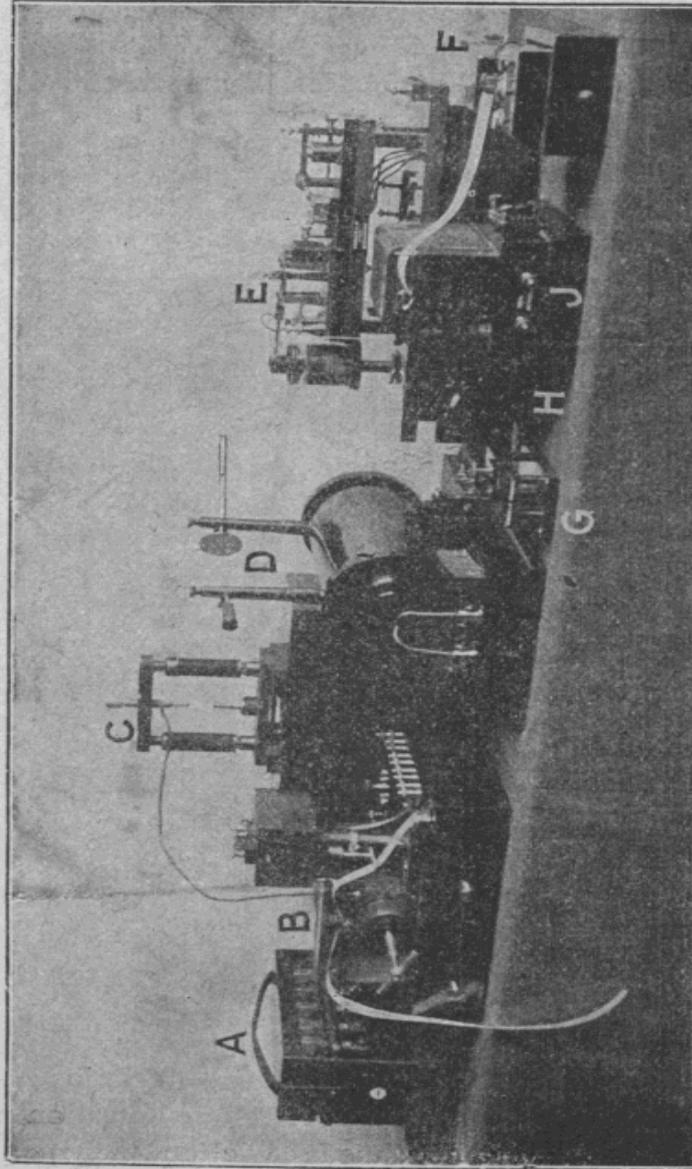


FIG. 103. — Disposition générale des appareils d'émission et réception.

A, boîte d'accus de 12 volts. — B, récepteur. — C, châssis de l'éclateur. — D, bobine d'induction de 20 centimètres.
E, interrupteur. — F, perforateur. — G, manipulateur. — H, commutateur. — J, auto-transmetteur.

l'émission. Si les signaux arrivent avec des amplitudes variables, la lecture peut être facilitée en limitant l'action du siphon recorder par une butée contre laquelle il sera arrêté pour une valeur déterminée du courant à chaque signal.

L'application directe des appareils télégraphiques ordinaires à l'émis-

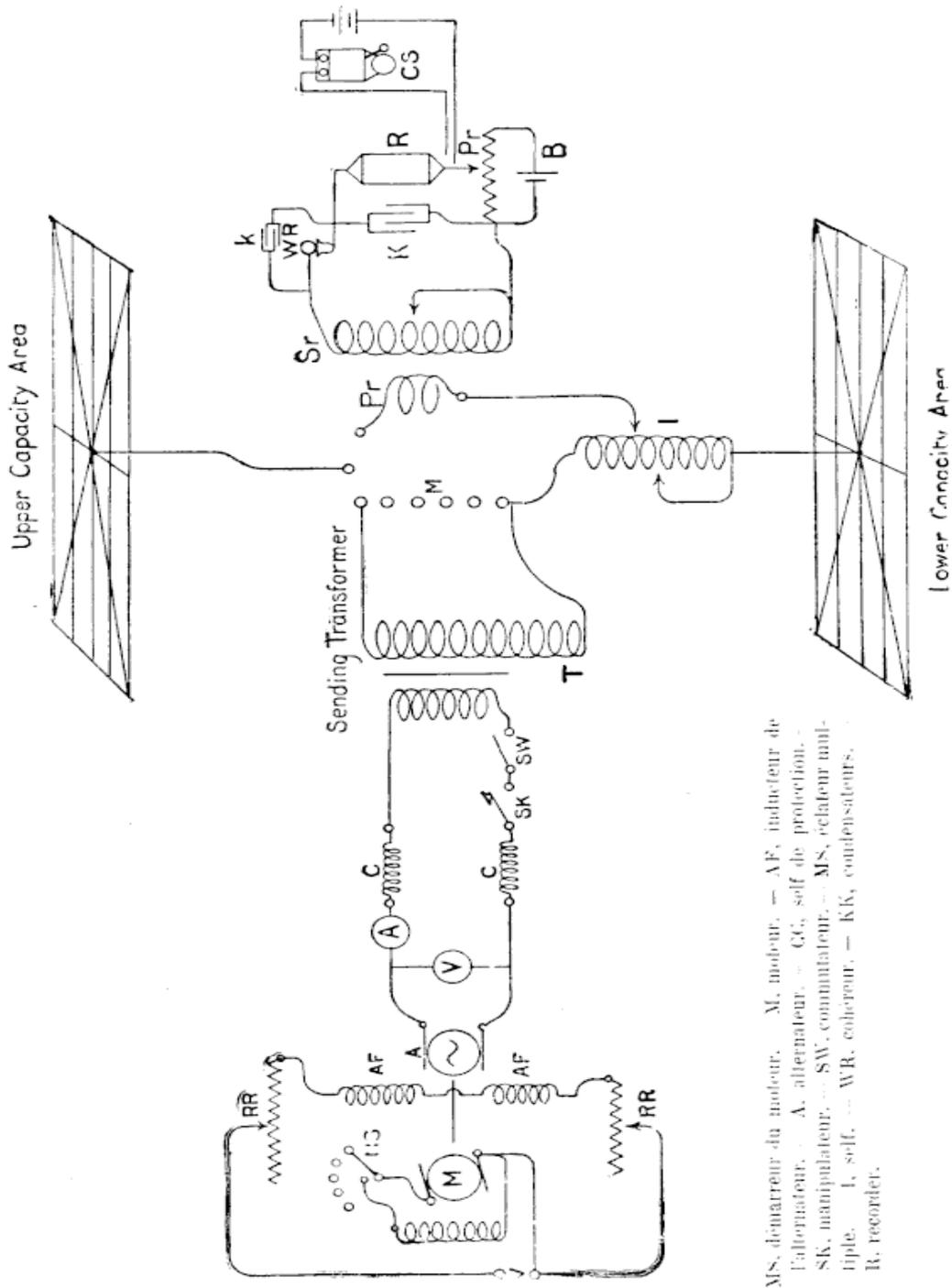


FIG. 104. — Schéma d'un ensemble émission et réception de type récent.

sion et à la réception est l'un des traits les plus remarquables du système Lodge-Muirhead et est due principalement au Dr Muirhead, qui en

entrevit la possibilité dès 1894, alors que Sir O. Lodge faisait ses premières expériences devant la Royal Institution.

Grâce à l'amabilité des éditeurs de *l'Electrician*, je suis autorisé à faire les extraits suivants d'un rapport de M. Simpson, électricien de l'administration des télégraphes du gouvernement Indien, sur l'établissement des communications par T.S.F. entre Burma et les îles Andaman. Ce rapport (du 21 décembre 1903), forme l'historique intéressant d'une installa-

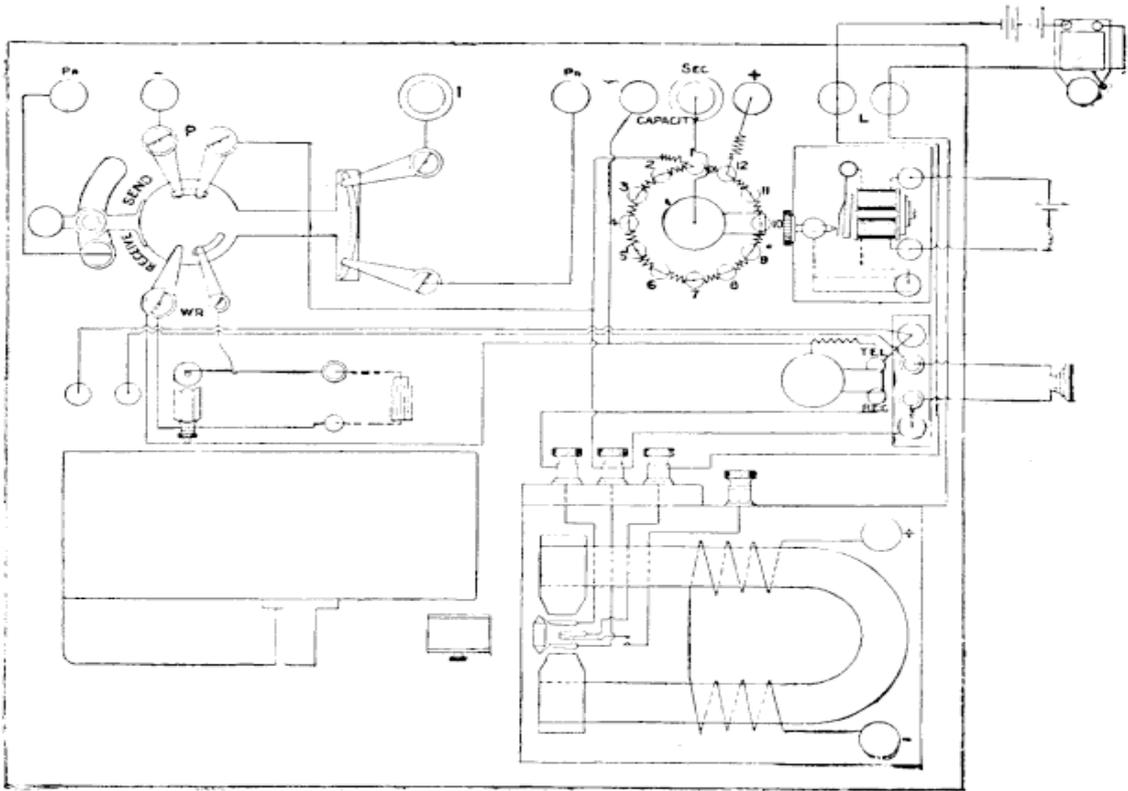


FIG. 105. — Détail des appareils de réception.

tion ayant réussi malgré tous les désavantages d'un climat tropical et est une preuve de la valeur pratique du système Lodge-Muirhead.

« Vers la fin d'août 1904, les opérations furent commencées dans le but de réunir Port-Blair, dans les îles Andaman, avec le réseau télégraphique général de l'Inde en établissant des stations de T. S. F. à Port-Blair et à l'île Diamond, déjà reliée par un petit câble à la côte. La distance à couvrir était de 305,2 milles. Entre Port-Blair et l'île Diamond est située l'île de la Table, où est un phare, et auprès de laquelle passent les navires dans leur route de Rangoon à Colombo et de Calcutta aux détroits. Il fut donc décidé de saisir l'occasion d'établir une station à

Table Island, cette station devant servir également à la navigation et à l'Institut météorologique.

« La distance de l'île Diamond à l'île de la Table est de 130,2 milles, et de l'île de la Table à Port-Blair de 177,5 milles. La carte ci-jointe (fig. 107) montre l'emplacement des stations.

« Le système adopté était le système Lodge-Muirhead, que nous avons déjà expérimenté au commencement de 1904. Dans ce système, il faut quatre mâts à chaque station et, la distance à couvrir étant de

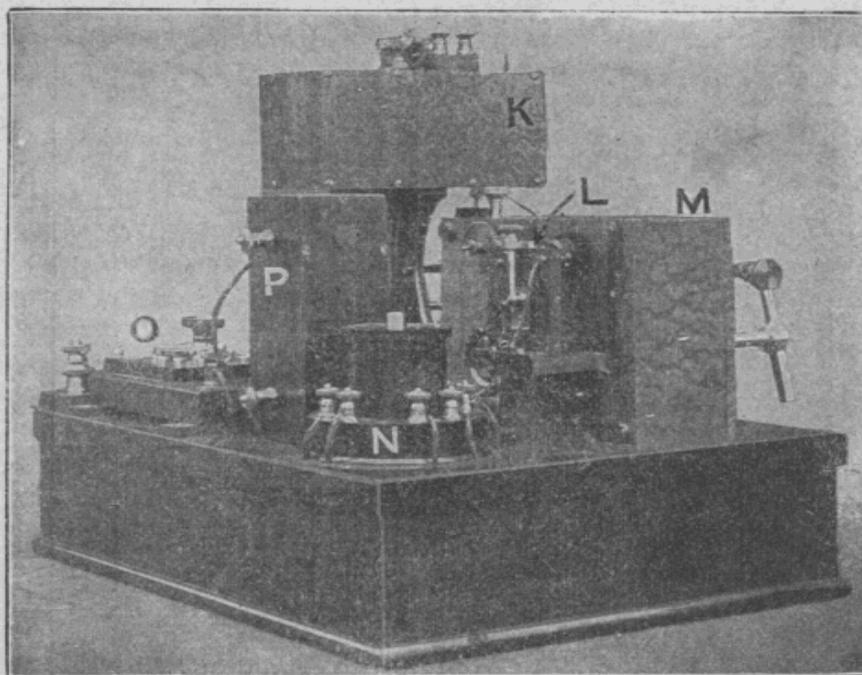


FIG. 106. — Vue arrière des appareils de réception.

R, recorder. — L, cohéreur. — M, mouvement d'horlogerie. — N, commutateur. — O, potentiomètre. — P, transformateur.

300 milles, on jugea nécessaire d'employer des mâts de 46 mètres (150 pieds).

« Je quittai Calcutta le 8 octobre 1904, accompagné de M. Parker, surveillant, d'un opérateur et d'une équipe indigène. Par le même paquebot partaient les quatre mâts et tout le matériel nécessaire pour l'installation de Port-Blair. Le paquebot arriva le 11 octobre et on commença immédiatement l'érection des mâts et l'installation de la station.

« Le commissaire en chef mit à ma disposition M. Bonig, maître de port, avec la main-d'œuvre nécessaire pour le dressage des mâts. Le travail fut mené rapidement et les quatre mâts étaient dressés le 28 octobre. Le moteur et la dynamo furent alors placés dans la tente et le chargement de la batterie commencé. La station était achevée le 11 novembre et travaillait avec succès avec une station provisoire ins-

tallée sur le *Minto*, au large du port, et séparée par une grande colline.

« Laissant à M. Parker la charge des opérations à Port-Blair, je le quittai le 7 novembre pour l'île Diamond et y arrivai le 13. L'installation fut terminée le 20 novembre et des essais de communication furent faits avec Port-Blair du 20 au 23, quand un petit moteur fut mis hors de

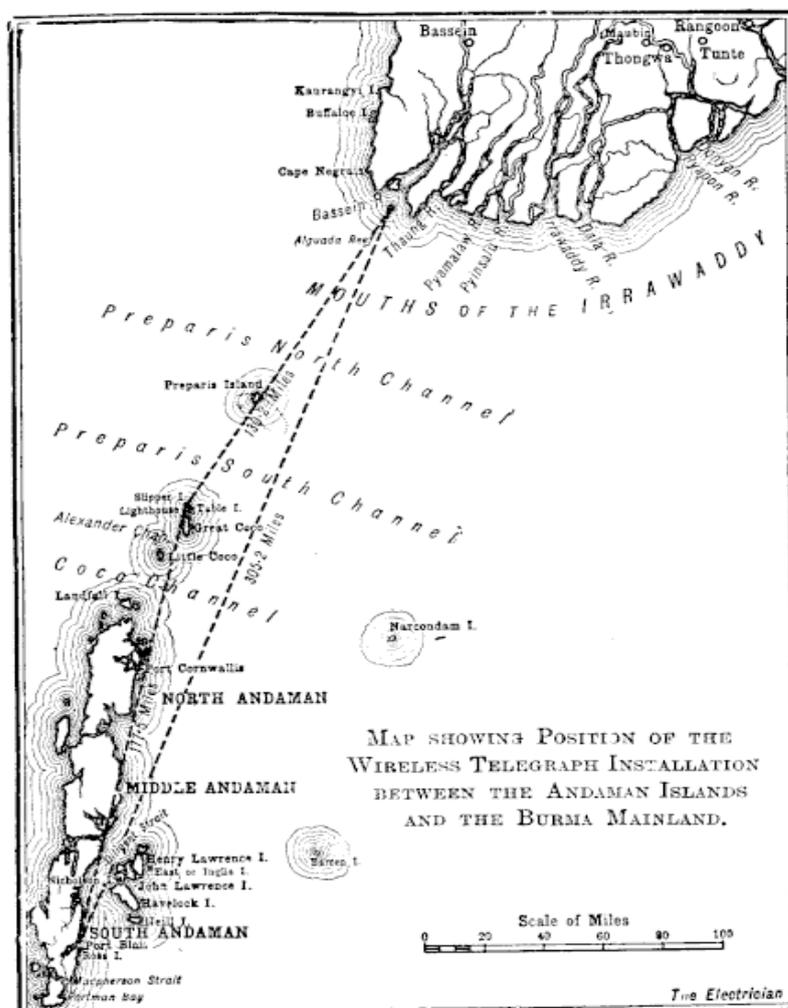


FIG. 107. — Carte montrant les stations T. S. F. entre les îles Adaman et Burma.

service. L'ondemètre n'étant pas encore arrivé, nous ne pouvions accorder les stations et pouvions difficilement espérer un succès.

« Je quittai l'île Diamond le 25 novembre pour Rongoon pour prendre les mâts et le matériel destiné au poste de l'île de la Table et pour choisir son emplacement. Nous arrivâmes à l'île de la Table le 30 novembre et restâmes deux jours à débarquer le matériel. A cause de la disposition des îles Coco voisines, il était nécessaire de placer la station le plus à l'ouest possible. Je décidai donc de ne pas placer la station à

l'île de la Table, mais à l'île Slipper, une toute petite île à l'ouest de l'île de la Table, reliée à elle à marée basse par une bande de terre. Ayant choisi l'emplacement des mâts, je retournai à l'île Diamond, où j'arrivai le 2 décembre, accompagné de M. Landon, chef assistant, qui m'avait rejoint à Rongoon.

« Nous poursuivîmes alors les essais entre l'île Diamond et Port-Blair, et, bien que nous reçûmes quelques signaux, nous n'obtinmes rien de lisible avant le 22 décembre 1904, où nous reçûmes pendant dix minutes les premiers signaux lisibles échangés par T. S. F. de Burma aux îles Andaman. Comme la distance de ces stations est de 305,2 milles et que la puissance employée était de 36 volts 13 ampères, soit un peu plus de $\frac{1}{2}$ HP, ce résultat prouve l'efficacité du système Lodge-Muirhead.

« Les expériences entre l'île Diamond et Port-Blair ne purent être continuées alors, M. Parker quittant Port-Blair le 22 pour prendre charge de la station de l'île Diamond, tandis que j'allais à l'île de la Table pour achever l'installation de l'île Slipper. M. Landon m'accompagnait et nous arrivâmes à l'île de la Table le 28 décembre.

« Il n'y a pas de place d'atterrissage pour un navire à l'île Slipper. Il y a deux places d'atterrissage à l'île de la Table, une au sud, qui est à choisir pendant le mousson du nord-est, l'autre au nord, à choisir pendant le mousson du sud-ouest. Le débarquement est très difficile par mauvais temps et souvent impossible pendant le mousson. Notre matériel fut débarqué entièrement à l'île de la Table et dut être transporté, quand la marée le permettait, à l'île Slipper. Les mâts étaient installés, l'antenne dressée et tous les appareils mis en place pour le 11 janvier. Le 12 janvier, on échangea des messages avec l'île Diamond et la communication fut établie. Ces stations continuèrent à bien marcher jusqu'au milieu de mai, où une pièce importante de machine se brisa et ne put être réparée avant la fin de juin.

« Je quittai l'île de la Table le 17 janvier, laissant à M. Landon la charge de l'installation de l'île Slipper. J'arrivai à l'île Diamond le 18 au matin. L'ondemètre était enfin arrivé, et j'eus juste le temps de mesurer la longueur d'onde de Diamond avant le départ du paquebot le même jour pour Port-Blair, où il arriva le 19.

« Le 30 janvier, nous pûmes recevoir les signaux de l'île Diamond, à 305,2 milles, et de l'île Slipper, à 177,5 milles, à Port-Blair, mais ces postes ne pouvaient recevoir alors les signaux de Port-Blair, bien qu'ils fussent en communication entre eux.

« Il restait alors seulement à installer à l'île Diamond et à l'île Slipper les mêmes appareils d'accord que nous avions installés à Port-Blair. M. Shields prit la première occasion qui se présenta d'aller à l'île Diamond, où il arriva le 9 février; le 10 février 1905, la communication était établie directement de Port-Blair à l'île Diamond, un nombre considérable de messages étant échangés ce même jour. A partir de cette date, la communication a été maintenue, à part de rares interruptions.

et la quantité de dépêches échangées a été très grande, comme le montrent les statistiques ci-après.

« A ce moment nous employions pour l'émission une bobine d'induction de 50 centimètres (20 inches) alimentée par une batterie d'accumulateurs, mais on ne comptait pas que ce fût suffisant comme puissance pour un travail continu, et on avait commandé des machines de 3 HP avec des alternateurs et des transformateurs. Comme réception, on employait des téléphones avec des cohéreurs acier-carbone. Au commencement, sur la ligne de l'île Slipper à l'île Diamond, on avait employé le cohéreur Lodge-Muirhead, actionnant un siphon recorder et inscrivant les signaux sur une bande, mais nos opérateurs, habitués à lire au son, préféraient écouter au téléphone, et les signaux téléphoniques du détecteur acier-carbone étaient préférables à ceux du détecteur Lodge-Muirhead.

« Le 20 février, les machines et alternateurs de 3 HP avec transformateurs arrivèrent à Rongoon, d'où elles furent réexpédiées. Elles arrivèrent à l'île Diamond le 4 mars, à l'île Slipper le 5 et à Port-Blair le 6. Les machines furent installées et mises en marche à l'île Diamond le 6, à Port-Blair le 10 mars, et il en résulta une amélioration marquée dans les signaux, tant au point de vue de la force que du son.

« A cette époque se produisit la première interruption sérieuse. L'île Diamond fut pendant quatre jours (10 au 13 mars) incapable de lire les signaux de Port-Blair à cause des troubles atmosphériques. Pendant ce même temps Port-Blair pouvait lire très bien les signaux de l'île Diamond; mais, dans une autre occasion précédente, c'avait été le contraire. Il n'y eut pas d'autres troubles dans l'exploitation dans le courant de mars, mais les troubles atmosphériques étaient fréquents l'après-midi et rendaient souvent le travail difficile.

« Depuis le mois d'avril, on tient des statistiques du trafic. L'installation n'a été ouverte que dans un degré limité pour le service de l'État, et le nombre de messages en avril était de 55 envoyés de Port-Blair et 39 reçus de Port-Blair, mais on en envoya un grand nombre en plus, et le trafic pendant le mois se monta à près de 10.000 mots, et on aurait pu en faire plus si nécessaire. Pendant le mois de mai, le trafic atteignit 24.000 mots. Le trafic pendant les mois de juillet, août, septembre, octobre et novembre s'est élevé à 18.542, 21.286, 21.408, 27.398 et 26.938 mots de véritables messages. On aurait pu naturellement en expédier davantage.

« Il paraît certain que les troubles atmosphériques sont plus fréquents à l'île Diamond qu'à Port-Blair. Les interruptions qu'elles ont occasionnées auraient été beaucoup réduites si tout avait été tranquille. Jusqu'à fin juin, les appareils à l'île Diamond étaient installés dans une tente et les opérateurs travaillaient dans des conditions très défavorables...

« De même qu'une ligne ordinaire est soumise à des interruptions occasionnelles provenant de chutes d'arbres, inondations et autres causes physiques, de même une station de T. S. F. est soumise à des interruptions occasionnelles provenant de causes électriques.

« L'installation que nous avons doit être regardée comme aussi *sûre* qu'une ligne télégraphique ordinaire de 300 milles à travers la forêt, et elle pourrait, je crois, soutenir la comparaison avec n'importe quelle autre installation de semblable portée de T. S. F., au point de vue de la régularité du travail. »

Hauteur de la capacité inférieure au-dessus de la terre. — Sir O. Lodge et le Dr Muirhead ont montré expérimentalement que, pour une position donnée de la surface supérieure, l'efficacité de la transmission est augmentée en plaçant la surface inférieure à une certaine distance du sol. Leurs résultats sont contenus dans le brevet 11271 de 1907 (anglais) et dans un travail lu à la Royal Society en 1908. La hauteur convenable est celle qui donne au système radiant la capacité moindre.

Suivant les états du sol et du sous-sol, il est évident que cette hauteur sera différente.

Une étude mathématique que j'ai faite récemment (1910) des conditions nécessaires pour produire le courant oscillant maximum dans le circuit complexe comprenant les parties inférieure et supérieure de l'antenne et le sol montre que la condition pour la capacité minima est également celle pour la fréquence égale des branches parallèles du circuit complexe, et par conséquent pour la résonance entre elles. Ceci paraît expliquer le phénomène observé par Lodge et Muirhead.

Le Dr Burstyn a attaqué le problème à un point de vue différent. Supposant, comme c'est généralement le cas, qu'en dessous d'une couche de terre plus ou moins sèche se trouve une couche humide plus conductrice, il considère l'espace situé entre la surface inférieure et la couche humide comme un condensateur dont une partie du diélectrique, la couche supérieure du sol, est partiellement conductrice. D'après ces données, plus est grande l'épaisseur de la couche sèche supérieure, plus l'aire inférieure doit être placée haut, pour que l'augmentation d'amortissement par perte ohmique, et par conséquent la déperdition d'énergie, soit minima.

CHAPITRE IX

LE SYSTÈME FESSENDEN

Le professeur Fessenden commença en 1897 le développement de son système qui a été soutenu financièrement par la National Signalling Company. Les inventions sont très nombreuses et en beaucoup de points originales et ses productions sont d'une précision et d'un esprit pratique rarement atteints par les autres expérimentateurs dans cette partie.

Des détecteurs magnétiques, thermiques, électrolytiques, des méthodes d'accord exact et même des procédés de téléphonie sans fil sont couverts par les brevets de Fessenden. Parmi ces inventions, celle qui a sans doute contribué le plus au succès du système est le « barreter ». Dans sa forme originale, c'était un détecteur thermique fondé sur la variation de résistance d'un fil fin de platine au passage des oscillations. Plus tard, le fil continu a été abandonné en faveur d'un détecteur électrolytique, dont une électrode est formée d'une pointe extrêmement fine. L'appareil a été décrit au chapitre VII. Un caractère important de ce système qui aide beaucoup le secret de la transmission est la disposition du manipulateur qui ne coupe pas le circuit, mais change seulement la longueur des ondes émises en modifiant la self. De sorte qu'à moins que la station réceptrice ne soit accordée avec une extrême précision avec la station émettrice, elle ne reçoit qu'un trait au lieu de signaux, et seulement un récepteur très exactement accordé est capable de recevoir un message. Dans les dernières formes d'appareils, la différence de fréquence entre les ondes émises pendant les signaux et celles émises pendant les espaces blancs est seulement de $\frac{1}{4}$ 0'0; l'interception par les autres postes est donc presque impossible. M. Fessenden est probablement le seul se servant comme antenne d'un tube d'acier établi sur une fondation isolante et maintenu par des haubans isolés. Les figures 108, 109 et 110, faites d'après des photographies prêtées par la National Electric Signalling Co, montrent l'antenne et des détails de filet de

terre (*wave chute*) à Machrihanisch. En notant que la distance entre les isolateurs de chaque hauban est de 15 mètres, on se rend compte des grandes dimensions du tube.

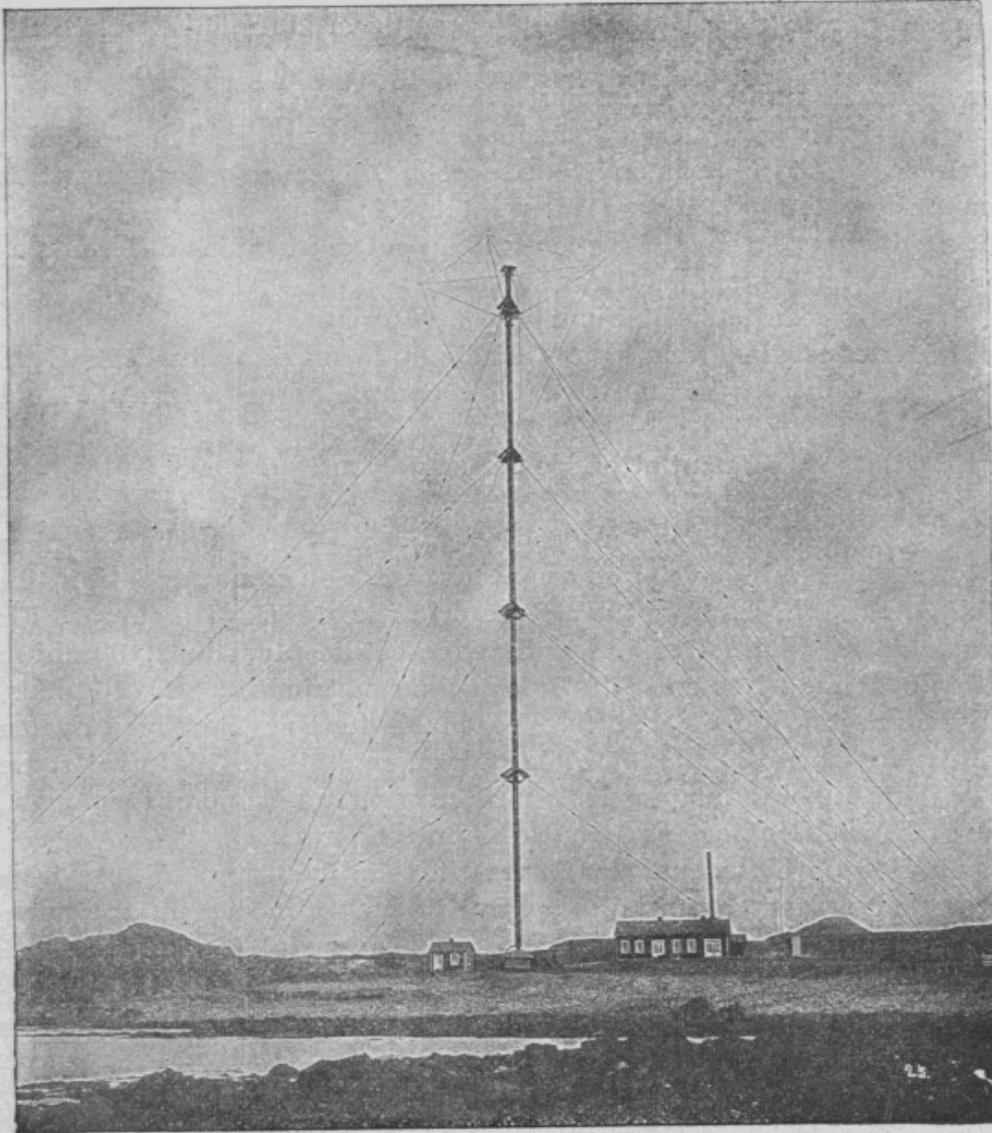


FIG. 108. — Antenne (136^m) du système Fessenden à Machrihanish.

Un tube d'acier supporté par des haubans de fil d'acier sectionnés en parties de 15 mètres. La capacité est augmentée par un réseau supporté par des branches vers le sommet du tube.

Un grand nombre des perfectionnements les plus récents ne peuvent pas être décrits en détail, les brevets n'étant pas encore publiés. Mais, comme il est souvent de plus grande utilité pratique d'avoir des résultats bien attestés sur le fonctionnement d'appareils dont les détails ne

sont pas encore publiés que de suivre le plan ordinaire et de donner des descriptions complètes d'appareils dont la valeur pratique est douteuse, je citerai quelques notes provenant principalement des rapports d'experts appartenant aux différents services des États-Unis et qui m'ont été communiquées par le représentant en Écosse de la National Electric Signalling Co.

Les appareils radiotélégraphiques de la National Signalling Co comprennent : *A*) les appareils d'émission et de réception ; *B*) le protecteur de brouillages ; *C*) le transmetteur secret ; *D*) un dispositif contre les atmosphériques ; *E*) un régulateur d'intensité ; *F*) un ondemètre.

Pour éviter les erreurs, les résultats qu'ont donnés ces différents appareils sont placés sous les titres suivants :

1° Meilleurs résultats obtenus :

a) Dans des essais officiels par l'armée ou la marine des États-Unis ;

b) Essais dont les résultats ont été complètement vérifiés et confirmés ;

2° Résultats qu'on peut attendre en usage pratique ;

3° Résultats garantis.

A) *Appareils d'émission et de réception.* — 1° Le bateau-phare *Hatteras* n° 72, équipé avec nos appareils, a été en communication télégraphique avec la station navale américaine de Dry Portugas, Fla, munie de notre « barretter ». La distance est de plus de 4.100 milles (2.037 kilomètres). Les mâts du bateau-phare avaient 22^m,80 (73 pieds), la puissance était de 500 watts. Les mâts de Dry Portugas avaient 55 mètres environ (180 pieds), et la puissance était de 3 kilowatts. Les résultats ont été obtenus par des opérateurs de la marine et forment un rapport officiel. Ces portées furent obtenues de nuit.

Les navires de la marine des États-Unis équipés avec nos appareils au large de Norfolk communiquent avec plus ou moins de régularité avec les stations des environs de Boston (Rapports d'opérateurs de la marine).

Dans les essais officiels effectués par la marine des États-Unis avec les postes de 1 kilowatt installés sur l'*Alabama* et l'*Illinois*, la communication fut maintenue à une distance de 268 milles (497 kilomètres), de jour et au mois d'août, malgré les parasites atmosphériques violents et d'autres brouillages. Les mâts ont 135 pieds (41 mètres) de haut. Les résultats ont été obtenus par des opérateurs de la marine et sont insérés dans des rapports officiels.

Avec les stations côtières, des messages ont été échangés entre Mach-rishanish (Écosse) et Brant-Rock (Massachussets), à une distance de plus de 3.004 milles terrestres (4.800 kilomètres).

Les résultats obtenus avec le dock flottant *Dervey* ont été publiés par

la marine. Le *Hotteras* était équipé complètement avec nos appareils, et le *Dervey* avec une contrefaçon de notre « barreter » et de nos appareils d'émission.

2° Avec le poste-type de 1 kilowatt et des mâts de 41 mètres (135 pieds),

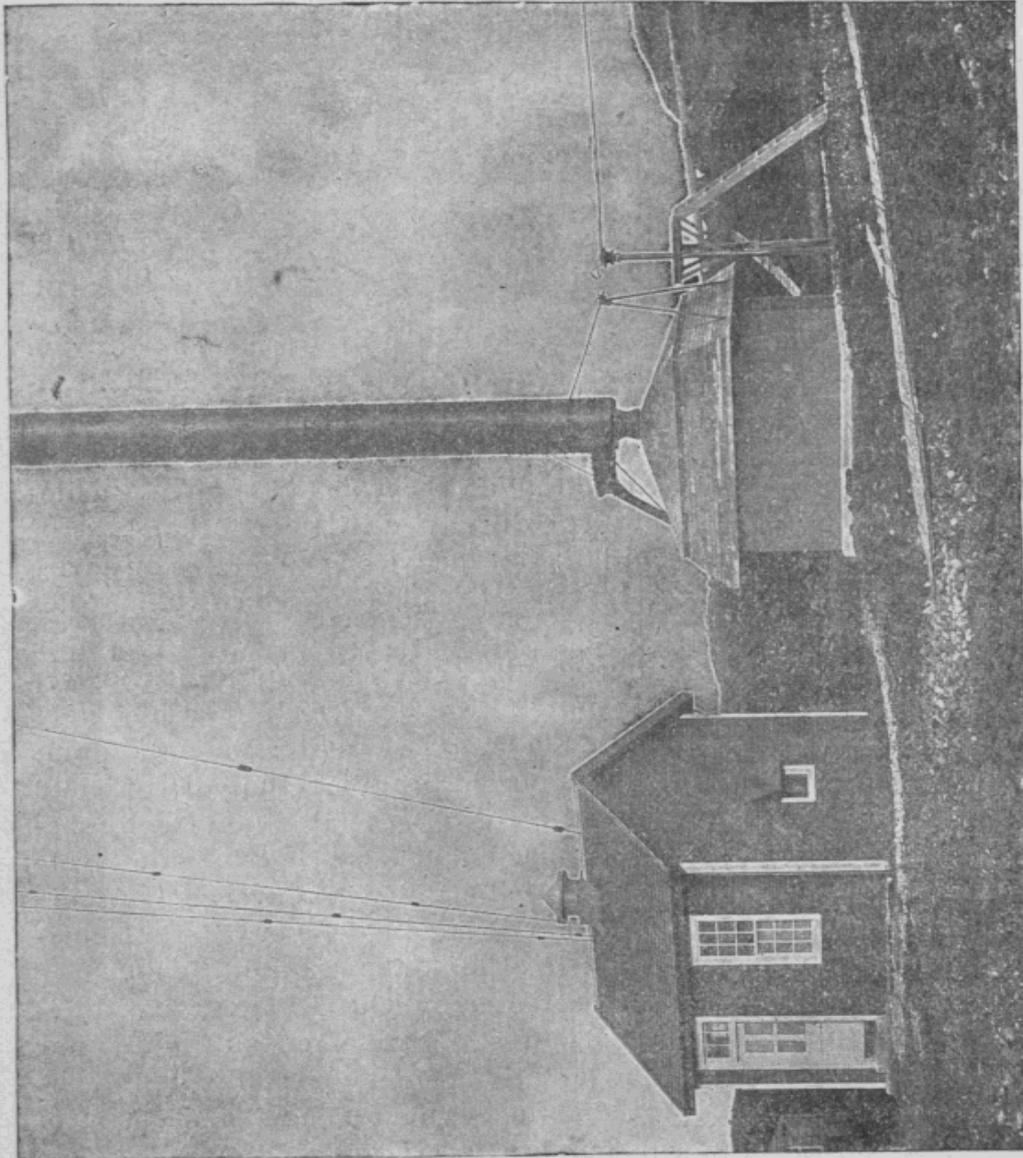


FIG. 109. — Station Fessenden de Machrihanish.

Base de l'antenne montrant l'articulation isolée à rotule le supportant et les fils d'émission et de réception.

on devrait dans tous les cas obtenir la communication à 550 kilomètres (300 milles). Avec la station de 5 kilowatts, on aurait 500 milles (925 kilomètres), et avec le 20 kilowatts une distance de 800 à 1.000 milles (1.480 à 1.852 kilomètres).

3° Les distances garanties sont les suivantes :

Postes de 1 kilowatt.....	250 milles (460 km)
— 5 —	400 — (740 km)
— 20 —	700 à 750 milles (1.300 à 1.400 km)

La puissance nécessaire varie approximativement comme le carré de la distance pour des portées jusqu'à 1.000 milles.

B) *Protecteur de brouillages.* — 1° Des messages ont été reçus avec perte d'un mot sur douze (facilement corrigé à la répétition), une station de 2 kilowatts travaillant seulement à 226 yards (207 mètres) de la station de réception (essai officiel).

Dans des conditions semblables, aucune des compagnies concurrentes n'a pu recevoir quand la station brouillant était à moins de 5 milles et demie (10 kilomètres). (Rapport officiel).

Quand le navire qui brouillait les signaux était assez près pour que son émission brûle les cohérents, le navire correspondant étant néanmoins trop loin pour que ses messages pussent être reçus au cohérent, même sans brouillage, la simple installation du protecteur de brouillage et du « barreter » à liquide permettait de recevoir les signaux facilement, malgré les essais de brouillage du navire (Rapport officiel).

Dans ce cas, le navire qui brouillait était à environ 460 mètres du navire qui recevait ; et le navire correspondant était à environ à 120 milles (222 kilomètres).

Pendant les manœuvres combinées à la forteresse Monroë, les navires de la marine américaine essayèrent de brouiller les stations installées par la compagnie pour l'artillerie de la côte. Les navires étaient à moins de 185 kilomètres (2.000 yards) et ne purent brouiller (Rapport officiel).

Pendant que des messages étaient reçus à Brant Rock de Machrishanish, une station de 15 kilowatts appartenant à une compagnie rivale située à Boston, à 30 milles, essayait de brouiller en envoyant sur une note à peine différente de 3 0/0 de la note sur laquelle envoyait Machrishanish. Cette station pût être éliminée et les signaux furent reçus.

2° Avec les modèles anciens de protecteurs de brouillages, une différence dans la longueur d'onde de 3 0/0 est généralement suffisante pour éliminer le brouillage, à moins que la station gênante ne soit tout près, auquel cas une différence de 10 0/0 dans la longueur d'onde est nécessaire.

Par l'emploi de ce protecteur, les signaux ne sont pas affaiblis, mais au contraire ils sont généralement renforcés.

Avec le dernier modèle perfectionné de protecteur, une différence de 1/4 0/0 dans la longueur d'onde est suffisante dans les cas ordinaires, et une différence de 3 0/0 quand la station gênante est tout près. Dans ce cas, la force des signaux est réduite à peu près de moitié.

Une des formes de protecteur est représentée figure 111. A représente l'antenne, B une self variable, C, C' des capacités variables, D, D' les primaires et E, E' les secondaires de résonateurs, F est un condensateur variable et G un « barreter » à liquide, T un téléphone et P un poten-

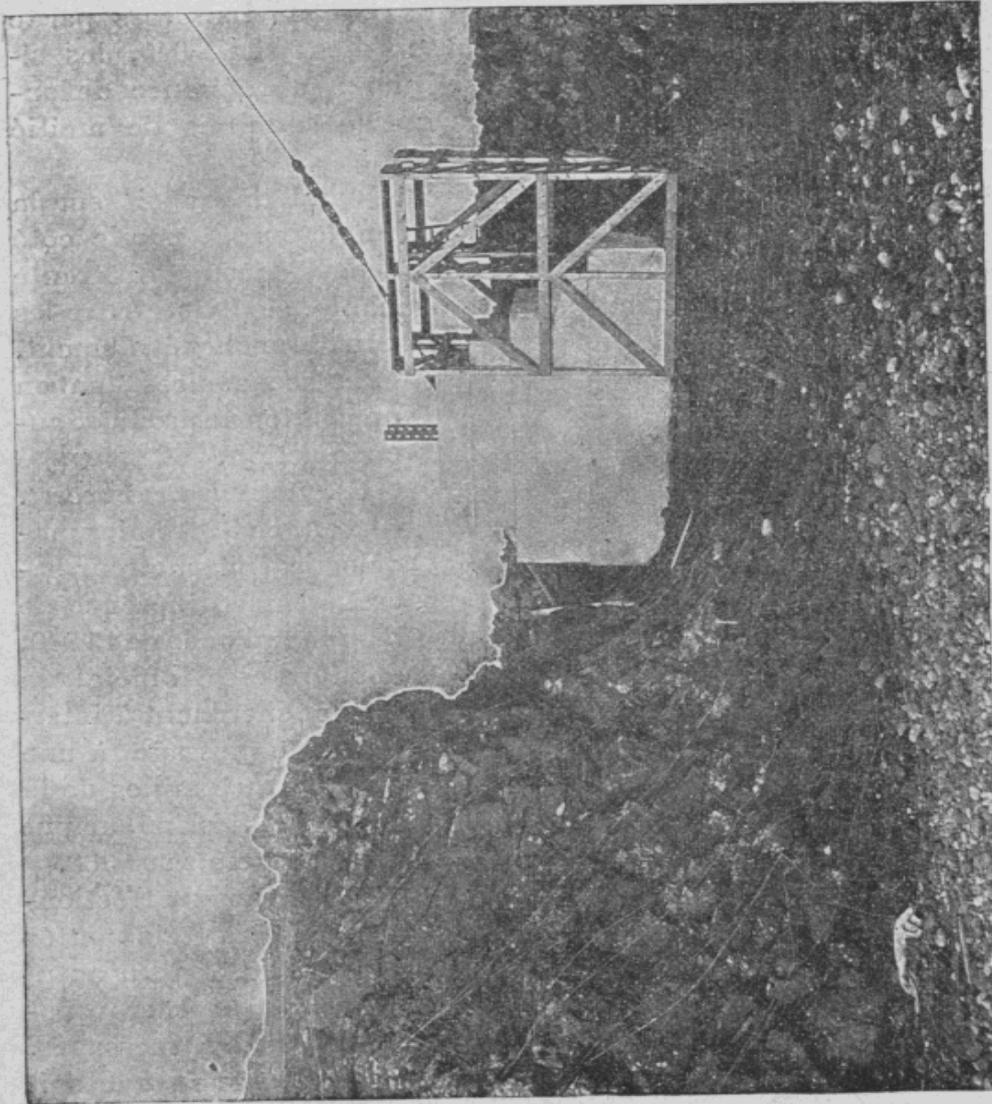


FIG. 110. — Station Fessenden montrant l'ancre d'attache et les isolateurs de hauban ainsi que le filet de prise de terre.

tiomètre. L'antenne est mise à la terre ou connectée à un réseau (*wave chute*) en H.

Dans ce dispositif, les primaires D, D' ainsi que les secondaires E, E' d'autre part sont semblables. Les secondaires sont connectés en opposition. En pratique, le circuit ABCDH est mis en résonance avec la fréquence à recevoir, l'autre circuit étant déconnecté pendant cette opéra-

tion. Le circuit ABCD'H est alors fermé et le condensateur variable C' réglé jusqu'à ce que les signaux gênants soient éliminés.

La capacité C' sera généralement de 50% différente de la capacité C. Quand la différence entre les longueurs d'onde de la station émettrice et de la station à éliminer est de plus de 30%, et que les stations sont d'égale force et à la même distance, les signaux sont renforcés par le protecteur. Quand la différence de longueur est d'environ 10%, les signaux ne sont ni renforcés ni diminués. Quand la différence de longueur d'onde est de 1/4 0/0, les signaux sont affaiblis de moitié environ.

Le mode d'action est facile à comprendre. Quand on reçoit sur la fréquence désirée, le courant passe presque complètement par le côté ABCDH et actionne le récepteur. Les courants de fréquence différente de celle-ci peuvent toujours, par réglage convenable, se diviser entre les

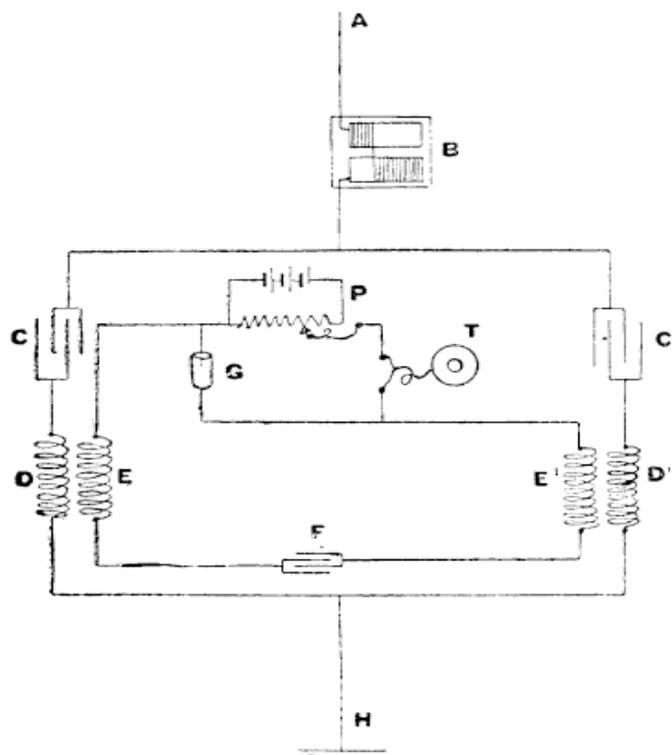


FIG. 141. — Protecteur de brouillage Fessenden.

D) *Dispositif contre les atmosphériques.* — 1° Des messages ont été lus grâce à l'emploi du protecteur de brouillage alors que les autres systèmes étaient entièrement empêchés de lire par les atmosphériques;

2° Il est difficile de donner une garantie en cette matière, mais on peut affirmer qu'en pratique, quand les atmosphériques sont assez forts

et les secondaires étant en opposition ne produire aucune action.

C) *Transmetteur secret.* — 1° Avec le premier modèle de transmetteur secret, et une différence de longueur d'onde de 150%, dans un essai officiel, la station cherchant à intercepter le message, à une distance de 5 milles de la station d'émission, ne put lire que 5 mots sur 360.

2° De grands perfectionnements ont été apportés depuis lors. Aucun autre système ne peut, croyons-nous, lire les messages, quelque voisine que soit la station cherchant à les intercepter.

pour que le bruit en puisse être entendu, le téléphone étant à 15 centimètres de l'oreille, ceux-ci ne peuvent être entendus avec le dispositif protecteur et les signaux utiles n'en sont aucunement affaiblis.

Avec les types d'appareils employés l'année dernière, des troubles atmosphériques assez forts pour être entendus, le téléphone placé à plus de 4^m,25 (6 pieds) de l'oreille, sont éliminés complètement avec le protecteur, et sans que les signaux en soient affaiblis.

E) *Régulateur d'intensité*. — C'est un dispositif pour modifier l'intensité des ondes émises sans changer leur longueur, dans le but de communiquer avec des navires voisins.

F) *Ondemètre*. — Cet appareil servant à mesurer les longueurs d'onde est, croyons-nous, d'une précision de 1 4 0 0.

DÉPARTEMENT
DE LA MARINE
Bureau
de l'Équipement

Washington, 28 novembre 1904.

ESSAIS DU SYSTÈME FESSENDEN

91. Le 15 août, les représentants de la « National Electric Signalling Co » ont installé les appareils Fessenden dans la station de Navy Yard, et le 19 à celle des Highlands.

92-99. Description des règlements s'appliquant aux essais, l'un d'eux étant le suivant : aucuns messages ou signaux ne doivent être envoyés par une des stations pendant le temps assigné aux essais de l'autre, pas même un signal de réception.)

100. Le 30 août, à 10 heures du matin, se réunirent pour faire des essais de brouillage : le capitaine Roger et le lieutenant Edgar, à la station de Navy Yard; le commandant Peters et le capitaine de frégate Fuke, à la station de Highlands; le capitaine Jayne, à bord du *Topeka*. De 10^h 23 à 10^h 57, une dépêche de presse de 861 mots fut reçue des Highlands à la vitesse de 20 mots à la minute, avec une perte de 2 mots dans le titre, et deux erreurs dans le texte. Pendant ce temps, jusqu'à 10^h 43, à l'exception d'intervalles de quelques minutes, le *Topeka* cherchait continuellement à brouiller. Le *Topeka* était ancré à Tompkinsville, à 5 milles et demi de la station de Navy-Yard (10 kilomètres).

101. De 11^h 27 jusqu'à midi, le bateau *Hancock* à Navy Yard, à 580 mètres (630 yards) de la station de Navy Yard, et la station d'expériences en construction à Navy Yard, à 200 mètres (226 yards) de la station de Navy Yard, brouillaient continuellement. Pendant ce temps, la réception des Highlands ne fut guère bonne, un message ayant été reçu avec perte d'un mot sur trois.

(NOTE. — Les opérateurs n'étaient pas prévenus que cet essai serait fait, et n'avaient pas d'appareils pour éliminer si près, d'où la perte d'un mot sur trois. Pendant le diner, un perfectionnement fut improvisé et les résultats sont donnés à l'article 102. Il est évident que le mot perdu sur douze aurait pu être obtenu en répétant le message; mais aucune répétition n'était admise.)

102. A midi, le comité se reposa jusqu'à 2^h 15, puis se réunit et continua les essais de brouillage. La station en construction chercha à brouiller de 2^h 15

jusqu'à 3 heures de l'après-midi. Durant cette période, la perte moyenne dans un message reçu des Highlands fut d'un mot sur 42. De 3^h 15 à 3^h 45, l'émetteur secret fut essayé. Un message de 362 mots fut envoyé de la station de Navy Yard aux Highlands par un opérateur de la marine, à la vitesse de 13 mots à la minute, avec le transmetteur secret. Le *Topeka* avait des instructions pour lire pendant ce temps le message si cela lui était possible.

105. A 3^h 25 le 29 août, le professeur Fessenden envoya un message à Philadelphie, demandant à son opérateur à cette station de venir à Navy Yard. Le message fut collationné, et l'opérateur vint à la station de Navy Yard à 7^h 30. Ces deux messages furent lus aux Highlands. L'opérateur apportait des notes montrant qu'il avait reçu à Philadelphie des messages envoyés de Navy Yard aux Highlands, l'un d'eux étant un télégramme en code très difficile.

106. Les appareils Slaby-Arco étaient employés à bord du *Topeka*.

107. Le *Hancock* avec des appareils improvisés employait une étincelle de 6 millimètres ($\frac{1}{4}$ inch), 15 ampères et 118 volts. La longueur de l'antenne était de 40 mètres.

DÉPARTEMENT
DE LA MARINE

Bureau
de l'Équipement

Washington D. C., 7 avril 1905.

MESSIEURS,

Répondant à votre lettre du 5 courant, demandant des informations relativement aux résultats obtenus avec vos appareils par le lieutenant Hudgnis, le bureau extrait de son rapport les passages suivants :

a) Le protecteur de brouillages élimine pratiquement toute onde d'une longueur différant d'au moins 3 0/0 de celle pour laquelle le protecteur est accordé, pourvu que l'intensité de cette onde de brouillage ne soit pas supérieure à celle que l'on désire recevoir.

b) Avec ce dispositif, il est possible d'absorber ou de dériver à la terre des oscillations si fortes que, avec les dispositifs ordinaires, elles brûleraient le récepteur, et en même temps d'amener ces oscillations en résonance suffisante pour être lues. Une variation de 40 0/0 dans la longueur d'onde a été trouvée suffisante pour éliminer des oscillations si fortes qu'elles ne peuvent être reçues ni sur l'électrolytique ni sur le cohéreur, tout en recevant encore suffisamment au téléphone une onde qui pourrait également être juste reçue par le cohéreur. Avec des ondes d'intensité environ égale, une variation de 3 0/0 dans la longueur est largement suffisante.

c) Quand il y a des atmosphériques ou d'autres parasites, l'électrolytique est supérieur. Le degré aigu d'accord possible avec ce récepteur permet d'exclure les autres stations, à moins que leur longueur d'onde soit très voisine ou que leur intensité soit beaucoup plus forte que celle qu'on désire recevoir. Les parasites atmosphériques traversent l'électrolytique avec un son distinct très caractéristique, et, à moins qu'ils ne soient très nombreux ou suffisants pour brûler la pointe du détecteur, ne gênent pas la réception d'un message venant en même temps.

H. M. MANNING,
Chef du bureau d'équipement.

NATIONAL ELECTRIC
SIGNALLING COMPANY
8th and Water streets
Washington D. C.

Station de télégraphie sans fil de la Marine (U. S.)
Newport (Rhode Island), 24 mars 1905.

Par la présente je certifie que le protecteur de brouillage installé par M. Pannill, de la National Electric Signalling Co, d'après mes observations personnelles, élimine entièrement les stations suivantes : cap Cod, Fort-Wright, New-Haven ; les postes de bord Marconi et leur station de Siasconsett ; Jersey-City ; les bateaux de rivière *Priscella* et *Pilgrim* (environ une demi-heure après avoir quitté Newport) ; les atmosphériques faibles ; les atmosphériques violents qui sont réduits d'environ 50 0/0, et permet de recevoir le bateau-phare de Nantucket Shoals, sans affaiblir ses signaux, au contraire en les renforçant comparative-ment aux autres récepteurs.

Toutes les stations ci-dessus, sauf Jersey-City qui n'est pas reçue sur les autres appareils, nous gênent pour la réception dudit bateau-phare.

Le 18 mars, j'ai reçu les signaux de la station Fessenden de Jersey City, très nets.

Les atmosphériques, étant une nuit assez violentes pour m'empêcher de recevoir un télégramme d'un bateau concernant le bateau-phare sur les autres appareils, en passant sur la réception protégée Fessenden, j'ai pu éliminer les parasites violents au point de pouvoir recevoir le message sans peine.

FORREST,
Electricien 2^e classe.

Essais transatlantiques. — Vers la fin de décembre 1905, la National Electric Signalling Co, de Washington, acheva ses deux stations transatlantiques dont l'une est située à Brant Rock (Massachusetts), environ à 20 milles au sud de Boston, et dont l'autre est à Machrishaish (Kintyre, Écosse), leur distance étant légèrement supérieure à 3.000 milles terrestres (4.825 kilomètres).

La puissance est fournie par un moteur à vapeur entraînant un alternateur à 60 périodes d'une puissance maxima de 25 kilowatts. Un transformateur élève le voltage jusqu'à environ 25.000 volts, chargeant ainsi les condensateurs, qui sont déchargés au moyen d'un éclateur réglable de façon à les décharger en un point voulu du cycle.

Le récepteur employé est le barreter à liquide dans sa dernière forme. L'antenne est formée par un pylône s'élevant à une hauteur de 415 pieds (125 mètres) au-dessus du sol et supportant une antenne-parapluie. Le pylône est essentiellement un tube d'acier de 90 centimètres de diamètre (3 pieds) soutenu tous les 30 mètres par quatre haubans d'acier, en tout seize haubans. Le pylône repose à sa partie inférieure sur un joint à rotule et est isolé du sol à 150.000 volts. Les haubans sont isolés du pylône et du sol et divisés en sections de 15 mètres par des isolateurs. Un des problèmes les plus difficiles était la construction de ces isola-

teurs de hauban, qui, capables de supporter une tension de 900 kilogrammes, devaient résister à une tension électrique de 15.000 volts. Le

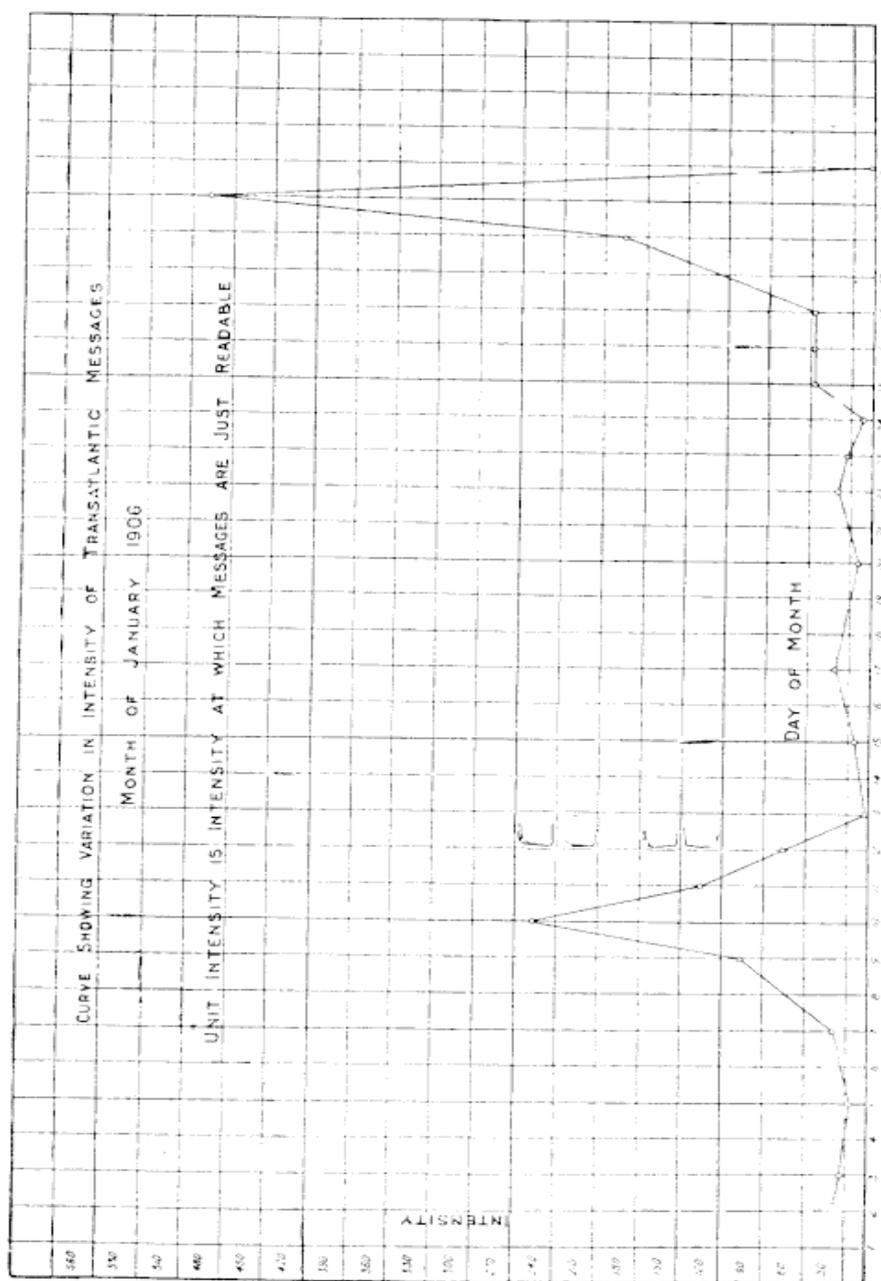


Fig. 112.

fléchissement maximum du sommet de la tour dans un ouragan de 90 milles (134 kilomètres) serait de 39 centimètres. Une prise de terre contenant environ 160.000 mètres de fil et s'étendant sur près de 2^{he}.5 (6 acres) caractérise l'installation.

Le 3 juillet 1906, les premiers signaux furent reçus d'Amérique et peu après la communication fut établie, de sorte que les messages furent échangés facilement la nuit. La force des signaux reçus était parfois telle que les messages pouvaient être lus le téléphone étant à 7^m,5 de l'opérateur. Une station distante de 30 milles (48 kilomètres) de Brant Rock, ayant 30 kilowatts de puissance, envoyant sur une longueur d'onde ne différant pas de plus de 3 0,0 de celle de la station écossaise, fut facilement éliminée.

La compagnie s'efforce maintenant d'établir la communication de jour comme de nuit. Dans ce but, des alternateurs de très haute fréquence seront bientôt installés dans les deux stations, avec les appareils nécessaires.

NOTA. — Le pylône de Machrihanish fut renversé par un ouragan en décembre 1906 et n'a pas encore été relevé (août 1912).

CHAPITRE X

LE SYSTÈME HOZIER-BROWN

Traits caractéristiques du système. — Le système de T. S. F. Hozier-Brown ne diffère pas beaucoup des autres systèmes, sinon par l'emploi d'un récepteur spécial et par la méthode d'inscription des signaux reçus.

Le transmetteur, pour des distances modérées, jusqu'à 60 milles (110 kilomètres), consiste en une bobine d'induction ordinaire, une antenne de 50 mètres environ de haut et un manipulateur sur le primaire de la bobine. L'antenne de réception a la même hauteur, soit 50 mètres.

Le détecteur, inventé par M. Brown, consiste en une pastille comprimée de peroxyde de plomb placée entre une plaque de platine et une pointe émoussée de plomb; la pointe de plomb est adaptée à l'extrémité d'un ressort d'acier, et sa pression se règle à l'aide d'un écrou molleté.

La théorie de ce détecteur est la suivante :

Le détecteur exerce une certaine force contre-électromotrice qui est indépendante de la source utilisée dans le circuit. Un accumulateur de 2 volts dans le circuit donne les meilleurs résultats. Le peroxyde de plomb se comporte comme un électrolyte quand il est en contact avec les électrodes de platine et de plomb. De même que les électrolytes, il a un coefficient négatif de température et de résistance.

L'action du courant fourni normalement par l'accumulateur est illustrée par la figure 113. Des ions de Pb (+) tendent à passer à la cathode de plomb; les ions de O^2 (—) tendent à descendre vers l'anode de platine. Quand le détecteur n'est pas influencé par les ondes, cette tendance est déjà neutralisée en partie par la combinaison Pt, PbO^2 , Pb qui est d'agir comme une source indépendante, tendant à envoyer des ions O^2 (—) vers le plomb et des ions Pb (+) vers le platine. Sous l'influence du courant alternatif produit par les ondes, cette tendance de la triple combinaison d'agir comme une source augmente son effet, et le courant du circuit extérieur est diminué. Quand les ondes ont cessé, le

courant permanent fait disparaître la pellicule de plomb (d'en bas) et celle d'oxygène (d'en haut).

Cette explication suffit, du moins en partie, comme le montre bien le fait que, si on substitue au plomb un métal plus électro-positif (comme le fer) par rapport au platine, la déviation de l'aiguille due aux premières ondes reçues est plus importante qu'avec le plomb, bien que la combinaison devienne peu à peu moins sensible aux radiations ultérieures parce que la régénération est beaucoup plus lente qu'avec le plomb, car plus le métal est électro-positif, plus il tend à s'oxyder, et ce n'est que très lentement que le courant permanent peut faire disparaître la pellicule d'oxyde de fer formée. Le détecteur est très sensible aux ondes hertziennes et, étant sec, a peu de capacité électrostatique.

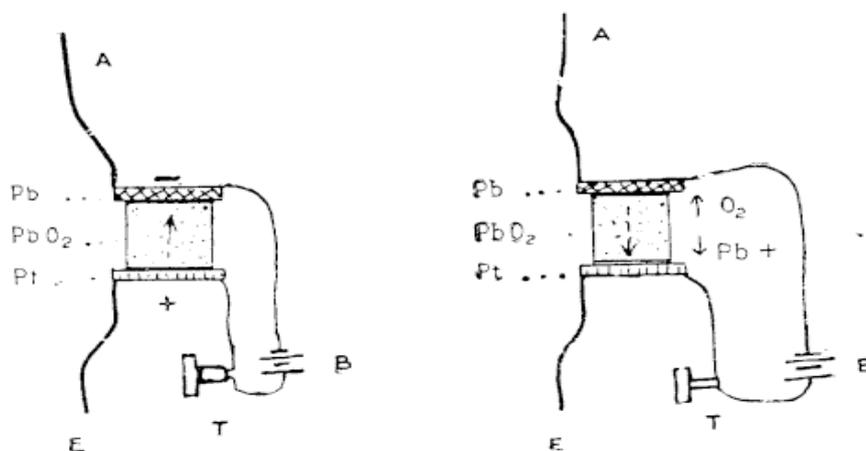


FIG. 113.

Comme indiqué, le platine, peroxyde et pointe de plomb agit comme une batterie sous l'action des ondes; si elle est mise en opposition avec la source extérieure de 2 volts, elle diminue le courant passant dans le circuit. Le détecteur cesse d'agir comme une source quand les ondes cessent, et la source extérieure débite alors plus de courant. Le courant diminue donc de valeur sous l'action des ondes hertziennes, c'est-à-dire que ce détecteur agit comme anti-cohéreur.

Le détecteur est tout à fait automatique dans son fonctionnement. Le courant décroît de valeur à la réception des signaux et croit instantanément quand les ondes cessent : l'importance de la variation de courant est plus ou moins proportionnelle à l'intensité des ondes.

Il y a trois manières de mettre en évidence les signaux reçus. On peut placer un voltmètre sensible dans le circuit, et on voit souvent une variation de plus de 1/2 volt pour chaque signal reçu d'une station travaillant à plus de 14 milles (23 kilomètres). Un téléphone dans le circuit

indique les traits et les points, et on peut entendre des signaux à plus de 160 kilomètres. La troisième méthode consiste à intercaler dans le circuit un siphon enregistreur.

Le courant du détecteur traverse la bobine suspendue de l'enregistreur. Cette bobine est dans un champ magnétique puissant et porte le tube de verre du siphon.

Une extrémité de ce tube plonge dans le réservoir d'encre, l'autre porte sur la bande mobile de papier. A l'arrivée des signaux, la bobine suspendue est déviée, d'un côté pendant un temps plus ou moins long, suivant les signaux Morse ; le message est inscrit sur la bande. (La bobine suspendue porte généralement en plus le bras de contact d'un relais qui ferme le courant d'une batterie et actionne une sonnerie d'appel.)

On voit que le message est écrit sans l'aide d'aucun relais, le courant fourni par le détecteur étant suffisamment fort pour enregistrer de grands signaux même avec un enregistreur relativement peu sensible.

Les avantages de ce détecteur sont une grande sensibilité et la production de grandes variations de courant permettant d'actionner sans relais un enregistreur. Le détecteur est en plus très robuste et ne peut guère être facilement détérioré : l'appareil est autorégénérable, travaille très rapidement, enregistre aussi vite qu'un opérateur peut envoyer et est pratiquement inusable : car la pastille d'oxyde ne doit être changée que très rarement. Pour la sensibilité avec un mât de 185 pieds (60 mètres environ), des signaux ont été reçus et enregistrés de plus de 100 milles (160 kilomètres), et cela avec le détecteur monté directement entre l'antenne et la terre.

On n'emploie pas de résonateur, le détecteur est monté en direct.

Les parties chimiques du détecteur sont enfermées dans une boîte en laiton avec un commutateur de sorte que, lors de l'émission, en tournant le commutateur, on déconnecte les matières chimiques et les isole complètement.

Production d'oscillations continues de haute fréquence pour la transmission. — M. S. G. Brown a récemment fait breveter une méthode pour la production d'oscillations, dont nous donnons la description suivante :

L'électrode positive, comme le montre la figure, consiste en un disque de métal, de préférence de l'aluminium, qui est maintenu en rotation lente, l'électrode négative étant formée par un bloc de cuivre pressant sur la jante du disque (*fig. 114*).

En faisant passer un courant continu de 200 volts à travers une résistance et une grande self, et à travers le disque et le bloc de cuivre, des

oscillations extrêmement rapides sont produites dans une capacité shuntant le contact mobile.

La mesure du courant passant dans ce condensateur a montré, par le calcul, que les oscillations étaient dans quelques cas de l'ordre de plusieurs millions par seconde: une petite lampe à incandescence consommant 1 ampère sous 20 volts pouvait être maintenue très brillante par un condensateur de 0,005 microfarad ou moins, bien que la force électro-motrice aux électrodes ne dépassât pas, d'après le calcul, 50 volts.

De nombreuses expériences avec ce dispositif ont été effectuées et ont complètement démontré l'existence de ces oscillations et leur production continue.

C'est ainsi qu'il fut possible d'allumer une lampe à incandescence à travers un mur de brique de 23 centimètres d'épaisseur en employant seulement deux boucles de fil, chacune encerclant un espace de 0^m2,30, placés et de chaque côté du mur, les oscillations traversant l'une et la lampe étant placée dans l'autre.

L'avantage de ce disque tournant est qu'il se refroidit et se règle de lui-même: l'auto-régulation est réalisée en fixant le bloc de cuivre à une des extrémités d'un bras équilibré permettant de régler sa pression sur le bord du disque. Cet appareil « n'exige pas de surveillance et a travaillé tout un jour sans réglage et sans modification apparente. »

Comme la décharge entre le bloc et le disque est évidemment une étincelle, ce générateur paraît convenir à l'excitation par choc (chap. XIII).

Il est presque certain que la décharge est due à ce que la mince pellicule d'oxyde du disque est momentanément traversée et se reforme ensuite immédiatement. Comme le disque tourne, des surfaces fraîches sont amenées continuellement sous le bloc, de sorte que l'opération se répète d'une façon continue.

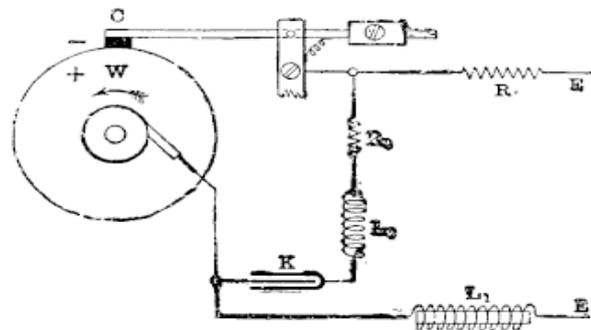


FIG. 114. — Producteur d'oscillations de Brown.

W, disque tournant. — C, bloc de cuivre équilibré.
 EE, ligne de courant continu. — R₁, résistance de réglage. — L₁, self d'environ 20 henrys. — K, capacité shuntant le contact du disque. — R₂, résistance. — L₂, self servant à accorder le circuit: cette self n'est pas nécessaire pour la production d'oscillations.
 Si le voltage est supérieur à 200 volts environ, on peut employer deux ou plusieurs disques formant un éclateur multiple.

CHAPITRE XI

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL DANS L'ALASKA

Un des premiers résultats remarquables de la télégraphie sans fil pratique et commerciale fut l'installation et l'entretien par le corps de télégraphistes de l'armée américaine de communications radiotélégraphiques à travers le Norton Sound, dans l'Alaska.

Le Norton Sound est une grande baie à l'embouchure du Yukon, ayant 107 milles (environ 200 kilomètres) entre les points où les stations de T.S.F. ont été installées. L'une de celles-ci, Saint-Michael, sur le côté sud de la baie, est le terminus des lignes télégraphiques qui vont à 1.300 milles au sud jusqu'à Fort-Liscum, qui est relié à Seattle par un câble de 1.600 milles. L'autre station, sur la côte nord, est à Safety, près de Nome, le centre le plus important du district nord-ouest de l'Alaska. On a trouvé impossible de maintenir un câble à travers le golfe à cause de la glace, et la nature abrupte et neigeuse de la côte rendait une ligne autour de la baie presque impossible. A Nome est le centre d'un district de pêche et de mines d'or qu'il était nécessaire de relier télégraphiquement, surtout que les moyens de communication ne sont possibles que pendant peu de mois.

L'administration de l'armée se décida donc, après l'insuccès des négociations avec plusieurs compagnies commerciales pour l'établissement d'un service, à établir une communication radiotélégraphique avec l'aide du corps télégraphique. Le capitaine Léonard Wildmann, qui projeta les stations et dirigea leur construction et leur exploitation, a aimablement mis à ma disposition des dessins et des descriptions, dont j'extraits les lignes suivantes. Le détecteur employé était l'électrolytique de Fessenden.

J'emprunte les citations suivantes au rapport annuel de l'officier chef du service télégraphique de l'armée pour 1905, dans le but de comparer la sécurité de fonctionnement des lignes terrestres et de la télégraphie sans fil dans ces régions. Cet officier écrit :

« Étant donné les conditions, la continuité et la sécurité du service sur les lignes terrestres) ont dépassé l'attente, les interruptions entre Valdez et Nome, extrémités de la ligne, ayant été de 40,7 jours, soit de 1 jour sur 9... La moitié des interruptions se produisit en juin, et est due aux incendies de forêts dans le Tanana supérieur et aux inondations dans la vallée inférieure. Ce service particulièrement efficace est le résultat du travail de campagne accompli avec dévouement par le *Signal Corps*, assisté des employés de la ligne... Les interruptions pendant l'hiver ont été réduites environ de moitié par rapport aux années précédentes, grâce à l'énergie et au zèle des employés à la réparation qui ont continuellement visité les lignes de leur section. »

On peut comparer avec le rapport suivant :

« En août 1903, une section de 107 milles à travers le Norton Sound fut exploitée par la télégraphie sans fil, grâce à l'habileté professionnelle et aux capacités remarquables du capitaine Wildmann, du *Signal Corps*. C'est là, croyons-nous, le seul organe de télégraphie sans fil pour longue distance travaillant régulièrement en service commercial en conjonction avec un système de lignes ordinaires. Le 6 août 1904, il avait assuré une année de services ininterrompus à cette distance de 107 milles. Il a expédié *chaque jour et sans interruption* tout le service télégraphique commercial de Nome et de Seward Peninsula, ce qui, ajouté au service officiel, forme une moyenne de 7.000 mots par jour. Plus d'un million de mots ont été envoyés pendant l'année, plusieurs milliers de mots étant en langage de code, et aucune erreur n'a jamais pu être imputée à cette section. Dans une seule heure on a transmis sans répétition par cette section plus de 2 000 mots sans erreur. Le succès de l'installation et de l'exploitation de cet organisme unique par les officiers et les soldats offre un exemple remarquable de leur intelligence et de leurs capacités ».

Il est certainement très remarquable que ce record unique ait été réalisé par deux stations dont l'une est construite sur un glacier et qui sont toutes deux sur une côte inaccessible pendant trois mois de l'année. C'est à l'honneur de celui qui a projeté les stations et de ceux qui l'ont assisté. Continuons la citation :

« Le travail était fait par un alternateur de 500 volts, 60 périodes, 3 kilowatts, actionné par un moteur à gazoline de 6 chevaux à un seul cylindre avec régulateur spécial ; l'antenne était formée de deux fils, il y avait une grande prise de terre. La dynamo, construite d'après les plans de Wildman, avait un isolement particulièrement fort dans l'induit et au collecteur. L'appareillage était de notre fabrication ».

Les orages électriques n'avaient que peu d'effet et la neige ou la glace étaient sans influence pratique. Le récepteur était du type de Forest (maintenant jugé couvert par les brevets de Fessenden), perfectionné par

le *Signal Corps*. Le capitaine Wildmann a eu de nombreuses occasions d'employer les ressources de son esprit et celles de ses subordonnés. Les bouteilles de Leyde brisées furent remplacées par des condensateurs à air, l'étincelle fut assourdie, les courants shuntés et beaucoup de perfectionnements furent apportés. Le capitaine Wildmann pense que le duplex est possible, ainsi qu'un procédé d'appel automatique. Le sergent Mac Kivirez a inventé un manipulateur qui a permis d'envoyer à 30 mots au lieu de 15.

L'emploi d'un courant pratiquement totalement dévatté dans le circuit primaire quand le manipulateur est ouvert est un des traits du système. Le procédé est analogue aux shunts inductifs du professeur Fleming pour les manipulateurs, avec cette différence que « la self de protection (du professeur Fleming) empêche tout courant de passer dans le primaire », tandis que le capitaine Wildmann règle la self de manière à n'avoir qu'un courant dévatté. Le résultat est une grande diminution dans la puissance utilisée et, par suite, une économie de gazoline appréciable pour des stations éloignées.

Un autre trait est l'emploi de deux fils de terre avec des selfs convenables; l'un va d'une façon fixe au récepteur, et l'autre est muni d'un *spark-gap* pour éviter un commutateur et est employé pour l'émission. Ce dispositif fut réinventé par la compagnie Marconi, sans aucun doute d'une façon indépendante, et breveté par elle.

Un perfectionnement important pour les opérateurs consiste à mettre l'éclateur en dehors du local. Pour les réglages, un petit éclateur qui n'est pas employé pendant l'émission est placé à l'intérieur.

Les installations extérieures offrent quelques perfectionnements ingénieux et principalement utiles dans la région soumise aux tempêtes pour laquelle ils furent projetés. L'antenne, par exemple, est formée de deux fils attachés à un petit gril au sommet du mât, et munie en bas d'entretoises. Une corde est également fixée au gril du haut et, suspendue entre les fils, les aide à supporter le poids de la glace qui s'accumule sur eux l'hiver. La partie inférieure de la corde porte un poids qui pend à une certaine distance du sol. Toute l'antenne est donc comme un pendule lourd, et est ramenée à sa position verticale par le poids après avoir été déviée par un coup de vent.

Nous reviendrons plus tard sur les expériences du capitaine Wildmann sur les effets du vent et de l'humidité dans la transmission.

CHAPITRE XII

SYSTÈMES A COURANT ALTERNATIF UNIFORME (NON AMORTI)

Il devient de plus en plus évident que les systèmes qui donnent des ondes uniformes ou à peu près uniformes (peu amorties) sont plus adaptés aux conditions de la télégraphie moderne que ceux qui donnent des ondes amorties. Ce fait est démontré par l'emploi de plus en plus généralisé de couplages lâches dans les systèmes à étincelle, par le grand succès des systèmes à excitation par choc donnant des ondes peu amorties, et enfin par le développement des dynamos à courant alternatif capables de donner du courant à une fréquence convenable pour les usages de la T. S. F. Un autre avantage des ondes uniformes est qu'elles conviennent particulièrement à la téléphonie sans fil et se prêtent à la télégraphie à grande vitesse. La principale raison qu'il y a à réduire l'amortissement réside dans la nécessité d'éviter les brouillages entre stations voisines.

LE SYSTÈME POULSEN

La méthode la plus ancienne pour produire des ondes uniformes (entretenues) est celle de l'arc chantant de Duddell, modifié par Poulsen. Dans ce générateur d'oscillations, un arc situé dans l'hydrogène ou dans un composé hydrogéné comme la vapeur d'alcool est soumis à un champ magnétique.

En parallèle avec le circuit d'alimentation de l'arc est placé un circuit oscillant comprenant une self et une capacité en série. Dans des conditions convenables, un courant uniforme de haute fréquence est entrete-
tenu dans le circuit oscillant aussi longtemps que l'arc brûle. Les conditions principales pour que le courant de haute fréquence soit constant tant comme intensité que comme fréquence sont d'avoir une source constante et une longueur de l'arc invariable. Cette dernière condition

a donné beaucoup d'ennuis au début, et sa non-réalisation dans les formes primitives d'appareils a découragé beaucoup de ceux qui auraient volontiers employé le système. Dans les appareils modernes de Poulsen, cette difficulté paraît cependant avoir été surmontée avec succès par une construction soignée du générateur et en faisant tourner le charbon lentement, la position de l'arc étant fixe, de sorte que le point du charbon d'où l'arc jaillit est constamment amené à une partie fraîche de l'électrode. Dans la figure 115, le petit moteur représenté à la base du géné-

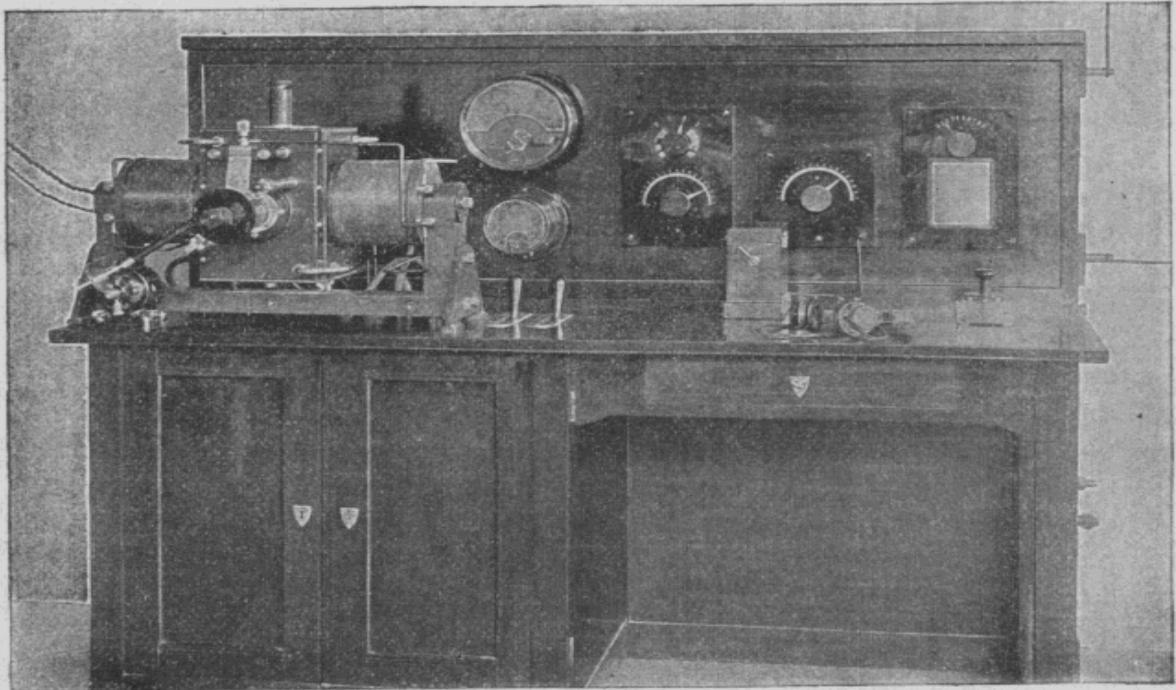


FIG. 115. — Station Poulsen.

rateur remplit ce but en faisant tourner lentement le charbon. Le grand électro-aimant produit le champ magnétique qui chasse l'arc au point le plus élevé de l'électrode et l'y maintient quand celle-ci tourne. Le résultat est non seulement de maintenir une longueur d'onde constante, mais d'augmenter grandement l'efficacité de l'arc en tant que convertisseur de courant continu en courant alternatif et, de plus, d'augmenter le voltage maximum qui peut être employé avec efficacité dans le circuit d'alimentation.

On a trouvé qu'il était possible d'employer jusqu'à 700 volts de tension pour un seul arc. Des générateurs simples actuellement en fonctionnement absorbent 35 kilowatts et donnent environ 12 kilowatts d'énergie en haute fréquence, et il ne semble pas qu'il y ait de raison pour que

des générateurs du même type et beaucoup plus grands ne fonctionnent avec un bon rendement.

Avec ce système, on obtient facilement des longueurs d'onde de 1.000 mètres et plus; des longueurs plus courtes peuvent être produites, mais le rendement est inférieur. Le seul circuit oscillant employé est l'antenne : l'arc est placé directement en série avec la terre et la self d'antenne. Le courant étant uniforme (entretenu), il n'est pas nécessaire d'avoir un circuit primaire distinct, d'où une grande économie et une grande simplification dans la construction due à l'absence totale de condensateurs dans le circuit d'émission.

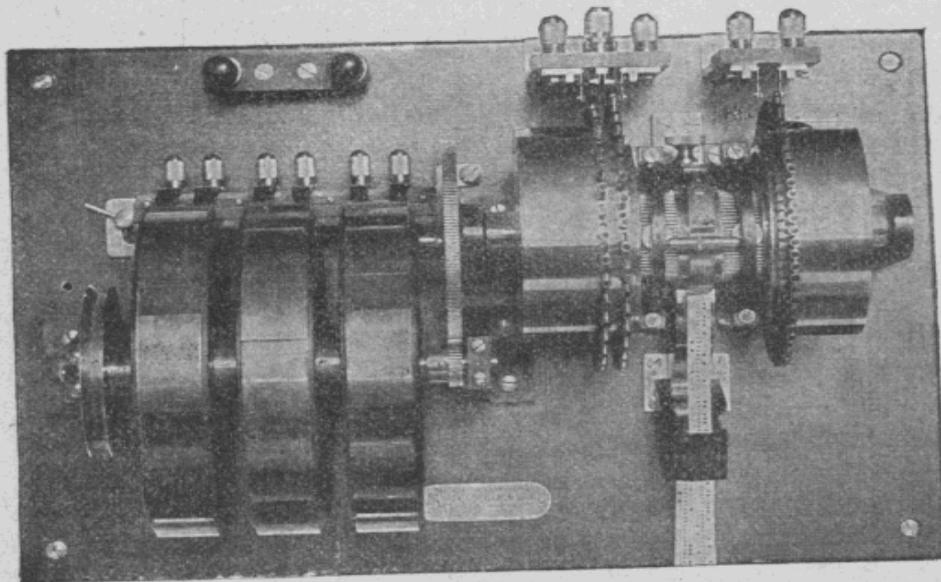


Fig. 116. — Transmetteur à grande vitesse Pedersen.

Comme le voltage d'alimentation n'est pas suffisamment élevé pour franchir la distance séparant les électrodes, l'émission des signaux se fait en changeant la longueur d'onde, le manipulateur supprimant 3 ou 4 0/0 de la self en court-circuitant quelques spires. L'arc demeure ainsi toujours allumé, et l'émission des ondes est continue; mais, l'accord étant aigu, le récepteur n'est influencé que quand le manipulateur est baissé. Une différence dans la longueur d'onde d'environ 1 0/0 est suffisante pour produire de bons signaux dans un récepteur, une longueur d'onde trop longue ou trop courte de 1 0/0 ne l'influençant pas d'une manière appréciable.

Réception des courants uniformes. — Il est évident qu'un courant uniforme de haute fréquence ne peut être entendu dans un téléphone

pour deux raisons, dont chacune est d'ailleurs suffisante. D'abord parce que les fréquences dépassant 20.000 périodes environ ne sont plus perceptibles à l'oreille, et ensuite parce que l'impédance du téléphone est trop élevée pour permettre le passage d'un courant de telle fréquence. On doit donc employer d'autres procédés que ceux utilisés avec les courants interrompus à la station de réception, ou bien le courant d'émission doit subir des variations d'une fréquence d'ordre acoustique. Dans le premier cas, le meilleur détecteur paraît être le « tikker » de Pedersen, consistant en un vibreur muni de contacts en fil fin et connecté de telle façon qu'il ferme par intermittences le circuit du téléphone. Dans

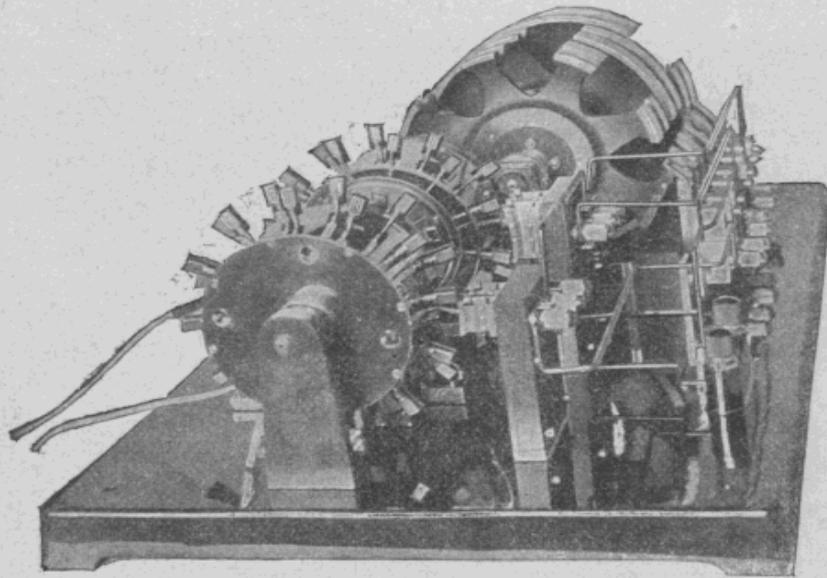


FIG. 117. — Transmetteur Pedersen dernier type.

les intervalles où le circuit est ouvert, le courant dans le circuit oscillant de réception a le temps d'atteindre une grande valeur, de sorte que le contact étant fermé, une charge comparativement grande passe du condensateur au téléphone.

L'appareil est donc intégrateur, c'est-à-dire qu'il accumule l'énergie d'un grand nombre d'ondes avant de la décharger dans le téléphone. Le tikker est actionné par un mécanisme de sonnerie électrique à une vitesse assez grande pour produire une succession suffisamment rapide de contacts donnant dans le téléphone un son analogue au bourdonnement d'une abeille. Le tikker est un des détecteurs les plus sensibles. Si on désire communiquer avec une station ne possédant pas de tikker ou de dispositif analogue, il est nécessaire de modifier le courant émis par un interrupteur placé dans le circuit d'émission ou d'employer du courant

alternatif pour alimenter l'arc. Des signaux perceptibles pour tous les circuits à détecteur ordinaire sont alors produits.

Manipulateur à grande vitesse de Pedersen. — Un des traits les plus remarquables de ce système est l'emploi du transmetteur à grande vitesse inventé par le professeur Pedersen, qui a travaillé de longues années en collaboration avec le D^r Poulsen. L'appareil est un admirable exemple de l'adaptation des moyens aux fins et il remplit si parfaitement son rôle que la vitesse déjà très remarquable de 300 mots par mi-

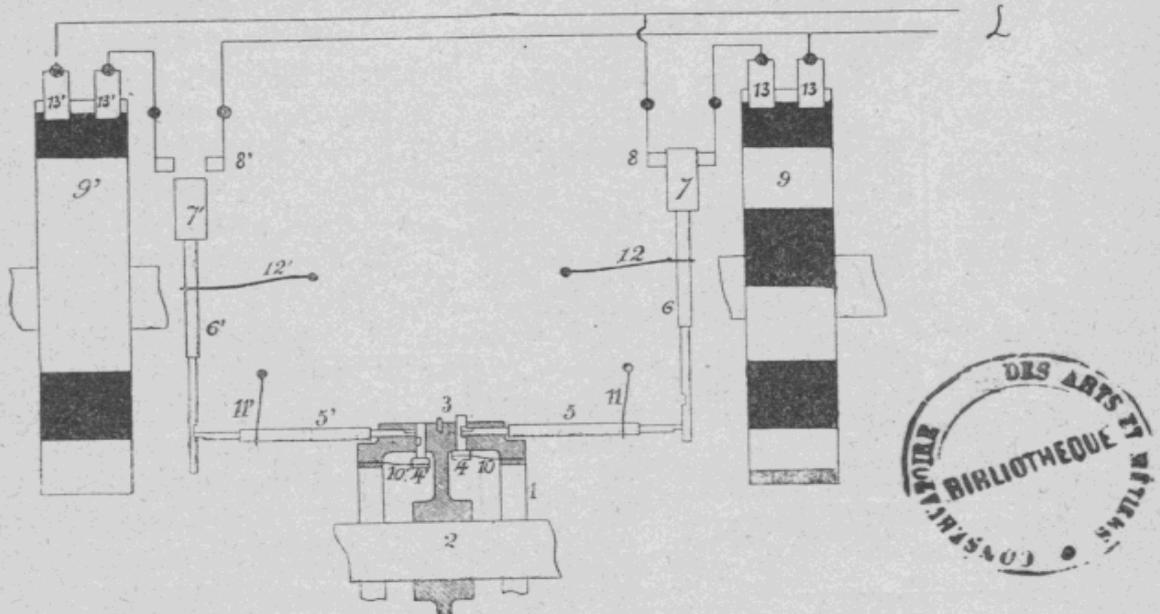


FIG. 118. — Schéma du manipulateur Pedersen.

Le ruban perforé est entraîné par les broches 3. Quand le ruban présente une perforation, la broche 4 ou 4' (suivant qu'il s'agit d'un point ou d'un trait) est soulevée par le ressort 10. La pièce 5 est poussée par le ressort 11 dans l'encoche et dégage la broche 6 qui ferme le contact 8. La rupture et la fermeture effective du courant en 13 ne s'opère que ce contact 8 fermé; il n'y a donc jamais d'étincelles en ces points. Si le ruban ne présente pas de perforation, la broche 4' demeure baissée, et le contact ne se ferme pas (gauche de la figure). Pour plus de simplicité on n'a représenté qu'une seule roue de contacts pour traits.

nute ne paraît nullement être sa limite extrême. Telle a été la limite de vitesse pour la réception; il est probable que des perfectionnements ultérieurs amélioreront encore ce résultat déjà très pratique. La transmission à grande vitesse est d'une importance beaucoup plus grande dans la télégraphie sans fil que dans la télégraphie ordinaire, car une des causes les plus grandes de trouble en radiotélégraphie est la présence de parasites ou d'*X*, c'est-à-dire de courants électriques dus à des orages à distance. Avec une manipulation ordinaire à la main, par exemple à 20 mots à la minute, il se produit par un temps quelque peu

orageux une moyenne d'environ un X par mot, et l'opérateur peut éprouver de grandes difficultés pour lire les signaux correctement. Si au contraire la transmission se fait à 200 mots, le message ne présentera qu'un X tous les 10 mots, et les signaux seront d'autant plus lisibles. Naturellement il est impossible d'employer la réception téléphonique à des vitesses aussi grandes et il est en fait nécessaire d'avoir recours à une inscription automatique du message. On y arrive très facilement à l'aide de l'inscription photographique des déviations d'un galvanomètre

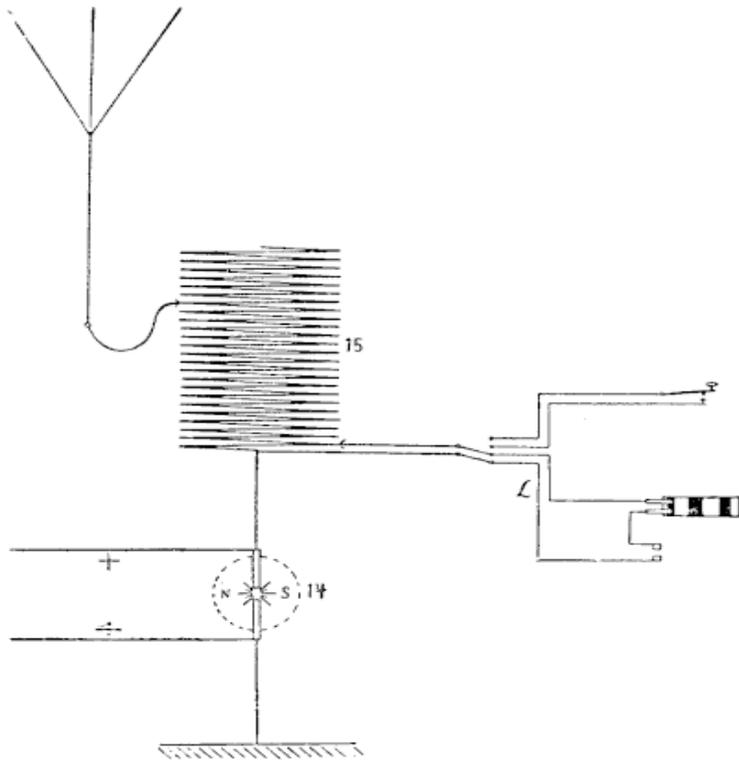


FIG. 118 bis. — Montage du transmetteur Poulsen.

à corde du type Enthoven en relation avec un détecteur.

Le manipulateur de Pedersen est capable d'interrompre des courants intenses de très haute fréquence.

Les traits caractéristiques sont : l'absence de contacts ayant un mouvement de va-et-vient ; le fait que les contacts contrôleurs ne ferment et ne coupent pas le courant, mais ne font que connecter et déconnecter des circuits dans lesquels ne passe pas

de courant pendant cette opération ; et le fait que chaque point ou trait est produit par un seul mouvement comparativement lent d'une broche de contrôle.

La coupure proprement dite du courant se produit sur un commutateur formé de barres conductrices épaisses alternant avec des sections isolées, et contre lesquelles appuie une paire de forts balais en cuivre. Le courant passe donc par la barre du commutateur d'un balai à l'autre et est coupé par la rotation du commutateur amenant les balais devant une section isolante. Comme il n'y a pratiquement aucune limite pour les dimensions des balais ou du commutateur, il est évident qu'on peut employer des courants très intenses.

La suite des opérations dans la transmission est la suivante (*fig. 116*). Le ruban perforé passe dans l'appareil et, quand un trou vient en face d'une des petites broches centrales, celle-ci se lève et libère une broche de contrôle sur la circonférence d'un des tambours. Le mouvement du tambour amène cette broche de contrôle entre les contacts, fermant ainsi le circuit du commutateur des points, par exemple. Les balais sont alors encore sur la partie isolante, mais ils sont immédiatement amenés en contact avec la barre conductrice, et ferment le circuit principal; ils passent ensuite plus loin, en rompant le contact et ce n'est qu'après cette rupture que la broche de contrôle quitte les contacts. Un point ou un trait a ainsi été envoyé suivant que la barre du commutateur était longue ou courte.

Chaque trou percé dans la bande représente soit un point, soit un trait; ceux qui sont à droite près du tambour ayant une seule rangée de broches (*fig. 116*) sont des points; ceux de gauche sont des traits. Il faut remarquer qu'il y a deux commutateurs de traits et un seul de points. Ceci est dû au fait que, alors que les espaces blancs entre les points et les traits sont tous de même longueur, la longueur d'un trait est égale à celle de trois points. Il faut donc deux commutateurs à traits pour éviter le recouvrement des points et des traits. Après la transmission d'un point, la broche relevée est celle qui connecte au commutateur où le trait est

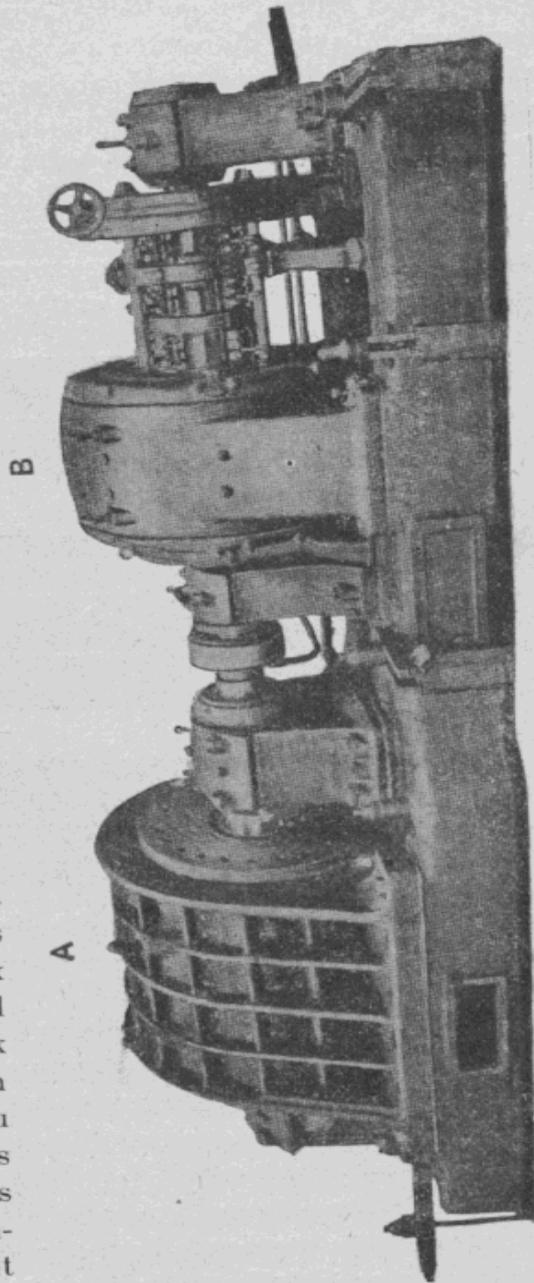


FIG. 119. — Alternateur à haute fréquence de Goldschmidt de 150 kilowatts.
A, alternateur 4,000 périodes. — B, moteur.

séparé par un intervalle convenable du point envoyé. Les commutateurs sont conduits par engrenages par les tambours contrôleurs, de sorte que leurs mouvements correspondent. Une fois que la broche de contrôle a passé entre les contacts fixes, elle est graduellement réatirée vers l'axe, et, avant de revenir à son point initial, elle est raccrochée par un mécanisme central et de la sorte prête à être de nouveau libérée par un trou percé dans la bande. Chaque broche n'est utilisée qu'une fois par révolution du tambour, c'est-à-dire une fois tous les 50 points envoyés, et tous les mouvements qu'elle a à faire sont faits pendant un tour complet. Ces mouvements sont donc lents en comparaison de ceux d'un manipulateur alternant et l'usure est réduite de ce fait, ainsi que par l'absence de chocs mécaniques et d'étincelles électriques.

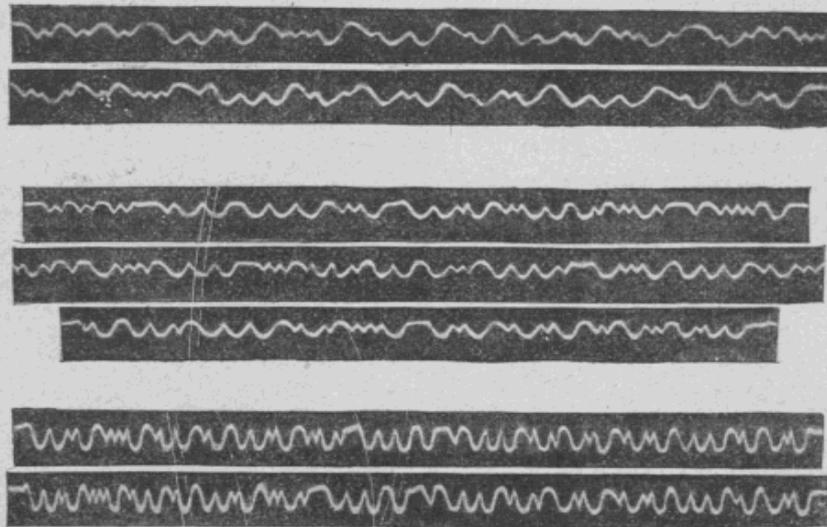


FIG. 120. — Bandes de réception Poulsen-Pedersen.
1.400 kilomètres, 100 mots par minute. Novembre 1910.

La figure 120 donne des modèles de bandes reçues à une distance de 1.400 kilomètres, à la vitesse de 110 mots par minute, avec une puissance de 17 kilowatts. Le manipulateur à grande vitesse, comme le manipulateur ordinaire, est connecté en shunt sur une ou deux spires de la self d'antenne.

Le système Poulsen est employé commercialement aux États-Unis où un grand nombre de correspondances commerciales sont échangées entre seize ou dix-sept stations placées sur le continent, et entre San Francisco et Honolulu. La distance entre ces deux stations est de plus de 2.000 milles ; c'est ainsi la plus grande distance entre laquelle s'effectue un service commercial régulier par T. S. F. Les stations n'ont

chacune que 35 kilowatts, ce qui a été trouvé suffisant pour une marche régulière. La petite puissance nécessaire comparée à l'énergie beaucoup plus grande employée dans les stations transatlantiques Marconi pour une distance légèrement plus faible paraît être due en partie au système employé et en partie aux conditions atmosphériques plus favorables dans le Pacifique.

Plus récemment, on a pu établir la communication dans les deux sens entre la station de la marine américaine d'Arlington (Virginie), temporairement équipée avec un arc Poulsen de 50 kilowatts, et la station d'Honolulu. C'est le record de distance pour les communications télégraphiques dans les deux sens; la distance étant de 5.000 milles.

On construit actuellement des stations transatlantiques à Ballyunion, en Irlande, et à Newcastle, dans le New-Brunswick.

LE SYSTÈME GOLDSCHMIDT

On a déjà donné une description de l'alternateur à haute fréquence Goldschmidt et on a fait remarquer qu'il paraît être admirablement adapté à la télégraphie et la téléphonie sans fil à grande distance. Les inventions du Dr Goldschmidt ne sont cependant pas limitées au transmetteur seul. Il a inventé un récepteur très ingénieux qui pourrait faciliter grandement la réception, surtout dans les cas où il y a beaucoup de brouillages et de parasites.

Le principe de l'appareil est analogue à celui de l'alternateur; c'est en fait un transformateur de fréquence. Quand une machine telle que l'alternateur Goldschmidt a son stator excité par un courant de haute fréquence, il se produit dans le rotor un courant dont la fréquence est déterminée par le glissement entre le champ tournant du stator et la vitesse de rotation du rotor, ce dernier étant entraîné à une vitesse plus grande que celle du synchronisme. Si par exemple le stator est connecté à une antenne de réception qui reçoit du courant à 30.000 périodes, un glissement de 1.67 0/0, induira dans le rotor un courant de fréquence 500. Ce courant naturellement est parfaitement perceptible dans un téléphone connecté au rotor.

L'avantage principal de l'emploi de l'alternateur comme détecteur est que le son produit dépend de la longueur d'onde des oscillations reçues et en dépend de telle sorte qu'une faible variation dans celle-ci produit une variation considérable dans la hauteur du son. Ainsi, dans le cas indiqué, une variation de fréquence de 1 0/0 dans les ondes reçues produira une variation de 60 0/0 dans la fréquence acoustique, c'est-à-dire donnera une note de près d'une quinte plus élevée. Les perspectives

qu'ouvre ce système eu égard aux brouillages sont ainsi très grandes, et, en désaccordant très légèrement l'antenne, les atmosphériques peuvent également être différenciés.

On a obtenu également un résultat identique par des moyens plus simples. Une petite roue dentée, sur laquelle appuie un petit balai, tourne à une vitesse telle que les interruptions sont presque synchrones avec les ondes reçues. Celles-ci sont donc rectifiées par le passage à travers la roue, et on obtient dans le téléphone une note dont la hauteur dépend de la différence entre le nombre de dents passant par seconde et la fréquence des ondes reçues.

De grandes stations de plus de 150 kilowatts de puissance dans l'antenne ont été construites près de Hanovre et sur la côte des États-Unis près d'Atlantic City. Elles sont actuellement en communication constante. La distance est de 3.390 milles marins, soit près de deux fois la distance entre Clifden et Glace Bay.

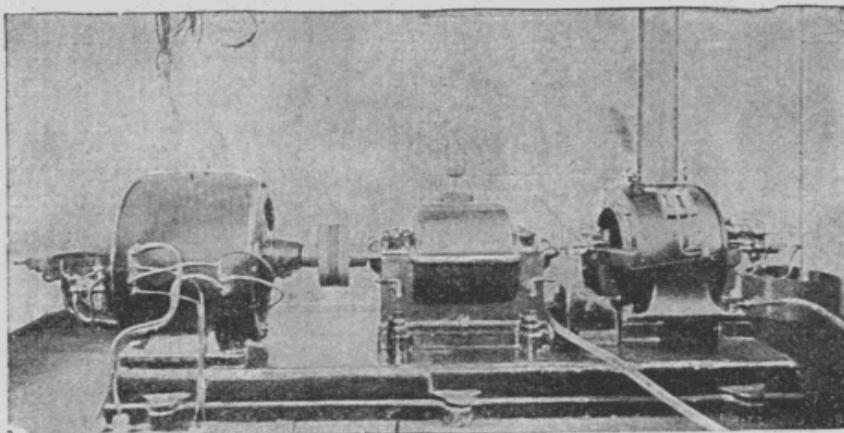


FIG. 121. — Alternateur Goldschmidt.

La source de puissance à la station d'Eilvese (Hanovre) est une machine semi-transportable de Wolf de 500 HP, actionnant par courroies deux dynamos de chacune 150 kilowatts. Celles-ci fournissent le courant alimentant le moteur actionnant l'alternateur à haute fréquence. Le stator et le rotor de la machine sont formés d'enroulements ondulés donnant 384 pôles sur chacun d'eux. A un peu plus de 3.000 tours par minute, le rotor fournit du courant à 40.000 périodes si le stator est excité par du courant continu. On peut avoir des fréquences allant jusqu'à 40.000 par la méthode décrite au chapitre III.

Il faut noter que la pureté de l'onde produite dans l'antenne est certaine ; elle a uniquement la fréquence désirée et cette fréquence est

maintenue constante par les circuits accordés et par l'action d'un régulateur très simple agissant sur le champ du moteur.

La transmission est obtenue par l'emploi d'un transmetteur de Wheatstone modifié dans le circuit d'excitation. La puissance dans l'antenne est de 160 kilowatts avec 200 ampères, et on obtient une vitesse de transmission de 80 mots à la minute. Les signaux reçus sont très forts.

Le système Goldschmidt a été récemment acquis par la Société Marconi.

CHAPITRE XIII

LE SYSTÈME LEPEL, LE SYSTÈME TELEFUNKEN ET LES AUTRES SYSTÈMES D'EXCITATION PAR CHOC

L'excitation d'un circuit secondaire par le courant extrêmement amorti d'un circuit primaire correspond presque exactement à la mise en vibration d'un gong en le frappant avec une baguette feutrée. Le circuit primaire, comme la baguette, est si amorti qu'il n'a pour ainsi dire pas de période propre et qu'il peut simplement produire un choc. Le circuit secondaire, comme le gong, a une période propre bien définie et ses vibrations ne sont que légèrement amorties. La baguette n'est en contact avec le gong que pendant une fraction très faible du temps pendant lequel vibre le gong; de même le courant primaire n'agit que pendant une très petite fraction du temps pendant lequel persiste le courant secondaire. Le gong donne sa note propre, qui est indépendante de la baguette; le secondaire oscille suivant sa période propre, que le primaire lui soit accordé ou non.

Si les chocs se suivent rapidement, le gong vibre continuellement, bien que son son s'affaiblisse pendant les intervalles des coups. Si les décharges primaires se suivent avec une rapidité suffisante, le courant secondaire ne cesse jamais, bien que sa force diminue entre les impulsions successives du primaire.

Cette méthode de production d'ondes très peu amorties d'une seule longueur d'onde, c'est-à-dire sans battements, a été proposée très explicitement par Wien en 1906, à la suite de ses observations sur les courants dans des circuits accouplés, quand l'amortissement du primaire est rendu très grand par la réduction de l'étincelle à une faible fraction de millimètre.

Les caractères des systèmes qui emploient cette méthode sont donc d'avoir un circuit primaire très amorti, de pouvoir employer un couplage très serré sans la production de battement, et de donner des oscillations

continues ou presque continues, presque, mais non tout à fait, sans amortissement.

Il y a plusieurs systèmes dans lesquels cette méthode de production de courants de haute fréquence est employée. Parmi eux, ceux qui ont eu le plus grand succès commercial sont le système Lepel et sa contrepartie, le « nouveau » système Telefunken.

Il y a aussi le système Peukert et le système de la Badische Anilin-und Soda-Fabrik. Il y a sans aucun doute des systèmes plus anciens de production de courant de haute fréquence qui peuvent ou non reposer sur

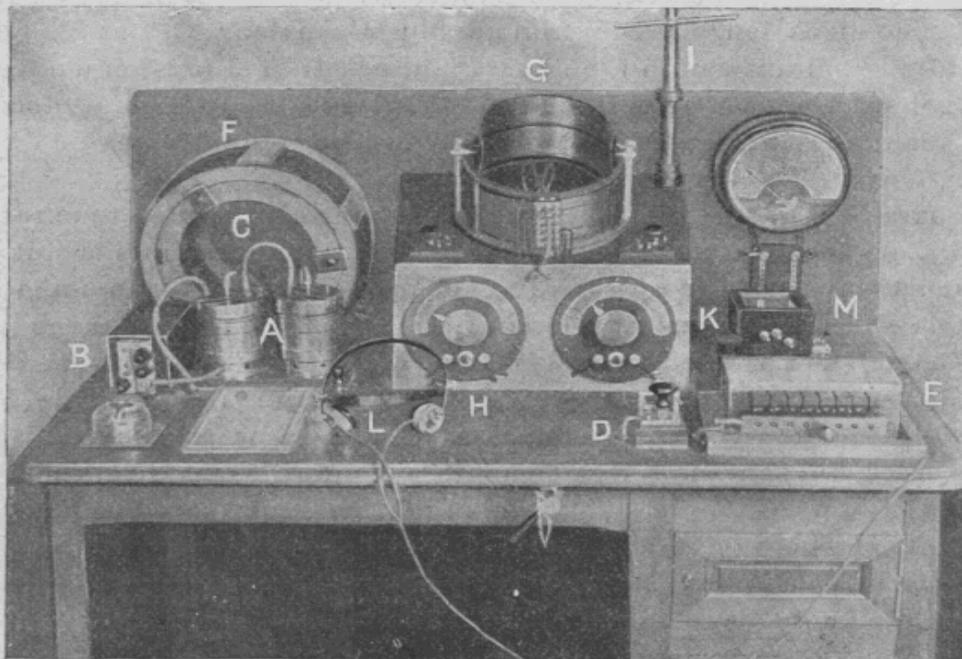


FIG. 122. — Émission et réception Lepel (C. G. R.).

A, éclateurs refroidis par circulation d'eau. — B, condensateur. — C, primaire. — D, manipulateur. — E, piano musical. — F, secondaire. — I, antenne. — G, récepteur. — H, condensateurs variables de réception. — K, détecteur. — L, téléphone. — M, interrupteur.

le même principe, si on considère les grandeurs des constantes choisies pour leurs circuits; par exemple, il est possible que le générateur d'Elihu Thomson décrit dans le brevet américain n° 500630 de 1892 ait dû ses résultats à cette méthode, et le professeur Fessenden prétend que quelques-uns de ses générateurs agissent de la même façon (voy. références p. 204). Il est aussi possible que d'autres expérimentateurs aient construit des appareils qui agissaient de la même façon, sans pourtant reconnaître la différence essentielle qui sépare cette méthode de celle de l'étincelle ordinaire.

Comme il est certain cependant que le système Lepel donne des oscil-

lations excitées par choc, et comme il présente certaines particularités intéressantes qui n'existent pas dans les autres systèmes, je décrirai brièvement ce système tel que l'a réalisé la Compagnie générale de Radiotélégraphie.

La figure 122 représente une station complète Lepel d'une puissance d'environ 2⁵VA. Les appareils d'émission, à l'exception du manipulateur et du piano, sont à gauche et ceux de réception sont au centre et à droite. Deux éclateurs refroidis par circulation d'eau, chacun n'ayant qu'une distance d'étincelle d'une fraction de millimètre entre des plaques métalliques parallèles, sont représentés en A connectés en série avec le condensateur B et le primaire du résonateur C. Les fils d'alimentation (courant continu, ou courant alternatif à la tension d'environ 1000 volts) traversent une résistance de réglage, des selfs de protection et le manipulateur D et sont connectés aux bornes extrêmes de l'éclateur.

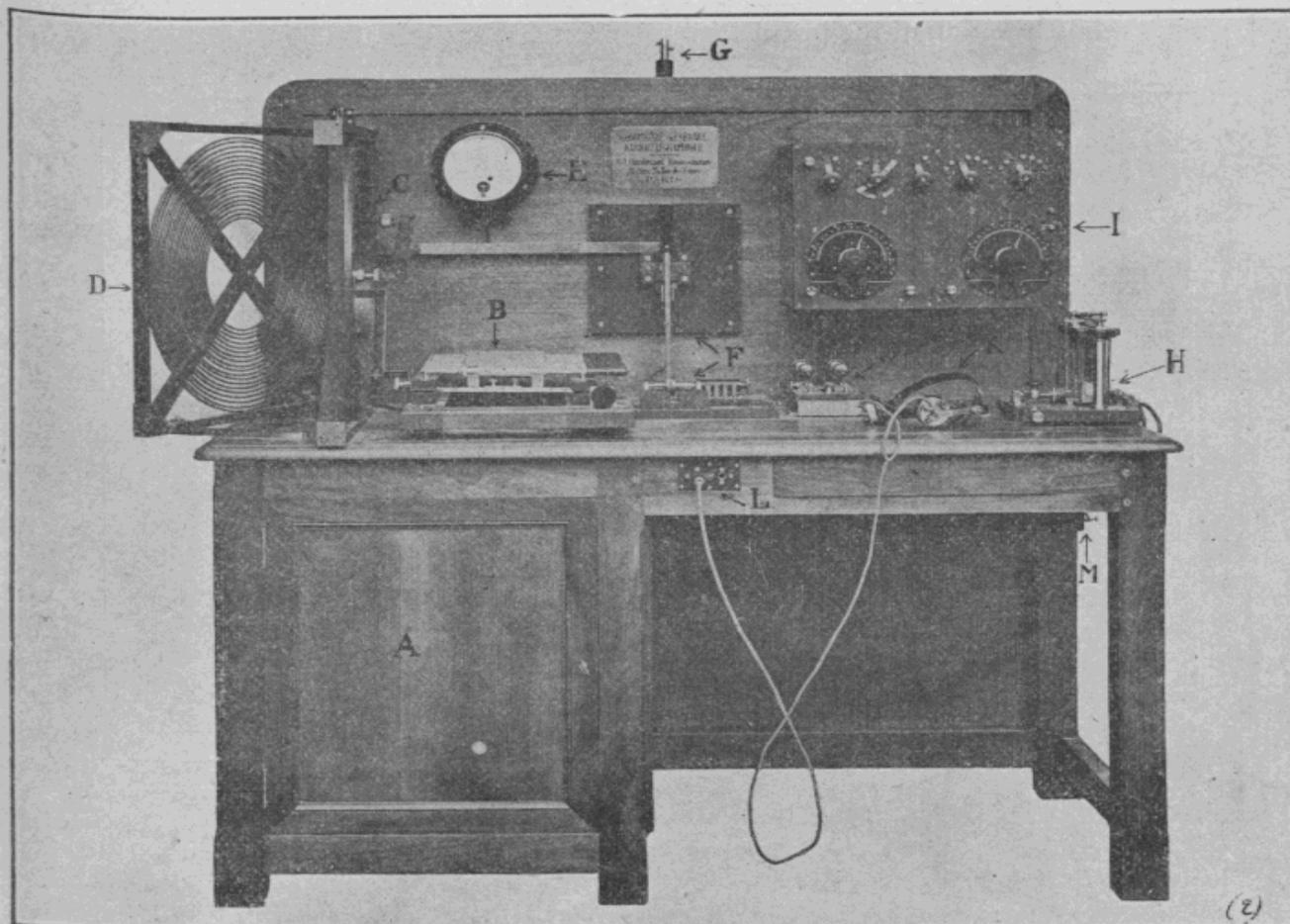
En parallèle avec le circuit primaire, et contrôlés par les touches du piano E, se trouvent un certain nombre de circuits oscillants ayant des fréquences musicales; c'est-à-dire que chaque touche du piano amènera, une fois abaissée, le voltage de la source à varier en accord avec une certaine note. Les décharges dans le générateur se produiront donc amplifiées à certains intervalles. Le dispositif rappelle celui de l'arc chantant de Duddell, sauf qu'ici ce n'est pas un arc, mais une série d'étincelles, qui sont modifiées, le nombre d'étincelles est très grand, au moins 10.000 par seconde, et si les circuits musicaux sont déconnectés, on n'entend guère qu'un sifflement léger.

Le secondaire du résonateur F est en série avec le circuit antenne-terre. En plus du couplage inductif, un couplage galvanique a été parfois employé entre le circuit primaire et l'antenne.

Près de l'antenne I est placé un petit tube à vide qui, en s'illuminant, indique le passage des signaux, ceux-ci étant pratiquement imperceptibles, à moins que le circuit musical ne soit connecté.

La réception comporte trois circuits: l'un formé d'une self et d'un condensateur en série avec l'antenne; le second, dont l'accouplement est variable, est un simple oscillateur ou circuit filtrant contenant seulement une self et une capacité variable, et le troisième, accouplé au second, contient le détecteur K et le téléphone L avec un grand condensateur shuntant le téléphone. Pour recevoir sans note musicale c'est-à-dire quand le transmetteur produit seulement un simple sifflement, un interrupteur M et un condensateur à électrolyse sont ajoutés au circuit du détecteur, et la décharge intermittente du condensateur dans le téléphone rend les signaux perceptibles: Quand une note musicale est employée à l'émission, le tikker n'est, naturellement, plus indispensable.

On peut voir que ce système ne comporte pas moins de trois dispositifs de protection contre les brouillages. D'abord le circuit intermédiaire, agissant comme filtreur, ne transmet à peu près au détecteur que des oscillations de la longueur d'onde voulue ; ensuite la note musicale a un son très caractéristique et sa hauteur peut être changée à la transmis-



Cliché obligeamment prêté par la revue *T. S. F.*, Valenciennes.

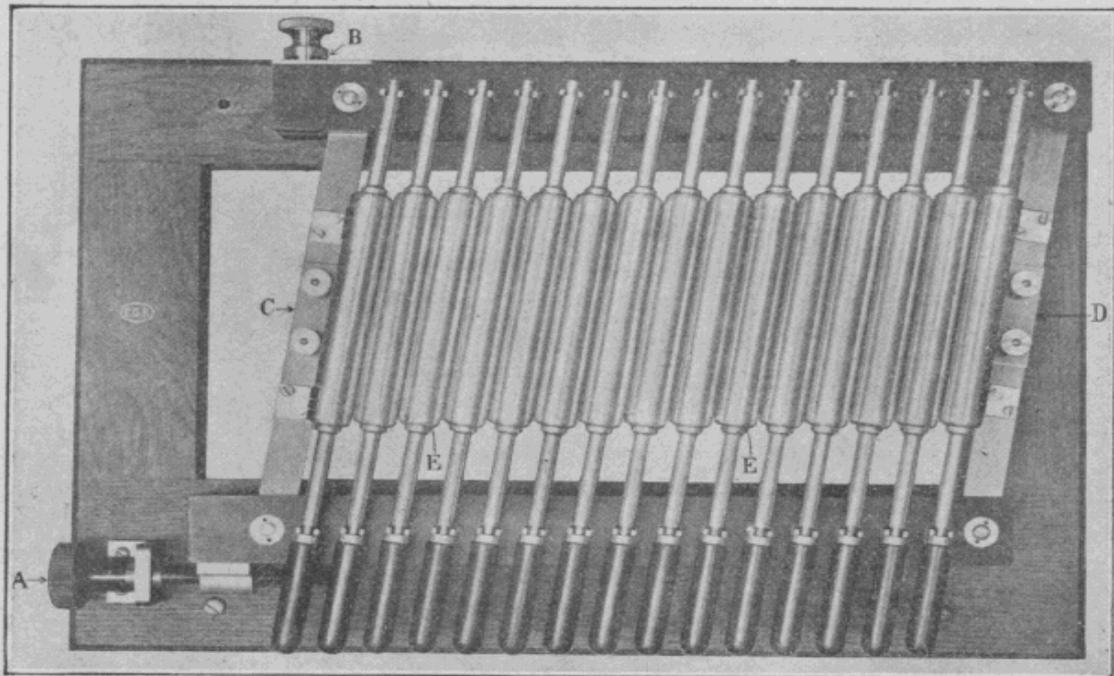
FIG. 122 bis. — Table du type normal pour la marine de commerce.

A, armoire contenant le transformateur, les bobines de protection et le condensateur. (Partie haute tension et basse fréquence.) — B, éclateur. — C, self primaire. — D, self d'antenne (Constituant le résonateur à accouplement variable.) — E, ampèremètre d'antenne. — F, commutateur d'antenne. — G, sortie d'antenne. — H, manipulateur. — I, boîte de réception. — J, planchette à deux détecteurs. — K, casque téléphonique. — L, boîte à jacks. — M, bornes d'alimentation (en parties masquées).

sion si elle se trouvait la même que celle d'une station gênante; troisièmement, grâce au tikker, on peut éliminer les signaux de toute station à étincelles de fréquence rare, même si la longueur d'onde est la même que celle des stations Lepel. Ainsi la station de la Tour Eiffel ne gêne

pas sérieusement la station Lepel de la Compagnie générale de radiotélégraphie à Paris, malgré sa grande puissance et son grand amortissement.

La possibilité de changer immédiatement la note d'émission est utile pour empêcher les brouillages; des codes de signaux musicaux, tels que des sonneries de clairon, peuvent, comme l'auteur l'a montré, être lus quels que soient les brouillages des autres stations.



Cliché obligeamment prêté par la revue *T. S. F.*, Valenciennes.

FIG. 122 *ter.* — Éclateur à étincelles multiples.

A, commande pour le réglage de la longueur des étincelles. — B, C, D, prises de courant. — E, électrodes.

Le système est en exploitation dans la Jamaïque et dans différentes stations de France et de Belgique. L'efficacité de ce système est prouvée par le fait que les signaux de la station de la Jamaïque, où la puissance est d'environ 2 kilowatts, ont été reçus au port de New-York à 1.675 milles (3.400 kilomètres) et fréquemment à des portées de 1.000 milles (1.852 kilomètres). La station est la propriété de la Direct West India Cable-C°.

La Compagnie générale de Radiotélégraphie a introduit sur le marché, concurremment avec le système Lepel sur courant continu, un système à étincelles musicales à excitation par choc, fonctionnant avec du courant alternatif de 400 à 600 périodes.

L'ensemble d'un poste de ce système est représenté figure 122 *bis*. L'éclateur (*fig. 122 ter*), à réglage micrométrique, dû à M. Petit, a donné d'excellents résultats dans la pratique. Il permet un réglage très précis (à $\frac{1}{150}$ de millimètre près) des étincelles. Il est constitué par des barreaux cylindriques en cuivre portés par deux montants en matière isolante formant les côtés d'un parallélogramme déformable. Les barreaux sont munis de boutons isolants permettant de les faire tourner. On arrive ainsi à une usure très régulière des barreaux. C'est avec des postes de ce système qu'ont été équipés les bâtiments des Messageries, des Transports maritimes, de la Compagnie Sud-Atlantique, des Chargeurs réunis, etc. Des postes ont été également fournis à la marine de guerre ainsi qu'au Colonial Office anglais (station de Bahamas).

Dans le système Peukert, l'éclateur consiste en deux disques parallèles de métal se touchant presque dans l'huile, et maintenus en mouvement dans des sens opposés. La décharge est ainsi très amortie par le métal et l'huile et se produit chaquefois en de nouveaux points de la surface. Elle est, paraît-il, très constante. Les autres détails n'ont rien de particulier.

NOUVEAU SYSTÈME TELEFUNKEN

En 1908, la Compagnie Telefunken commença l'étude d'un système basé sur les idées de Wien, d'après lesquelles l'emploi d'un circuit primaire où le courant serait très amorti, grâce à une étincelle très courte, combiné avec une antenne oscillant librement, formerait une émission particulièrement convenable à la télégraphie sans fil. En théorie, le principe est donc l'excitation par choc, comme dans l'invention de Lepel, mais en pratique le développement s'est fait d'une manière quelque peu différente. Le courant alternatif est seul employé, et, en mettant un grand nombre d'éclateurs en série, et en employant un grand voltage d'alimentation, on a pu établir avec succès des stations très puissantes.

Les détails du système ont été étudiés avec beaucoup de soin, ils comportent des accessoires très utiles comme un résonateur acoustique pour renforcer les signaux téléphoniques et beaucoup de parties d'appareils augmentant la sensibilité et la sécurité de fonctionnement. Le courant est fourni par un alternateur de 500 périodes qui a une courbe caractéristique très pointue et donne par conséquent une note très claire pour la transmission.

Les lignes suivantes sont extraites d'un mémoire publié par Siemens Broth. Led, agents en Angleterre de la Compagnie Telefunken :

« La nouvelle émission Telefunken consiste en un circuit primaire qui contient l'éclateur à étincelle étouffée. L'antenne syntonisée électriquement lui est couplée inductivement ou galvaniquement. Le couplage entre le primaire et l'antenne est assez serré pour que l'énergie passe aussi rapidement que possible du primaire dans le secondaire; l'étincelle étant étouffée dès la première oscillation, il n'y a qu'une seule oscillation d'intensité appréciable, celle du secondaire (fig. 123).

L'amortissement des ondes rayonnées est environ de 0,08 à 0,1 avec les antennes parapluie et en T rayonnant lentement, si elles tra-

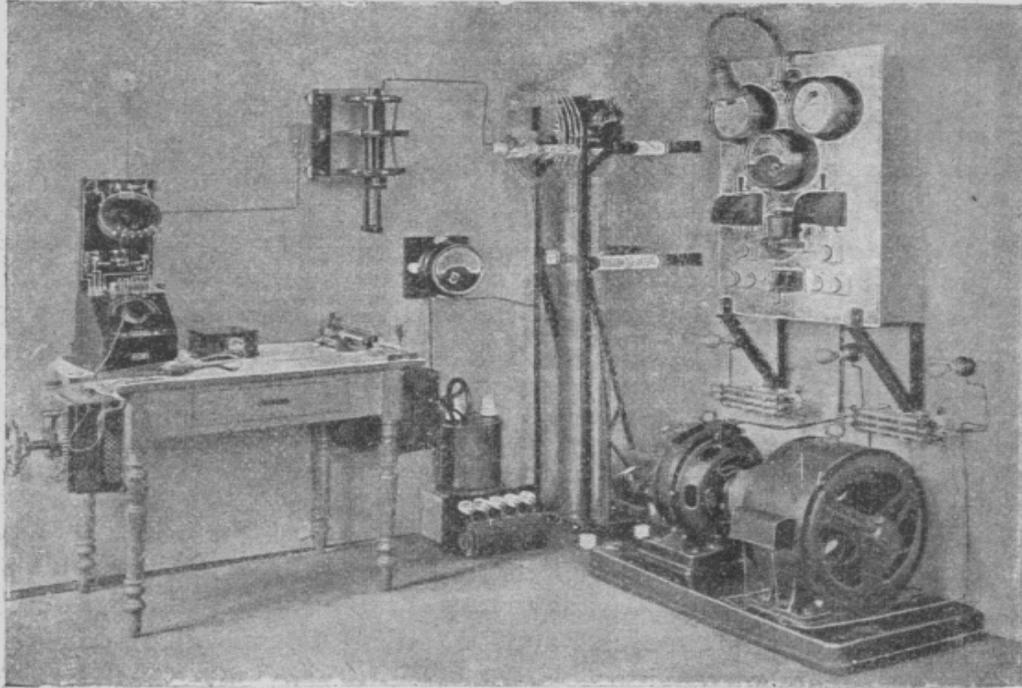


FIG. 123. — Équipement Telefunken pour station de bord et station côtière de 1,3 kw d'énergie en H. F.

Sur la table, le récepteur et le manipulateur; dans le coin, le circuit primaire, les éclateurs étant au-dessus des bouteilles de Leyde; à droite, l'alternateur à 500 périodes et son moteur.

vailent sur leur longueur d'onde propre, et seulement de 0,05 à 0,03 si la longueur d'onde est trois ou quatre fois plus grande que la longueur propre, de petits décrets pouvant seulement être atteints si des mesures spéciales sont prises pour que les pertes soient tenues aussi faibles que possible,

« Le nouveau système Telefunken à étincelles musicales étouffées a été introduit dans la pratique au commencement de l'année 1909. Les bons résultats obtenus immédiatement avec lui et sa supériorité également reconnue en ce qui concerne les points les plus importants pour la pratique, comme la portée, la sécurité de fonctionnement, l'insensibilité aux brouillages, ont fait augmenter énormément le nombre de ces

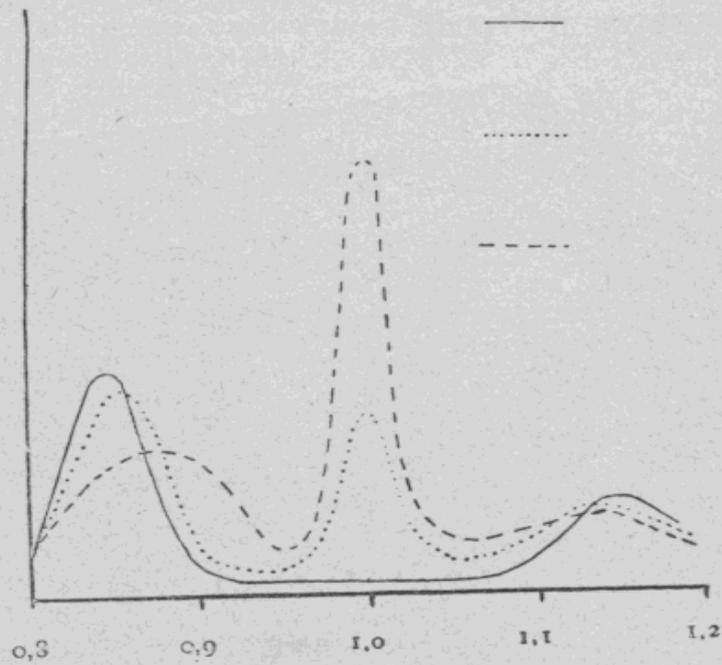


FIG. 124. — Fréquence relative des oscillations.

Courbes de résonance de M. Wien du circuit secondaire pour différentes longueurs dans le primaire.

Traits pleins : étincelle de 0^{mm},5, décharge unique.
 Pointillé : étincelle de 0^{mm},3, décharges partielles.
 Tirets : étincelle de 0^{mm},15, décharges partielles.

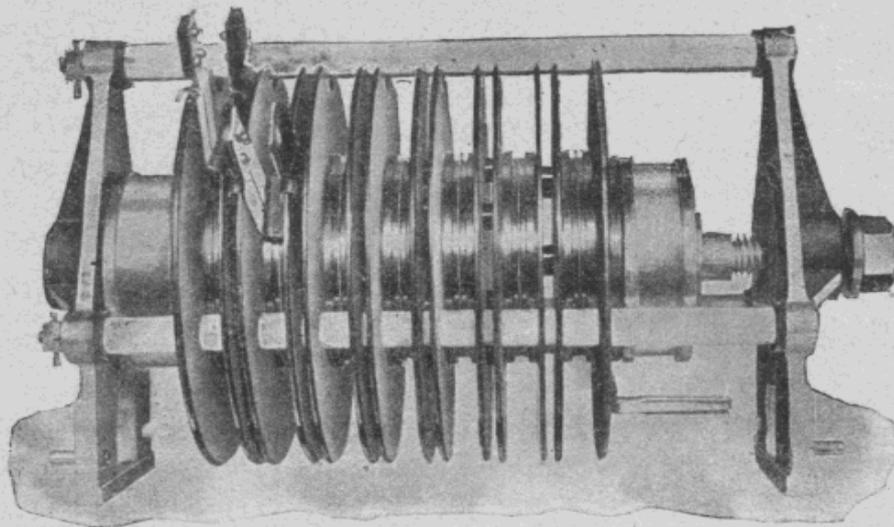


FIG. 123. — Éclateur Telefunken à étincelles étouffées de 1,5 kw.

stations fournies. Pendant la première année, on ne fournit que des stations moyennes et petites de ce nouveau système, allant jusqu'à

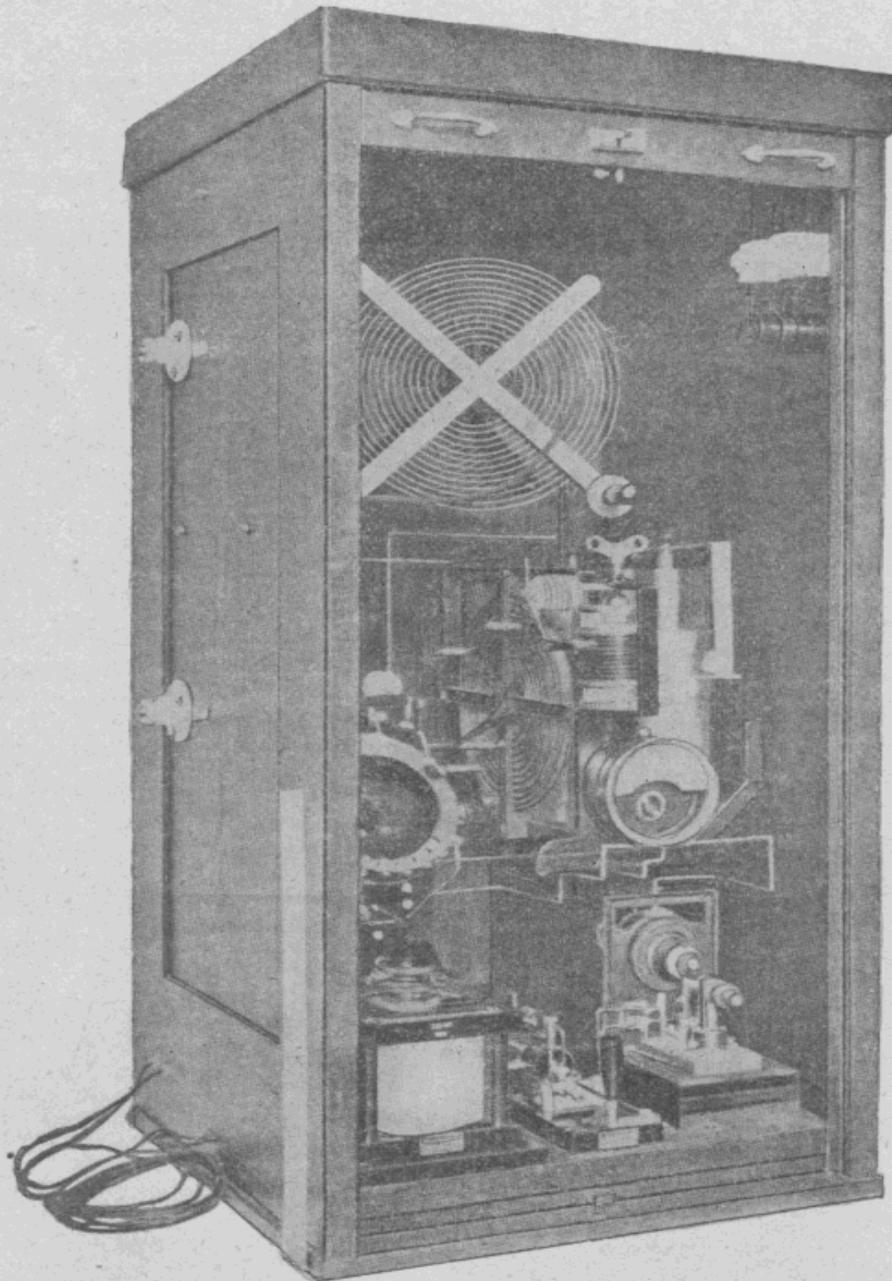


FIG. 126. — Station de bord Telefunken pour portées de 400 milles.

4 kilowatts, tandis que dès le commencement de 1910 une série de stations allant jusqu'à 10 kilowatts et au delà d'énergie furent installées.

Le nombre total de stations Telefunken de l'ancien et du nouveau système fourni jusqu'en juillet 1910 se montait à 834, sans compter les stations allemandes. En 1911, il y avait des contrats pour 390 stations à monter dans trente différents pays.

La grande station d'expériences de Nauen, près de Berlin, a été munie d'un pylône de 200 mètres portant une grande antenne en parapluie. Deux machines, l'une à 500 périodes et l'autre à haute fréquence, ont été installées pour fournir le courant à cette antenne. Chaque machine est calculée pour donner environ 100 kilowatts de puissance en haute fréquence.

Étant donné le rendement supérieur du système par choc, la puissance d'alimentation pour une distance donnée est considérablement moindre que celle qui est nécessaire à une station à étincelle ordinaire. Les stations Telefunken sont maintenant classées d'après la puissance en haute fréquence mise dans l'antenne, et non, comme les autres compagnies le font généralement, d'après la puissance d'alimentation.

LE SYSTÈME GALETTI

Les inventions de M. R. Galletti de Cadilhac ne sont pas encore dans la pratique commerciale, mais elles offrent un grand intérêt technique, et prendront probablement leur place dans la pratique avant peu. Je donnerai donc une courte relation des principes de ses appareils.

Les deux caractères principaux sont : 1° l'emploi d'impulsions de courant continu à haut voltage pour exciter le circuit oscillant principal, la méthode est donc une méthode parfaite d'excitation par choc ; 2° l'emploi d'un grand nombre de circuits oscillants, accouplés par un condensateur commun, qui sont excités successivement et automatiquement de manière à donner un courant oscillant pratiquement ininterrompu et d'amplitude presque constante dans l'antenne. Les ondes radiées sont ainsi presque uniformes et peuvent convenir à la téléphonie aussi bien qu'à la télégraphie.

Des courants continus de très haut voltage, allant de 30.000 à 100.000 volts ont été employés par Galletti dans ses expériences, et de grands rendements obtenus. L'éclateur consiste en une série d'éclateurs placés en série et enfermés de façon à être à l'abri de l'air. La longueur totale d'étincelle est telle qu'il est nécessaire d'induire un voltage additionnel à l'aide d'un appareil auxiliaire pour permettre l'éclatement.

CHAPITRE XIV

ANTENNES

La théorie de la transmission dans l'espace des ondes de l'antenne, et des phénomènes réels qui se produisent dans le voisinage immédiat de l'antenne, a été récemment l'objet de beaucoup de recherches aussi bien par la méthode expérimentale que par la méthode mathématique. L'idée que la terre peut être considérée comme un conducteur parfait et que le problème pourrait par suite se traiter directement par les équations de Hertz a été reconnue insuffisamment exacte dans la pratique, et des méthodes se rapprochant plus exactement des conditions physiques réelles font encore l'objet de recherches.

En fait, comme je l'ai indiqué dans la première édition de ce volume, la véritable télégraphie hertzienne, bien qu'ayant été réalisée pratiquement par Marconi en 1896, n'a plus été en usage depuis cette date, excepté cependant dans quelques cas pour la communication entre ballons. Au contraire, dans tous les systèmes pratiques, la transmission a lieu, non d'un oscillateur à l'autre par l'intermédiaire d'un espace isolant, mais au contraire d'une partie d'un conducteur à une autre partie du même conducteur; en d'autres termes, les stations d'émission et de réception sont réunies par un même conducteur, la terre.

L'importance énorme de la résistance de la surface de la terre dans la transmission de l'énergie électrique avait été déjà montrée dans le premier chapitre, sur la transmission, de la première édition de ce volume, à l'aide d'une analyse des mesures faites par Duddell et Taylor des courants reçus à Howth d'une station de bord occupant différentes positions dans la mer d'Irlande.

Mes conclusions ont été depuis complètement vérifiées par des chercheurs indépendants comme Zenneck, Hack et Sommerfeld, ainsi que par les résultats pratiques de tous les ingénieurs en télégraphie sans fil.

Tout dernièrement, des méthodes pour la mesure de la résistance

réelle du circuit oscillant de l'antenne, c'est-à-dire du circuit comprenant l'antenne et les couches superficielles terrestres dans son voisinage, ont été établies, et les résultats qu'a donnés leur application pratique ont montré que la résistance joue un rôle important, non seulement dans la transmission dans l'espace des ondes à la surface de la terre, mais encore dans l'établissement du courant dans l'antenne elle-même.

Les qualités radiatrices d'une antenne symétrique sont déterminées par quatre quantités : sa résistance R , sa capacité C , sa self L et son coefficient de radiation ou résistance due à la radiation r . Ces grandeurs varient avec la fréquence du courant, mais sont constantes pour une fréquence donnée. Pour une antenne non symétrique, on doit tenir compte de la forme en pratique.

Pour obtenir les meilleurs résultats, il est évident que R doit être aussi petit que possible. Ceci n'est pas si facile qu'il pourrait sembler au premier abord; car une grande partie de la résistance R est formée par la résistance de la terre comprise dans une distance d'une longueur d'onde de la station. Austin a montré qu'avec ce qu'on peut appeler une bonne terre, par exemple une connexion à une conduite d'eau, R peut s'élever jusqu'à 20 ou 30 ohms dans certains cas, et l'auteur a obtenu par une autre méthode des résultats du même ordre de grandeur. H. True et M. Reich ont également démontré expérimentalement que des différences de potentiel très considérables existent dans les couches supérieures de la terre au voisinage d'une antenne, indiquant de grandes pertes en énergie par effet Joule.

Puisque R est cause d'une grande perte d'énergie, c'est évidemment le but de l'ingénieur de réduire cette quantité autant que possible, en tenant compte des dépenses auxquelles cela conduit. On peut y arriver, dans un sol humide, en augmentant la longueur et le nombre des fils ou plaques de terre. Il semblerait que, pour obtenir les meilleurs résultats, le réseau de fils de terre devrait s'étendre considérablement au delà de la zone de l'antenne. Dans un sol très sec ou sur la roche, on emploie une grande capacité inférieure ou contrepoids, dont l'étendue doit être plus grande que celle de l'antenne et dont la hauteur la plus favorable doit être déterminée par expérience. Cette capacité inférieure a pour effet de diminuer la densité des lignes de force à leur entrée dans le sol en les étendant; elle réduit donc les pertes par résistance.

En ce qui concerne le rôle joué par la capacité et la self, on peut remarquer qu'en général l'emploi d'une grande capacité et d'une self minimale donne de grands courants à travers tous les conducteurs, cuivre et terre, tandis qu'une petite capacité et une grande self donnent de plus grands voltages, mais un courant moindre. En général donc une

capacité relativement grande donne en pratique un faible coefficient de radiation et *vice-versa*.

La quatrième grandeur de l'antenne, r , le coefficient de radiation, ou résistance due à la radiation, est celle dont dépend réellement la transmission. Bien que se mesurant en ohms, ce coefficient a un effet sur la transmission différent de celui de R , la résistance ohmique. L'accroissement

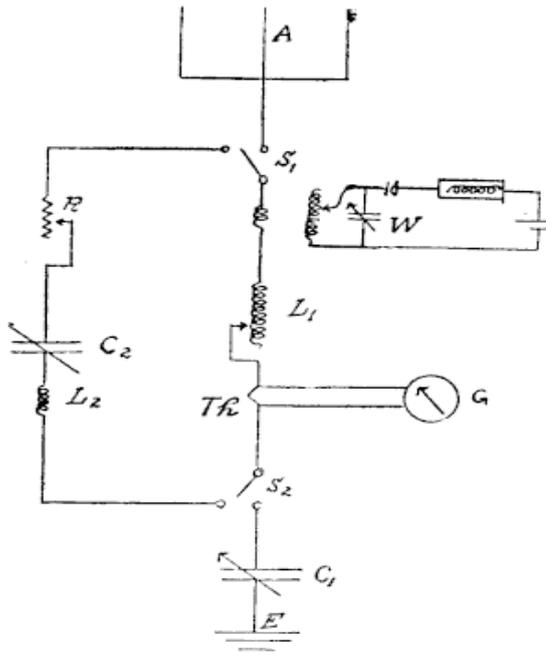


FIG. 127, 128 et 129. — Schéma des appareils pour la mesure de la résistance de l'antenne.

A, antenne. — E, terre. — L, self d'accord. — Th, thermo-élément. — G, galvanomètre. — C₂, condensateur variable à la capacité de l'antenne. — R, résistance pour amener la déviation du galvanomètre à égaler celle produite par le courant d'antenne. — W, ondemètre excité par vibration.

d'intérêt qu'en ce qu'elle augmente le coefficient de radiation, et il y a d'autres manières d'augmenter r , par exemple en changeant la forme de l'antenne. Il paraît cependant vrai que pour des antennes du même type le coefficient de radiation varie comme le carré de la hauteur.

On n'a pas encore fait de mesures directes sur les coefficients de radiation des antennes; car il n'y avait pas de méthode expérimentale avant celle que j'ai donnée dernièrement dans le *Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie* (voy. chap. XIX). Il existe depuis quelque temps des méthodes pour mesurer la somme de la résistance ohmique et de la résistance due au rayonnement; la meilleure, qui est en usage en Amérique depuis

l'accroissement de r correspond à l'accroissement de radiation d'énergie si les ondes rayonnées sont uniformes (ou non amorties). C'est l'inverse pour R . Les conditions ne sont pas aussi simples pour les stations dans lesquelles le courant est produit par la décharge intermittente d'un condensateur, mais il reste vrai dans ce cas que, bien que pour obtenir les meilleurs résultats la somme $(R + r)$ doit être réduite, plus le rapport de r à R est grand, plus grande est l'efficacité. D'après les mesures d'Austin, il semble que ce rapport soit maximum quand l'antenne oscille à sa fréquence fondamentale, tandis que $R + r$ devient minimum pour environ la moitié de la fréquence fondamentale.

Je n'ai pas mentionné la hauteur h de l'antenne comme une des grandeurs importantes. La raison en est que la hauteur n'a

cing ou six ans, paraît avoir été indiquée par Fessenden. Cette méthode repose sur la substitution à l'antenne réelle d'une antenne artificielle composée d'une self égale à celle de l'antenne, d'un condensateur à air et d'une résistance non inductive en série.

Le circuit du condensateur est accordé avec l'antenne, et la résistance est réglée de façon que ce circuit, mis à la place de l'antenne, soit traversé par le même courant que celle-ci. On peut alors admettre que la résistance de l'antenne $R + r$ est égale à la valeur de la résistance substituée, à très peu de chose près. Les circuits peuvent être excités par un ondemètre à trembleur.

Une autre méthode employée par Austin pour la mesure de la résistance des antennes est la méthode bien connue de la mesure de la résistance par le décrement. L'antenne est excitée par un ondemètre de décrement logarithmique connu et un vibreur. La lecture du condensateur de l'ondemètre est notée pour la déviation maxima d'un thermique placé dans l'antenne et pour une déviation moitié moindre. L'expression de la somme des décrets est alors :

$$\delta_1 + \delta_2 = \pi \frac{C_m - C}{C_m},$$

où C_m est la lecture pour la déviation maxima et C la même lecture pour la déviation moitié. Comme δ_1 est connu, cette formule donne le décrement δ_2 de l'antenne. La résistance de l'antenne s'obtient alors par l'équation :

$$R = 2n\lambda\delta_2.$$

Une troisième méthode est basée sur l'équation de Bjerknæs donnant le carré du courant dans le second des deux circuits couplés :

$$I^2 = \frac{\text{Constante}}{\delta_1^2\delta_2 + \delta_2^2\delta_1}; \quad (1)$$

I représente le courant efficace dans un circuit excité inductivement par un autre δ_1 le décrement du premier circuit et δ_2 celui du second.

Si le décrement du premier circuit est très grand comparativement à celui du second, on peut négliger le second terme du dénominateur et écrire :

$$I^2 = \frac{\text{Constante}}{\delta_1^2\delta_2},$$

c'est-à-dire qu'en doublant la résistance du second circuit, on réduira le carré du courant de moitié. Si l'antenne est excitée par un circuit très amorti, les lectures d'un galvanomètre attaché à un couple thermique dans l'antenne seront réduites de moitié quand on ajoutera dans l'an-

tenne une résistance égale à celle de l'antenne. En pratique, il est impossible d'obtenir un circuit d'excitation de décrément suffisamment grand pour pouvoir employer cette méthode avec une antenne, sans faire une correction dans le second terme du dénominateur de l'équation (4).

Dans le cas d'excitation par un éclateur à étincelle étouffée, on peut prendre 20 0/0 pour terme correctif. On admet ainsi qu'il y a quatre ondes dans chaque train du primaire.

De ces trois méthodes, c'est celle de l'antenne artificielle qui est la plus exacte, et celle de la déviation moitié est la moins bonne. Elle est cependant de beaucoup la plus simple pour des mesures ordinaires de stations, car elle n'exige pas l'emploi d'appareils spéciaux, les lectures pouvant être faites sur le thermique d'antenne.

Pour des longueurs d'onde supérieures à 500 mètres on peut admettre qu'un fil de manganine de 0^{mm},81 a la même résistance pour la haute fréquence que pour le courant continu. Ce fil peut supporter 7 à 8 ampères sans chauffer.

Différents types d'antenne ont déjà été décrits. D'autres, importants en pratique, sont le type en T, d'usage général sur les navires de commerce, et le type en éventail. Le premier a un coefficient moyen de radiation et le dernier un grand. L'antenne en toit ressemble à l'éventail quant aux propriétés générales, et a la forme d'un toit élevé, comme son nom l'indique. L'antenne en parapluie a le coefficient de radiation le plus faible parmi toutes les antennes employées. Cette forme est cependant en faveur auprès de certaines compagnies en raison de ce que ses oscillations naturelles sont très prolongées, ce qui rend une syntonisation très aiguë possible à la station de réception en réduisant l'amortissement des ondes émises.

Prise de terre. — Une forme habituelle de prise de terre consiste dans une plaque de zinc enfoncée de champ dans une tranchée circulaire dont le centre est à la projection du point le plus haut de l'antenne.

Des fils soudés à la bande de zinc en différents endroits la relie à la station. Si le diamètre de la tranchée était comparable à la hauteur de l'antenne, cette disposition formerait une très bonne prise de terre; mais, comme la dépense d'une telle tranchée serait trop grande, son diamètre ne dépasse pas généralement 20 mètres. Les lignes de force ont donc à parcourir une grande distance dans la terre et, comme True l'a montré, il en résulte des pertes d'énergie importantes. Une antenne bien meilleure est obtenue en enterrant un nombre de fils correspondant en longueur et capacité à ceux de l'antenne dans des tranchées rayonnantes.

II. True a montré expérimentalement qu'avec une antenne de 75 mètres de haut et ayant un sommet plat de la forme d'un triangle équilatéral de 75 mètres de côté, la plus grande partie du courant entre dans le sol de 50 à 90 mètres du point situé au-dessous du centre de l'antenne.

La longueur d'onde dans ce cas était de 4.000 mètres, et le niveau d'eau était à environ 1^m,50 de la surface. Plus la longueur d'onde est grande, plus la plus grande partie du courant entre loin dans la terre, et il semble que la résistance générale doive être plus grande pour de grandes longueurs d'onde que pour de courtes longueurs d'onde. Je crois que cette conclusion est confirmée par les expériences d'Austin sur la résistance des antennes.

Détermination de la direction de radiation. — Il n'est pas toujours avantageux, mais il peut être quelquefois utile de pouvoir limiter à peu près la transmission des ondes à une direction donnée. De cette sorte, un groupe de stations situées en différents points pourraient communiquer ensemble par paires sans se gêner mutuellement, ou sans qu'il soit nécessaire de syntoniser d'une façon aiguë. Il serait aussi parfois très utile, surtout dans la marine, de pouvoir déterminer la direction de la station dont on reçoit un message. Les deux problèmes sont différents, et le deuxième est, quant à présent du moins, le plus important. Si un navire pouvait déterminer le point d'une station qui lui envoie un message, ce serait d'un grand secours pour la navigation en temps de brouillard; même, si les coordonnées de deux stations côtières pouvaient être déterminées en même temps, la position exacte du navire pourrait se calculer facilement par la trigonométrie.

Le compas radiotélégraphique Bellini-Tosi, qui a été installé sur un certain nombre de paquebots pendant ces dernières années, réalise ces conditions avec facilité et d'une manière très précise. Il consiste simplement en un récepteur radiogoniométrique (voy. p. 181) adapté à deux antennes triangulaires. Grâce à lui, les coordonnées d'une station voisine peuvent être trouvées immédiatement à 2 ou 3 degrés près. En prenant simultanément la position de deux stations, on détermine la position exacte du navire.

Dans le premier système de Marconi, les ondes hertziennes employées étaient réfléchies par des miroirs paraboliques comme dans les expériences de Hertz, et la radiation était naturellement dirigée comme le rayon d'un miroir. Le miroir remplit si bien son office de direction qu'il devient difficile de maintenir la communication entre deux stations, le plus petit mouvement du réflecteur changeant la direction du rayon au point qu'il risque de passer à côté de la station de réception sans la toucher. Une télégraphie sans fil de ce type serait presque sans utilité

en mer, à cause de la difficulté qu'il y aurait à maintenir la direction du rayon vers la station de réception. Le rayon n'est pas visible, et les signaux ne peuvent être reçus que s'il frappe directement le récepteur. Il diffère en cela du rayon lumineux qui produit des signaux lisibles, même si le rayon ne frappe pas directement l'œil de l'observateur, mais est projeté sur un nuage au-dessus de lui. Deux navires peuvent ainsi communiquer par signaux optiques, bien qu'ils soient invisibles l'un à l'autre à l'horizon.

Il serait donc très utile de pouvoir déterminer la direction d'où provient un signal, mais il serait beaucoup moins important de pouvoir limiter la transmission à un petit angle donné.

Beaucoup d'essais ont été faits pour obtenir des ondes dirigées, la plupart fondés sur l'interférence des ondes émises par deux antennes distantes d'une demi-longueur d'onde.

Si les oscillations dans ces deux antennes avaient la même phase, le rayonnement serait nul dans un plan vertical passant par les fils, et maximum dans un plan vertical perpendiculaire à ceux-ci. En 1899, l'auteur commença des expériences dans ce sens, mais des circonstances l'empêchèrent de les pousser. C'est néanmoins probablement le premier essai qui ait été fait pour obtenir des ondes dirigées à l'aide d'antennes sans l'emploi de réflecteurs. Plus récemment le sujet a été étudié, et des brevets ont été pris par Braun, Artom, Stone et autres. Le travail du professeur Braun sur les différences de phase entre circuits de haute fréquence, entrepris pour obtenir des données pour une méthode basée sur ce principe, est un chef-d'œuvre d'habileté expérimentale et mathématique ⁽¹⁾. Bien que ne présentant pas de grandes difficultés quand la direction de la transmission est fixe, cette méthode aurait été impraticable dans la marine, surtout dans le cas où on a besoin de longueurs d'ondes assez grandes, la dimension des appareils devenant alors excessive. Il serait encore plus difficile, avec ce système, de trouver la direction d'où viennent les radiations, et il faudrait pour cela ou un certain nombre d'antennes fixes, ou une antenne fixe et une antenne mobile, pour approprier à la fois le changement de direction et la différence de longueur d'onde. Une méthode ⁽²⁾ plus simple conduisant au même but a été trouvée par Garcia en 1900; elle consiste dans l'emploi d'antennes horizontales mises à la terre à une des extrémités. Celles-ci étaient disposées de manière que le rayonnement n'avait lieu que dans un angle solide très faible, et on pouvait le diriger en changeant la position des antennes. La direction du courant, à la réception, était déterminée d'une manière analogue.

⁽¹⁾ *Electrician*, 25 mai 1906.

⁽²⁾ *Electrician*, 18 mai 1906.

Dans des demandes de brevet de 1904, le D^r de Forest décrit deux méthodes permettant de déterminer la direction d'une station d'émission. La première emploie une grande grille de fils verticaux suspendue de façon à pouvoir être tournée autour d'un axe vertical. Les signaux les plus forts sont reçus quand le plan de la grille est à angle droit avec la ligne joignant les stations, et les plus faibles quand le plan de la grille est dans cette ligne. En faisant quelques observations avec la grille dans différentes positions, la direction de la ligne joignant les stations peut être déterminée avec une grande précision. On a trouvé qu'en employant une grille de 5^m × 2 mètres comme antenne et en la tournant jusqu'à ce qu'on obtienne le courant le plus intense, on pouvait déterminer à moins de 10° la direction d'une station située à 7 milles de distance.

En pratique, cela veut dire que si deux stations côtières distantes d'environ 5 milles étaient placées de façon favorable par rapport à un navire situé à 5 milles au large, elles pourraient donner les coordonnées du navire avec une approximation suffisante pour permettre de déterminer sa position à 1 mille près. Par temps de brouillard, sur une côte dangereuse, même ce degré de précision serait d'une grande utilité, et sans doute, avec le développement de la méthode, on peut s'attendre à une précision beaucoup plus grande dans l'avenir.

Dans un autre brevet de la même date, le D^r de Forest décrit une autre méthode pour obtenir la direction de mouvement des lignes de force provenant de la station transmettant. Un grand fil horizontal est suspendu à une faible distance au-dessus du sol et est relié à la terre par une courte connexion qui comprend le récepteur. On a trouvé que l'effet était maximum quand le fil horizontal était dans le prolongement de la ligne joignant les stations. Ainsi, en tournant le fil autour de son axe vertical et en notant la position du courant maximum, on trouve la direction de la station d'émission (fig. 130 et 131).

Les deux solutions du problème paraissent immédiatement applicables à la pratique.

Le D^r de Forest a essayé de résoudre le problème de la direction des ondes d'une manière analogue.

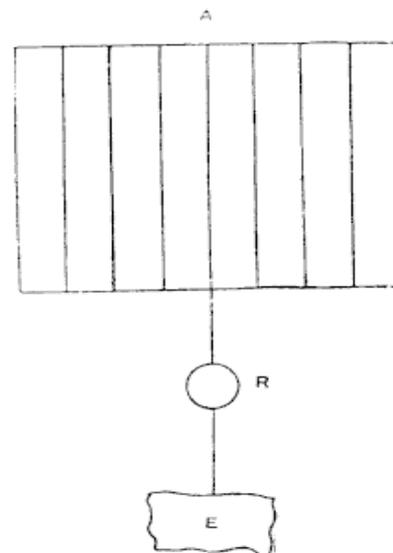


FIG. 130. — Antenne dirigée de Forest. (Forme verticale.)

A, grille des fils verticaux. — R, appareil transmetteur au récepteur. — E, terre.

En mars 1901, et plus spécialement encore dans un brevet de janvier 1904, il établit qu'une antenne consistant en une courte branche verticale, prolongée par une grande branche horizontale, à l'extrémité de

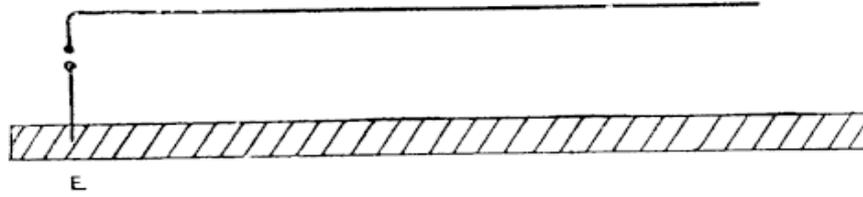


FIG. 131. — Antenne dirigée. (Forme horizontale.)

Le récepteur est connecté à la place de l'éclateur dans la partie verticale.

laquelle se trouve une deuxième branche verticale s'élevant au-dessus d'elle, envoie principalement des lignes de force du côté de la petite branche verticale, et dans la direction de la ligne horizontale.

Duddell et Taylor firent en juin 1904 des expériences avec une an-

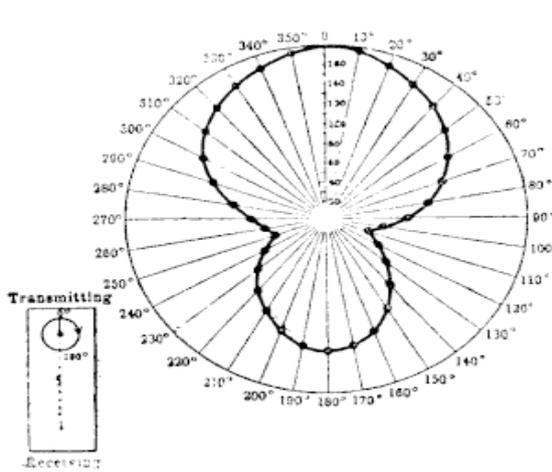


FIG. 132. — Courbe montrant le courant en microampères à la prise de terre du récepteur dans les conditions de direction ci-après.

Antenne de transmission : horizontale, tournant de 0 à 360°, à 1^m,5 au-dessus du sol. Antenne de réception : verticale, fixe : hauteur, 18 mètres. Longueur de l'antenne transmettrice, 60 mètres : du fil de réception, 18 mètres : distance de transmission, 200 mètres. (Marconi.)

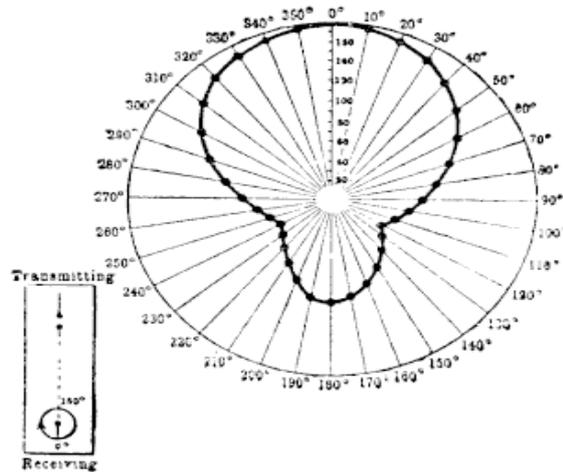


FIG. 133. — Courbe montrant le courant en microampères à la prise de terre du conducteur de réception dans les conditions de direction ci-après.

Conducteur d'émission : horizontal, fixe à 1^m,50 au-dessus du sol. Conducteur de réception : horizontal, tournant de 0 à 360° à 1^m,50 du sol. Longueur du conducteur d'émission, 30 mètres. Distance de transmission 225 mètres. (Marconi.)

tenne de transmission en forme de L renversé, mais les résultats ne furent pas suffisamment précis pour indiquer la grande action directrice d'un fil horizontal, ainsi que l'a trouvé Marconi.

En juillet 1905, M. Marconi a fait breveter un dispositif dans lequel

les antennes d'émission et de réception sont des fils horizontaux ayant leurs extrémités dirigées en sens inverse. Les figures 132, 133, 134 sont empruntées à un mémoire de M. Marconi, présenté le 22 mars 1906 à la Royal Society. Elles montrent le courant rayonné dans différentes directions par une antenne horizontale ainsi que la puissance d'absorption variable d'un fil de réception horizontal placé dans des angles différents avec la direction d'arrivée des ondes. Dans la figure 132, l'antenne d'émission est horizontale, celle de réception verticale; dans la figure 133 toutes les deux sont horizontales; dans la figure 134, celle d'émission est verticale et celle de réception horizontale. Ces résultats offrent un grand intérêt théorique et pratique et ont été expliqués, à l'aide des équations de Maxwell, par le professeur Zebeck.

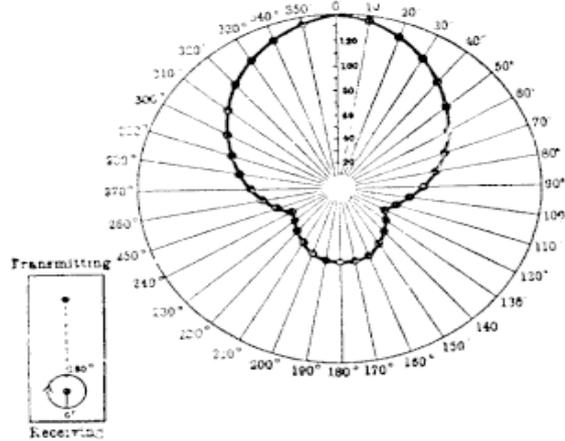


FIG. 134. — Courbe montrant le courant en microampères à la prise de terre du conducteur de réception dans les conditions ci-après.

Conducteur d'émission : vertical, fixe ; hauteur, 55 mètres. Conducteur de réception : horizontal, tournant de 0 à 360°, à 1^m,50 au-dessus du sol. Longueur du conducteur d'émission, 55 mètres ; conducteur de réception, 30 mètres. Distance de transmission, 680 mètres (Marconi).

Bellini et Tosi. — Propriétaires des brevets d'Artom, ces inventeurs ont établi un système de télégraphie sans fil dirigé très élégant et très pratique. Dans sa dernière forme, l'antenne consiste en deux triangles équilatéraux en fil ouverts à une courte distance du sommet, et en un fil central vertical. Au point milieu de la base de chacun des triangles se trouvent quelques spires de résonateur, les deux étant à angle droit. Ces spires forment le secondaire d'un résonateur dont le primaire est formé de quelques spires dont l'axe est dans un plan horizontal et peut être tourné au-dessous des deux secondaires à angle droit, autour d'un point placé en son milieu. Pour transmettre dans une direction voulue, le primaire est tourné dans cette direction et excité. Le résonateur en croix décompose alors les oscillations en deux composantes, suivant la loi du parallélogramme, et excite en conséquence les deux antennes triangulaires. La résultante de leur radiation combinée est un effet maximum dans la direction primaire.

Une explication semblable s'applique à la réception. Le primaire, agissant maintenant comme secondaire, est tourné jusqu'à ce que le courant induit soit maximum; il est alors dans la direction d'où viennent

les ondes. Il a été ainsi trouvé possible de repérer la direction d'une station d'émission à moins d'un degré près.

Le rôle de l'antenne verticale centrale est d'annuler entièrement la radiation vers l'arrière.

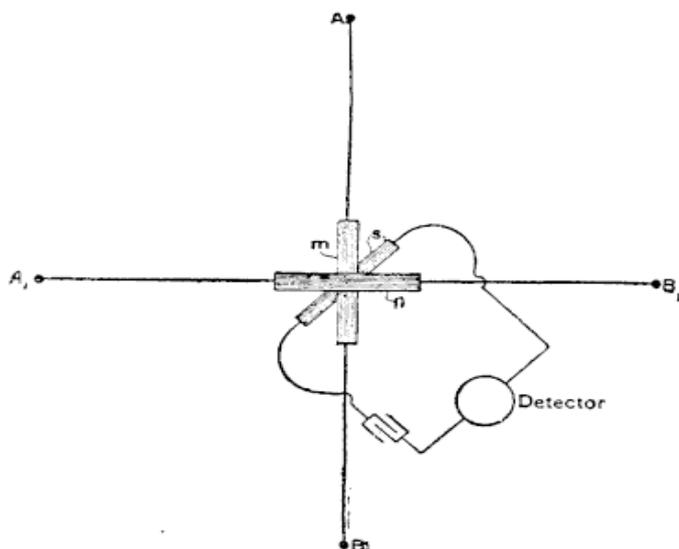


FIG. 135. — Récepteur Bellini-Tosi (radiogoniomètre).
 A_1, A_2, B_1 , bases des antennes. — mn , primaires. — s , secondaire (mobile).

La force de rayonnement émis par les deux antennes triangulaires présente un diagramme ayant la forme d'un 8, c'est-à-dire qu'il y a deux maxima, à l'avant et à l'arrière, suivant une ligne passant par les antennes ; mais les ondes dans les directions opposées sont en opposition de phase ; en superposant donc la radiation de l'antenne centrale en phase avec les ondes vers l'avant, le rayonnement vers l'arrière est complètement annulé, et celui vers l'avant est renforcé. Le résultat est que le rayonnement est entièrement limité à la direction avant, et présente un maximum dans la direction du primaire. Le type le plus simple de circuit est montré dans la figure 136, et le diagramme de rayonnement figure 137.

On a obtenu d'excellents résultats avec ce système avec des stations établies à Barfleur, Dieppe, le Havre. Les positions des stations de la côte anglaise et des bateaux de la Manche ont été fixées avec grande précision à l'aide de triangulations de deux des stations françaises.

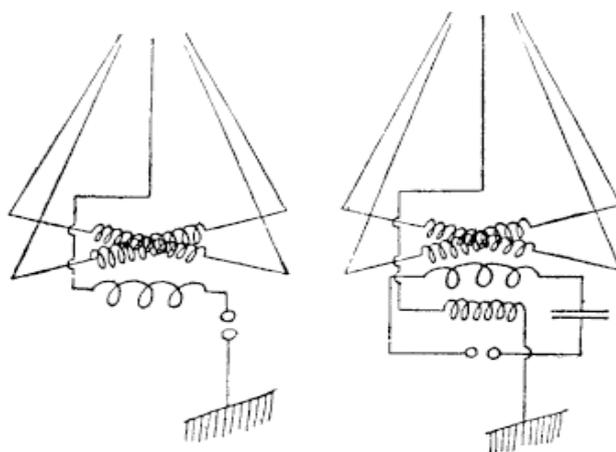


FIG. 136. — Transmetteurs Bellini-Tosi.

Compas radiotélégraphique Telefunken. — Pour permettre aux

navires munis d'antennes ordinaires non directrices de déterminer la position d'une station côtière, la Compagnie Telefunken a installé des stations côtières munies d'un certain nombre d'antennes horizontales radiales qui sont successivement excitées à des intervalles de temps égaux.

Un signal distinctif est envoyé par l'antenne nord-sud, et, en l'entendant, l'opérateur à bord du navire met en marche un chronomètre

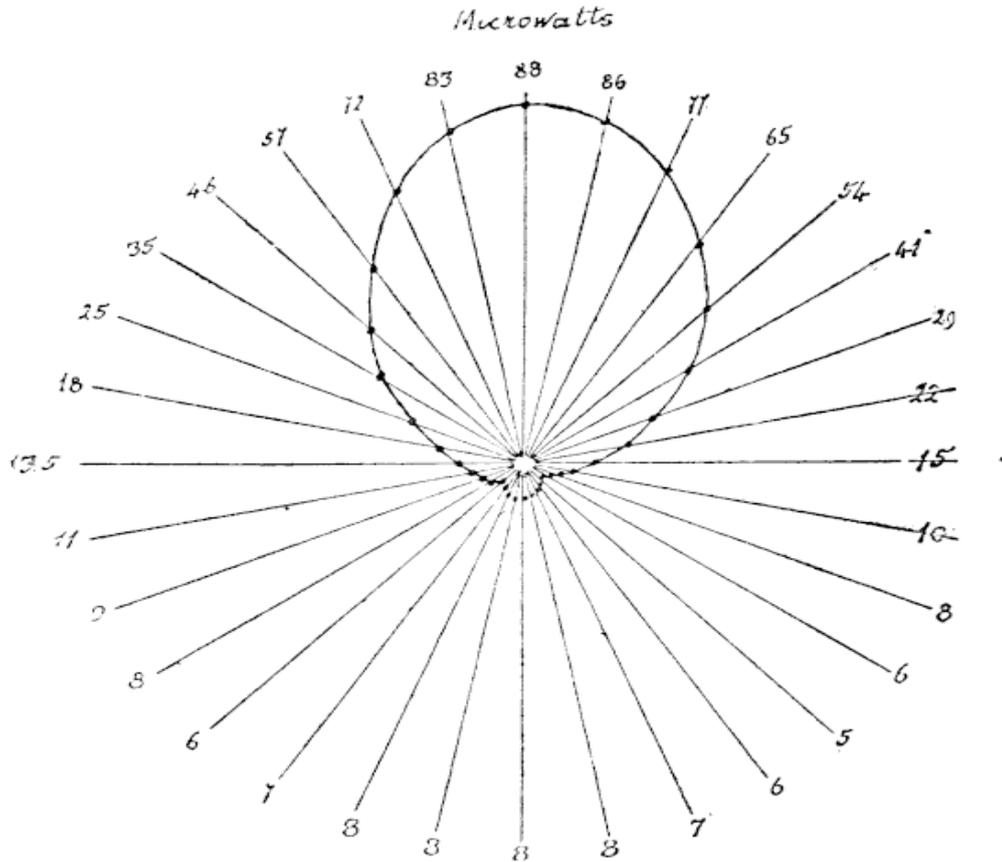


FIG. 137. — Diagramme polaire de l'énergie transmise.

gradué en degrés de la boussole. Il arrête le chronomètre quand les signaux ont le maximum d'intensité et n'a plus qu'à lire directement le point sur le chronomètre.

Théorie de la T. S. F. dirigée. — L'action de l'antenne horizontale dans la réception et dans l'émission a été expliquée d'une façon très satisfaisante par Zenneck, comme un corollaire de sa théorie mathématique de la transmission des ondes électriques le long de surfaces de conductibilités et de constantes diélectriques différentes. Il a montré que,

lorsque les lignes de force électrique constituant un front d'ondes passent le long de la surface d'un conducteur de grande résistance et de faible capacité inductive spécifique, comme la terre, elles s'inclinent vers l'avant leurs parties inférieures étant retardées par la résistance du conducteur auquel elles sont attachées. Comme dans une antenne de réception l'ef-

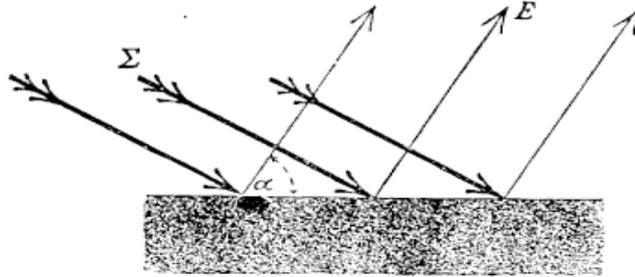


FIG. 138. — Propagation des ondes le long d'un conducteur de grande résistance.

E, force électrique. — Σ , direction moyenne de l'énergie (Zenneck).

fet maximum est produit quand elle est parallèle aux lignes de force. une antenne inclinée en sens inverse d'une station d'émission, ou, ce qui revient au même, une antenne avec une partie horizontale au sommet dirigée en sens opposé de la station d'émission, sera affectée plus fortement qu'une antenne

d'une autre forme, ou de la même forme dans une autre position.

Pour expliquer l'action directrice de l'antenne horizontale dans l'émission, il remarque que, en général, le front d'ondes au récepteur est incliné en avant et par suite la direction moyenne de propagation de l'énergie, étant rectangulaire au front d'ondes, est dirigée vers le bas et plonge vers la terre et le récepteur (fig. 138). L'énergie reçue à une station vient donc d'en haut et n'a pas été rayonnée horizontalement du



FIG. 139. — Chemin de radiation de l'énergie à la surface de la terre.

transmetteur mais a commencé sa course avec une direction dirigée vers le haut (fig. 139). Une antenne avec une partie horizontale donne un rayonnement plus puissant dans une direction élevée que ne le ferait une simple antenne verticale (fig. 140), d'où résulte l'accroissement de puissance à de longues distances qu'on obtient en employant une



FIG. 140. — Ondes émises par une antenne horizontale sur la terre (K. Uller) montrant la grande radiation du côté convexe due aux pertes moins grandes d'énergie par résistance de la terre.

rait une simple antenne verticale (fig. 140), d'où résulte l'accroissement de puissance à de longues distances qu'on obtient en employant une

grande branche horizontale, et l'effet directeur donnant une radiation maxima dans une direction déterminée ⁽¹⁾.

Harald von Hoersehelmann (*Jahrbuch*, V, 1 et 2), dans une étude théorique, trouve que l'antenne horizontale Marconi agit comme s'il y avait deux antennes verticales, dans le plan de l'antenne réelle, de part et d'autre de la portion verticale et avec des courants différents de π en phase. Ces courants verticaux ne se produisent que quand le sol voisin de l'antenne est un conducteur relativement mauvais. A. Montel a également donné une explication analogue. L'observation de Marconi, qu'il est avantageux de placer des fils de terre horizontaux sous l'antenne et dans la direction de la transmission, et de concentrer ainsi les courants dans le plan de l'antenne, ne permet pas de déterminer si cette explication ou celle de Zenneck et Uller est la plus correcte.

⁽¹⁾ J. ZENNECK, *Ann. d. Physik*, septembre 1907, p. 846 : *Physik. Zeitschr.*, 1908, n° 2, p. 30; n° 17, p. 553.

CHAPITRE XV

QUELQUES POINTS DE LA THÉORIE DES OSCILLATIONS ET DES RÉSONATEURS

Propriétés des oscillations. — Pour donner une idée très claire de la nature et des propriétés d'un mouvement oscillatoire, mécanique ou électrique, je reproduirai la courte description suivante de la forme la plus simple d'un mouvement périodique, telle qu'elle a été donnée par le professeur Gibson dans son *Traité élémentaire de graphique*. On doit remarquer que, bien qu'il ne soit question que du mouvement alternatif d'un point sur une ligne droite, la distance variable x de ce point au point fixe choisi comme origine peut tout aussi bien représenter toute quantité ayant une valeur unique bien déterminée, comme le voltage ou le courant, d'où il résulte que la série d'équations peut servir à représenter tout mouvement alternatif, ou mécanique ou électrique. Pour préciser, nous pouvons supposer que x représente les ordonnées d'une courbe donnant les variations d'une grandeur électrique en fonction du temps, mouvement simple harmonique ou onde sinusoïdale.

Quand un point se meut sur une ligne droite de manière qu'en un temps t sa distance x à un point fixe O situé sur cette ligne est donnée par l'équation :

$$x = a \cos (nt + \alpha) \quad \text{ou} \quad x = a \sin (nt + \beta), \quad (1)$$

on dit que le point est animé d'un mouvement harmonique simple.

Le mouvement est évidemment vibratoire. Le point se meut d'abord dans une direction jusqu'à la distance a de O, puis parcourt dans l'autre direction en repassant par O une distance a , revient vers O et ainsi de suite. La plus grande distance que le point atteint à partir de O, a , est appelée l'amplitude du mouvement.

Quand t croit de 0 à $\frac{2\pi}{n}$ (ou de t_1 à $t_1 + \frac{2\pi}{n}$, t_1 étant une valeur quel-

conque de t), le point fait un mouvement alternatif complet; $\frac{2\pi}{n}$ est par suite appelée la période du mouvement. L'inverse de la période, $\frac{n}{2\pi}$, est parfois appelée la fréquence du mouvement. Si T est la période, et p la fréquence on a :

$$T = \frac{2\pi}{n}, \quad p = \frac{1}{T} = \frac{n}{2\pi}, \quad n = \frac{2\pi}{T} = 2\pi p.$$

La fonction $a \cos (nt + \alpha)$ ou $a \sin (nt + \beta)$ s'appelle une fonction harmonique simple de t ; son graphique, c'est-à-dire la courbe sinusoïdale ou cosinusoidale, est une courbe harmonique simple. Cette fonction a une grande importance dans toutes les branches de la physique.

La fonction de t représentée par l'équation (K positif) :

$$x = ae^{-Kt} \cos (nt + \alpha) \quad \text{ou} \quad x = ae^{-Kt} \sin (nt + \beta), \quad (2)$$

est souvent appelée une fonction harmonique simple à amplitude décroissante. Le coefficient e^{-Kt} du cosinus ou du sinus est une fonction de t qui décroît quand t croît. Physiquement, l'équation représente ce qu'on appelle une vibration amortie.

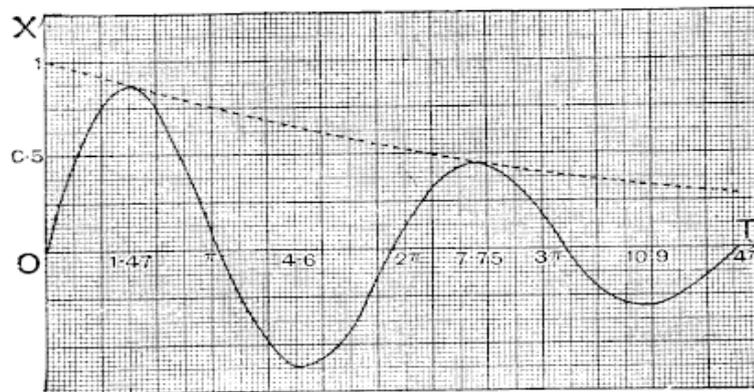


FIG. 141.

La figure 141 donne le graphique de :

$$x = e^{-\frac{t}{10}} \sin t \quad (3)$$

et donne une idée de la nature de la fonction.

Il n'y a que deux périodes de représentées; mais, après une période, l'amplitude devient très faible. Ainsi pour $t = 10\pi + \frac{\pi}{2}$, on trouve

$$x = e^{-3.30} \sin \frac{\pi}{2} = 0,037.$$

La courbe pointillée est celle de $e^{-\frac{t}{10}}$ qui touche l'autre aux sommets des ondes; au premier maximum, $t = 7,75$.

Les minima sont donnés pour $t = 4,6$ et $t = 10,9$.

L'amplitude de la fonction (2) quand t a une valeur quelconque t_1 est ae^{-Kt_1} ; quand t a augmenté de T (où T est la période $\frac{2\pi}{n}$ de la fonction circulaire), l'amplitude a diminué jusqu'à $ae^{-K(t_1+T)}$. Le rapport de la première de ces amplitudes à la seconde est

$$ae^{-Kt_1} : ae^{-K(t_1+T)} \quad \text{ou} \quad e^{KT}.$$

Le logarithme népérien de ce rapport, soit KT , s'appelle le *décément logarithmique de l'amplitude*.

Si nous passons à des études mathématiques plus techniques, nous trouvons d'abord, comme généralement pour les théories de l'électricité, une théorie de Lord Kelvin. La décharge d'un condensateur avait été étudiée expérimentalement par Henry et d'autres quand Lord Kelvin attaqua le problème par les mathématiques et en donna une solution s'accordant complètement avec les résultats de l'observation. Pour les lecteurs peu au courant du langage mathématique, je dirai que les résultats principaux auxquels il arrive sont les suivants:

Un conducteur est supposé chargé et supporté au-dessus de la terre par des supports isolants. Il est alors relié soudainement à la terre par un fil. On montre que le conducteur se décharge par un courant lent et de même sens quand le rapport de la self du fil à la capacité et à la résistance du système est au-dessous d'une certaine valeur critique. La période, l'amplitude et l'amortissement de la décharge oscillante, ainsi que le travail effectué, sont calculés en supposant qu'il n'y a pas radiation d'énergie électrique, mais que toute l'énergie est dissipée en chaleur dans les conducteurs. Les équations données permettent de calculer les valeurs du voltage et du courant instantanés à chaque moment de la décharge. Avec les capacités et les selfs généralement en usage, les alternances du courant sont très rapides et forment des oscillations. Il n'est cependant pas du tout nécessaire que le courant alternatif de décharge soit de haute fréquence. M. H. Gray, par exemple, a montré comment on pouvait produire des courants oscillants d'une période d'une seconde et demie en employant dans le circuit de grandes selfs et de grandes capacités.

Voyons maintenant la solution du problème qu'a donnée Lord Kelvin:

Appelons C la capacité du corps électrisé en unités électrostatiques,

Q sa charge, et supposons qu'il soit soudainement connecté à la terre par un fil de résistance R et de self L. A un moment t , la charge du conducteur est Q, et son voltage $V = \frac{Q}{C}$, d'où l'équation du voltage

$$V = \frac{Q}{C} = L \frac{di}{dt} + Ri, \quad (1)$$

déduite de la loi d'Ohm et de la définition de la self.

Comme le courant $i = -\frac{dQ}{dt}$, on peut écrire l'équation (1) :

$$\frac{d^2Q}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{CL} = 0. \quad (2)$$

L'intégrale générale de cette équation est :

$$Q = Ae^{\varphi t} + A'e^{\varphi' t},$$

φ, φ' étant les racines de l'équation du second degré :

$$\varphi^2 + \frac{R}{L} \varphi + \frac{1}{CL} = 0, \quad (3)$$

qui sont

$$\varphi = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{CL}}.$$

En réduisant au même dénominateur les fractions placées sous le radical, on voit que suivant que $L < \frac{R^2 C}{4}$, ces racines sont réelles ou imaginaires. Les constantes A et A' sont déterminées par la condition que pour $t = 0$, on a $Q = Q_0$, c'est-à-dire la charge initiale, et $i = 0$, ce qui donne

$$0 = A\varphi + A'\varphi'.$$

Si les racines de l'équation (3) sont réelles, en représentant par α le radical $\sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{CL}}$, on a :

$$\left. \begin{aligned} Q &= Q_0 e^{-\frac{Rt}{2L}} \left[\left(\frac{1}{2} + \frac{R}{4\alpha L} \right) e^{\alpha t} + \left(\frac{1}{2} - \frac{R}{4\alpha L} \right) e^{-\alpha t} \right] \\ i &= \frac{Q_0}{2\alpha LC} e^{-\frac{Rt}{2L}} (e^{\alpha t} - e^{-\alpha t}) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Quand les racines sont imaginaires, on peut toujours prendre l'inté-

grale de la même forme et remplacer les constantes par leurs valeurs imaginaires. En posant :

$$\alpha' = \sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

on obtient :

$$\left. \begin{aligned} Q &= Q_0 e^{-\frac{Rt}{2L}} \left(\cos \alpha' t + \frac{R}{2\alpha' L} \sin \alpha' t \right) \\ i &= \frac{Q_0}{\alpha' LC} e^{-\frac{Rt}{2L}} \sin \alpha' t \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

La nature de la décharge est très différente suivant que la solution est donnée par les équations (4) ou (5).

Dans le premier cas, la décharge est continue (apériodique). Le courant commence à zéro, passe par un maximum, et revient à zéro. Le maximum se produit à l'époque déterminée par la condition $\frac{di}{dt} = 0$, ou

$$\left(\frac{R}{2L} - \alpha \right) e^{2\alpha t} = \frac{R}{2L} + \alpha,$$

qui donne :

$$t = \frac{1}{2 \left(\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{CL} \right)^{\frac{1}{2}}} \ln \frac{\frac{R}{2L} + \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{CL}}}{\frac{R}{2L} - \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{CL}}}$$

Dans le deuxième cas, les valeurs de Q et de i sont données par des fonctions périodiques ; le conducteur prend alternativement des charges contraires, et le fil est le siège de courants alternatifs.

Période et fréquence. — Les époques des maxima et des minima de la charge correspondent à $i = 0$, c'est-à-dire à

$$\sin \alpha' t = 0 \quad \text{ou} \quad \alpha' t = n\pi.$$

Les oscillations de la décharge sont donc régulières et la valeur de la période complète T est

$$T = \frac{2\pi}{\alpha'} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{R^2}{4L^2}}}$$

d'où la valeur de la fréquence

$$n = \frac{1}{T} = \frac{\sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{R^2}{4L^2}}}{2\pi}$$

ou, si R est faible en comparaison de L et de C,

$$n = \frac{1}{2\pi \sqrt{CL}}.$$

Amortissement. — Les valeurs des maxima alternatifs de la charge sont :

$$+Q_0, \quad -Q_0 e^{-\frac{R\pi}{2L\alpha}}, \quad +Q_0 e^{-\frac{2R\pi}{2L\alpha}}, \quad -Q_0 e^{-\frac{3R\pi}{2L\alpha}},$$

elles décroissent donc comme les termes d'une progression géométrique dont la raison est $e^{-\frac{R\pi}{2L\alpha}}$.

Les maxima de l'intensité du courant dans les deux sens correspondent à $\frac{di}{dt} = 0$, ce qui donne :

$$\text{tang } \alpha't = \frac{2L\alpha'}{R} \quad \text{ou} \quad \sin \alpha't = \pm \alpha' \sqrt{CL};$$

ils sont toujours équidistants, séparés par une demi-période $\frac{\pi}{\alpha} = \frac{T}{2}$, et suivent les époques où le courant est nul du temps θ , défini comme étant la plus petite valeur satisfaisant à la condition

$$\sin \alpha'\theta = \alpha' \sqrt{CL}.$$

Les valeurs successives des maxima de courant sont :

$$I_1 = + \frac{Q_0}{\sqrt{CL}} e^{-\frac{R\theta}{2L}},$$

$$I_2 = - \frac{Q_0}{\sqrt{CL}} e^{-\frac{R}{2L}\left(\theta + \frac{\pi}{\alpha'}\right)} = - I_1 e^{-\frac{R\pi}{2\alpha'L}},$$

et ainsi de suite, elles décroissent également en progression géométrique.

Au signe près, la quantité totale d'électricité déplacée est

$$Q_0 \left(1 + 2e^{-\frac{R\pi}{2L\alpha}} + 2e^{-\frac{2R\pi}{2L\alpha}} + \dots \right) = Q_0 \frac{1 + e^{-\frac{R\pi}{2L\alpha}}}{1 - e^{-\frac{R\pi}{2L\alpha}}}.$$

Cette quantité est la plus grande, quand la grandeur $e^{-\frac{R\pi}{2L\alpha}}$ est la plus voisine de l'unité, c'est-à-dire plus grand est le facteur $\frac{2L\alpha'}{R}$ ou plus grande est la fraction $\frac{L}{CR^2}$, la charge initiale Q_0 étant donnée.

La self prolonge donc les oscillations, tandis que la résistance les raccourcit.

Transformateurs. — Les équations définissant l'action mutuelle de deux circuits peuvent être obtenues d'une façon à peu près analogue. Pour chaque circuit, on a, en plus des termes de la forme $L \frac{di}{dt}$, Ri , E , un terme $M \frac{di}{dt}$, représentant l'action de l'autre circuit. On a donc deux équations simultanées à résoudre. Pour les transformateurs ayant très peu de spires, dans lesquels l'induction électrique (considérée comme opposée à l'action magnétique) est négligeable, ces équations donnent une solution approchée même avec des courants oscillants, mais, s'il y a un nombre considérable de spires dans chaque bobine du transformateur comme dans certains types de jigger, l'induction électrique entre les couches doit être prise en considération aussi bien que l'induction magnétique entre les bobines.

Au point de vue théorique Lord Rayleigh a montré l'importance de la capacité électrostatique pour la construction des transformateurs de haute fréquence, et Tesla a reconnu pratiquement son influence, la forme de l'enroulement secondaire de son transformateur de haute fréquence (*fig.* 16, p. 26) étant sensiblement celle de la figure 142.

En 1898, M. Marconi, connaissant l'expérience de l'auteur dans les recherches électriques, lui demanda de l'assister dans la mise au point de son système. Le problème dont on recherchait particulièrement la solution à cette époque était la production d'un transformateur de réception. Des essais avaient été faits auparavant pour en construire, mais sans succès; et la connexion directe du cohéreur à la terre et à l'antenne était toujours la seule méthode employée.

Après quelques semaines de travail, on établit des transformateurs qui non seulement remédiaient aux inconvénients causés par l'accumulation graduelle de l'électricité atmosphérique sur l'antenne, mais qui augmentaient encore grandement la sensibilité du récepteur, et qui devaient rendre plus tard la syntonisation possible.

De courtes recherches sur le rôle joué par la capacité des couches adjacentes de fil isolé qui formaient les spires du transformateur montrèrent que le condensateur formé par deux couches courtes de fil très fin, enroulées l'une sur l'autre, avait assez de capacité pour laisser passer tout le courant oscillant reçu, sans l'aide de connexion. Il était donc évident que la capacité jouait un rôle très important dans l'action du transformateur et que, en réalité, les lignes de force électriques du primaire devaient être envisagées aussi bien que les lignes magnétiques.

En considérant l'induction électrique et magnétique entre les bobines primaire et secondaire d'un petit transformateur, formées de deux couches seulement d'égale longueur, on peut montrer que, pendant un

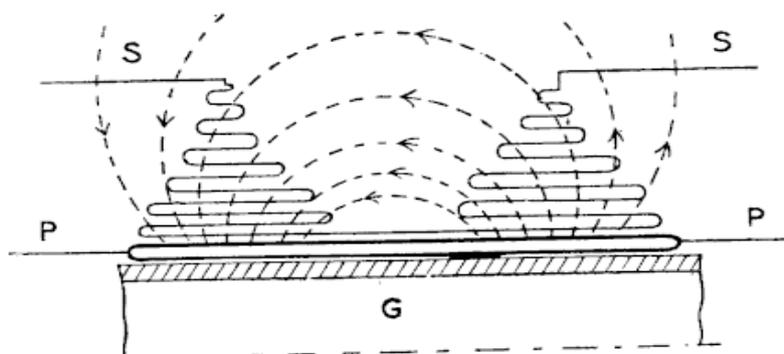


FIG. 142. — Demi-coupe d'un transformateur de réception (jigger) prévu pour utiliser l'induction électrostatique.

P, primaire en deux couches parallèles. — S, secondaire en couches diminuant de longueur. — G, tube de verre.

N. B. — Les couches de fil sont figurées par des traits pleins : les courbes pointillées montrent la direction de la force électrique au moment du maximum.

cycle complet du courant, les lignes de force du primaire, et par suite le courant qu'elles induisent sont en grande partie en opposition avec la force électromotrice résultant de la variation d'induction magnétique due au primaire.

Il était donc évidemment avantageux de donner au secondaire une autre forme de manière à amener à peu près en concordance les courants induits électriquement et magnétiquement dans le secondaire.

Une manière de réaliser cet effet est représentée figure 142. Les lignes pointillées représentent les lignes de force entre les extrémités du primaire à une époque où elles sont maxima, et montrent comment la forme du secondaire en tient compte.

Dans une autre forme, le secondaire est enroulé seulement sur une moitié du primaire, l'autre moitié du primaire étant sous la première, et par conséquent protégée du secondaire. L'explication est la même pour les deux cas.

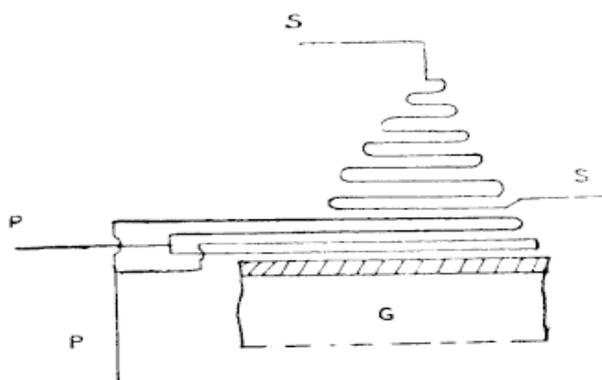


FIG. 143. — Demi-section de jigger.

PP, primaire en deux couches doubles, les extrémités mises à la terre les plus voisines du tube de verre. — SS, secondaire. — G, tube de verre.

L'auteur a proposé également la forme indiquée figure 144; le condensateur est placé au milieu du secondaire, au lieu d'être à une extrémité, comme on le faisait auparavant, afin de permettre de connecter directement les deux extrémités du secondaire aux bornes du cohéreur pour que celui-ci soit placé entre les points où le voltage est maximum. Cette disposition a été adoptée par la Compagnie Marconi. Des mesures auxquelles l'auteur n'a pas pris part directement, effectuées sur des secondaires de jiggers ayant donné de bons résultats, ont montré qu'il fallait que le secondaire ait une longueur en relation avec celle de l'antenne, afin de rendre possible la résonance.

Dans d'autres formes d'enroulement, comme celui représenté figure 143, les inductions électriques et magnétiques agissent dans le même sens, et naturellement la longueur du secondaire est telle que le circuit du récepteur a la même période que l'antenne.

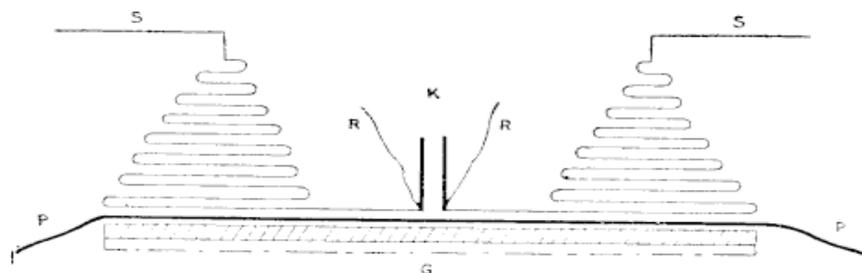


FIG. 144. — Demi-section d'un transformateur de réception à secondaire interrompu. PP, primaire. — SS, secondaire. — K, condensateur. — RR, fils conduisant au relais. — G, tube de verre.

Un jigger de réception donnant de bons résultats est donc un transformateur de résonance construit de telle sorte que l'induction électrique agit en renforçant ou tout au moins en ne contrariant pas le courant produit par la variation d'induction magnétique.

La figure 27, page 33, montre un primaire et un secondaire couplés directement dans lequel la partie centrale de l'enroulement formé d'une seule couche sert de primaire et fait aussi partie du secondaire. Dans ce cas, la capacité entre primaire et secondaire est pratiquement négligeable, mais il y a à la place un couplage conducteur.

La construction des transformateurs d'émission est un peu plus simple, les courants en action étant beaucoup plus forts, et le rendement moins essentiel. Ceux employés par la plupart des compagnies sont simplement des variantes du transformateur à haute fréquence de Tesla. Nous n'étudierons pas leurs petites modifications de détail. Le plus intéressant est le dernier modèle de M. Tesla dont il est parlé au chapitre xvii. On remarquera que l'extrémité du secondaire à haut po-

tentiel est au centre du disque et est ainsi séparée de toute la largeur du rayon de l'extrémité mise à terre. La différence de tension entre spires voisines est ainsi faible, et on peut obtenir de très hauts potentiels sans avoir de difficultés relativement aux défauts d'isolement ou à la capacité.

Nombre d'étincelles. — Vibrations par seconde. — Les méthodes ordinaires de transmission nécessitent la production d'un certain nombre d'étincelles par seconde. Chaque étincelle représente un train d'onde d'amplitude graduellement décroissante — ce que nous avons appelé une oscillation — et comporte une certaine somme d'énergie qui est la même pour chaque oscillation. Si donc le courant apparent ou intégré dû au passage d'une succession d'oscillations à travers l'appareil de mesure est accru en augmentant le taux d'oscillations par seconde sans changer l'énergie totale de chacune d'elles, on trouvera que l'indication de l'appareil est proportionnelle à la racine carrée du nombre d'oscillations par seconde.

Si nous doublons le nombre d'oscillations par seconde, nous doublons le nombre de watts ou la puissance, nous ne doublons pas cependant le courant enregistré par un appareil qui marquerait le courant efficace, mais nous l'augmentons seulement proportionnellement à la racine carrée du nombre d'oscillations, car la puissance est proportionnelle non au courant simple, mais à son carré.

L'expérience a prouvé que c'était bien le cas comme le montre l'extrait suivant d'un travail très important de MM. Duddell et Taylor, communiqué en 1903 à l'Institut des Ingénieurs électriciens.

Effet du nombre d'étincelles. — Avec une émission à couplage serré, l'ampèremètre indiquait un courant efficace dans l'antenne de transmission égal à 2,31 ampères, pour un nombre d'étincelles de 42 à la seconde ; une augmentation de la vitesse de l'interrupteur donnant 67 étincelles par seconde, la longueur d'étincelle restant constante, accroît le courant efficace jusqu'à 2,83 ampères. Ainsi, bien que le nombre d'étincelles ait été changé dans le rapport de 1 à 1,60, le courant dans l'antenne a seulement varié dans le rapport de 1 à 1,22. En employant un accouplement faible, on a trouvé des résultats analogues. Dans ce cas un accroissement du nombre d'étincelles de 1 à 1,67 a augmenté le courant de 1 à 1,30.

On peut remarquer que dans les deux cas le courant efficace dans l'antenne a varié approximativement proportionnellement à la racine carrée du nombre d'étincelles. La même remarque s'applique au courant dans l'antenne de réception. Si nous voulons maintenant voir comment le courant efficace qui se produit pendant chaque train d'ondes causé

par une interruption du courant d'alimentation de la bobine d'induction est affecté par le nombre d'étincelles, nous devons multiplier les courants observés par la racine carrée du rapport du temps séparant une oscillation de l'autre au temps que dure une seule oscillation. En supposant que le temps que dure une oscillation est indépendant de leur nombre, nous voyons que le courant efficace produit par chaque interruption du courant d'alimentation de la bobine d'induction dans l'antenne d'émission ou dans l'antenne de réception est pratiquement indépendant du nombre d'étincelles.

Le lieutenant Tissot m'a autorisé à citer l'extrait suivant d'un mémoire lu par lui en 1906 devant l'Institut des Ingénieurs électriciens :

« Mes observations ont montré que si le nombre d'interruptions par seconde varie de n à n' , la valeur efficace du courant reçu par l'antenne varie dans le rapport de \sqrt{n} à $\sqrt{n'}$. Ce résultat, qui concorde avec les observations de Duddell et Taylor, s'interprète facilement en raisonnant comme suit. Désignons par :

« I, l'indication d'un ampèremètre à fil chaud mis en série au pied de l'antenne ;

« A, l'amplitude du courant dans l'antenne ;

« T, la période ;

« y , le décrément de l'oscillation ;

« n , le nombre d'interruptions, ou de trains d'onde par seconde.

« Par une simple intégration, nous obtenons pour l'onde fondamentale :

$$I^2 = \frac{nA^2}{4y} \frac{4\pi^2}{4\pi^2 + y^2} T.$$

« Le facteur $\frac{4\pi^2}{4\pi^2 + y^2}$ étant presque égal à l'unité, on voit que l'énergie transmise par un seul train d'ondes, qui est proportionnelle à A^2 , est donnée par une relation de la forme :

$$W_e = KA^2 = K' \frac{I^2}{n}$$

(K et K' étant constants). De la même manière, l'énergie reçue d'un seul train d'ondes est facile à calculer, si l'on admet que le détecteur absorbe entièrement l'énergie. Si on obtient un courant efficace i avec n interruptions, c'est-à-dire avec n trains par seconde, l'équation

$$W = \frac{pi^2}{n}$$

exprime l'énergie reçue pour un seul train d'ondes, p désignant la résistance de l'instrument de mesure (dans ce cas le bolomètre) ; quand le

nombre d'interruptions varie de n à n' , i varie de i à i' , et

$$\frac{i^2}{i'^2} = \frac{n'}{n},$$

d'où

$$\frac{i'}{i} = \frac{\sqrt{n'}}{\sqrt{n}}.$$

Absorption de l'énergie par un circuit secondaire. — Considérons deux circuits A et B dans l'un desquels A, un courant alternatif uniforme, est maintenu par une source extérieure. Désignons par R la résistance de B, L sa self et C sa capacité, et supposons les circuits accouplés lâchement par induction ou autrement.

Si R est grand, nous n'obtenons que des vibrations forcées dans B, et l'énergie électrique induite par A est entièrement dépensée par résistance et par rayonnement; elle est donc entièrement dépensée et il n'y a aucune accumulation en B.

Quand R décroît — la capacité et la self restant constante — il y a un point où le circuit peut vibrer librement, et quand $4L > R^2C$, une partie de l'énergie absorbée est accumulée sous forme de courant oscillant, la proportion ainsi accumulée croissant avec le rapport $\frac{4L}{R^2C}$.

Si $R = 0$, toute l'énergie absorbée est accumulée sous forme électrique.

Résonance et courbes de résonance. — **Tension oscillante uniforme appliquée.** — Quand une force électro-motrice alternative e de la fréquence de n_1 cycles par seconde agit sur un circuit comprenant une self et une capacité, l'amplitude du courant induit γ est donnée par l'équation :

$$\gamma_0 = \frac{e_0}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi n_1 L - \frac{1}{2\pi n_1 C}\right)^2}}.$$

Cette expression montre que le courant est maximum pour

$$2\pi n_1 L = \frac{1}{2\pi n_1 C},$$

équation pouvant également s'écrire :

$$n_1 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}.$$

Cette expression représente également la fréquence d'un circuit de self L et de capacité C, quand l'amortissement est faible. En négligeant l'amor-

tissement, le courant maximum est induit quand la fréquence de la force électro-motrice appliquée est la même que celle du circuit secondaire. On dit alors que le circuit est en résonance avec la force électro-motrice appliquée, ou est accordé avec la fréquence de cette dernière.

Si cependant l'amortissement du circuit n'est pas négligeable, c'est-à-dire s'il renferme de la résistance, la fréquence propre du circuit devient

$$n_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - d^2},$$

où d est le facteur d'amortissement $d = \frac{R}{2L}$. Donc, pour obtenir le maximum de courant, c'est-à-dire pour être en résonance, on doit avoir :

$$n_1 = n_2 \sqrt{1 + \frac{d^2}{2\pi n_2}};$$

le maximum de courant se produit donc quand la fréquence propre est un peu différente de celle de la force électro-motrice appliquée.

On voit donc que la résonance maxima ne correspond pas nécessairement à l'égalité de fréquence.

Amplitudes. — Les expressions qui donnent l'amplitude du courant ou du voltage pour la résonance sont :

$$i_0 = \frac{e_0}{2Ld} \quad \text{et} \quad v_0 = \frac{2\pi n e_0}{2d}.$$

Les amplitudes du voltage ou du courant induits croissent donc continuellement à mesure que l'amortissement du circuit oscillant est réduite. Le courant et le voltage ne peuvent pas cependant s'accroître indéfiniment, car l'amplitude augmentant, la déperdition d'énergie croit aussi rapidement à cause de la résistance, et devient finalement égale à la quantité d'énergie fournie par la source, la première étant proportionnelle au carré du courant, et la seconde seulement à la première puissance, sans compter la perte par radiation.

Courbes de résonance et amortissement. — Pour déterminer plus complètement l'action d'une force électro-motrice alternative constante sur un circuit capable de vibrations constantes propres, nous pouvons procéder de deux manières. Nous pouvons : 1° varier la fréquence de la force électro-motrice appliquée, ou 2° la maintenir constante et varier la fréquence propre du circuit en changeant le produit de sa self par sa capacité. Nous n'envisagerons que le second cas, et supposons qu'on ne

fait varier que la capacité, car une variation de la self impliquerait généralement une variation de la résistance du circuit, et compliquerait la question.

Circuits faiblement amortis. —

Les figures 144 a et b montrent la variation du courant et du voltage induits quand la fréquence de la force électro-motrice appliquée est constante; le décrement logarithmique pour ce cas est de 0,04.

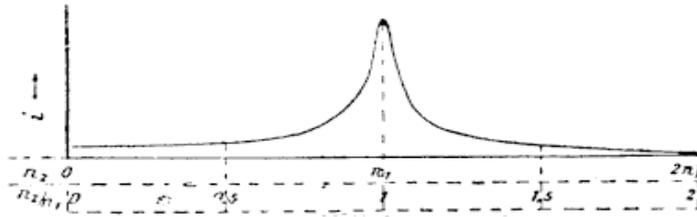


FIG. 144 a. — Courant dans le circuit secondaire pour différents rapports entre la fréquence propre du secondaire n_2 et celle du premier n_1 .

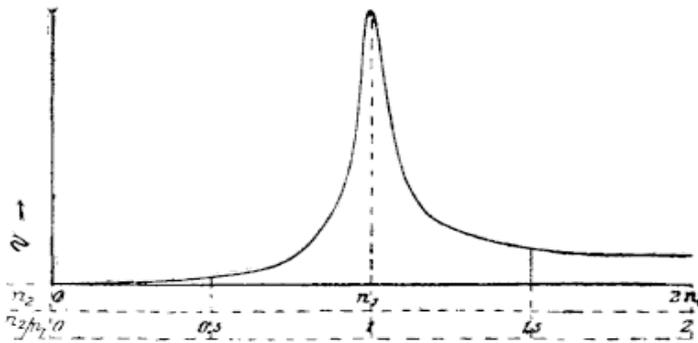


FIG. 144 b. — Courbe du voltage correspondant à la figure 140.

Les courbes du voltage et du courant ne sont pas exactement semblables, sauf qu'elles présentent un maximum très marqué quand la fréquence du voltage appliqué égale pratiquement la fréquence naturelle du circuit. Au lieu de porter les fréquences en abscisses, il est par-

fois plus commode de prendre à la place le rapport $\frac{n_2}{n_1}$, et, en prenant

les valeurs maxima du voltage et du courant induits comme unité, on peut plus aisément comparer les courbes (fig. 144 c). Sous cette forme, la courbe reçoit souvent le nom de courbe d'amortissement.

Le changement dans la forme de la courbe du courant dû à la variation de l'amortisse-

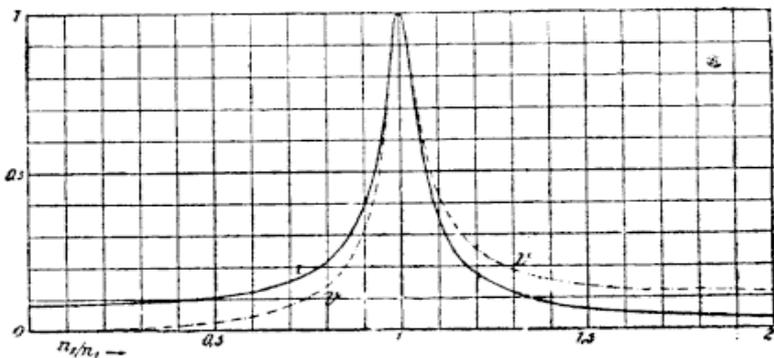


FIG. 144 c. — Courbes des figures 140 et 141 ramenées au même maximum en portant en abscisse les valeurs de $\frac{n_2}{n_1}$.

ment est représenté figure 145. Plus fort est l'amortissement (ou le décrétement logarithmique), plus la courbe est plate et moindre est le

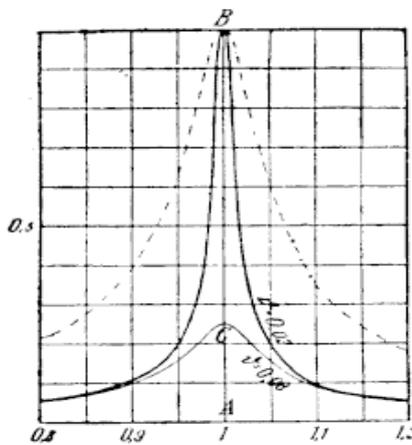


FIG. 145. — Effet de l'amortissement sur la courbe de résonance.

maximum du courant. D'où la nécessité d'avoir une résistance aussi faible que possible dans le circuit de réception quand on veut une syntonisation aiguë, ou quand on veut recevoir des signaux très faibles.

Acuité de l'accord. — Si une variation faible dans la fréquence du voltage alternatif appliqué occasionne une grande chute dans la valeur du courant induit de part et d'autre du point de résonance, on dit que l'accord est très aigu. Cette condition s'exprime graphiquement en disant que le rayon de courbure au sommet de la courbe doit être faible. Algébriquement,

si ρ est le rayon de courbure, on a :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{4}{\left(\frac{\delta}{\pi}\right)^2} \quad \text{ou} \quad \delta = \pi \sqrt{\rho},$$

pour la courbe de la figure 145.

Circuits fortement amortis. — Dans le cas de circuits renfermant des résistances considérables, et par conséquent très amortis, c'est-à-dire où $\delta = 0,1$ et au-dessus, la fréquence de résonance (donnant le courant maximum) est assez différente de la fréquence propre du circuit, et le voltage maximum diffère en fréquence du courant maximum.

Circuits accouplés. — Des types de ces circuits sont représentés dans les chapitres VIII, XIII et XVII. Les variantes possibles sont pratiquement innombrables, comme on peut le voir en considérant les brevets de Fessenden, Stone, Poulsen et autres. Les considérations qui font décider du meilleur type de couplage entre le circuit oscillant et l'antenne sont principalement : 1° la vitesse de transmission de l'énergie à l'antenne, et 2° le type d'oscillations à exciter en elle. Ces deux considérations sont jusqu'à un certain point contraires, tout au moins pour les systèmes à étincelles. La différence entre l'étincelle et l'arc est que, pour la première, toute l'énergie disponible pour chaque train d'ondes est limitée à ce qui a été emmagasiné dans l'appareil avant que l'étincelle ne se produise, tandis que dans les systèmes à courant uniforme ou à arc, l'énergie est continuellement fournie à chaque moment du courant.

Battements de courants. — Dans les systèmes à étincelles, on trouve ainsi que, bien que les fréquences naturelles des circuits accouplés puissent être les mêmes, leur action mutuelle peut faire que l'énergie passe alternativement de l'un à l'autre. Le train d'ondes émis par l'antenne est alors une série de battements, comme dans la figure 146. Ces résultats ont été démontrés expérimentalement et théoriquement, et on a montré que le caractère des battements dépend principalement des résistances relatives, de l'amortissement et du couplage des circuits.

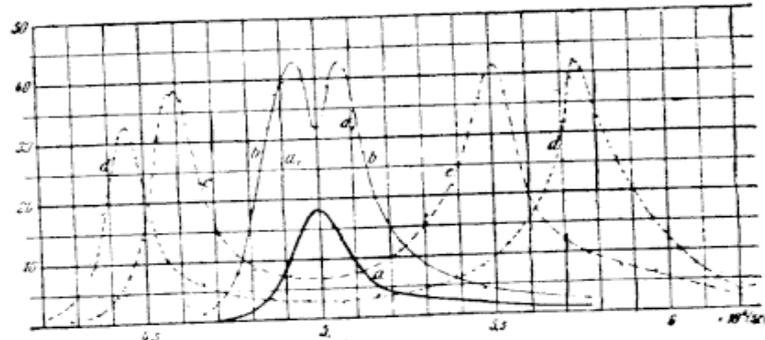


FIG. 146. — Courbes de résonance de circuit à étincelle. Double fréquence de battement du courant induit.

Un train d'ondes de battement peut se décomposer, expérimentalement et

mathématiquement, en deux trains d'ondes composants de fréquence à peu près, mais non tout à fait, la même. La radiation d'une station à étincelles renferme donc apparemment deux fréquences inégales, ce qui rend un accord très aigu impossible. Pour éviter cette double fréquence, il faut ou rendre minima l'action d'un circuit sur l'autre, c'est-à-dire rendre l'accouplement lâche en réduisant l'induction mutuelle; ou rendre, au contraire, l'accouplement très serré, de sorte que l'oscillation dans l'antenne soit forcée.

Dans le premier cas, l'excitation de l'antenne est très faible, et dans le second elle peut être si forte que les courants s'amortissent si rapidement par rayonnement qu'ils rendent également toute syntonisation aiguë impossible. Le choix de l'accouplement entre l'antenne et le circuit générateur résulte par suite d'un compromis variable suivant qu'on désire une syntonisation aiguë ou une grande amplitude d'oscillation.

Coefficient d'accouplement. — L'accouplement K est défini mathématiquement par la relation :

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

dans laquelle M est l'induction mutuelle des deux circuits et L_1, L_2 leurs selfs respectives.

Accouplement. — Il y a quatre cas principaux pour la transmission de l'énergie d'un circuit primaire à un circuit secondaire qui lui est accordé pour la même fréquence.

Couplage très lâche. — Le courant secondaire n'a pas de réaction appréciable sur le primaire; par exemple: *a)* une transmission et une réception éloignées; *b)* un circuit oscillant et un ondemètre placé à une certaine distance. Dans ces deux cas, le récepteur ou circuit secondaire n'a pas d'influence appréciable sur le primaire.

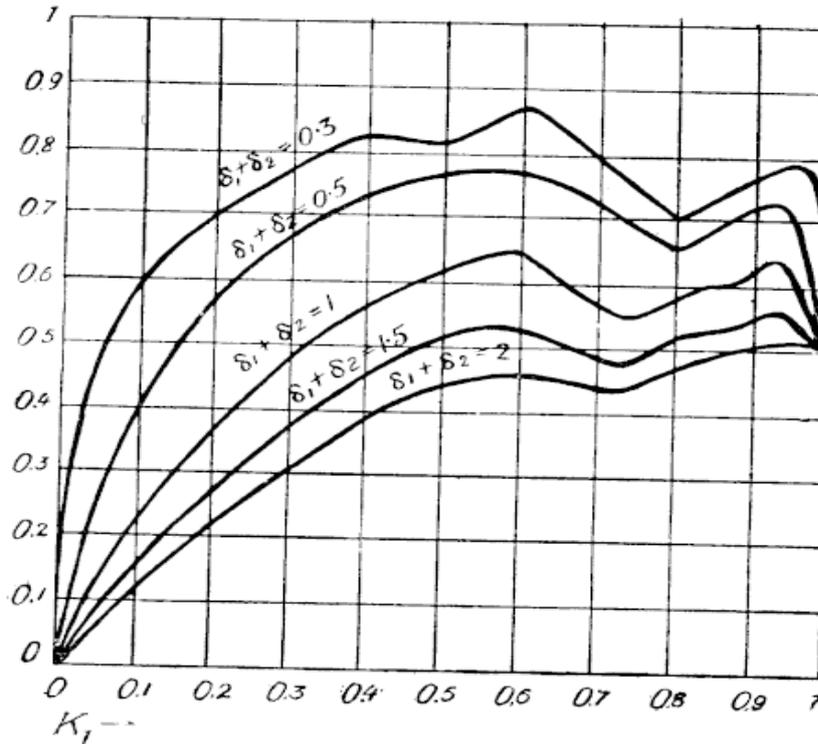


FIG. 147. — Relation de l'énergie transmise du primaire au secondaire avec l'accouplement K_1 et la somme des décroissements logarithmiques $\delta_1 + \delta_2$ par période, des circuits. D'après des expériences (Drude).

Couplage lâche. — Il y a une petite réaction, occasionnant un changement dans les amortissements des oscillations dans le primaire et secondaire, mais n'ayant pas d'autre effet. Le décroissement de l'onde la moins amortie est augmenté et celui de l'onde la plus amortie est diminué, en sorte que leurs valeurs sont rapprochées l'une de l'autre.

Couplage serré. — C'est le cas général pour les circuits d'émission. Les décroissements et les fréquences des oscillations sont modifiés par l'action mutuelle des courants, des battements se produisant.

Ces variations étant relativement grandes, et très importantes dans la pratique des stations ordinaires à étincelle, nous les étudierons avec détails.

Deux circuits oscillants accordés, qui, avant d'être accouplés, ont la même fréquence N , et ont des décrets δ_1 et δ_2 , sont accouplés fortement, c'est-à-dire de façon que :

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} = 0,1 \text{ ou plus.}$$

Alors :

$$K^2 > \left(\frac{\delta_1 - \delta_2}{2\pi} \right)^2,$$

et, si z est le degré de couplage :

$$z^2 = K^2 - \left(\frac{\delta_1 - \delta_2}{2\pi} \right)^2 > 0.$$

On peut voir que ces relations sont vraies en général en considérant que δ_1 et δ_2 sont généralement de très faibles fractions et que, par conséquent, le numérateur de $\left(\frac{\delta_1 - \delta_2}{2\pi} \right)^2$ est très faible. Elles sont également vraies si δ_1 ou δ_2 ont sensiblement la même valeur, quelle que soit alors leur grandeur. Ainsi, comme règle générale, dans un couplage serré, z est sensiblement égal à K .

Dans ces conditions, il y a dans les deux circuits deux nouvelles oscillations de fréquences N' et N'' et de décrets δ' et δ'' , N' et N'' étant respectivement supérieur et inférieur à N .

Ces nouvelles fréquences de battement sont données par les équations :

$$N' = \frac{N}{\sqrt{1 - z}} \quad \text{et} \quad N'' = \frac{N}{\sqrt{1 + z}}$$

ou, en fonction des longueurs d'onde :

$$\lambda' = \lambda \sqrt{1 - z}, \quad \lambda'' = \lambda \sqrt{1 + z}.$$

Ainsi, plus les circuits sont serrés, c'est-à-dire plus z est grand, plus N' et N'' diffèrent de la fréquence naturelle N des circuits. Ces équations sont vraies pour des circuits ne renfermant pas de section gazeuse (éclateur), mais ne sont qu'approchées s'il y a un éclateur dans le primaire, car le décrement dans une section gazeuse varie avec le courant instantané qui la traverse.

Les décrets des oscillations apparaissant N' et N'' , sont donnés par

les relations :

$$\delta' = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2} \frac{N'}{N} = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2} \frac{\lambda}{\lambda'},$$

$$\delta'' = \frac{\delta_1 - \delta_2}{2} \frac{N''}{N} = \frac{\delta_1 - \delta_2}{2} \frac{\lambda}{\lambda'}.$$

s'il n'y a pas de section gazeuse dans le circuit.

L'oscillation avec la plus grande longueur d'onde λ'' est la moins amortie. S'il y a dans le circuit une section gazeuse, le contraire est vrai, et l'oscillation de plus grande longueur d'onde est, en général, la plus amortie.

Excitation par choc. — Wien a découvert en 1906 que, si on amortit très fortement le courant primaire en employant une longueur d'étincelle extrêmement petite, de façon que les électrodes de l'éclateur refroidissent l'étincelle si rapidement que sa résistance augmente très vite (et par conséquent aussi l'amortissement) quand le courant baisse, et que l'étincelle s'éteint soudainement, une action tout à fait différente se produit. Ainsi, en faisant graduellement diminuer l'étincelle jusqu'à une faible fraction de millimètre, il trouva que les deux fréquences de battement N' et N'' disparaissaient et que le secondaire ne présentait plus qu'un seul courant ayant sa fréquence propre N .

Les équations données ci-dessus ne sont plus bonnes dans ce cas, car l'étincelle étant étouffée à la fin d'une ou de deux oscillations, l'éclateur devient non conducteur, et aucun courant n'est plus possible dans le primaire tant qu'une nouvelle décharge ne se produit pas. Il n'y a pas donc de passage alternatif de l'énergie du primaire au secondaire et *vice versa*, toute l'énergie étant passée d'un seul coup dans le secondaire dès le commencement. Dans le système Lepel (p. 164), qui emploie ce système, δ_1 est très grand et δ_2 très faible, K est très grand. Cette méthode a un meilleur rendement que le système à étincelle ordinaire pour deux raisons : d'abord parce qu'il y a moins de perte de puissance dans le circuit d'émission et ensuite parce que toute l'énergie radiée l'est sur une seule longueur d'onde et par conséquent complètement utilisée au récepteur⁽¹⁾.

L'accord exact entre le primaire et le secondaire n'est pas essentiel, et devient moins important quand l'amortissement du primaire est accru jusqu'à une certaine grande valeur par le refroidissement des électrodes ou un procédé analogue. Avec un nouvel accroissement de l'amortissement d'autres phénomènes apparaissent, et Galletti a montré qu'avec des im-

(1) Voir les remarques sur le travail de Elihu Thomson, Fessenden, dans le chapitre III et voir FESSENDEN, *Electrical World*, 19 septembre 1903, et *Electrician*, 15 et 22 février 1907.

pulsions de courant de même sens dans le primaire, un accord très aigu est possible (1). Il n'y a pas de battement et le degré de couplage n'a pas d'influence sur le caractère du courant secondaire, sauf en ce qu'un couplage plus serré donne un plus grand amortissement du primaire, puisqu'il permet à l'énergie de passer plus rapidement du primaire au secondaire, et donne par conséquent un plus grand rendement.

Relations de l'énergie dans les circuits couplés. — Un grand nombre de travaux théoriques et expérimentaux ont été faits récemment, notamment par Pedersen et Austin, sur les circuits couplés.

Pedersen montre, par exemple, que dans un récepteur couplé avec du courant alternatif uniforme, l'énergie absorbée par le secondaire est maxima quand les pertes d'énergie dans le primaire et le secondaire sont égales. Austin montre, parmi d'autres résultats, la réduction du courant primaire en l'accouplant à un secondaire.

Étude des caractéristiques de courant. — Les paragraphes précédents montrent l'importance du rôle joué par l'accouplement et l'amortissement des circuits, pour déterminer le type d'onde radié et son adaptabilité à la télégraphie sans fil.

Maintenant que tant de stations sont en exploitation, la prévention des brouillages est devenue de beaucoup le plus pressant problème qui se pose à l'ingénieur. Il est donc devenu essentiel de connaître le type d'onde radié et d'étudier des méthodes pour empêcher autant que possible qu'il puisse gêner les autres stations. Il est également nécessaire au point de vue de l'économie de l'exploitation commerciale de s'assurer que l'énergie fournie au transmetteur est employée utilement et qu'elle est convertie en plus grande partie en courant de haute fréquence de forme convenable. La solution de ces questions dépend presque entièrement de l'étude complète des décroissements et des actions mutuelles des circuits du transmetteur. L'amortissement dans un circuit oscillant indique ainsi une perte d'énergie, à moins toutefois qu'elle ne soit causée par la transmission d'énergie à un autre circuit par induction ou radiation.

NOTE. — Une autre mesure de l'accouplement a été employée récemment, notamment en Amérique. On l'appelle le pourcentage d'accouplement, et elle se définit expérimentalement comme le rapport de la différence des deux longueurs d'onde d'accouplement à la longueur d'onde propre commune des circuits.

(1) *Electrician*, 20 janvier 1911; — et BARKHAUSEN, *Schwingungserzeugung*, p. 84.

CHAPITRE XVI

THÉORIE DE LA TRANSMISSION

Dans le chapitre 1, on a fait quelques suppositions sur le mode possible de propagation de l'énergie électrique du transmetteur au récepteur. Les opinions diffèrent encore quelque peu sur le mécanisme réel de ce mode de transmission : l'importance du rôle joué par la terre, la part relative qu'il convient d'attribuer aux radiations libres et aux ondes de conduction, sont encore discutées, à noter que dans une explication générale un grand nombre de faits, comme les variations des distances de transmission suivant les conditions atmosphériques ou la nature du terrain séparant les stations, doivent encore être envisagés.

Dans le chapitre suivant nous examinerons un système de transmission de l'énergie électrique pouvant convenir à la télégraphie ou à tout autre but, qui constitue un cas unique et est en quelque sorte la réalisation d'une prophétie mathématique. Bien que son étude présente moins de difficultés mathématiques que les systèmes plus ordinaires, ce sont ceux-ci que nous étudierons d'abord, et nous commencerons par passer en revue les propriétés des conducteurs et diélectriques auxquels nous aurons affaire.

L'atmosphère. — C'est une couche mince sphérique composée d'un mélange assez complexe de gaz, limitée à l'intérieur par la surface de la terre et à l'extérieur par ce qui constitue vraisemblablement un vide parfait. Des faits bien connus ayant trait aux chutes de météorites et à d'autres phénomènes cosmiques montrent que l'épaisseur de la couche ne dépasse pas beaucoup 160 kilomètres ; elle est donc mince comparativement à son diamètre, qui est approximativement de 44.000 kilomètres, et comparativement aux distances de plus de 3.000 kilomètres qui sont communes en télégraphie sans fil. A la surface de la terre, la pression de l'air est d'environ 1 kilogramme par centimètre carré et la densité de 1^{er},293 par litre ; à la partie supérieure, environ à 160 kilomètres de la terre, la pression et la densité sont nulles. La pression et la densité en un point

quelconque intermédiaire peuvent se calculer par la formule barométrique connue.

Les propriétés électriques de l'air à différentes pressions sont très connues. A 1 kilogramme par centimètre carré, il est, sauf pour des voltages extrêmement grands, un diélectrique presque parfait — c'est-à-dire les lignes de force peuvent circuler à travers lui sans perte appréciable d'énergie. Aux basses pressions qui existent à environ 60 kilomètres de la terre, il devient conducteur, et quelques kilomètres plus haut, sa conductibilité pour des courants de haute fréquence est aussi grande que celle d'une solution à 25 0/0 d'acide sulfurique, si grande qu'une couche de 1 centimètre forme un écran parfait que les ondes ne peuvent traverser. A des pressions encore plus basses, à 120 kilomètres environ, il devient un non-conducteur, comme nous le connaissons dans les tubes pour rayons X, et toujours plus haut, un des plus parfaits diélectriques connus. Il y a une valeur critique de la pression, vers 60 kilomètres, en dessous de laquelle l'air est pratiquement non conducteur et au-dessus de laquelle il atteint rapidement la conductibilité des meilleurs électrolytes. La couche non conductrice d'air qui entoure la terre est donc seulement d'environ 60 kilomètres — moins que le centième du rayon et est limitée en bas par la terre, qui a une résistance d'environ 66.000 ohms par centimètre cube, ou par la mer, qui a 373 ohms ⁽¹⁾ par centimètre cube, et en haut par une couche n'ayant pas plus de 10 ohms de résistance par centimètre cube. La couche supérieure est donc d'environ 660 fois plus conductrice que la terre, et 40 fois plus que la mer.

La couche immédiate non conductrice d'air est celle avec laquelle on a affaire en T. S. F. Bien qu'elle soit en général bon isolant, ses propriétés à ce point de vue ne sont aucunement constantes, son ionisation et par suite sa conductibilité étant sujets à des variations régulières et irrégulières. La plus importante des premières est la variation diurne correspondant à la variation d'électrisation de l'atmosphère. Les maxima à la surface de la terre ⁽²⁾ se trouvent entre huit et dix heures et entre vingt-deux heures et une heure : les minima à quatorze heures et dix-huit heures. On a trouvé que même l'air situé dans des vases clos est sujet à ces variations. Dans les deux cas, l'effet est probablement dû, directement ou indirectement, à des courants de particules électrisées, émises par le soleil, et imprégnant l'atmosphère supérieure : la variation journalière est causée par la rotation de la terre qui présente alternativement différentes parties aux rayons du soleil.

Les maxima et minima donnés sont ceux qui sont observés à la surface de la terre. Plus haut, la variation, autant qu'on la connaît, présente

⁽¹⁾ BYULINSKI, Soc. int. électr., *Bulletin*, VI, p. 255, juin 1906.

⁽²⁾ A. WOOD, *Nature*, p. 583, 19 avril 1906.

seulement un maximum et un minimum par jour, le premier vers midi et le second vers dix-sept heures. Les époques de conductibilité maxima sont celles pour lesquelles la dissipation d'énergie dans la transmission des forces électriques à travers le diélectrique est maxima. Cela a lieu pour l'air non en contact avec la terre, chaque jour vers midi. L'époque de conductibilité minima est vers dix-sept heures, et c'est le moment, comme on pouvait s'y attendre, où les signaux radiotélégraphiques portent le plus loin.

Il peut paraître curieux que l'accroissement de la conductibilité cause un accroissement dans la dissipation d'énergie, et diminue le pouvoir de transmission ; on s'en rend compte cependant de suite en réfléchissant que, dans tous les modes de transmission de l'énergie électrique, il est nécessaire d'avoir un bon isolement, et que toute fuite dans l'isolant occasionne une perte d'énergie et empêche une fraction de celle-ci d'atteindre le point voulu. La découverte de la différence de transmission entre le jour et la nuit a été faite par Marconi, qui a remarqué, dans un voyage en Amérique, que des signaux qui disparaissaient complètement le jour à des distances de plus de 700 milles étaient reçus facilement à plus de 1.500 milles pendant la nuit. Le moment où se produisait la plus grande différence était vers sept heures, heure de la station d'émission, c'est-à-dire, les expériences étant faites vers le 1^{er} mars, après le lever du soleil. Il avança en conséquence la théorie d'après laquelle l'affaiblissement devait être dû à l'action de la lumière sur l'antenne d'émission elle-même. Le professeur J. Thomson a cependant démontré que la perte d'énergie due à l'ionisation de l'air devait être plus grande là où l'énergie électrique était la plus concentrée, c'est-à-dire près de l'antenne d'émission, et que cette perte augmentait avec la longueur des ondes transmises.

Le phénomène s'explique donc aussi bien par cette hypothèse que par celle de Marconi, et le fait qu'il est seulement observable dans la transmission à longue distance justifie la supposition que la perte ne se produit pas seulement à l'antenne, mais est jusqu'à un certain point répartie sur tout le trajet des ondes.

Les observations du capitaine Jackson sur des variations analogues dans la portée des signaux dues non au jour ou à la nuit, mais à d'autres changements dans les conditions atmosphériques sont aussi très intéressantes. Il a trouvé que la distance maxima des signaux pouvait être réduite de 62 à 22 milles par un temps apparemment beau, mais qu'en général de telles limitations accompagnaient une chute barométrique et l'approche d'orages.

On a également trouvé que pendant un siroco, vent humide et chargé de sable provenant de la côte d'Afrique, la distance des signaux était considérablement réduite.

Dans ces deux cas, les propriétés de l'atmosphère sont évidemment la cause des variations, et le changement accroît apparemment la conductibilité de l'air et par suite occasionne une plus grande perte d'énergie dans les ondes qui le traversent.

Le capitaine Wildmann, de l'armée américaine, a trouvé que par temps humide et orageux, la transmission des signaux devenait plus difficile. Il fit ses observations à travers le Norton-Sound, dans l'Alaska, entre les stations de Safety et de Saint-Michel, distantes de 107 milles (186 kilomètres). En shuntant le téléphone de réception (*fig. 148*), on diminuait la force des signaux de façon à les rendre à peine perceptibles. La conductibilité du shunt employé indique la force du courant dans l'antenne de réception, puisqu'il montre de combien le courant peut être diminué sans que les signaux cessent d'être perceptibles.

En mars 1906, le capitaine Wildmann m'a remis le diagramme représenté figure 149 et les notes reproduites ci-dessous. La conclusion nette qu'on peut tirer de ces résultats est que le temps humide et orageux diminue la portée. Cette conclusion est la même que celle tirée des observations du capitaine Jackson, et comme dans les deux cas les récepteurs employés étaient tout à fait différents, on peut situer la cause de la variation en dehors de la chambre de réception, c'est-à-dire soit dans l'antenne, soit plus probablement dans l'atmosphère.

Notes du capitaine Wildmann. — La courbe en traits fins représente la variation de température.

La courbe en traits-points du haut donne les indications de l'ampèremètre à la station d'émission. Elle donne simplement des mesures relatives, et non directement des ampères. On employait un ampèremètre à fil chaud de 2 ampères de Jones et Philipps, avec un shunt non calibré pour les courants de haute fréquence. En pratique, on varie la self du circuit fermé et du circuit rayonnant ouvert jusqu'à ce qu'on obtienne le maximum à l'ampèremètre.

L'autre courbe en traits-points représente les variations du baromètre; l'échelle, de 29 à 31, est à droite.

La courbe pointillée donne la vitesse du vent en milles à l'heure, l'échelle se trouvant sur la ligne marginale de gauche.

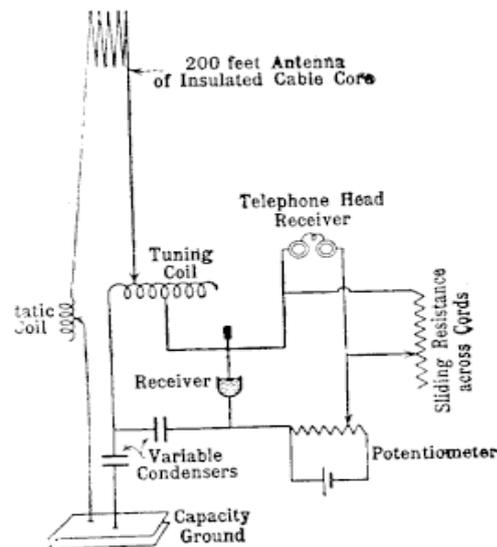


FIG. 148. — Méthode du capitaine Wildmann pour comparer l'intensité des signaux.

La ligne en trait plein représente la résistance shuntant le téléphone. Elle donne la mesure relative de l'intensité à la réception. Les points marqués d'un astérisque sont les seuls points où des irrégularités se

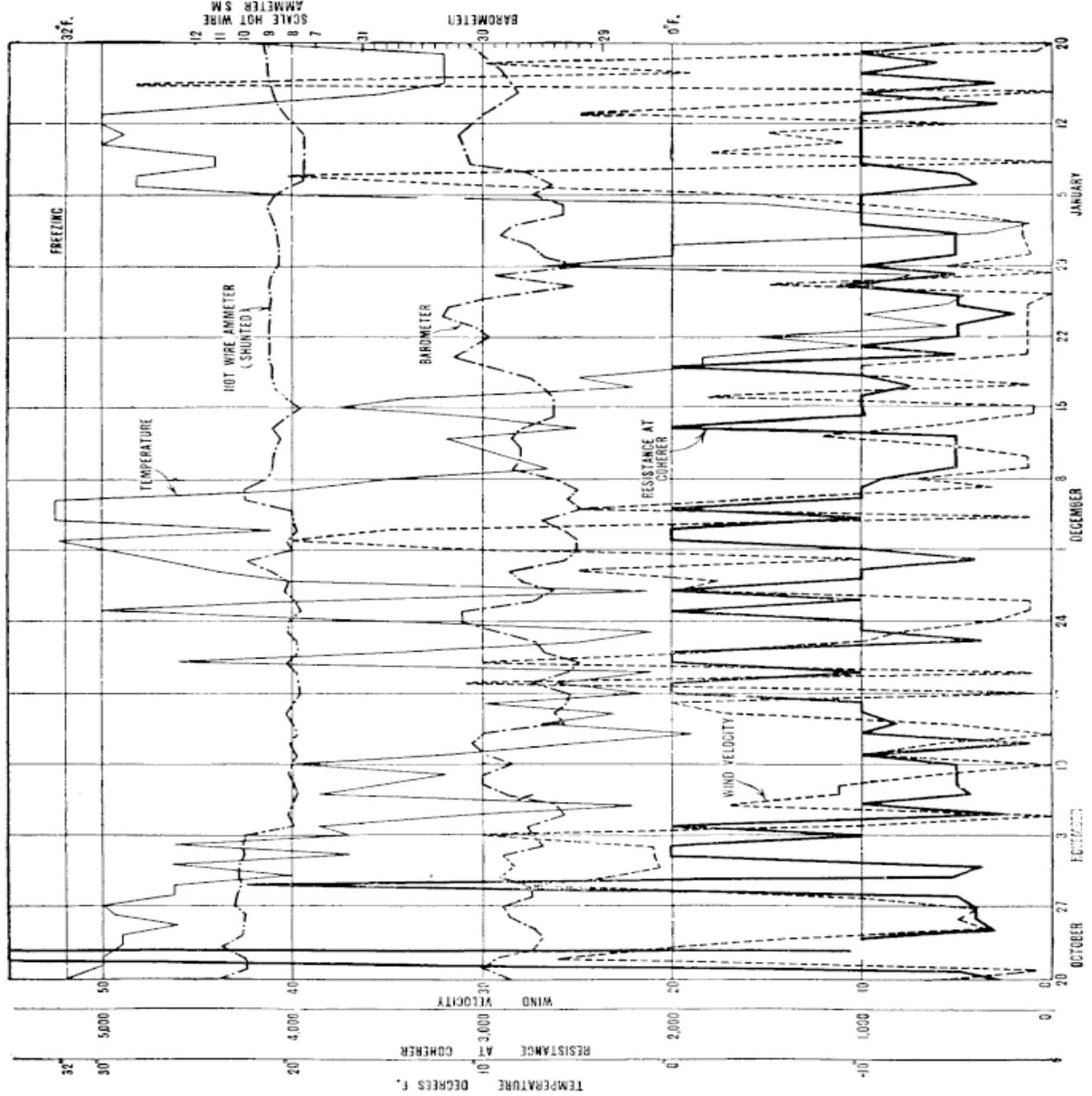


Fig. 149. — Diagramme des observations du capitaine Wildmann.

produisent dans le parallélisme des courbes de l'intensité du vent et de la résistance.

Celles du 25 novembre et du 13 décembre s'expliquent facilement par des erreurs de lecture.

Celle du 3 janvier est difficilement explicable. On peut supposer que le vent était très sec, et que la vitesse du vent ne changeait rien, l'ampèremètre ayant lui-même aussi quelque peu changé. On peut admettre aussi que l'opérateur, plus exercé, pouvait mettre un shunt plus fort sans cesser de percevoir les signaux.

Dans l'ensemble, les deux courbes concordent tellement qu'il ne peut, quant à moi, y avoir aucun doute qu'il existe une relation entre la vitesse du vent et la portée de transmission des ondes électromagnétiques.

De grandes variations dans l'intensité des signaux reçus ont été également observées dans les stations transatlantiques Fessenden. La courbe figure 112 (p. 142) montre les variations énormes pouvant se produire en quelques jours pour des causes apparemment indépendantes de l'opérateur, comme des variations de conditions atmosphériques.

Au Canada, un accroissement de portée de six fois la distance normale a été observé après une aurore boréale.

La Terre. — Arrivons maintenant aux propriétés électriques de l'autre facteur de la transmission, la terre. Ce corps est approximativement une sphère d'environ 6.000 kilomètres de rayon. Ses propriétés comme conducteur électrique seront examinées dans le prochain chapitre ; nous considérerons ici uniquement la conductibilité des couches supérieures, celles-ci intéressant seules la radiotélégraphie, car les courants de haute fréquence ne pénètrent pas très profondément à l'intérieur d'un conducteur.

M. Brylinski, dans un mémoire très complet (1) sur la résistance des conducteurs aux courants variables, étudie la résistance de la terre et de la mer aux courants de haute et basse fréquence, uniformes ou amortis. Prenant la valeur de 6.600 ohms par centimètre cube, chiffre fondé sur des expériences, pour la résistance de la terre humide, de perméabilité égale à l'unité, M. Brylinski montre que, pour des courants de fréquence de 10 millions par seconde, de l'ordre de ceux de la télégraphie sans fil, toute l'intensité est pratiquement localisée dans une couche ne dépassant pas 15 mètres. Si le courant est amorti, la profondeur de cette couche est diminuée et la résistance apparente augmentée.

La profondeur de la couche utile dans l'eau de mer est environ quatre fois moindre, soit environ 4 mètres ; mais la conductibilité de l'eau de mer étant environ dix-sept fois plus grande, la résistance effective est beaucoup moindre.

Si le sol renferme du fer ou d'autres matières magnétiques, la profondeur de pénétration est très diminuée.

Ces faits expliquent en grande partie les différences dans les distances

(1) Soc. Int. Elect., *Bulletin* 6, p. 255, juin 1906.

de transmission à travers des collines de compositions diverses, qui ont été observées par le capitaine Jackson, dans une suite très intéressante d'expériences que nous examinerons plus tard.

La principale conclusion à laquelle arrive M. Brylinski peut s'exprimer ainsi : malgré la profondeur énorme du conducteur, la résistance d'une couche d'épaisseur finie a une valeur finie qu'on peut calculer, et qui croît avec la résistance spécifique, la fréquence, la perméabilité et l'amortissement. Il a établi également une formule analogue pour la self de la couche utile.

Nous voyons donc que pour une oscillation de fréquence et d'amortissement donnés, la résistance de la couche conduisant le courant croît avec la résistance spécifique et la perméabilité. Examinons les résultats des observations du capitaine Jackson qui sont la conclusion d'une longue suite d'observations faites sur des navires grésés avec un système radiotélégraphique dû à son invention. Dans chaque cas, la distance maxima de transmission au-dessus de la mer était connue, de sorte que la diminution provenant de l'interposition d'une terre quelconque pouvait être déterminée par expérience. Dans tous les cas, une partie de la distance, souvent de beaucoup la plus grande, était formée par la mer ; on doit l'avoir présent à l'esprit en lisant ce qui suit :

Les résultats principaux peuvent se résumer ainsi : Si la distance de transmission possible sur la mer est supposée égale à 100, elle est réduite à 72 après interposition de sable ou de schiste, à 58 avec du calcaire dur et à 32 avec du calcaire contenant des minerais de fer.

En remarquant que le sable est beaucoup plus résistant que l'eau de mer, et le calcaire que le sable, et que le calcaire ferrugineux offre à la fois une grande résistance et une grande perméabilité, nous sommes amenés à la conclusion, en comparant ces chiffres avec la formule de Brylinski, que la distance possible de transmission dépend dans une large mesure de la résistance et de la perméabilité de la couche supérieure utile de la terre ou de la mer. Puisque la nature de la surface de la terre détermine la portée, il est évident que quelles que puissent être la distribution et la forme des lignes de force dans l'atmosphère, la transmission repose directement sur l'action de la terre comme conducteur, du moins dans les systèmes comportant une terre, comme celui de Jackson.

Cela établi, examinons le parcours des lignes de force accompagnant le courant. En général, les lignes de force sont rectangulaires avec les conducteurs qu'elles rencontrent ; dans notre cas, elles sont donc perpendiculaires à la surface de la mer ou de la terre. Si elles se propagent, comme nous le supposons, avec leurs extrémités continuellement attachées à la surface de la terre, elles seront normales à cette surface, qu'elle soit horizontale ou non. S'il y a donc de fortes courbures dans

cette surface, les lignes de force seront inclinées et voisines de la surface.

Une des observations du capitaine Jackson paraît reposer directement sur cette remarque. C'est le cas où des signaux cessaient brusquement quand le mouvement du navire portant la réception amenait une haute bande de terre entre lui et le transmetteur. J'ai fait une esquisse, grossièrement à l'échelle, d'après la description de l'expérience du capitaine Jackson qui montre la position du bateau et de la terre, et j'y ai dessiné approximativement les lignes de force en mouvement. On voit que le mât et le fil d'antenne du bateau font un tel angle avec les lignes de force que même si la résistance de la terre n'avait pas auparavant réduit le courant, on ne pourrait percevoir aucun signal. L'antenne est presque parallèle à la surface de la terre (face du rocher) avec la partie isolée dirigée vers le côté d'où viennent les ondes. Or cette position est, comme

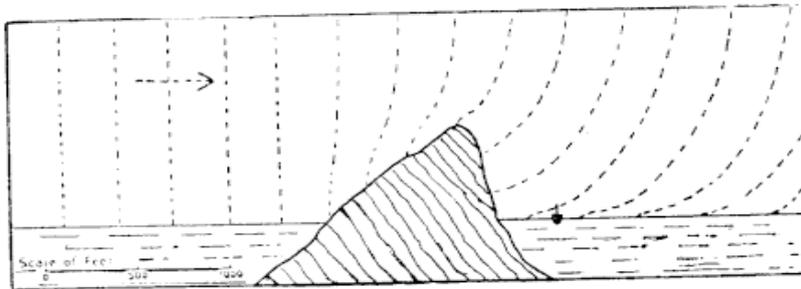


FIG. 150. — Diagramme expliquant les expériences du capitaine Jackson sur les écrans. (Grossièrement à l'échelle.)

on sait, très désavantageuse pour la réception. L'hypothèse que l'incurvation des lignes de force, et non leur absence totale, est, en partie du moins, la cause de cet effet, est appuyée par une autre observation (fig. 150).

Dans un essai où les signaux n'avaient pu être perçus tout près de la terre, ils ont pu être entendus en déplaçant le bateau et en l'écartant du transmetteur. L'explication est que les lignes avaient alors repris leur position verticale.

Si, dans la première expérience, le capitaine Jackson avait incliné l'antenne et lui avait fait faire un angle considérable avec la terre, il aurait probablement reçu les signaux.

Il est également vrai que ces variations brusques dans le mouvement des lignes de force causent des pertes d'énergie par suite des courants parasites se produisant dans le conducteur, et parce que toute incurvation d'un conducteur accroît la self. Les récentes expériences de de Forest et Marconi, décrites au chapitre xv, avec des fils horizontaux placés sur le sol ou à peu de distance de lui, confirment entièrement la théorie que

dans ces systèmes de télégraphie les lignes de force sont attachées à la terre et guidées par elle.

Laissons un moment de côté la considération des courants à la surface de la terre et du champ de force immédiatement au-dessus, et voyons ce qui se produit dans les régions moyennes et supérieures de l'atmosphère.

Nous devons d'abord noter que par une application de la méthode des images électriques de Lord Kelvin, qui dans ces circonstances est parfaitement légitime, nous avons montré que le champ des lignes de force dans le cas d'une antenne formée d'un fil vertical avec un éclateur au pied est semblable à celui qui existerait si, la terre étant supprimée, il y avait une deuxième antenne symétrique de la première par rapport à l'éclateur et chargée de façon opposée. Cette conclusion, naturellement, ne tient que si la surface de la terre est plane et parfaitement conductrice ; des collines et des variations dans la nature de la surface rendraient certaines modifications et corrections nécessaires. Les lignes de force peuvent donc être déduites des diagrammes de Hertz en traçant une ligne horizontale par le point milieu de l'éclateur représentant la surface de la terre, et en retranchant la partie du diagramme au-dessous de cette ligne : leur forme est montrée dans les figures 40 à 43 (p. 43).

Quand ces ondes hémisphériques s'élargissent en diamètre, leur longueur d'onde reste constante, et la largeur de la bande qui leur sert de base ne varie pas. La seule variation à la surface de la terre est celle de la circonférence de cette base ; et, comme elle est proportionnelle à sa distance au transmetteur, on voit que la force électrique et le déplacement en chaque point de la surface sont inversement proportionnels à la distance au transmetteur. L'énergie par unité de volume, qui est proportionnelle au produit de la force par le déplacement, est donc inversement proportionnelle au carré de la distance.

Cela n'est cependant exact que dans le voisinage immédiat de la surface si l'onde est sphérique ; plus haut, l'énergie devient de moins en moins dense, et elle est nulle sur la ligne verticale au-dessus de l'antenne.

La propagation de ce type d'ébranlement électrique a été étudié par Heaviside et par Blondel. Heaviside a également fait remarquer qu'une couche supérieure conductrice de l'atmosphère pourrait empêcher le rayonnement dans l'espace et modifier la forme sphérique des ondes, la rendant finalement cylindrique à une grande distance de l'origine ⁽¹⁾. Dans un mémoire présenté à l'Institut des Ingénieurs électriciens en

⁽¹⁾ *Encyclopedia Britannica : Telegraph*, vol. XXXIII, p. 213.

décembre 1905, l'auteur a indépendamment repris cette proposition, et a apporté des arguments en sa faveur, comprenant les résultats expérimentaux du professeur Thomson rapportés plus haut, et les observations d'aurores faites récemment par les météorologistes danois, qui prouvent qu'elles sont limitées à une couche d'atmosphère comprise entre des distances de 6 et 60 milles de la surface de la terre, et que par suite cette couche est conductrice ; depuis lors, une autre preuve, qui sera exami-

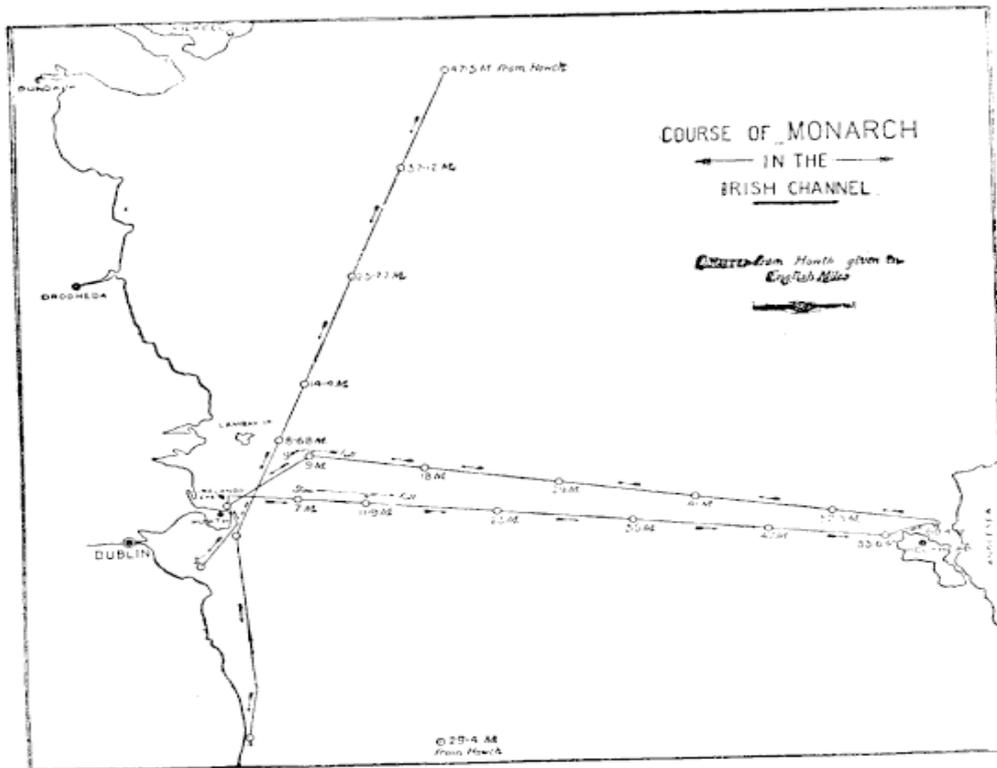


FIG. 151. — Essais de Duddell et Taylor de Howth à Holyhead.

née plus bas, a été apportée du rôle joué par les couches supérieures de l'atmosphère et elle confirme par une expérience électrique directe les conclusions tirées, au début de ce chapitre, de considérations physiques.

MM. Duddell et Taylor ⁽¹⁾ ont trouvé, par des expériences faites entre une station située à Howth et le transport *Monarch* dans la mer d'Irlande, que le courant reçu, à des distances supérieures à 10 ou 15 milles, varie à peu près en raison inverse de la distance entre les stations. Le résultat est certain, les expériences ayant été faites avec beaucoup de soin et ayant donné des résultats remarquablement concordants. Elles ont été

⁽¹⁾ *Journal of Ind of Electr. Engen.*, n° 474, vol. XXXV, juillet 1905.

complètement confirmées par le lieutenant Tissot ⁽¹⁾. Les mesures ont été faites avec le thermo-ampèremètre et le thermo-galvanomètre de Duddell, le premier dans l'antenne d'émission et le second dans celle de réception. La plus grande distance atteinte fut Holyhead, à 60 milles de la station de Howth. Les résultats de ces expériences ont une telle importance que j'ai reproduit les diagrammes en donnant les détails. Il y a beaucoup de points intéressants à remarquer à leur sujet, et on peut en donner l'explication en considérant nos déductions des travaux de Brylinski et du capitaine Jackson.

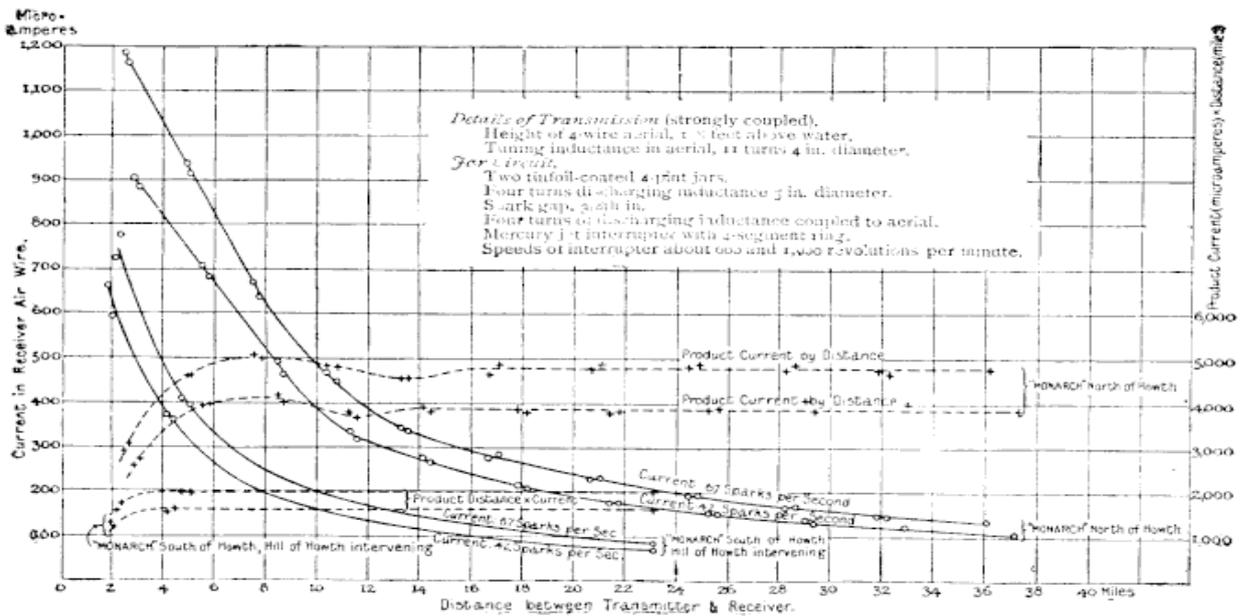


FIG. 152.

En admettant, comme on le fait généralement, que l'application de la méthode des images électriques décrite plus haut est justifiée pour déterminer la forme des lignes de force pendant leur mouvement dans l'espace, nous voyons que les ondes doivent, à la surface de la terre, se composer d'une série de cercles concentriques au transmetteur. La largeur du lambeau annulaire contenant le train d'ondes est à peu près constante, et dépend du nombre d'ondes dans le train d'ondes et de la longueur d'onde. Dans la transmission d'un train à des distances plus grandes que la longueur d'onde multipliée par le nombre d'ondes dans le train, la dernière onde aura quitté le transmetteur avant que la première soit arrivée au récepteur. Dans ce cas, le récepteur n'a pas d'in-

(1) *Journal of Ind of Electr. Engen.*, n° 177, vol. XXXVI, avril 1906.

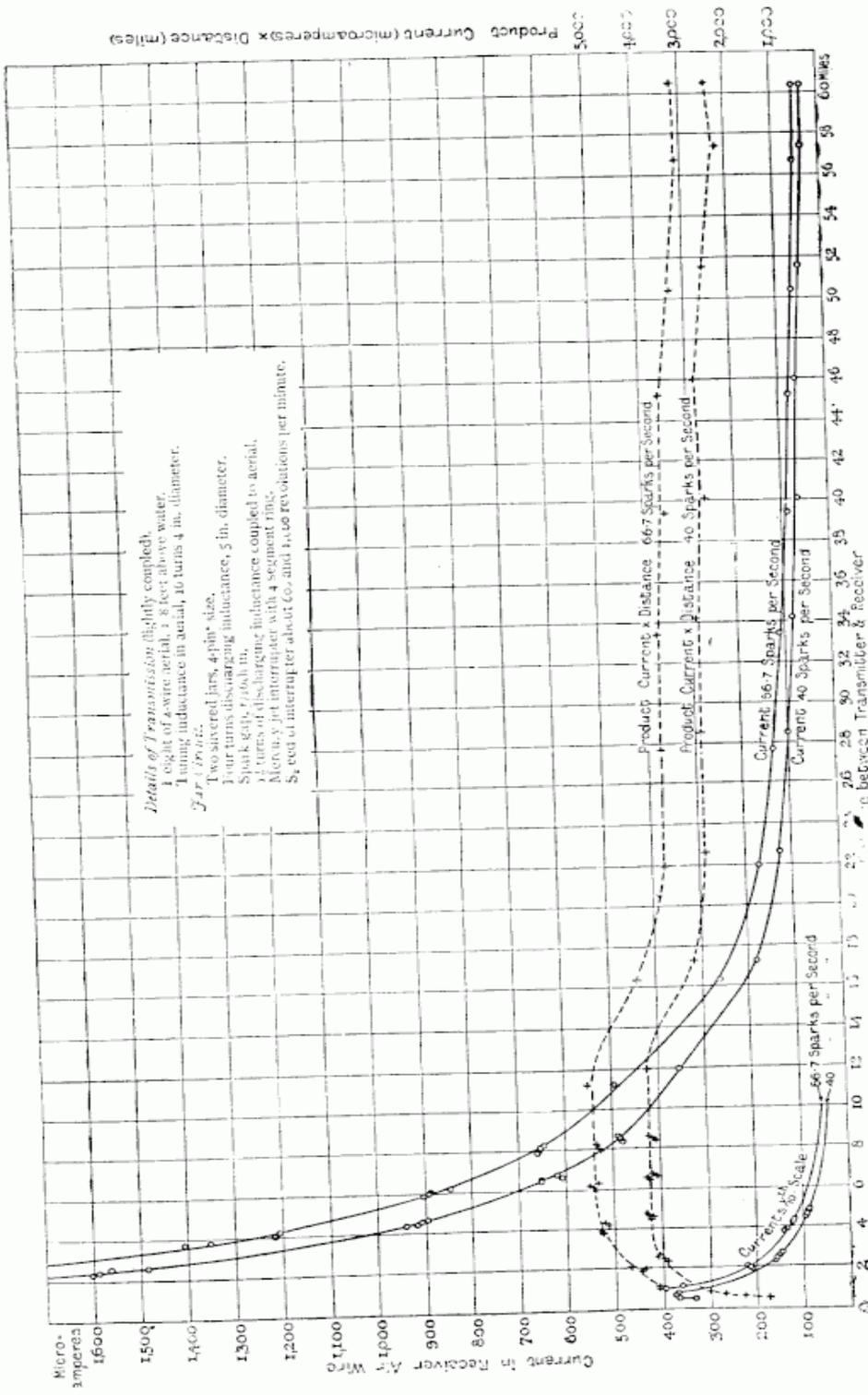


FIG. 153. — Traversée du *Monarch* de Howth à Holyhead.

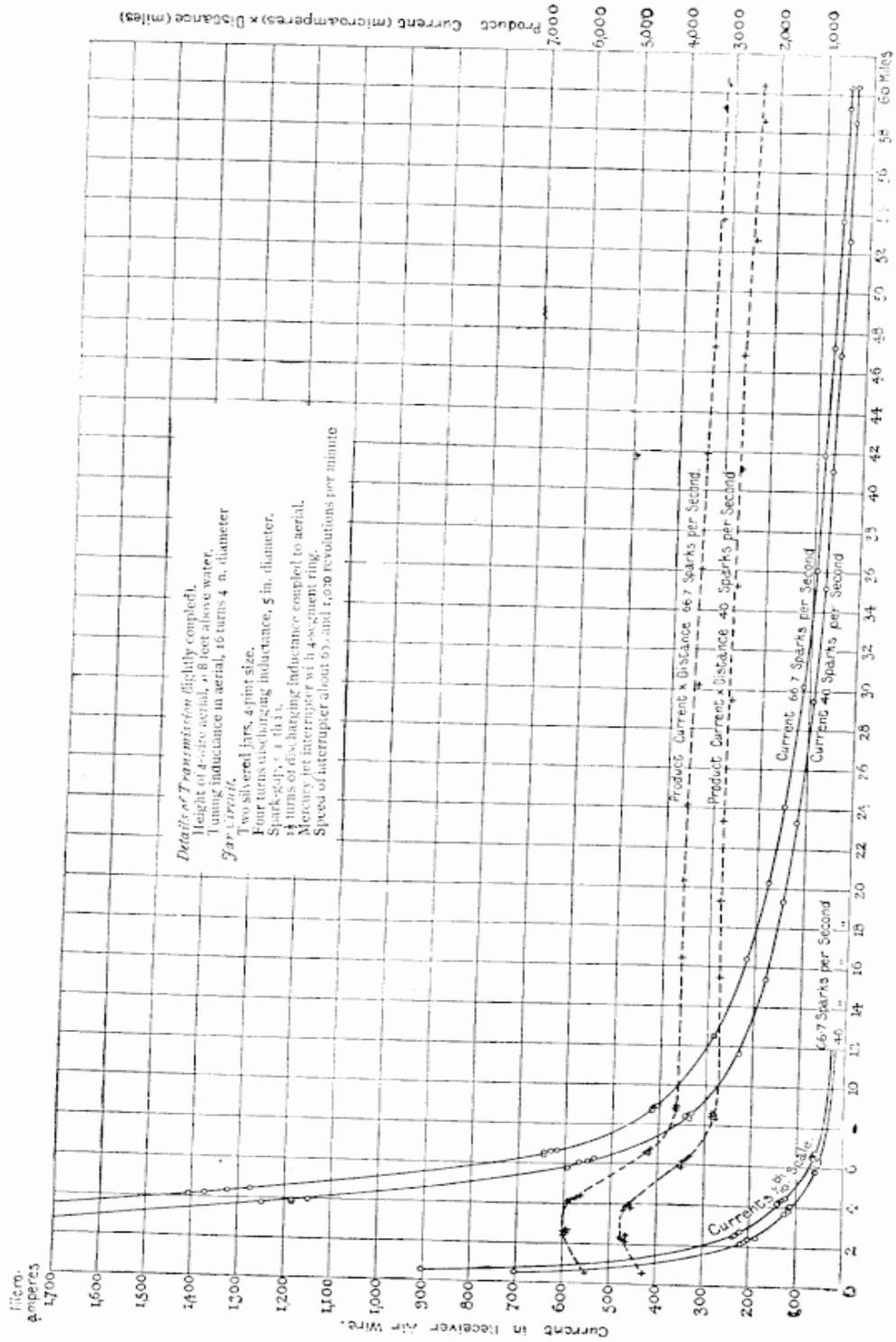


FIG. 151. — Retour du *Monarch* de Holyhead à Howth.

fluence sur le transmetteur. C'est généralement le cas pour des distances supérieures à quelques kilomètres.

La figure 155 montre grossièrement la forme des ondes du train dans deux positions : 1^o quand il quitte le transmetteur; 2^o quand il a commencé à influencer le récepteur. Ce diagramme et le fait que le courant du train est limité à une faible couche de la surface terrestre montrent que c'est la résistance d'une bande s'étendant d'une station à l'autre, et particulièrement d'une partie en forme de V près de chaque station, qui influence la propagation du train et par conséquent le courant reçu. Prenons d'abord le cas de deux stations situées toutes deux sur une

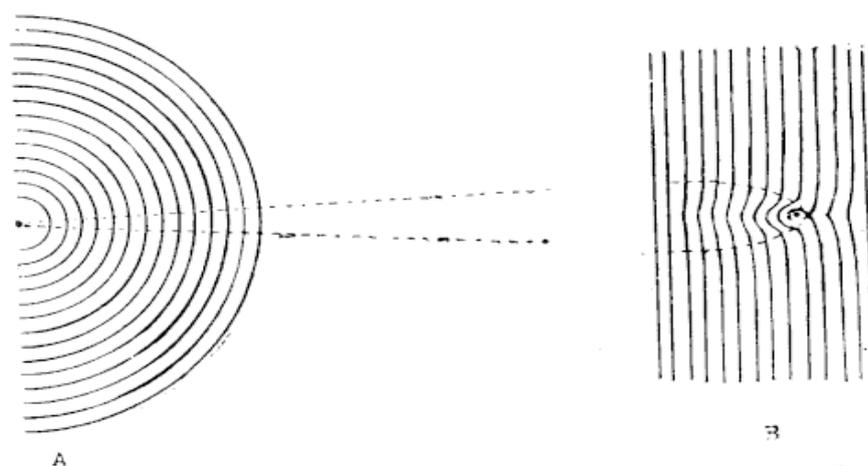


FIG. 155. — Schéma montrant en plan la propagation des ondes le long de la surface de la terre.

A, onde quittant le transmetteur. — B, onde affectant le récepteur. — La courbe pointillée enferme la « bande utile » de terre dont la résistance affecte directement la transmission.

plaine indéfinie ou sur la mer. L'onde du transmetteur avance dans l'espace sans autres modifications que la dispersion due à l'accroissement de diamètre et la perte d'énergie causée par la résistance de la terre et l'isolement imparfait de l'atmosphère. Négligeant ces pertes, nous voyons que la théorie, confirmée par les expériences de Duddell et Taylor, donne une variation de la force électrique et par conséquent du courant reçu, inversement proportionnelle à la distance du transmetteur. Nous appellerons cette loi la loi de dispersion, car elle montre la diminution d'énergie due à des considérations purement géométriques. Elle peut s'exprimer symboliquement par :

$$e = \frac{C}{d}$$

où e est le courant dans l'antenne de réception, d la distance de transmission et C une constante.

Si nous tenons compte de la courbure de la terre, et étudions la variation du front d'ondes à des distances plus grandes que celles sur lesquelles ont porté les expériences de Duddell, qui n'ont pas dépassé 60 milles, nous trouvons d'après de simples considérations mathématiques, ou plus exactement géographiques, que le rayon du cercle suivant lequel le front d'onde coupe la terre est proportionnel au sinus de l'angle mesuré par l'arc de surface terrestre situé entre le transmetteur et le front du train d'ondes. Ceci s'accorde avec la loi de Duddell, car pour de petites distances $\sin \theta$ est sensiblement égal à θ . Pour de grandes distances, cependant, la divergence diminue de plus en plus, et, pour des distances supérieures à 6.000 milles, c'est-à-dire pour $\theta > \frac{\pi}{2}$, le front d'ondes se rétrécit, et le courant devrait croître avec la distance. Ceci est vrai dans toute théorie, car le front d'ondes devient un anneau de plus en plus petit, convergeant de tous côtés vers l'antipode de la station de transmission.

L'équation pour le courant reçu est donc de la forme :

$$e = \frac{C}{\sin \theta}, \quad (\text{A})$$

où e est le courant reçu, θ l'angle défini plus haut et C une constante.

La figure 136 donne une représentation grossière des lignes de force électriques s'étendant du transmetteur dans l'espace.

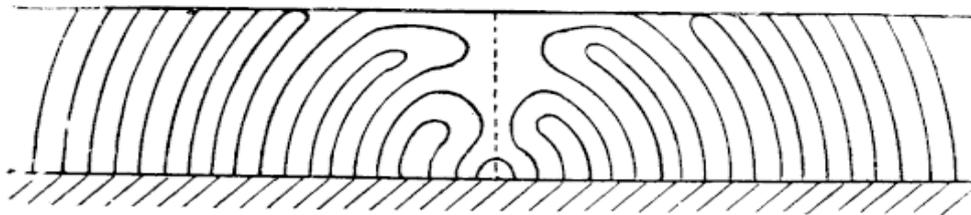


FIG. 136.

La loi ci-dessus de la variation du courant reçu avec la distance est évidemment incomplète. Nous avons supposé que la couche inférieure de l'atmosphère est un diélectrique parfait, que la terre est un conducteur parfait, et que l'atmosphère supérieure n'affecte pas la transmission, c'est-à-dire que le décroissement du courant est simplement dû à l'accroissement de l'aire du front d'onde.

Nous avons maintenant à tenir compte des pertes diverses pour compléter autant que possible la loi, bien qu'avec les données existant actuellement on ne puisse avoir qu'une approximation assez grossière. Il sera possible de compléter l'équation quand d'autres mesures auront été

faites pour déterminer plus exactement les fonctions et les constantes en jeu.

La première preuve d'une perte d'énergie parasite dans la transmission est fournie par la découverte de Marconi que les messages se transmettent à de plus grandes distances la nuit que le jour. Il ne peut y avoir de différence entre les variations de dispersion la nuit et le jour, la terre ne changeant pas de forme; ce phénomène doit donc être expliqué par une différence dans les propriétés électriques du milieu. La conductibilité de la terre ne peut pas être affectée fortement par les rayons du soleil; l'atmosphère cependant peut être considérablement modifiée. La science cosmique a fait de grands progrès dernièrement, et il est maintenant presque certain que des courants de particules électrisées, semblables aux rayons cathodiques, sont émis par le soleil à une grande vitesse. Ceux-ci pénètrent l'atmosphère pendant le jour, l'électrisent, et en l'ionisant, le rendent plus conducteur. Pendant la nuit, l'équilibre se rétablit lentement, et, vers cinq heures, on sait depuis longtemps qu'il existe un minimum dans l'électrisation de l'atmosphère. Les époques de portées maxima coïncident donc avec la conductibilité minima des couches inférieures de l'atmosphère, tandis que la conductibilité plus grande des couches inférieures pendant le jour rend les communications plus difficiles.

Une onde électrique doit avoir un milieu entièrement diélectrique ou un diélectrique limité par des conducteurs; elle ne peut pas pénétrer profondément dans un conducteur. Si donc toute l'atmosphère était conductrice, les ondes ne parviendraient qu'à une très faible distance avant d'être dissipées par la résistance, et la transmission à grande distance serait impossible. Le cas serait le même que si on essayait de transmettre un courant dans un câble concentrique avec un mauvais isolement entre les conducteurs. Un isolement convenable est aussi essentiel que la présence des conducteurs. Nous devons donc admettre que pendant la nuit une couche inférieure de 10 milles d'épaisseur environ dans l'atmosphère forme un bon diélectrique, tandis que le jour elle devient légèrement conductrice.

Pour obtenir une évaluation grossière de cette perte, nous pouvons adopter la conclusion de Marconi, que 500 milles de jour sont à peu près équivalents à 1.000 milles de nuit (1).

La variation n'est pas si importante pour les courtes distances, car elle est dans ce cas beaucoup moins importante que la dispersion, bien

(1) Fessenden (1908) a montré que l'absorption de jour atteint un maximum, en réduisant la fréquence, à la fréquence de 120.000 par seconde. Elle tombe ensuite à un minimum à 80.000. Ce sont des fréquences de cet ordre qu'on emploie pour les longues distances.

qu'on puisse la retrouver dans les résultats des expériences de Duddell et Taylor.

Supposons que la loi de dispersion soit celle donnée plus haut [équation (A)], c'est-à-dire que le courant, sans dissipation d'énergie, varie comme le sinus de l'angle séparant les lieux, ou approximativement, pour les distances considérées, en raison inverse de la distance comptée le long de la terre.

Nous avons donc la loi de dispersion

$$c \times d = C^2,$$

où c est le courant reçu et d la distance séparant les stations.

Supposons maintenant, comme première approximation, qu'il n'y a pas de perte la nuit; alors la perte de courant due uniquement à la dispersion pendant la nuit entre 500 et 1.000 milles est complètement perdue par dissipation pendant le jour avant que la distance de 500 milles ne soit atteinte. De même, la dispersion seule, de 500 à 1.000 milles, réduit le courant de moitié, puisque la distance est 2 fois 500. Donc le courant à 500 milles pendant la nuit est égal à deux fois le courant qui actionne juste le récepteur. La perte de courant par dissipation pendant le jour à 500 milles est donc égale à celui qui actionne juste le récepteur. Nous avons donc obtenu une valeur approximative de la dissipation d'après les expériences de Marconi. Si nous désignons par M le courant minimum actionnant le récepteur de Marconi, la perte par dissipation est à peu près $\frac{M}{500}$ par mille.

Cette perte est sans aucun doute une fonction de la distance, dont je pense pouvoir déterminer la forme plus tard. Elle est également, naturellement, une fonction de l'état de l'atmosphère, en ce qui touche son électrisation, et varie entre un minimum le matin et un maximum le soir. Dans l'intervalle, on peut prendre $\frac{M}{500}$ comme approximation grossière de la valeur moyenne du jour, dans les circonstances considérées.

L'équation approximative $c = \frac{C}{\sin \theta}$, pour la propagation des signaux, devient donc :

$$c = \frac{C}{\sin \theta} - \frac{M}{500} d,$$

où :

- c est le courant reçu;
- C , une constante ;
- M , le courant minimum actionnant le récepteur ;
- d , la distance en milles,
- et θ , l'angle du centre de la terre sous-tendu par l'arc d .

Comme on a $\frac{d}{3500} = \theta$, approximativement, le rayon de la terre étant environ de 3.500 milles marins, $d = 3,500 \theta$.

Pour tirer C de (A), nous remarquons que $c = C$ si $\sin \theta = 1$, c'est-à-dire si $\theta = \frac{\pi}{2}$. C'est donc la valeur de c à 5.400 milles marins, ou une distance du transmetteur égale à un quadrant terrestre pendant la nuit, c'est-à-dire quand il n'y a pas de perte d'énergie. Nous pouvons poser $C = KM$, si nous voulons prendre M comme terme de comparaison, c'est-à-dire que le courant à 5.400 milles est K fois celui nécessaire pour actionner le récepteur.

L'équation devient alors :

$$c = M \left(\frac{K}{\sin \theta} - 7 \theta \right). \quad (C)$$

Pour trouver la limite de portée avec une puissance donnée quelconque, nous devons avoir $c = M$, c'est-à-dire que le courant du récepteur doit être le plus petit pouvant l'actionner.

L'équation (C) devient alors :

$$1 = \frac{K}{\sin \theta} - 7 \theta \quad (D)$$

ou :

$$K - \sin \theta (7 \theta + 1) = 0.$$

Le nombre 7 de cette équation est seulement une grossière approximation, convenant au cas examiné. Il devrait être rigoureusement remplacé par une fonction de θ .

Considérons maintenant les résultats de Duddell et Taylor pour de plus courtes distances, à l'aide de ces explications.

En faisant remarquer la légère diminution du produit $c \times d$ à de longues distances, ils supposent que la cause en est la réflexion par la colline de Howth, indiquant qu'une autre cause est possible, quoique moins probable, à savoir que les voyages en travers de la mer ont été faits par des jours humides et par brouillard, tandis que les voyages dans l'autre sens ont été faits par nuit ou de bon matin par temps clair et par gelée. Cette dernière supposition me paraît plus probable que la première. Nous savons, d'après les résultats de Marconi, qu'il existe une telle différence. Il est intéressant de chercher à la déduire des résultats des mesures de Duddell et Taylor. Nous pouvons extraire de leurs courbes les chiffres suivants, comparant les expériences de nuit et de jour.

1° *Nuit.* — *Monarch* venant du sud vers Howth :

Distance au large de Howth.....	18	36 milles
$c \times d$	3,850	3,820 microampères \times milles

Ainsi le courant à 18 milles était 214 microampères, et à 36 milles, 106,4 microampères.

Si la divergence avait seule existé, le courant à 36 milles aurait été moitié moindre qu'à 18 milles, c'est-à-dire 107 microampères. La perte par dissipation est donc de 0,9 microampères à 18 milles, ou à peu près 0,05 microampères par mille sur 244 microampères.

2° *Jour.* — Nous pouvons obtenir de même, par les courbes représentant les mêmes quantités, dans le voyage à Holyhead et retour pendant le jour, la valeur de 7,2 microampères pour la perte entre 30 et 60 milles au large de Howth. Ceci donne environ 0,24 microampères par mille sur un courant maximum de 120 microampères. En réduisant le résultat trouvé en 1° pour le rendre comparable étant donné ce courant maximum, on voit que la perte par nuit est à celle par jour dans le rapport de 0,025 à 0,24, c'est-à-dire que la perte par jour est environ 10 fois plus forte que la perte par nuit.

MM. Duddell et Taylor essayèrent de mesurer la variation de jour et de nuit entre Howth et Kingstown, mais ils ne trouvèrent pas plus de 1 0/0 de différence. Ce résultat était naturel, car les stations n'étant distantes que de 6 milles, la dissipation totale était très faible dans les deux cas. La différence des valeurs de jour et de nuit que je viens de déduire se monterait simplement à 1 0/0 de la valeur totale pour 3 milles.

En comparant la valeur de la perte déduite des expériences de Marconi avec celle tirée de celles de Duddell et Taylor, nous trouvons qu'elles sont du même ordre de grandeur. Nous ne pouvons maintenant entrer dans plus de détails, vu que le courant minimum actionnant le récepteur de Marconi n'est pas connu.

Effet d'une distribution dissymétrique de la résistance dans le voisinage d'une station de réception. — Duddell et Taylor attribuent les courants exceptionnellement grands indiqués par les bosses dans les courbes des figures 153 et 154 à des effets de réflexions par le bras de terre de Howth Head ou par les îles. Si nous considérons cependant combien est légère la pente d'une terre même abrupte, nous voyons que les ondes arrivant en lignes droites seraient, en touchant la pente, projetées vers le ciel et ne pourraient aucunement toucher la station de réception située sur la terre. La supposition du Dr Jackson, faite pendant la discussion du mémoire, que les bosses des courbes pourraient s'expliquer par l'interférence des deux ondes envoyées par le transmetteur, est

rendue peu probable dans ce cas, attendu que la distance où se présentent les bosses est si différente dans les différents voyages du *Monarch*.

Je pense que l'explication suivante ne soulève pas ces objections et est plus simple.

La station réception de Howth était située près de la mer (voy. carte) à une place où la côte a une direction à peu près est-ouest. Il y avait donc de la terre à l'est et au sud de la station.

La figure 137 montre comment cette configuration du pays affecterait, par la différence de la résistance, le courant transmis. La surface elliptique supérieure hachurée montre la bande de terre utile, au voisinage du récepteur, à la fin du voyage de Holyhead. Dans ce cas, elle est constituée presque totalement par la mer. La même chose est vraie au commencement du voyage vers Frelands Eye.

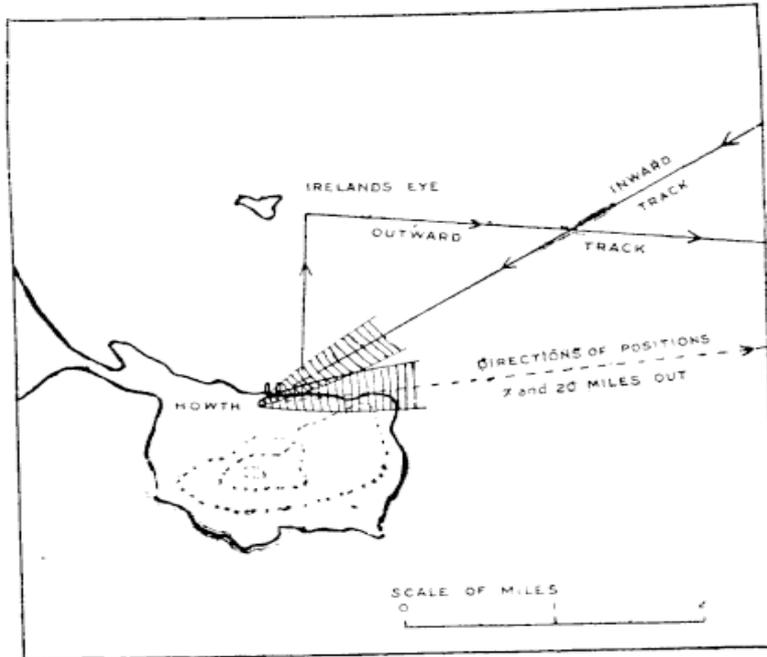


FIG. 137. — Distribution de la résistance près du récepteur. Portions utiles de trains d'ondes arrivant à Howth de différentes directions.

L'autre portion hachurée du diagramme montre qu'à 7 milles au delà, la bande renferme, au voisinage du récepteur, une grande partie de terre de grande résistance. Il n'y a plus de grande variation dans la portion de terre comprise, à mesure que le voyage s'effectue; il n'y a également pas de grande variation dans les conditions électriques, comme le montre la figure 133.

Dans le voyage de retour, on prit une direction plus au nord, et Howth fut découvert à une distance beaucoup plus grande, de sorte que la partie de terre comprise dans le parcours du courant au voisinage du récepteur était la même à 20 milles au large de Howth, pendant le voyage de retour, qu'elle avait été à 7 milles pendant le voyage de départ. La plus grande longueur de mer comprise dans la bande utile

ne fait que peu de différence dans la résistance totale, la résistance dans les deux cas est donc pratiquement la même.

Mais les produits (courant reçu) \times (distance), dont les valeurs indiquent les pertes d'énergie par causes autres que la simple divergence géométrique, se trouvent, quand le *Monarch* est aux positions indiquées, exactement égaux; l'autre cause de perte est donc certainement la résistance de la bande de terre utile. La coïncidence paraît trop exacte pour être le résultat du hasard; et une étude attentive des couches et de la carte à des distances de transmission plus faibles et plus grandes donne une confirmation de la vue que, dans des conditions d'atmosphère et d'appareils analogues, la résistance de la bande utile est le facteur le plus important, avec la dispersion géométrique elle-même, pour déterminer le courant reçu. Par exemple une comparaison des valeurs des produits $c \times d$ pour des positions au nord et au sud de Howth avec celle du cas intermédiaire qui vient d'être cité montre une relation analogue. Ainsi, au nord de Howth, où la bande utile voisine du récepteur est la mer, $c \times d = 4.800$; à l'est de Howth, où la moitié de la bande est de la terre, $c \times d = 3.600$; au sud de Howth, où la bande est tout entière en terre, $c \times d = 2.000$. Ces nombres mettent en évidence une proportionnalité presque exacte entre le courant reçu et la conductance de la bande utile voisine du récepteur. Des faits bien connus des télégraphistes, comme celui montrant qu'il y a plus grand avantage à placer une station sur un rivage plat au bord de la mer que sur une colline située plus loin dans l'intérieur du pays, donnent des preuves de l'exactitude de cette théorie.

Les parties ci-dessus de ce chapitre furent écrites en 1906, et, comme elles constituent la première explication raisonnée des phénomènes observés dans la transmission au-dessus de la terre et de la mer par jour et par nuit, je les ai laissées dans leur état original, en dépit d'imperfections évidentes. Depuis cette date, de nombreux travaux théoriques et pratiques ont été faits, et nous allons en examiner les principaux résultats.

Théorie mathématique de Zenneck. — Cette théorie, écrite en 1906, a été amplement confirmée dans ses résultats généraux par les travaux récents de Zenneck (chap. xiv) entre autres. Zenneck a montré l'importance considérable de la constante diélectrique de la terre et de la mer; ses résultats montrent qu'elle peut être d'une importance plus grande que la résistance même pour la transmission. Il a montré qu'une onde plane peut être réduite à un tiers de sa valeur en traversant quelques kilomètres de terre sèche, tandis que sur mer une semblable réduction ne serait atteinte qu'après plus de 10.000 kilomètres.

La théorie mathématique de Zenneck s'applique à la propagation d'ondes électromagnétiques planes à la surface de la terre. Elle n'est donc applicable aux ondes radiées par une antenne radiotélégraphique qu'à une distance considérable de la station, et seulement alors pour une faible distance dans le sens de la propagation et dans une région immédiatement voisine de la surface de la terre. Malgré ces limitations,

cependant, ses conclusions donnent des informations intéressantes sur beaucoup de points relatifs à la transmission, et particulièrement en ce qui concerne la forme des ondes et le degré d'absorption par différents sols. Sans entrer dans le détail des méthodes à l'aide desquelles il les déduit des équations de Maxwell, je reproduirai les plus importants des diagrammes qui les résument.

Rapport et différence de phase des composantes verticale et horizontale de la force électrique. — Le premier

diagramme (fig. 158) montre la différence de phase φ_0 dans l'air, entre la force horizontale électrique $E_{0,x}$, dans la direction de propagation, et la force verticale $E_{0,z}$, et donne également le rapport numérique de ces forces. L'indice o indique que le milieu est de l'air, et les indices c et σ représentent les coordonnées horizontale et verticale. Les courbes sont tracées pour une longueur d'onde de 600 mètres, c'est-à-dire pour une fréquence de 5×10^5 . La règle, pour en obtenir les résultats correspondants, pour d'autres longueurs d'onde est la suivante: Pour obtenir

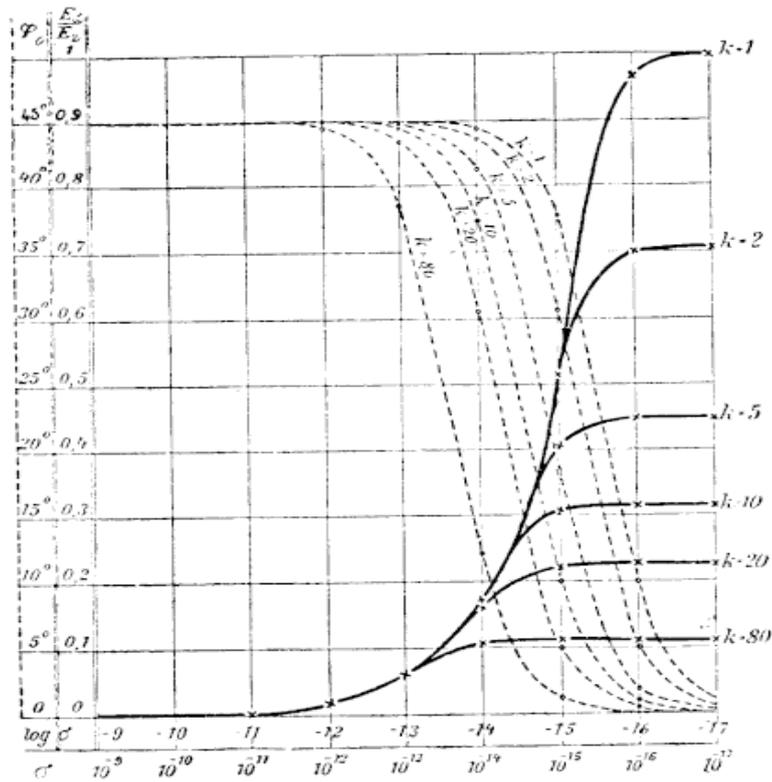


FIG. 158. — Relations entre les composantes horizontale et verticale de la force électrique dans une onde plane dans l'air, et se mouvant le long d'une surface plane ayant une conductivité σ et une constante diélectrique k (Zenneck).

Les courbes pointillées montrent l'angle de phase, et les lignes pleines les rapports numériques entre les composantes horizontales et verticales.

les valeurs pour une fréquence $a \times 5 \times 10^5$ par seconde et une conductibilité σ , on prend sur le diagramme (*fig. 158*) les points correspondant à la conductibilité $\frac{\sigma}{a}$. Une fréquence plus grande agit ainsi comme une conductibilité plus faible.

Les conditions à l'intérieur d'un conducteur peuvent aussi se déduire de la figure 158 :

$$\varphi = 90^\circ - \varphi_0 \quad \text{et} \quad \frac{E_x}{E_z} = \frac{1}{\frac{E_{0x}}{E_{0z}}}$$

Diagrammes des vecteurs d'onde. — Une représentation graphique plus facile à comprendre des différences entre les formes d'onde sur des surfaces de conductibilité et de constantes diélectriques différentes peut être déduite des courbes de la manière suivante :

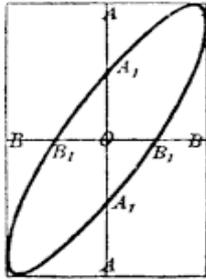


FIG. 159.

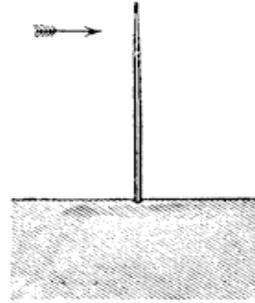


FIG. 160.

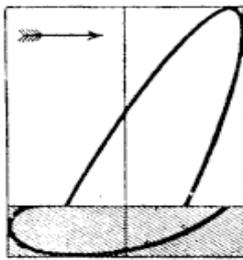


FIG. 161.

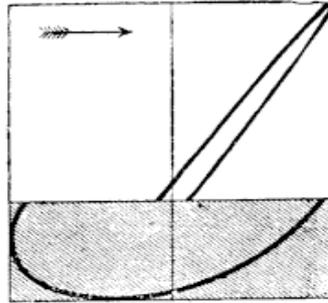


FIG. 162.

Supposons la force électrique à chaque moment en un point, représentée par un vecteur, c'est-à-dire par une droite représentative de sa grandeur et de sa direction. Pendant un cycle complet, l'extrémité de ce vecteur décrira une ellipse qui aura les propriétés (*fig. 159*) que

$$\frac{OB}{OA} = \frac{E_x}{E_z}$$

et que

$$\frac{OA_1}{OA} = \frac{OB_1}{OB} = \sin \varphi.$$

Comme il y a deux séries de conditions, dans l'air et dans le conducteur, de chaque côté d'un point de sa surface, on n'a tracé que des demi-ellipses dans les figures 160 à 177. La figure 160 donne le diagramme du vecteur pour la surface de l'eau, la figure 161 pour la terre humide, et la figure 162 pour le sol très sec.

Absorption dans le parcours sur différents terrains. — La figure 163

montre le degré d'absorption d'une onde plane dans son parcours à travers un diélectrique parfait illimité, ou plutôt la distance en kilomètres au bout de laquelle l'onde est réduite à 36,7 0/0 ($\frac{1}{e}$) de sa valeur au début du parcours. Les ordonnées sont proportionnelles aux logarithmes ordinaires de D, la distance. Les abscisses représentent les conductibilités du conducteur en unités C. E. S. ($\sigma = 10^{-9}$ correspond à 1 ohm par centimètre cube).

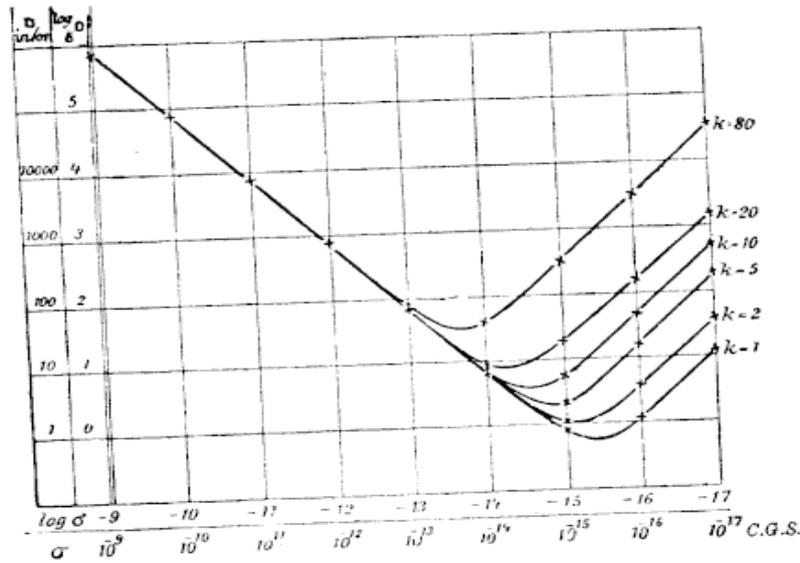


FIG. 163. — Distance D après le parcours de laquelle l'amplitude d'une onde plane de 600 mètres est réduite à 36,7 0/0 de sa valeur primitive pour différentes valeurs de la conductivité et de la constante diélectrique du conducteur plan.

Pour l'eau de mer.....	$\sigma = 10^{-11}$	$K = 80$	$D = 10.000$ kilomètres
Pour le sol humide.....	$\sigma = 10^{-13}$	$K = 10$	$D = 80$ kilomètres
Pour le sol sec.....	$\sigma = 10^{-15}$	$K = 4$	$D = 3$ kilomètres

Pour des distances relativement faibles, à quelque distance du transmetteur, où la divergence, l'absorption atmosphérique et la courbure de la terre sont négligeables, ce diagramme donne une bonne approximation pour la télégraphie réelle. Dans tous les cas il donne des valeurs comparables de l'absorption par les différents sols directement applicables aux cas de la pratique.

Pour obtenir les résultats correspondant à d'autres longueurs d'onde, c'est-à-dire la distance D à laquelle l'amplitude est réduite à 36,7 0/0, supposons que $\alpha \times 5 \times 10^5$ soit la nouvelle fréquence, σ la conductivité et K la constante diélectrique. Dans le diagramme, on cherche D correspondant à K et $\frac{\sigma}{\alpha}$, et on divise la valeur trouvée par α .

Influence de couches de différentes conductibilités. — Le travail du Dr Zenneck a été continué et amplifié par F. Hack ⁽¹⁾, qui a calculé les diagrammes d'onde pour les cas pratiques dans lesquels la terre n'est pas homogène, mais est composée de plusieurs couches de conductibilité et de constante diélectrique différentes. Les figures 164-167 correspondent à de la roche sèche ou à un sol sec avec une couche supé-

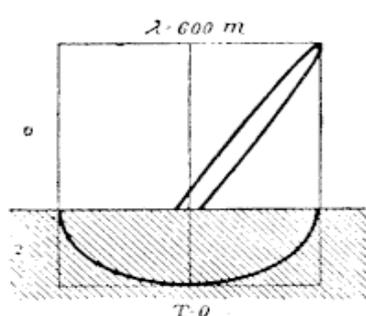


FIG. 164.

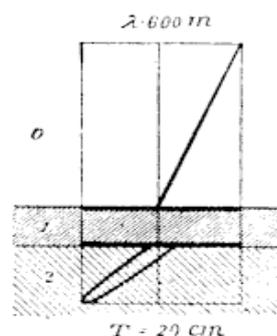


FIG. 165.

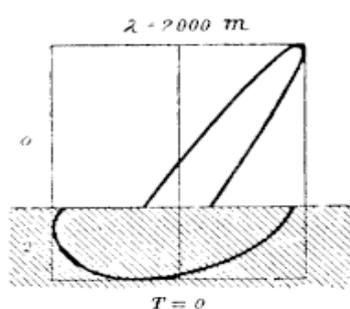


FIG. 166.

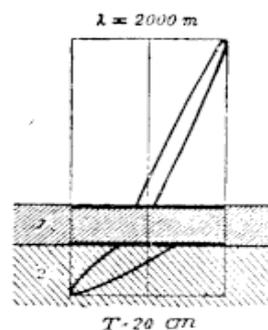


FIG. 167.

FIG. 164 à 167. — Diagrammes vectoriels des ondes pour le sol sec, et pour le sol avec une couche humide supérieure de 20 centimètres d'épaisseur.

L'avantage dans le cas de petites ondes est évident. λ est la longueur d'onde. Les constantes sont

Pour l'air.....	$K = 1$	$\epsilon = 1$
Pour le sol humide.....	$K = 15$	$\epsilon = 10^{-13}$
Pour le sol sec.....	$K = 2$	$\epsilon = 10^{-16}$

rieure humide de T centimètres d'épaisseur, et les figures 168-177 à un sol sec avec un sous-sol d'eau à la profondeur de T mètres.

Le Dr Zenneck a également donné une série de courbes représentant la perte d'amplitude dans la transmission radiale d'une station sur un plan, en tenant compte à la fois de la dissipation et de la dispersion, mais les formules ne tenant pas compte de la courbure de la terre

(1) *Ann. d. Physik*, xxvii, p. 43 (1908).

(p. 280) ni des variations extraordinaires dans la transmission des ondes de différentes longueurs de jour et de nuit, et de jour à jour, causées par les

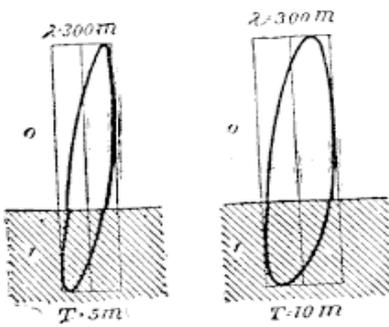


FIG. 168.

FIG. 169.

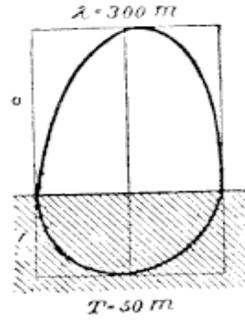


FIG. 170.

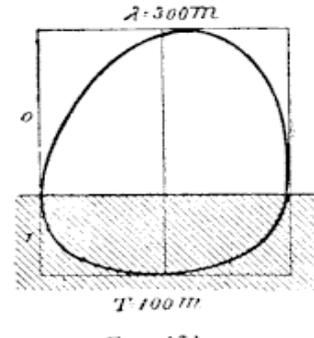
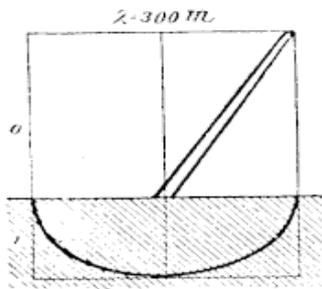


FIG. 171.



Sans eau.
FIG. 172.

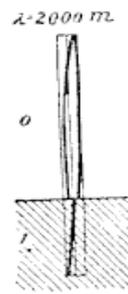


FIG. 173.

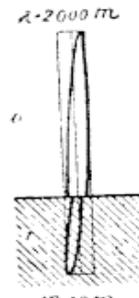


FIG. 174.

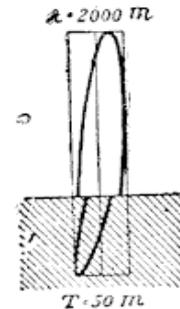


FIG. 175.

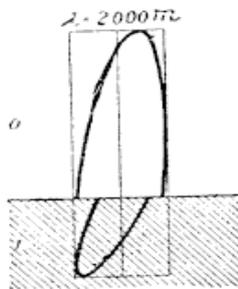
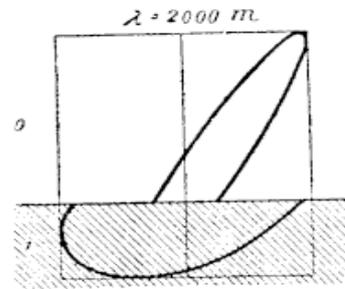


FIG. 176.



Sans eau.
FIG. 177.

FIG. 168 à 177. — Diagrammes des vecteurs des ondes pour la propagation le long d'un sol sec avec niveau d'eau à une profondeur de T mètres.

La transmission avec de grandes ondes est favorisée par la présence d'un niveau d'eau, bien que celui-ci puisse affecter défavorablement les ondes courtes si sa profondeur est comparable à la longueur d'onde.

conditions de l'atmosphère supérieure, les résultats ne donnent pas une approximation suffisante des faits réels pour pouvoir être d'une certaine valeur pour l'ingénieur dans l'établissement de stations à grande portée.

Recherches récentes sur la transmission. — Puisque la résistance des couches de la surface de la terre a une si grande influence sur l'énergie transmise, il est clair qu'on a affaire non à des radiations libres, mais à des ondes électriques se propageant le long d'un conducteur, comme en téléphonie avec fil. Il est réellement remarquable que certaines personnes du monde académique paraissent toujours avoir l'idée fautive que la radiotélégraphie pratique s'effectue par l'intermédiaire de véritables ondes hertziennes, apparemment pour la raison que dans le cas limite de transmission sur une surface plane parfaitement conductrice, les équations s'appliquent. Ce cas, en réalité, ne se rapproche que de la transmission d'ondes de grande longueur à la surface de la mer, et sa théorie n'a qu'une importance indirecte pour la transmission au-dessus de la terre ou de l'eau douce.

Les dernières contributions à ce sujet sont deux études mathématiques de Sommerfeld, qui sont excellentes pour ce qu'elles traitent, mais ne touchent pas les variations extraordinaires dans la force des signaux qui se produisent de temps en temps. Ces variations dans le temps constituent un facteur des plus importants, mais des plus incertains, dans la détermination de la puissance à donner à une paire de stations correspondantes.

Sommerfeld commence par donner une définition de ce qu'il appelle « la distance numérique ». Ce n'est pas une distance réelle, mais un nombre, caractérisant les conditions du milieu intéressé dans la transmission, de sorte que si des quantités de puissance égales sont transmises entre des paires de stations égales, leurs « distances numériques » sont égales. La puissance transmise d'une station à une autre est donc l'inverse de la distance numérique entre elles.

Pour des raisons mathématiques, Sommerfeld distingue entre les ondes dans l'espace et les ondes de surface, bien qu'il fasse remarquer que physiquement elles sont simplement des aspects du même phénomène. Sauf dans le cas d'une surface très conductrice, comme l'eau de mer, les ondes d'espace disparaissent à de très courtes distances, ne laissant que les ondes de surface.

Le facteur mathématique représentant les ondes de l'espace montre une variation d'énergie inversement proportionnelle au carré de la distance; pour les ondes de surface, la variation est simplement en raison inverse de la distance. Dans son premier mémoire, en tenant compte seulement de la différence de phase, il trouve que les ondes dans l'espace seraient pratiquement négligeables vis-à-vis des ondes de surface à toutes les distances qui sont usuelles entre les stations, même sur mer. Dans le second mémoire, il prend l'amplitude comme critérium et trouve que, sauf dans le cas de longueurs d'onde d'au moins 2.000 mètres sur

mer, les ondes d'espace sont pratiquement négligeables aux distances ordinaires séparant les stations. Sur eau douce, par exemple, les ondes de surface deviennent une partie considérable de l'ébranlement total déjà à la distance de 4 kilomètres pour des longueurs d'onde inférieures à 2.000 mètres. Les ondes de surface doivent donc être le type prévalant dans la transmission ordinaire. Sur terre, le changement d'ondes d'espace aux ondes de surface a lieu à des distances proportionnellement plus faibles de la station d'émission.

La « distance numérique » de Sommerfeld est calculée d'après les données suivantes : 1° distance réelle ; 2° constantes diélectriques et conductibilités de la terre et de l'air. Il n'est pas tenu compte de la couche supérieure conductrice de l'atmosphère, d'où l'imperfection sérieuse des résultats pour les besoins pratiques.

A l'instigation de Sommerfeld, Epstein a calculé les formes réelles d'ondes, à une distance de 30 longueurs d'onde du transmetteur, pour des ondes de 200 mètres de long circulant sur une surface ayant la conductibilité de l'eau douce. Les points les plus importants montrés par ces diagrammes sont que les lignes de force électrique coupent le sol à des angles variant quand l'onde traverse certains points donnés, et qu'il y a des boucles fermées, ou noyaux, qui, pour le cas de conducteurs imparfaits, sont complètement au-dessus de la surface de la terre.

Quand la nature et la fonction de l'atmosphère supérieure seront mieux comprises, ce sera comparativement un simple travail d'étendre les calculs de Zenneck et de Sommerfeld de façon à tenir compte de toutes les conditions de la transmission ; on obtiendra ainsi une image mathématique claire de ce qui se passe réellement dans le passage d'un train d'ondes d'une station à une autre. J'ai essayé de donner une explication raisonnable des phénomènes dans la partie de ce chapitre, intitulée *Théorie des portées de jour et de nuit*.

Mesures d'Austin sur les transmissions à longue distance sur mer. — En 1910, le Dr L. Austin, du département de la télégraphie sans fil de la marine des États-Unis à Washington, a effectué une série très intéressante d'expériences sur la transmission entre une station côtière et des navires situés à différentes distances allant jusqu'à 1.000 milles marins. La station côtière correspondante était celle de Brant Rock (Massachusetts) dont l'antenne est supportée par un pylône de fer de 125 mètres de hauteur, et dont la puissance (consommée) est de 50 à 60 kilowatts. Les stations de bord étaient situées sur les croiseurs *Birmingham* et *Salem*, et sur divers torpilleurs.

Les courants dans l'antenne d'émission et dans celle de réception étaient simultanément mesurés à chaque expérience. Le courant à l'émis-

sion était mesuré par un ampèremètre à fil chaud, et à la réception pour la station côtière avec un couple thermique ou un perikon connecté à un galvanomètre sensible, et pour les stations de bord à l'aide d'une résistance shuntant le téléphone (voir p. 209).

A la suite d'un grand nombre d'observations avec divers courants à l'émission, différentes distances et diverses longueurs d'onde, Austin arrive à la conclusion que pendant le jour la relation entre le courant d'émission et le courant de réception peut se représenter très approximativement par la formule

$$I_n = 4,25 I_s \frac{h_1 h_2}{\lambda d} \varepsilon^{-\frac{ad}{\lambda}},$$

dans laquelle I_n et I_s sont en ampères les courants dans l'antenne de réception et dans celle d'émission, le courant I_n traversant une résistance totale de 25 ohms ; h_1 , h_2 sont les hauteurs d'antenne ; λ la longueur d'onde ; d , la distance, et a , la dissipation constante qui dans ces expériences est à peu près de 0,0015. Les longueurs d'onde, distances, hauteurs sont en kilomètres.

Avec une résistance totale de 25 ohms dans le circuit récepteur, 40 microampères donnent de bons signaux, et 10 microampères des signaux encore lisibles ; la première valeur peut être admise comme limite pour un bon fonctionnement.

Il faut remarquer que les conditions suivantes limitent la portée des résultats du D^r Austin : 1° la transmission se faisait presque entièrement sur mer, et les mesures étaient faites pour des distances ne dépassant pas 1.000 milles ; 2° les courants étaient amortis et intermittents, comme c'est le cas pour les stations à étincelle ; les antennes de bord étaient du type habituel, en T, tandis qu'à Brant Rock l'antenne était en parapluie ; 4° les courants d'émission variaient de 7 à 30 ampères, les longueurs d'onde de 300 à 3.750 mètres, et les distances ne dépassaient pas 1.000 milles.

Dans des expériences analogues effectuées en 1912 entre la station d'Arlington (Virginie) et différentes stations côtières ou de bord, Austin a trouvé que jusqu'à 530 milles il n'y avait pas de différence entre la transmission avec l'arc ou par l'étincelle. A de plus grandes distances, l'arc donnait des signaux plus forts. Avec un courant de 50 ampères dans l'antenne produit par un arc, on recevait mieux les signaux à des distances supérieures à 1.400 milles qu'avec un courant de 110 ampères produit par l'étincelle, c'est-à-dire une puissance apparente quatre fois plus grande. Il semble donc que la supériorité des ondes uniformes pour les transmissions à longues distances soit un fait acquis.

Un grand nombre d'observations intéressantes sur les portées anor-

males de jour et de nuit ont été également faites. et j'y ferai allusion plus loin.

Théorie de la mesure simultanée des courants d'émission et de réception. — Dans le *Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie* (vol. V, n° 3, 1912), Barkhausen discute la théorie de la mesure simultanée des courants d'émission et de réception qui forme la base de la méthode d'Austin. En supposant que la transmission se fasse totalement au-dessus de la mer, et que toute l'atmosphère soit non conductrice, le champ électrique à la surface de la terre à la distance r du transmetteur est :

$$E = 120\pi \frac{h' J_1}{\lambda r}. \quad (1)$$

Si J_1 est le courant au centre de l'antenne en ampères, h' la hauteur effective de l'antenne, λ la longueur d'onde et r la distance en mètres, E est en volts par mètre.

La hauteur effective de l'antenne est donnée par l'équation :

$$h' = \frac{1}{J_1} \int i_1 dh_1, \quad (2)$$

puisque l'action du courant d'antenne à distance est déterminée en prenant la somme de tous les produits de la longueur d'un élément de longueur de l'antenne par le courant dans cet élément. Si l'antenne a une grande portée plane au sommet, le courant i est pratiquement égal sur toute la hauteur. Donc, pour un tel type, $h' = h$. Dans le cas contraire, l'équation fournit la hauteur d'une antenne, avec partie plane équivalente à l'antenne réelle. Pour une antenne en parapluie, h' est environ égal à la hauteur du bord le plus bas de l'antenne avec un tiers de la hauteur de l'antenne en plus. Dans le cas d'une antenne linéaire oscillant suivant sa période propre, $h' = \frac{2h}{\pi}$; si elle oscille suivant une plus grande longueur d'onde c'est-à-dire si on ajoute de la self, $h' = \frac{h}{2}$. La puissance dans l'antenne de réception fournie par le voltage Eh_2 est $E \cos \varphi \int i_2 dh_2$, si φ est la différence de phase entre i_2 et E . Mais $\int i_2 dh_2 = J_2 h_2'$, donc la puissance peut se représenter par $Eh_2' J_2 \cos \varphi$. Dans le cas de résonance, $\varphi = 0$, $\cos \varphi = 1$; si donc la résistance est R_2 , nous avons $J_2 = \frac{Eh_2'}{R_2}$. En substituant la valeur de E donnée par l'équation (1), nous obtenons pour la relation entre le courant dans l'antenne

d'émission et celui dans l'antenne de réception :

$$J_2 = \frac{377}{R_2} \frac{h_1' h_2'}{\lambda r} J_1, \quad (3)$$

en supposant que le courant oscillant est uniforme, et en ne tenant pas compte de la dissipation. L'équation (3) est de la même forme que celle déduite par Austin de ses expériences, sauf que, pour tenir compte de la dissipation d'énergie en route, il ajoute le facteur $\varepsilon^{-\frac{ar}{V\lambda}}$. L'équation, pour des oscillations uniformes, est donc

$$J_2 = \frac{377}{R_2} \frac{h_1' h_2'}{\lambda r} \varepsilon^{-\frac{ar}{V\lambda}} J_1, \quad (4)$$

Barkausen montre ensuite que si les courants sont amortis, comme dans les stations à étincelles,

$$J_2 = \frac{377}{R_2 \sqrt{1 + \frac{\delta_1}{\delta_2}}} \frac{h_1' h_2'}{\lambda r} J_1 \varepsilon^{-\frac{ar}{V\lambda}},$$

où δ_1 , δ_2 sont des décrets logarithmiques. Quand on compare cette formule avec les mesures réelles d'Austin, on trouve que dans celle-ci le maximum théorique était pratiquement atteint en tenant compte, naturellement, des conditions de l'expérience.

Cette étude théorique confirme donc exactement les résultats des recherches d'Austin sur la transmission des ondes amorties au-dessus de la mer.

Observations de Marconi sur la transmission vers l'ouest du jour à la nuit. — M. Marconi a trouvé dans les transmissions au-dessus de l'Atlantique que les signaux étaient meilleurs quand, pour les deux stations la transmission se faisait soit de jour, soit de nuit. Si le soleil était levé à une station, mais non à l'autre, ou couché à la station occidentale, mais non à l'orientale, les signaux étaient généralement beaucoup plus faibles que d'ordinaire. Il a également observé que la longueur d'onde la plus favorable pour la transmission n'est pas constante, mais varie de temps à autre.

Il semble que le premier de ces phénomènes doit se rapporter à l'épaisseur variable de la couche diélectrique inférieure de l'atmosphère, qui est plus petite où le soleil luit, et plus grande où est la nuit. Les ondes, engendrées à une station de jour où la hauteur du diélectrique est faible, en allant vers l'ouest, passent dans une couche diélectrique plus pro-

fonde, c'est-à-dire où la couche conductrice supérieure est plus éloignée de la terre. Dans le sens inverse, les ondes passent d'un diélectrique plus profond à un moins profond. Dans la région de transition d'une couche à l'autre, la courbure de la couche supérieure conductrice, c'est-à-dire de la surface supérieure du diélectrique, doit être plus grande que quand les conditions sont uniformes sur toute la distance. Cela peut occasionner une plus grande perte d'énergie sur le parcours. On pourrait accepter cette tentative d'explication si la deuxième observation ne semblait pas indiquer qu'un phénomène de résonance, contrarié par la variation de l'épaisseur de la couche diélectrique, se produisait.

Effets des Alpes sur la radiation. — Nous reproduisons un extrait d'un travail de P. Schwartzhaupt dans *VE. T. Z.* (aussi dans *l'Electrician* 26 août 1910) sur les distances anormales dans la transmission. Ces résultats sont à comparer avec ceux donnés plus haut et ci-après :

« Une série intéressante d'observations furent faites sur le navire *Bremen* pendant un voyage sur la mer Méditerranée, alors qu'on recevait de la station de Norddeich au-dessus des Alpes.

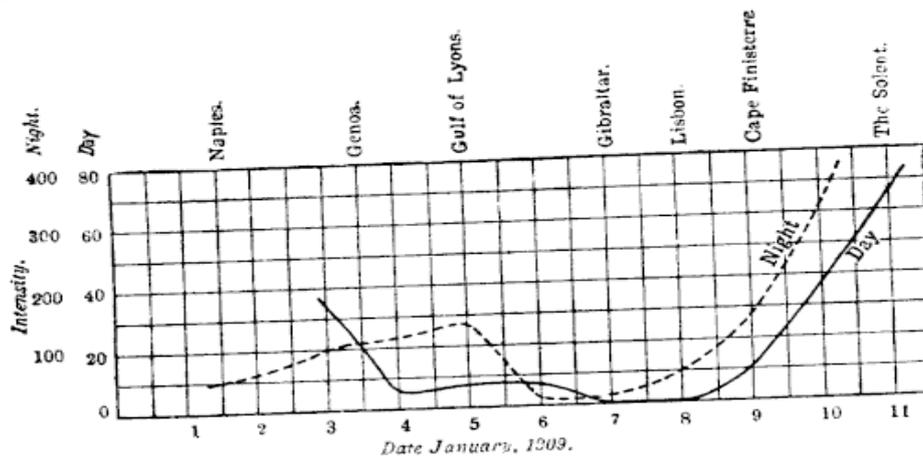


FIG. 178. — Courbe d'intensité.

« En quittant Naples, environ à 540 kilomètres au sud de Gênes, les télégrammes étaient reçus pendant la nuit avec une intensité dont nous prendrons la valeur pour unité; le jour suivant, à 260 kilomètres au sud de Gênes, l'intensité était tombée à 0,65, et s'élevait, la nuit, dans le port de Gênes, à 2,4, pour tomber le jour suivant, au même endroit, à 0,083. Ainsi, bien que l'intensité de jour décroissait à mesure que le bateau s'approchait des Alpes, on n'observait aucun effet semblable la nuit,

« La variation d'intensité pendant le voyage est indiquée par les courbes (fig. 178). Les ordonnées représentant l'intensité sont les rapports de la résistance du téléphone à celle d'un shunt placé à ses bornes;

ce dernier était réglé chaque fois de façon que les signaux soient juste perceptibles. La grande dépression des courbes correspond au passage des Alpes espagnoles, et montre l'effet absorbant des montagnes ou des forêts. On doit remarquer que l'intensité de nuit était toujours suffisante pour permettre la lecture des télégrammes. A l'endroit des courbes correspondant au Golfe de Lion, il y a un maximum distinct. Il fut alors possible de communiquer avec Scheveningen, à 1.200 kilomètres, et il est remarquable que cette direction favorable suit la vallée du Rhône. On peut aussi noter que la station de Ushant entendit ces signaux du *Bremen*, la direction étant alors celle de la Garonne. »

Observations ultérieures de M. Marconi. — Dans une conférence récente à la Royal Institution, M. Marconi donne quelques détails intéressants d'observations, se rapportant à une année, faite à Clifden sur la force des signaux transmis par Glace Bay. La courbe moyenne montre un minimum vers une heure et demie après le coucher du soleil à Clifden, Glace Bay étant toujours de jour. Il y a un maximum très marqué au moment du coucher du soleil à Glace Bay, c'est-à-dire quatre heures après le coucher du soleil à Clifden. Les signaux décroissent alors en force et deviennent très irréguliers, étant parfois très forts pendant la nuit et descendant parfois au-dessous de la moyenne. Après le lever du soleil à Clifden, il y a encore un maximum marqué, plus grand comme toutes les autres variations pour une longueur d'onde de 5.000 mètres que pour celle de 7.000. Dans l'intervalle d'une heure et demie, il y a un minimum, après lequel les signaux reviennent à leur moyenne immédiatement avant le lever du soleil à Glace Bay.

Il est aussi indiqué que les orages ont un effet marqué, et que la lumière de la lune peut avoir une influence. Marconi remarque que, bien que de jour la distance de communication paraisse la même dans chaque direction, pendant la nuit des distances exceptionnellement grandes sont parfois observées vers le sud, mais pas vers l'ouest, par des navires voisins des côtes méridionales des îles anglaises. Ainsi, par exemple, des stations à faible puissance des côtes sud communiquent de nuit avec des bateaux de la Méditerranée, bien que la portée de jour ne soit que de 150 milles. Il n'y a pas de tels accroissements dans les transmissions vers l'ouest.

On a trouvé la même chose pour des transmissions à très longues distances. Ainsi, tandis que les signaux entre Clifden et Glace Bay sont en moyenne aussi forts de jour que de nuit, les signaux de Clifden n'ont été obtenus à Buenos-Aires que de nuit.

Observations d'Edwards sur les portées de jour et de nuit. — Dans le rapport du département du service naval du Canada pour 1911,

M. C. P. Edwards, l'inspecteur général, fait les observations intéressantes suivantes.

Les phénomènes particuliers influant sur la portée des stations de T. S. F. sur la côte ouest ont été très marqués l'année précédente. On a observé qu'entre le coucher et le lever du soleil pendant les mois d'hiver et de printemps, la portée des stations pour la transmission et la réception était augmentée de 300 à 500 0/0. Le phénomène est quelque peu instable. Certaines nuits, il est continu, et une communication constante peut être maintenue avec une autre station; mais, d'autres nuits, il est intermittent, et la communication peut être excellente pendant une heure, les signaux s'évanouissant ensuite pour reparaitre bientôt après. Ce fait peut se reproduire plusieurs fois pendant la transmission d'un message.

La plus grande distance à laquelle une communication ait été établie dans ces conditions a été réalisée entre l'île du Triangle et Honolulu, faisant environ 2.500 milles. La portée de jour de la station de l'île du Triangle est de 400 milles.

Une autre singularité se rattachant à ce qu'on vient de dire est que, tandis que la station de Victoria est en communication presque chaque nuit avec Ikeda Head à 400 milles au nord, dont 250 au-dessus d'un pays élevé, et avec des stations de la côte ouest des Etats-Unis jusqu'à San Diégo à 1.000 milles au sud de Victoria, en totalité au-dessus d'une contrée élevée, comprenant Cascade Range et la Sierra Nevada s'élevant jusqu'à 4.500 mètres, aucune amélioration n'a jamais été remarquée dans les communications entre Pachena Point et Victoria, à une distance de 75 milles.

On n'a encore découvert aucune explication plausible de ce fait. Des observations systématiques sont faites du phénomène, et, quand on aura plus de données, il sera sans doute possible d'en trouver une explication satisfaisante.

M. Edwards m'a également dit qu'avec les stations plus faibles primitivement installées, la communication était presque impossible de jour comme de nuit entre Victoria et Pachena, bien que Victoria pouvait communiquer avec Ikeda Head chaque nuit. L'énergie atteignait donc Ikeda Head en passant très haut au-dessus de Pachena sans la toucher en route.

Théorie des portées de jour et de nuit. — En 1908, j'ai fait les suppositions contenues dans le paragraphe intitulé *Observations de Marconi* pour expliquer les grandes variations de portée des stations si fréquemment observées la nuit, ainsi qu'au lever et au coucher du soleil. Je donnerai maintenant un bref exposé de ce qui paraît constituer la théorie de ces variations, comme on peut la déduire des faits rapportés

par Marconi, Schwartzhaupt, Edwards et autres, ainsi que de ce qu'on connaît des propriétés de l'atmosphère.

Les faits établis en ce qui concerne la différence entre le jour et la nuit peuvent se résumer ainsi :

I. Pour des stations employant des ondes moindres que 1.000 mètres de longueur, la portée a été fréquemment accrue pendant la nuit de 300 jusqu'à 800 0 0 dans les différentes localités et dans les différentes directions suivantes : *a*) mer de la Manche et mer du Nord à la Méditerranée, au-dessus de la mer et de la terre, avec les Alpes, N.-S. N.O.-S.E. (Marconi, Taylor, Schwartzhaupt, etc.) ; d'Allemagne à la côte ouest d'Afrique, presque entièrement au-dessus de la terre, N.E.-S.O. (Compagnie Telefunken) ; *b*) côte du Pacifique de la Colombie anglaise et des Etats-Unis, de Victoria et autres stations au-dessus de Cascade Ranje et de la Sierra Nevada (4.500 mètres de haut), N.-S. (Edwards) ; entre Norfolk (Virginie) et San Francisco, 2.000 milles au-dessus de la terre, E.-O. (Austin).

II. Autres observations s'appliquant principalement aux stations de faible puissance à petites longueurs d'onde : *c*) signaux à grande longueur d'onde reçus à Buenos-Aires de nuit, mais non de jour, de Clifden et Glace Bay, bien qu'il n'y ait pas de différence de jour et de nuit avec la même longueur d'onde entre Clifden et Glace Bay (Marconi) ; *d*) la transmission entre Victoria et Pachena Point à 75 milles au-dessus de la terre est aussi difficile de jour que de nuit ; mais la transmission de Victoria à Ikeda Head, à 400 milles au delà, dont 250 milles au-dessus de la terre, est pratiquement possible chaque nuit. Les ondes doivent passer presque au-dessus de Pachena Point pour atteindre Ikeda Head, mais aucun signal n'est perceptible à cette station (Edwards) ; *e*) la distance de transmission est plus grande au-dessus du centre du Pacifique qu'au-dessus du nord de l'Atlantique (observations de la marine japonaise, de la compagnie Poulsen, etc.) ; *f*) le temps orageux réduit la portée (Jackson, Wildman, Marconi, etc.) ; *g*) de plus grandes portées ont été obtenues dans l'Afrique du Sud-Ouest qu'en Allemagne avec les mêmes appareils (Flaskampf).

Je tirerai les conclusions suivantes de ces faits :

1° De *a* et *b* je conclus que les plus grands accroissements relatifs de portée de nuit ont lieu en règle générale sur terre ;

2° Que les portées plus grandes de nuit n'existent pas seulement dans les directions du nord au sud, mais existent dans d'autres directions : d'Allemagne à l'Afrique occidentale, N.E.-S.O. ; de Norfolk (Virginie) à San Francisco, E.-O. ; d'Irlande à la Méditerranée, N.O.-S.E. ;

3° Je supposerai donc que les longues portées de nuit dépendent de la latitude moyenne, et non de la direction ;

4° De a et b , ainsi que des expériences de Clifden à Glace Bay je conclus que les différences de jour et de nuit sont beaucoup plus grandes pour les ondes courtes que pour les longues.

Les conclusions tirées en 1°, 2°, 3° sont nouvelles; celle exposée en 4° est connue depuis un certain temps, mais je la reproduis, car elle est essentielle à ce qui suit.

Maintenant on connaît, d'après les travaux de Brylinski, Zenneck, Hack, Sommerfeld et moi-même que la distance de transmission au-dessus de la terre dépend essentiellement de la résistance et des constantes diélectriques de la surface traversée, toutes les autres choses restant égales. Mais ces constantes ne varient pas de façon appréciable du jour à la nuit. Par exemple :

5° Les variations énormes de portée au-dessus de la terre notées en a et b doivent être dues à des conditions atmosphériques ;

6° D'après e , f et g , en considérant les conditions atmosphériques prépondérantes montrées dans l'*Atlas de Météorologie* de Bartholemew, je conclus que les plus grandes portées de jour et de nuit se produisent par ciel pur et temps uniformément beau, c'est-à-dire avec des conditions atmosphériques fixes et uniformes. Le trajet entre la côte ouest d'Amérique et Honolulu, par exemple, est moins nuageux qu'aucune autre partie du globe, et c'est là que la portée réelle maxima pour une station de faible puissance paraît avoir été obtenue.

III. En ce qui concerne les conditions atmosphériques en général, on peut remarquer que Tesserenc de Bort a déjà montré par des observations qu'il existe sur tout le globe une couche tranquille d'atmosphère dont la surface inférieure se trouve à une hauteur de 10 à 16 kilomètres. Il y a, en réalité, dans l'atmosphère supérieure, des conditions plus ou moins uniformes, les orages et autres troubles météorologiques restant confinés aux couches inférieures voisines de la terre.

Les expériences de J. Thomson sur la conductibilité de l'air aux basses pressions montrent qu'à une hauteur d'environ 55 kilomètres l'air a une haute conductibilité, égale, en réalité, à celle d'une solution d'acide sulfurique à 25 0/0. Elles montrent aussi qu'il y a une pression critique pour laquelle la conductibilité apparaît soudainement ;

7° Dans une atmosphère tranquille et non troublée, il y a par suite une surface de séparation comparativement nette entre la couche inférieure non conductrice de l'atmosphère et la couche supérieure de grande conductibilité. Le long de cette surface, les ondes circulent sans perte appréciable d'énergie, exactement comme sur la mer ;

8° Un troisième point à noter est que les rayons ultra-violetts de la lumière solaire accroissent la conductibilité de l'air en l'ionisant. La perte d'énergie dans la propagation des ondes électriques est d'ailleurs

maxima dans un milieu imparfaitement conducteur, de même que dans un condensateur présentant des fuites. Ainsi, en plein jour, quand ces rayons pénètrent jusqu'au voisinage de la terre, les ondes électriques s'élevant peuvent être absorbées complètement avant d'avoir atteint la couche conductrice. Les conditions dans la couche inférieure jusqu'à laquelle ces rayons peuvent pénétrer seront donc les mêmes pendant le jour que si la couche conductrice supérieure n'existait pas, c'est-à-dire que si les ondes étaient radiées librement dans l'espace ;

9° De même au lever et au coucher du soleil, quand les rayons du soleil sont presque tangents à la couche conductrice, sa conductibilité peut être accrue sans que la netteté de la séparation de la surface inférieure soit réduite ;

10° De 8°, nous voyons que la théorie de l'onde sphérique hertzienne, en tenant compte de la résistance du sol, donne le minimum théorique et non le maximum théorique comme on l'a jusqu'ici supposé ;

11° De l'observation d'Edwards (*d*), je conclus que les ondes qui atteignent Ikada Head de Victoria pendant la nuit seulement, sans qu'il apparaisse aucun accroissement d'énergie à la station intermédiaire de Pachena Point, sont des ondes qui auraient été absorbées pendant le jour par la couche ionisée située sous la couche conductrice. La variation ne peut pas être due à une amélioration dans les conditions de l'atmosphère voisine de la terre, sinon les signaux se trouveraient renforcés à Pachena, et ils ne le sont pas.

12° Barkhausen a montré que l'équation d'Austin, déduite de ses expériences et donnant la relation entre le courant d'émission et le courant de réception, représente réellement avec beaucoup d'exactitude le maximum théorique dans la théorie de la radiation sphérique. Mais l'absorption d'énergie en passant au-dessus de la terre est beaucoup plus grande qu'en passant au-dessus de la mer et les portées de jour sur terre sont comparativement moindres. Elles correspondent en réalité aux portées théoriques déduites par Sommerfeld en supposant que l'atmosphère est pratiquement homogène et de haute résistance. De sorte que la portée sur terre en supposant une atmosphère parfaitement non absorbante peut être calculée avec une formule analogue à celle d'Austin dans laquelle le terme exponentiel est tel qu'il représente la grande dissipation d'énergie due au sol.

13° Beaucoup des portées atteintes sur terre par nuit exigeraient en théorie que l'absorption soit pratiquement nulle. Par exemple, la formule d'Austin appliquée à la transmission entre Norfolk et San-Francisco exigerait cette condition. Mais la grande absorption par le sol existe toujours ; nous sommes donc amenés à la conclusion qu'il y a par nuit un effet compensateur dans l'atmosphère supérieure et que dans

ces régions supérieures il y a quelque chose de meilleur pour la transmission que l'atmosphère parfaitement non conductrice de la théorie de l'onde sphérique ;

14° Apparemment, la seule chose qui soit plus favorable à la transmission que la non-conduction dans les couches supérieures est une couche très conductrice bien délimitée à sa surface inférieure. Nous sommes ainsi conduits, en raisonnant d'après les phénomènes réels observés, à la conclusion qui a été déduite d'expériences de laboratoire tout à fait indépendantes, à savoir qu'il y a une couche très conductrice d'air dont la surface inférieure est nette quand elle n'est pas troublée par les rayons ionisateurs ou autrement, et qui commence à environ 50 kilomètres au-dessus de la surface de la terre ;

15° De nuit, par suite, la transmission d'énergie à des distances telles que celles indiquées en *a* et *b* se produit principalement le long de la surface inférieure de la couche très conductrice de l'atmosphère située à 55 kilomètres à peine au-dessus de la terre ;

16° L'observation curieuse relatée en *d* devient alors très facile à expliquer. Pachena Point est seulement à 120 kilomètres de Victoria. La couche supérieure conductrice est à 55 kilomètres par exemple, au-dessus de ces deux stations. Si donc la radiation de Victoria devait atteindre Pachena par réflexion sur la couche conductrice, elle devrait quitter l'antenne de Victoria sous un angle d'environ 42° , et être réfléchi de la couche conductrice vers Pachena sous le même angle. Mais ces deux conditions sont également défavorables : d'abord la densité de radiation vers cet angle élevé est faible, et ensuite la réflexion sous un angle si grand d'une surface qui ne forme pas un conducteur nettement défini se fait avec beaucoup de perte. Il n'y a donc rien de remarquable que les signaux de Pachena Point ne soient pas plus forts de nuit que de jour.

Les conditions pour Ikeda Head sont très différentes. Ici la distance est de 400 milles, donc la radiation qui atteint la station par réflexion sur la couche supérieure quitte Victoria sous un angle de 10° , et frappe la surface de la couche supérieure et est réfléchi vers Ikeda Head sous le même angle. Les conditions sont donc beaucoup plus favorables à la transmission le long de la couche conductrice. Que la propagation suive réellement les lois simples de la réflexion, ou que ce soit un cas plus compliqué qui doive plutôt se rattacher à un phénomène de conduction ou réfraction, la conclusion reste la même, et ce n'est qu'une question de détail.

Conclusion. — Les distances exceptionnellement longues sont donc dues à la transmission le long de la surface inférieure d'une couche conductrice de l'atmosphère se trouvant à environ 55 kilomètres au-dessus

de la terre, ou à la réflexion sur cette surface. Elles ont lieu quand les conditions atmosphériques sont telles que cette surface inférieure est bien définie et nette. On obtient des distances aussi grandes sur terre et sur mer avec des stations d'égale puissance, et les plus grandes distances ont lieu par beau temps et dans les latitudes où l'atmosphère est le plus calme.

Atmosphériques. — Une des causes les plus fréquentes de gêne dans la télégraphie sans fil est la présence de troubles électriques naturels qui produisent des forts bruits ou des sifflements au téléphone et rendent la lecture des signaux très difficile et parfois impossible. L'origine de ces troubles était restée douteuse jusqu'en 1911, où j'ai eu l'occasion d'écouter les atmosphériques et d'observer en même temps un orage dans les environs. Chaque éclair produisait un atmosphérique ordinaire. Les bruits simples, ou les sifflements, et tous les autres non connus, étaient produits par des éclairs ou par des séries d'éclairs se suivant rapidement; les sons ne différaient en rien, sauf en ce qui concerne la force des atmosphériques qu'on observe, quand il n'y a aucun orage aux alentours. La conclusion est donc que les atmosphériques sont en général les ondes électriques naturelles produites par des éclairs. Leur variation avec les saisons et avec les époques du jour est due en partie aux variations suivant les saisons et les heures de la fréquence des orages, et en partie à la variation journalière dans la transmission des ondes électriques à la surface de la terre. Dans certains districts tropicaux, notamment dans l'Afrique occidentale, des orages se produisent à peu près chaque jour, il y a donc beaucoup de sources d'atmosphériques, même si on ne tient pas compte des orages moins fréquents dans les latitudes tempérées.

On a fait beaucoup de recherches pour établir des méthodes pour éviter les troubles atmosphériques, mais jusqu'à présent sans grand succès. L'atmosphérique paraît être un train d'ondes très amorties excitant l'antenne par choc et la faisant vibrer à sa fréquence propre, et par conséquent très difficile à éliminer. Si les signaux sont forts, il est possible, cependant, de réduire la force des atmosphériques sans réduire beaucoup les signaux en désaccordant légèrement l'antenne. D'autres méthodes, comme le protecteur contre les brouillages de Fessenden, et l'usage de deux valves électriques en parallèle et montées en opposition par la Compagnie Marconi, donnent aussi quelque amélioration.

J. E. Taylor propose l'emploi de petites antennes sans mise à la terre du type Bellini-Tosi dans une étude expérimentale intéressante présentée à l'Institut des Ingénieurs électriciens en 1910, et donne dans ce travail les résultats d'un grand nombre d'expériences.

CHAPITRE XVII

TÉLÉGRAPHIE PAR ONDES TERRESTRES

M. Tesla a fait breveter en 1905 un système de télégraphie sans fil qui utilise toute la terre comme conducteur en y créant des ondes stationnaires. En 1893, il indique la possibilité de le faire ; en 1899, il annonce qu'il a découvert que des ondes semblables sont produites par des orages, et en 1906, il fait savoir qu'il a perfectionné ses appareils au point de pouvoir les produire artificiellement.



FIG. 179. — Système de T. S. F. proposé par Tesla.

On peut, en citant les lignes d'un de nos meilleurs physiciens, le professeur Fitzgerald, indiquer ce qui avait été auparavant établi théoriquement concernant ces ondes. En 1893, le professeur Fitzgerald écrit :

« La période d'oscillation d'une simple sphère de la dimension de la terre, supposée chargée à ses extrémités avec des charges électriques opposées, serait d'environ $\frac{1}{17}$ de seconde ; mais l'hypothèse que la terre constitue un corps conducteur entouré d'un non conducteur ne concorde pas avec les faits. Les régions supérieures de notre atmosphère sont probablement de bons conducteurs... Si nous adoptons pour hauteur de la couche conductrice supérieure le chiffre de 60 milles, ou 100 kilomètres, nous obtenons une période d'oscillation de 0,1 seconde. En la supposant de 6 milles (10 kilomètres), la période devient 0,3 seconde... Le Dr Lodge a déjà cherché des preuves... en supposant une période de $\frac{1}{17}$ de seconde mais avec un résultat négatif. »

Les expériences de Sir O. Lodge avaient été faites à une époque où les

ressources du récepteur radiotélégraphique étaient inconnues. Quelques années plus tard, M. Tesla, ayant construit un récepteur de télégraphie sans fil très sensible et capable d'être accordé à des oscillations de toutes fréquences, construisit une station d'expérience à Colorado Springs, et passa plusieurs mois à observer les troubles électriques produits dans la terre par les orages très violents qui sont fréquents dans cette région.

Grâce à l'amabilité de M. Martin, éditeur de l'*Electrical World and Engineer* (New-York), je puis faire les citations suivantes des seules publications qu'ait faites Tesla à ce sujet. En 1893, Tesla écrit :

« Supposons qu'une source de courant alternatif soit connectée, comme le montre la figure 179, d'un côté à la terre (à une conduite d'eau de préférence) et de l'autre à un corps de large surface P. Quand les oscillations électriques ont lieu, il se produit un mouvement d'électricité de P ou vers P, et des courants alternatifs passent à travers la terre, convergeant vers le point C où se fait la prise de terre ou en divergeant. De sorte que les points voisins à la surface de la terre, dans un certain rayon, se trouvent soumis à l'action. Mais l'action s'affaiblit avec la distance, et la distance à laquelle l'effet reste sensible dépend de la quantité d'électricité mise en mouvement. Le corps P étant isolé, pour déplacer une quantité considérable d'électricité, le potentiel de la source doit être extrêmement grand, la surface de I étant limitée. Les conditions peuvent être rendues telles que la source S produise le même déplacement d'électricité que si son circuit était fermé. Il est donc certainement possible d'imprimer une vibration électrique à la terre, du moins d'une période basse déterminée, avec un générateur approprié. La distance à laquelle une telle vibration peut être rendue perceptible peut seulement se conjecturer,

« J'ai, dans une autre circonstance, étudié comment la terre se comporte vis-à-vis d'ébranlements électriques. Il n'y a pas de doute que, dans une expérience semblable, la densité électrique ne pouvant être que très faible à la surface par rapport aux dimensions de la terre, l'air ne se comporterait pas comme un facteur très gênant, et il n'y aurait qu'une faible perte d'énergie par l'action de l'air, contrairement à ce qui aurait lieu si la densité était grande. Théoriquement il n'y aurait donc pas besoin d'une grande quantité d'énergie pour produire un ébranlement perceptible à grande distance, ou même sur toute la surface du globe. De plus, il est certain qu'à un point quelconque dans un certain rayon de la source S, un dispositif de capacité et self-induction convenablement réglés peut être excité par résonance. Mais il y a plus, car une autre source d'électricité S_1 semblable à S, ou un nombre plus grand de sources semblables, peuvent travailler en synchronisme avec la première, et la vibration peut être ainsi intensifiée et étendue à une grande surface, ou un flux d'électricité peut être produit vers la source S, ou de la source S_1 si celle-ci est en opposition de phase avec S. Je crois qu'il n'y a pas de doute qu'il soit possible d'actionner des appareils

électriques dans la ville par l'intermédiaire du sol ou des canalisations à l'aide d'un oscillateur électrique situé en un point central. Mais la solution pratique de ce problème serait infiniment moins importante que celle de la transmission des signaux, ou même de la puissance, à

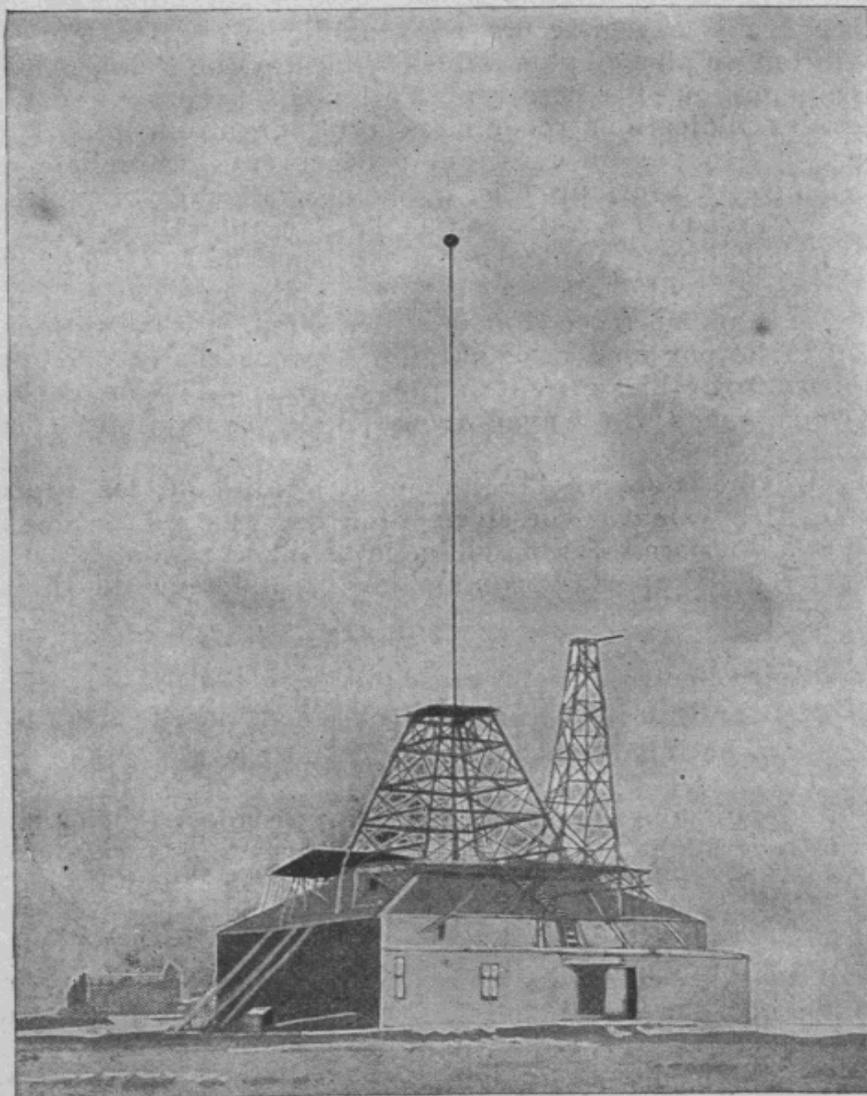


FIG. 180. — Observatoire électrique de Tesla à Colorado Springs.

une distance quelconque par l'intermédiaire de la terre ou du milieu environnant. Si la chose est possible en fait, la distance n'a pas d'importance. Des appareils appropriés doivent d'abord être construits, pour étudier le problème, et j'y ai déjà longuement réfléchi. Je suis fermement convaincu qu'il peut être résolu, et que nous le verrons réalisé. »

En mars 1905, Tesla, décrivant ses expériences de 1899 dans le Colorado, mentionne qu'un soir un orage violent s'était formé dans les montagnes et avait passé vers l'est au-dessus de la station d'observation. Après son passage, dit-il :

« Les appareils enregistreurs convenablement réglés, leurs indications devinrent de plus en plus faibles à mesure que s'éloignait l'orage, jusqu'au moment où elles cessèrent. J'attendais avec anxiété. En effet, peu après, les indications recommencèrent, devinrent plus fortes, et, après avoir passé par un maximum, décrourent graduellement pour cesser de nouveau. Plusieurs fois, à des intervalles réguliers, les mêmes effets se reproduisirent jusqu'à ce que l'orage qui s'éloignait à vitesse constante fût, d'après des calculs simples, à plus de 300 kilomètres. Ces actions ne s'arrêtèrent d'ailleurs pas là, mais elles continuèrent à se manifester avec la même force. Par la suite, d'autres observations furent également faites par mon assistant, M. Lowenstein, et peu après des circonstances favorables mirent de plus en plus en évidence la nature réelle du phénomène. Il n'y avait aucun doute, j'avais à faire à des ondes stationnaires.

« A mesure que la source d'ébranlement s'éloignait, les appareils de réception se trouvaient successivement à des ventres ou des nœuds. Bien que cela pût paraître impossible, cette planète, malgré ses vastes dimensions, se comportait comme un conducteur de dimensions finies ⁽¹⁾. »

L'observatoire électrique est représenté figure 180.

Les résultats pratiques de ces recherches sont décrits dans le brevet anglais n° 8200, de 1905, dont je cite les extraits suivants :

« On sait depuis longtemps que des courants électriques peuvent se propager à travers la terre, et ce fait a été utilisé de beaucoup de façons dans la transmission de signaux et dans un grand nombre de dispositifs de réception éloignés de la source d'énergie, principalement dans le but d'éviter un fil conducteur de retour.

« On sait aussi que des ébranlements électriques peuvent être transmis à travers des portions de la terre, en mettant à la terre seulement un des pôles d'une source, et j'ai employé cette propriété dans des systèmes inventés pour la transmission, par les milieux naturels, de signaux ou d'énergie, et qui sont depuis devenus familiers. Mais toutes les expériences et les observations faites jusqu'à présent tendaient à confirmer l'opinion partagée par la majorité des savants, suivant laquelle la terre, grâce à ses dimensions énormes, et bien que possédant des propriétés conductrices, ne se comportait pas comme un conducteur de dimensions finies en ce qui concerne les ébranlements ; qu'elle ressemblait, au contraire, à un vaste réservoir, ou à un océan qui peut être loca-

(1) *Electrical World and Engineer*, New-York, 5 mars 1904.

lement affecté par un ébranlement quelconque, sans cesser de rester inaffecté ou en repos dans une grande partie ou dans son ensemble.

« Un autre fait bien connu et qui se produit quand des oscillations



FIG. 181. — Station d'émission Tesla de Long Island.

électriques sont imprimées à un conducteur métallique tel qu'un fil, est la réflexion qui se produit dans certaines conditions des extrémités du fil, et l'interférence des ondes imprimées et des ondes réfléchies donnant lieu au phénomène des ondes stationnaires, avec production de nœuds et de ventres en des points définis. Dans tous les cas, l'existence

de ces ondes indique que certaines ont atteint l'extrémité du fil et ont été réfléchies par cette extrémité.

« J'ai découvert que malgré ses grandes dimensions, et contrairement à toutes les observations faites jusqu'à présent, le globe terrestre peut, dans une grande partie ou dans sa totalité, se comporter, en ce qui concerne les ébranlements qui lui sont imprimés, de la même manière qu'un conducteur de dimensions finies, ces faits étant prouvés par des phénomènes que je vais décrire.

« Dans le cours de recherches que j'effectuais pour étudier les effets des éclairs sur les conditions électriques de la terre, j'ai observé que des instruments sensibles de réception, disposés de manière à être actionnés par les ébranlements électriques causés par ces décharges, cessaient d'être actionnés alors qu'ils auraient dû l'être. En recherchant les causes de ces arrêts inattendus, j'ai découvert qu'ils étaient dus au caractère des ondes électriques produites sur la terre par les éclairs, et qui présentaient des nœuds se suivant à des distances définies de la source des oscillations, alors que celle-ci s'éloignait. Les chiffres obtenus dans un grand nombre d'observations des maxima et des minima de ces ondes m'ont donné pour longueurs d'onde des valeurs variant de 25 à 70 kilomètres, et ces résultats et certaines déductions théoriques m'ont amené à la conclusion que des ondes de cette espèce peuvent se propager sur le globe dans toutes les directions, et qu'elles peuvent avoir encore des longueurs beaucoup plus différentes, les limites extrêmes étant fixées par les dimensions et les propriétés physiques de la terre.

« En voyant dans l'existence de ces ondes une preuve évidente que les ébranlements créés avaient été propagés jusqu'aux plus lointaines régions du globe et de là réfléchies, j'ai conçu l'idée de produire de telles ondes sur la terre par des moyens artificiels, et de les utiliser dans les buts pratiques pour lesquels elles sont ou seraient trouvées applicables.

« Le problème était rendu extrêmement difficile à cause des dimensions énormes de la terre et par suite du grand déplacement d'électricité ou de la grande rapidité avec laquelle l'énergie électrique devait être fournie pour arriver à reproduire, même à un moindre degré, les déplacements ou les vitesses mises en jeu dans les actions des forces électriques naturelles et qui paraissaient à première vue impossibles à réaliser par les moyens dont on dispose. Mais, par des améliorations graduelles et continues apportées au générateur d'oscillations électriques, que j'ai décrit dans les spécifications de mes brevets américains nos 645576 et 649621 et dans les spécifications du brevet anglais n° 24421 de 1897, j'ai finalement réussi à reproduire des déplacements d'électricité ou des vitesses de production d'énergie électrique non seulement de l'ordre des décharges naturelles, mais, comme l'ont montré des essais comparatifs, d'une puissance supérieure. Avec l'aide de ces appareils, j'ai réussi à reproduire sur la terre des phénomènes identiques ou analogues à ceux provoqués par les décharges atmosphériques.

« Grâce à l'étude des phénomènes que j'ai découverts, et grâce aux moyens à ma disposition pour les produire, j'ai pu non seulement faire beaucoup d'expériences en employant des appareils connus, mais encore apporter une solution à beaucoup de problèmes nécessitant la mise en action de dispositifs éloignés, ce qui, faute de ces études et de ces moyens, avait été jusqu'ici impossible.

« Par exemple, grâce à l'emploi d'un tel générateur d'ondes stationnaires et d'appareils de réception placés et réglés convenablement et situés dans une localité éloignée quelconque, il est possible de transmettre des signaux; on peut contrôler ou actionner toutes sortes d'appareils réalisant des effets importants et utiles, par exemple indiquant où l'on veut l'heure correcte d'un observatoire; on peut déterminer le trajet effectué par un objet se déplaçant comme un navire en mer, et avoir la distance parcourue et la vitesse; on peut aussi produire beaucoup d'autres effets utiles à des distances qui dépendent de l'intensité, de la longueur d'onde, de la direction ou de la rapidité de mouvement, ou des autres caractères ou propriétés des ébranlements de cette nature.

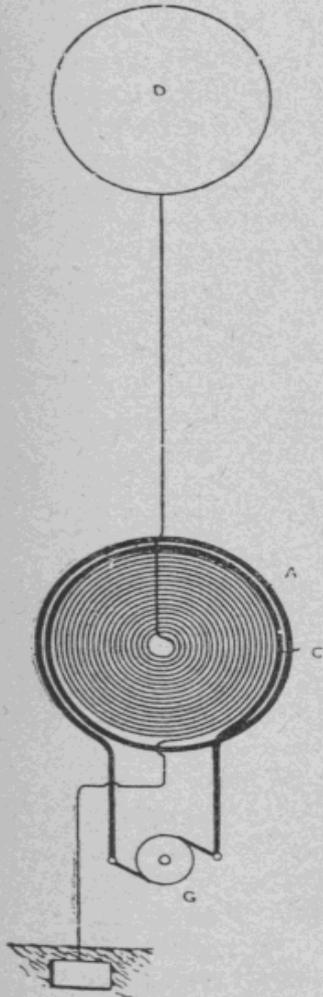


FIG. 182.

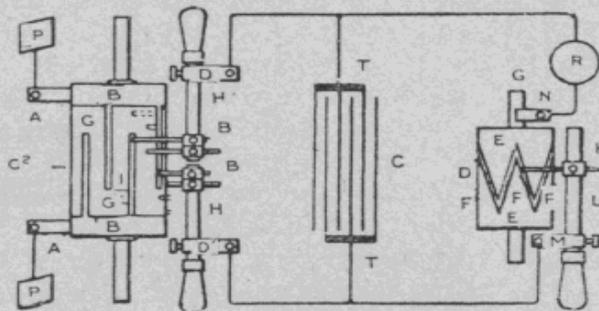


FIG. 183.

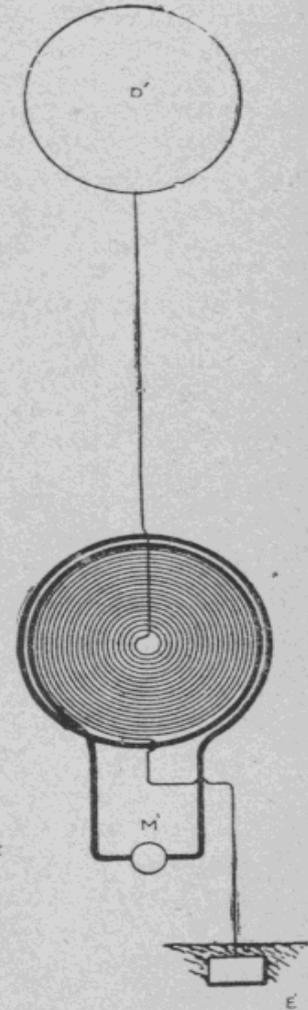


FIG. 184.

« Je vais montrer comme exemple la manière d'appliquer mes découvertes et décrire un des principaux emplois, la transmission de signaux compréhensibles ou de messages entre des points éloignés, et dans ce but je me référerai aux dessins ci-dessus parmi lesquels :

« La figure 182 représente schématiquement le générateur produisant des ondes stationnaires sur la terre ;

« La figure 183, un appareil situé à distance et enregistrant les effets de ces ondes ;

« La figure 184, la disposition habituelle des circuits de mon transformateur de réception.

« Dans la figure 182, A désigne la bobine primaire formant partie d'un transformateur, et qui consiste généralement en quelques tours d'un gros câble de résistance négligeable dont les extrémités sont connectées aux bornes d'une source de puissantes oscillations électriques, représentée schématiquement en A. Cette source est habituellement un condensateur chargé à un haut potentiel et déchargé en oscillations rapides à travers le primaire comme dans un type de transformateur inventé par moi et maintenant bien connu, qui a été décrit dans mes brevets sur ces appareils, notamment dans mon brevet anglais n° 20981 de 1896. Mais, quand il est nécessaire de produire des ondes stationnaires de très grandes longueurs, on peut employer un alternateur de construction convenable pour exciter le primaire A.

« C est une bobine secondaire, enroulée en spirale, à l'intérieur du primaire et ayant son extrémité la plus rapprochée de celui-ci connectée à la terre E et l'autre à une borne élevée D. Les constantes physiques de la bobine C, déterminant sa période de vibration, sont choisies et réglées de telle sorte que le système secondaire ECD est le plus près possible de la résonance avec les oscillations qui lui sont imprimées par le primaire A. Il est de plus de la plus grande importance, pour permettre à la tension électrique et au mouvement d'électricité de s'accroître dans le secondaire, que sa résistance soit aussi faible que possible et sa self-induction aussi grande que possible dans les conditions imposées. La prise de terre doit être faite avec beaucoup de soin, pour réduire la résistance. Au lieu d'être mise à la terre directement, comme la figure l'indique, la bobine C peut être reliée en série ou autrement au primaire A, auquel cas ce dernier serait connecté à la plaque E. Mais, soit que la totalité du primaire, ou une partie, ou pas du tout de ce primaire, soit compris dans la bobine C, la longueur totale du conducteur de la plaque de terre E à la borne D doit être égale à un quart de la longueur d'onde de celle imprimée au système FCD, ou égale à cette longueur multipliée par un nombre impair. Cette relation observée, la borne D coïncidera avec le point de tension maximum dans le secondaire et il s'y produira le plus grand mouvement d'électricité possible. Pour amplifier le plus possible ce mouvement, il faut que le couplage inductif avec le primaire A ne soit pas très serré, comme dans les transformateurs ordinaires, mais soit lâche, de manière à pouvoir vibrer librement. C'est-à-dire que leur induction mutuelle doit être faible. La forme en spirale de la bobine C offre cet avantage, et les spires voisines du primaire A sont néanmoins soumises à une forte action inductrice et produisent une grande force électromotrice.

« Ces relations et ces réglages étant établis avec soin, et d'autres détails de construction indiqués étant rigoureusement observés, le mouvement d'électricité produit dans le système secondaire par l'action inductive du primaire A sera énormément amplifié, l'accroissement étant directement proportionnel à la self et à la fréquence et inverse-

ment à la résistance du système secondaire. J'ai trouvé possible de produire de cette manière des mouvements d'électricité mille fois plus grands que celui du début, c'est-à-dire que celui qui avait été imprimé au secondaire par le primaire, et j'ai pu atteindre des puissances ou des flux d'énergie électrique par seconde dans le système ECD mesurées par des dizaines de milliers de chevaux. De pareils mouvements d'électricité produisent des phénomènes nouveaux et curieux parmi lesquels ceux que j'ai mentionnés déjà. Les oscillations électriques puissantes du système ECD étant communiquées au sol y produisent des vibrations qui se propagent au loin sur le globe, où elles se réfléchissent, et, par interférence avec les ondes allant en sens inverse, elles produisent des ondes stationnaires dont les ventres et les nœuds sont situés sur des cercles parallèles par rapport auxquels la plaque E peut être considérée comme un pôle. En d'autres termes, le conducteur terrestre est mis en résonance avec les oscillations qu'on lui imprime, comme un fil ordinaire. De plus, un certain nombre de faits que j'ai remarqués montrent clairement que le mouvement de l'électricité à travers le globe obéit à certaines lois avec une rigueur presque mathématique. Pour le moment, il est suffisant d'indiquer que la terre se comporte comme un conducteur parfaitement uni et poli, de résistance négligeable, avec sa capacité et sa self-induction distribuées uniformément le long de l'axe de symétrie de la propagation des ondes, et transmettant des oscillations électriques lentes sans distorsion ni affaiblissement sensibles. En plus de ce qui vient d'être indiqué, trois conditions paraissent être essentielles à l'établissement des conditions de résonance :

« 1° Le diamètre du cercle terrestre passant par le pôle (station) doit être un multiple impair du quart de la longueur d'onde, c'est-à-dire du rapport de la vitesse de la lumière à quatre fois la fréquence des courants ;

2° Il est nécessaire d'employer des oscillations pour lesquelles la radiation d'énergie dans l'espace sous forme d'ondes hertziennes est faible dans l'unité de temps. Par exemple, je dirai que la fréquence devrait être plus petite que vingt mille par seconde, bien que des ondes plus courtes soient employables. La plus basse fréquence serait de 6 par seconde, auquel cas il n'y aurait qu'un nœud à la plaque de terre, ou auprès d'elle, et, quelque paradoxal que cela puisse paraître, l'effet croîtrait avec la distance et serait le plus grand dans la région diamétralement opposée au transmetteur. Avec des oscillations encore plus longues, la terre, pour parler strictement, ne résonnerait plus, mais agirait simplement comme capacité, et la variation de potentiel serait plus ou moins uniforme sur toute sa surface entière :

« 3° La condition la plus essentielle est cependant que, quelle que soit sa fréquence, l'onde ou le train d'ondes continue, pendant un certain temps, que j'ai estimé à au moins un douzième — ou probablement 0,08484 — de seconde, et qui est nécessaire au parcours aller et retour à la région diamétralement opposée du pôle, sur la surface de la terre, à la vitesse moyenne d'environ 471.240 kilomètres par seconde.

« La présence des ondes stationnaires peut se déceler de beaucoup de manières. Par exemple un circuit peut être connecté directement ou inductivement au sol et à une borne élevée, et accordé pour être plus sensible aux oscillations.

« Un autre procédé consiste à connecter un circuit accordé au sol en deux points situés plus ou moins dans un méridien passant par le pôle E, ou, d'une façon générale, en deux points quelconques de potentiel différent.

« Dans la figure 183, j'ai représenté un dispositif pour déceler la présence des ondes, le même que j'ai employé dans une méthode nouvelle pour amplifier de faibles effets, et que j'ai décrit dans mes brevets américains n^{os} 685953 et 685955 et dans le brevet anglais n^o 41293 de 1901. Il consiste en un cylindre C_2 en matière isolante tournant à une vitesse uniforme entraîné par un mouvement d'horlogerie ou tout autre moyen, qui est muni de deux anneaux métalliques B et B_1 sur lesquels frottent les balais A et A_1 connectés respectivement aux plaques P et P_1 . Des anneaux B et B_1 partent des segments métalliques étroits C et C_1 qui, quand le cylindre C_2 tourne, sont amenés alternativement en contact avec les balais doubles B et B_1 supportés par les supports conducteurs H et H_1 , avec lesquels ils forment contact. Les supports H, H_1 reposent sur les socles D, D_1 . Ces derniers sont connectés aux bornes T, T_1 d'un condensateur C, et peuvent recevoir un déplacement angulaire, comme les supports ordinaires de balais. Le but, en employant deux balais comme B et B_1 , dans chacun des supports H et H_1 , est de varier à volonté la durée du contact électrique des plateaux P et P_1 avec les bornes T et T_1 , auxquelles est connecté un circuit de réception renfermant un récepteur R et un appareil fermant le circuit récepteur à des intervalles fixes, et déchargeant à travers le récepteur l'énergie emmagasinée par le condensateur. Dans le cas présent, cet appareil consiste en un cylindre D formé partiellement de matière conductrice et partiellement de matière isolante E et E_1 qui est entraîné à la vitesse voulue par des moyens appropriés. La partie conductrice E est connectée électriquement avec l'arbre G et est pourvue de segments en zig-zag F, F, F sur lesquels glisse un balai K supporté par une baguette conductrice L, pouvant se déplacer longitudinalement sur un support métallique M. Un autre balai N porte sur l'arbre G et on voit que, quand un des segments F vient en contact avec le balai K, le circuit renfermant le récepteur K est fermé, et le condensateur déchargé. En réglant la vitesse de rotation du cylindre D, et en déplaçant le balai K le long du cylindre, le circuit peut être ouvert et fermé aussi rapidement qu'on veut, et rester ouvert et fermé pendant des temps aussi longs qu'on le désire.

« Les plaques P et P_1 , par lesquelles l'énergie électrique est amenée aux balais A, A_1 , peuvent être placées à une distance considérable l'une de l'autre dans le sol, ou l'une dans le sol et l'autre dans l'air, de préférence à une certaine hauteur. Si une seule plaque est connectée à la terre et l'autre maintenue à une certaine hauteur, la situation de l'ap-

pareil doit être déterminée en tenant compte de la position des ondes stationnaires produites par le générateur, l'effet produit étant évidemment maximum en un ventre et minimum en un nœud. D'autre part, si les deux plaques sont connectées à la terre, les points de connexion doivent être choisis en tenant compte de la différence de potentiel, l'effet le plus fort étant évidemment produit quand les plaques sont distantes l'une de l'autre d'une demi-longueur d'onde.

« Pour montrer la marche du système, supposons que des impulsions électriques alternatives produites par le générateur forment des ondes stationnaires sur la terre et que les appareils de réception soient convenablement placés en tenant compte de la position des nœuds et des ventres des ondes. On fait varier la vitesse de rotation du cylindre C_2 jusqu'à ce qu'il tourne synchroniquement avec les impulsions du générateur, et la position des balais B, B_1 est réglée par déplacement angulaire de telle sorte qu'ils sont en contact avec les segments C et C_1 , pendant les moments dans lesquels les impulsions sont à leur maximum ou auprès du maximum. Ces conditions remplies, des charges électriques de même signe sont amenées à chacune des bornes du condensateur, et à chaque nouvelle impulsion le potentiel de sa charge augmente. La vitesse de rotation du cylindre D étant réglable à volonté, l'énergie d'un certain nombre d'impulsions séparées peut ainsi être accumulée sous forme potentielle et déchargée à travers le récepteur R quand le balai K vient en contact avec un des segments F . Il faut remarquer que la capacité du condensateur doit être suffisante pour permettre l'emmagasinage d'une quantité d'énergie beaucoup plus grande que celle nécessitée pour la mise en action ordinaire du récepteur. On arrive ainsi à faire agir une quantité relativement grande d'énergie, sous une forme convenable, et le récepteur n'a pas besoin d'être très sensible.

« Mais, quand les impulsions sont très faibles, ou quand il faut actionner très rapidement un récepteur, on peut employer un des dispositifs sensibles connus, pouvant obéir à de faibles influences, avec le montage précédent ou tout autre montage.

« Dans les conditions décrites, il est évident que, pendant la durée des ondes stationnaires, le récepteur sera soumis à l'action de courants plus ou moins intenses suivant sa position par rapport aux nœuds et aux ventres des ondes; mais, en interrompant ou réduisant le flux de courant, les ondes stationnaires disparaissent ou diminuent d'intensité. Une grande variété d'effets peut ainsi être produite dans le récepteur suivant les variations qu'on fait subir aux ondes. Il est pratique de faire varier à volonté la distance des nœuds et des ventres à la station d'émission, en variant les longueurs d'onde tout en tenant compte des conditions ci-dessus. De cette manière les régions de maximum et de minimum d'effet peuvent être amenées à coïncider avec toutes les stations de réception. En imprimant à la terre deux ou plusieurs oscillations de différentes longueurs d'onde, une onde stationnaire se déplace à la surface du globe et on peut obtenir ainsi une foule d'effets utiles.



« On peut évidemment déterminer la position d'un navire sans boussole avec un circuit connecté à la terre en deux points, car l'effet exercé sur le circuit sera maximum quand les plaques P , P_1 seront situées sur un méridien passant par la plaque de terre E et sera nul quand ces plaques seront situées sur un cercle parallèle. Si les régions nodales et ventrales sont maintenues en des points bien déterminés, la vitesse d'un navire muni d'un appareil de réception peut être exactement calculée d'après les observations des régions des maxima et minima successivement traversées. On le comprend facilement si l'on sait que les projections des distances des nœuds et des ventres sur le diamètre de la terre passant par le pôle, ou axe de symétrie du mouvement ondulatoire, sont égales. Dans toute région on peut donc, par les règles de la géométrie, déterminer la longueur d'onde. Inversement, en connaissant la longueur d'onde, on peut déterminer facilement la distance à la source. De la même manière la distance d'un point à un autre, la latitude et la longitude, etc., peuvent être déterminées par l'observation de telles ondes stationnaires. Si plusieurs générateurs analogues d'ondes stationnaires, de préférence de longueurs d'ondes différentes, étaient installés dans les localités judicieusement choisies, tout le globe pourrait être divisé en zones déterminées d'activité électrique, et ces données ou d'autres du même genre pourraient être immédiatement obtenues par de simples calculs d'après des lectures faites sur des appareils convenablement gradués.

« La manière type de produire des ondes stationnaires, ainsi décrite, peut être variée. Par exemple, le circuit qui imprime les puissantes oscillations sur la terre peut être connecté à cette dernière en deux points.

« Pour recevoir l'énergie de ces ondes en un point quelconque de la terre éloigné de la source, dans un but quelconque, on obtiendra les meilleurs résultats par l'emploi de mon transformateur de réception synchronisé. Cette invention, faisant partie de mon système de transmission d'énergie par les milieux naturels, a été complètement décrite dans les brevets déjà cités ; mais, pour que la description en soit mieux comprise, on l'a représenté schématiquement figure 184. Sa partie la plus essentielle est un circuit $E_1C_1D_1$, qui est connecté, disposé et réglé comme le circuit de transmission ECD et qui est couplé inductivement avec un circuit secondaire A_1 . Ce dernier est naturellement composé du nombre de spires qui convient le mieux pour actionner l'appareil représenté en M . Le transformateur de réception est complètement accordé aux oscillations du circuit de transmission, de sorte que, quelle que soit la longueur du conducteur $E_1C_1A_1$, le point de potentiel maximum coïncide avec la borne élevée D_1 , et dans ces conditions l'énergie reçue est maxima.

« Pour achever cette description, on peut indiquer que, lorsqu'on veut actionner indépendamment un grand nombre d'appareils de réception par des ondes stationnaires de différentes longueurs d'onde, on peut avoir recours aux principes que j'ai établis dans mon brevet anglais

14379 (1901) et dans mes brevets américains n^{os} 723188 et 725605 (1903) pour séparer les quantités d'énergies destinées à chaque récepteur séparé.

« Dans ce qui précède, j'ai décrit brièvement ma découverte et n'ai indiqué qu'un petit nombre de ses emplois mais elle est d'une importance énorme dans beaucoup de branches et susceptible d'un grand nombre d'applications utiles.

« Ayant ainsi décrit en détail cette invention et en ayant montré la nature et la manière de la réaliser pratiquement, je revendique les points suivants :

« 1^o Un perfectionnement dans les moyens de transmettre l'énergie à distance consistant à établir des ondes électriques stationnaires sur la terre ;

« 2^o Un procédé suivant la revendication 1^o consistant à produire dans les milieux conducteurs naturels des ondes électriques stationnaires de longueur donnée, et à les faire agir sur un ou plusieurs dispositifs de réception éloignés de la source d'énergie et occupant des positions convenables relativement à la disposition des ondes ;

« 3^o Un perfectionnement dans le moyen de transmettre l'énergie électrique consistant à produire sur la terre des ondes électriques stationnaires de différentes longueurs, et à varier ces longueurs de manière à avoir comme résultante un effet parcourant la surface de la terre à une vitesse donnée, ainsi qu'on l'a montré ;

« 4^o Une méthode pour produire des effets à distance consistant à imprimer sur le globe terrestre des ondes stationnaires, en variant leurs caractéristiques et leurs relations, en occasionnant ainsi des effets correspondants dans des récepteurs situés à distance, comme il a été mentionné ;

« 5^o Un perfectionnement dans le mode de transmission et de distribution de l'énergie électrique consistant à produire sur le globe terrestre des intersections de trains d'ondes stationnaires, en établissant ainsi des régions d'activité électrique définie et à recevoir cette énergie, comme indiqué plus haut ;

« 6^o Une méthode pour produire des effets électriques croissant avec la distance et consistant à imprimer sur la terre des oscillations électriques d'une fréquence d'environ 6 par seconde, de manière à donner naissance à une onde stationnaire comme mentionné ;

« 7^o Une méthode pour produire de grands déplacements électriques sur le globe terrestre, consistant à le mettre en résonance en lui imprimant des ondes électriques de longueurs et de durée définie, comme il a été indiqué ;

« 8^o Dans le système décrit pour la transmission de l'énergie électrique, des appareils générateurs adaptés à la production de conditions de résonance sur le globe terrestre, comme indiqué ;

« 9^o Dans le système décrit pour la transmission de l'énergie électrique, un transformateur adapté à la production de grands déplacements d'électricité à la surface du globe comme indiqué ;

« 10° Dans le système décrit plus haut pour transmettre l'énergie électrique, une source d'oscillations électriques primaires, comme un circuit à condensateur couplé inductivement avec un circuit secondaire et réglé de manière à mettre le globe terrestre en résonance, comme on l'a indiqué. »

Si le chiffre donné par M. Tesla de 6 périodes par seconde pour la vibration électrique fondamentale de la terre est fondé directement sur l'expérience, et non uniquement sur des considérations théoriques, c'est une preuve que la terre est environnée d'une couche conductrice, car dans le cas contraire sa plus basse fréquence de vibration serait de 17 par seconde, comme l'a indiqué le professeur Fitzgerald.

Nous pouvons également évaluer la hauteur à laquelle commence la couche conductrice, car le calcul montre que, puisqu'une hauteur de 60 milles correspond à une fréquence de 10 par seconde, et une hauteur de 6 milles à 3 par seconde, une fréquence de 6 doit correspondre à une hauteur de 35 milles. On arrive au chiffre trouvé en partant d'autres données au chapitre xvi.

Nous aurions ainsi une preuve complètement indépendante de l'existence d'une couche conductrice dans l'atmosphère, et il serait démontré que le diélectrique qui nous occupe dans la télégraphie sans fil est une couche d'air d'environ 25 milles entre deux conducteurs sphériques concentriques.

Le professeur Fessenden a remarqué, en travaillant entre l'Amérique et l'Écosse, qu'il y a en apparence deux impulsions reçues pour chaque étincelle et a supposé que la seconde venait par le plus long chemin autour de la terre. L'intervalle entre elles est d'environ un cinquième de seconde, ce qui donnerait pour hauteur de la couche conductrice supérieure environ 30 milles.

CHAPITRE XVIII

RÉGLAGES, MESURES ÉLECTRIQUES ET RECHERCHE DES DÉFAUTS

Ce chapitre, comme tout ce qui suivra, a pour but de donner des indications utiles et des explications à ceux qui connaissent et emploient les appareils de télégraphie sans fil.

Continuité des conducteurs. — Si le circuit est fermé ou à peu près fermé, on peut facilement prouver sa continuité à l'aide d'une pile et d'un galvanomètre quelconque ou avec une sonnerie électrique ; mais si c'est un circuit ouvert, comme un fil d'antenne, où le conducteur aboutit dans un milieu isolant, on doit employer d'autres méthodes.

L'antenne et les fils de terre sont fréquemment recouverts d'isolants ; il peut donc y avoir une interruption non visible dans le conducteur à cause de l'isolement. Si les extrémités du fil rompu sont à une courte distance, 2 à 3 millimètres, on pourra transmettre sans difficultés, mais il sera impossible de recevoir. Si donc, les appareils d'émission et de réception étant en ordre, on ne peut néanmoins obtenir de réponse d'une autre station, il ne faut pas conclure immédiatement que c'est « sa » faute, car le fait peut provenir de l'antenne.

Un essai simple, dans ce cas, consiste à tenir le trembleur (une sonnerie électrique dont le timbre est enlevé, et qui produit des oscillations) à proximité de l'antenne, et à le déplacer lentement le long de l'antenne en l'éloignant du récepteur auquel l'antenne est connectée. Le récepteur sera excité par le trembleur tant qu'il n'y aura pas d'interruption dans l'antenne. Il est très probable, quand une rupture se produit, qu'elle a lieu à l'endroit où le fil est souvent plié par le vent ou toute autre cause.

Isolement. — La première remarque à faire en télégraphie sans fil est que l'isolant n'isole pas en soi. Cela signifie qu'un morceau de matière isolante dont la résistance au courant continu serait de plusieurs

millions de mégohms peut être parfaitement capable de laisser passer tout le courant d'une antenne. Tout dépend de la forme de l'isolant.

Si l'isolant est formé d'une feuille relativement mince entre deux plaques conductrices, les courants de haute fréquence la traverseront, comme courants diélectriques, avec aussi peu de perte que si c'était un conducteur massif. Ainsi, ce qu'on appelle d'ordinaire un « condensateur » peut être inséré dans tous les circuits destinés au passage uniquement de courants de haute fréquence. Même un condensateur de très faible capacité, comme on peut en faire un en tordant ensemble deux bouts de fils isolés, n'est pas négligeable et peut transmettre une quantité de courant très appréciable. Je mentionnerai deux cas importants. Le premier offre un exemple de grandes dimensions géométriques, et le second de très faibles dimensions géométriques; mais dans les deux cas, les dimensions électriques ne sont pas très différentes. Si une grande surface en matière conductrice, par exemple une toile métallique, ou un cylindre métallique de quelques décimètres de long et de 30 centimètres de diamètre environ, sont suspendus par des isolateurs à 30 ou 60 centimètres du sol, le condensateur ainsi formé peut transmettre de grands courants, de l'ordre de ceux employés pour la transmission, si la fréquence est élevée.

Le second exemple montre ce qui peut se passer dans le circuit de réception d'une station. Si deux fils isolés sont situés, ou sont enroulés côte à côte suivant quelques centimètres de leur longueur, il passe entre eux un courant suffisant pour actionner le récepteur. Ce n'est naturellement pas un courant de perte, mais un déplacement diélectrique. Dans un grand nombre de problèmes de la télégraphie sans fil, on a à en tenir compte, plus spécialement dans la réalisation des transformateurs de réception. Il est facile de montrer qu'une résistance non inductive ordinaire n'a pas besoin de fonctionner comme un conducteur continu, mais peut conduire le courant aussi bien si le fil est rompu que s'il est continu.

L'isolement, en télégraphie sans fil, ne consiste donc pas seulement en résistance ohmique élevée, mais en capacité très faible entre le fil isolé et les conducteurs environnants.

En langage ordinaire, les isolants doivent être très épais, c'est-à-dire que la distance entre les conducteurs séparés par l'isolant doit être grande comparativement à la surface.

Pertes suivant les surfaces. — Il est également important que les chemins d'un conducteur à l'autre suivant la surface de l'isolant soient longs, si on emploie de hauts voltages, sinon des étincelles se produisent le long de la surface et constituent une fuite, même si l'isolant n'est pas

percé. De même on peut remarquer qu'il n'y a pas d'avantage à employer un manchon d'isolant si ce manchon est simplement vissé; une baguette non recouverte, de la même dimension que la pièce centrale, est tout aussi bien isolée. L'étincelle passe à travers la pellicule d'air entre le taraudage et le capuchon, et passe le capuchon sans difficultés. L'ouvrage de M. Martin sur les recherches de Tesla contient beaucoup de renseignements à ce sujet.

D'après ce qu'on a dit, on voit que les essais d'isolement ordinaires sont inutiles; la seule méthode pratique consiste à soumettre l'isolateur aux oscillations dans les conditions les plus désavantageuses qui peuvent se rencontrer en ce qui concerne l'humidité et les poussières qui peuvent se présenter dans le fonctionnement réel.

Il est souvent utile de laver extérieurement les isolateurs avec de l'eau douce pour enlever les incrustations de sel, sable et autres matières capables de diminuer l'isolement

Isolement des transformateurs et des bobines d'induction. — Comme dans le cas des isolateurs extérieurs, la rupture d'une bobine d'induction ou d'un transformateur à haute tension est généralement due à une tension disruptive. Il se perce un trou dans l'isolant, et l'étincelle passe par intermittences, quand le potentiel s'élève suffisamment. En mettant l'une après l'autre à la terre les extrémités du secondaire, on peut souvent déterminer grossièrement la position du défaut, car l'étincelle la plus longue s'obtient quand la partie défectueuse est à la terre. En règle générale, le secondaire doit être démonté et on trouve le défaut en l'examinant. On peut parfois effectuer, s'il est nécessaire, une réparation provisoire avec du papier et de la paraffine. Des fuites de ce genre sont souvent produites par un défaut dans l'isolant; par exemple une bulle d'air ou une paille métallique. Il est donc plus avantageux d'employer comme isolant l'huile dont on a chassé l'air par ébullition et de ne se servir de l'isolant solide que pour maintenir les distances entre les conducteurs. La rupture est souvent due à l'échauffement par hystérésis diélectrique, et celui-ci est beaucoup plus grand dans les solides que dans les liquides. De plus, le diélectrique liquide a l'avantage, s'il est percé par une étincelle, de se refermer de lui-même; il n'y a donc pas d'autre précaution à prendre que de réduire le voltage.

Récepteurs. — L'essai d'un récepteur consiste: 1° à vérifier que toutes les connexions sont bonnes; 2° à le régler sur l'antenne pour la réception réelle des signaux de la station d'émission.

Un grand nombre de détecteurs sont maintenant employés et il est impossible d'entrer dans les détails de réglage de chacun d'eux; rien,

sinon l'usage, ne peut donner une connaissance pratique à ce sujet. Je mentionnerai cependant que ce sont souvent les parties accessoires comme les enregistreurs et les relais, qui donnent le plus d'ennui, les instruments de télégraphie sans fil, même le cohéreur, étant généralement plus uniformes dans leur action. C'est sans aucun doute une des raisons de l'emploi maintenant si général des détecteurs agissant seulement avec un récepteur téléphonique. Dans ces récepteurs, il n'y a que le détecteur lui-même à régler et le réglage est souvent très simple et ne bouge pas souvent.

L'essai de détecteurs à limaille a été étudié au chapitre iv et les méthodes pour déterminer la sensibilité d'autres types de détecteurs ont été données dans le chapitre vii.

Transmetteurs. — Dans la plupart des stations actuelles, le réglage le plus important est l'égalisation des fréquences de l'antenne et du circuit de condensateur, de manière à avoir la résonance. On y arrive souvent en plaçant un appareil de mesure, comme un ampèremètre thermique, entre l'antenne et la terre et en variant la self et la capacité jusqu'à ce qu'on obtienne le courant maximum. L'appareil peut alors être enlevé si on le désire, et remplacé par un conducteur. L'action d'un circuit sur un autre de la même fréquence propre peut cependant produire, non une seule onde, mais deux de fréquences et d'amortissements différents. Le réglage des fréquences implique donc la recherche du plus grand courant dans l'antenne d'émission, et du maximum dans le circuit du détecteur. Il faut rappeler qu'on a en général seulement affaire avec trois circuits conducteurs entièrement distincts : le circuit du condensateur d'émission, le circuit continu ou presque continu formé par les antennes et la terre et le circuit du détecteur. Chacun de ces circuits est interrompu pour les courants continus et intermittents, en un ou plusieurs points (condensateurs), mais chacun d'eux est fermé en ce qui concerne les oscillations, et couplé au voisin électromagnétiquement. Le terme circuit ne peut, naturellement, s'employer en télégraphie sans fil dans son plus large sens que pour un système de conducteurs dans lequel un courant peut passer directement. Un couplage inductif est indirect en ce qui concerne le courant ; il y a une transformation de l'énergie du courant, dans le rapport qu'on veut, dans l'espace à angle droit avec le courant ; tandis qu'avec un condensateur l'énergie passe directement. Nous ne considérons pas par suite qu'un couplage inductif forme un même circuit de deux conducteurs, mais nous considérons qu'un condensateur connecte deux conducteurs.

Un ampèremètre à fil chaud est employé pour déterminer le point de résonance entre les circuits du transmetteur.

Une forme convenable d'appareil est le thermoampèremètre de Duddell, bien approprié à la recherche du maximum à l'émission ; son thermogalvanomètre, beaucoup plus sensible, peut servir à déterminer le point de résonance de l'antenne de réception aux ondes émises. Il y a, naturellement, beaucoup d'autres thermoampèremètres pouvant servir, mais il y a peu d'appareils aussi sensibles aux oscillations que le thermogalvanomètre (chap. VI).

A part l'accord, il n'y a pas grand réglage pour la transmission. On a parfois à faire varier la longueur de l'étincelle, et on doit surveiller les parties mobiles de l'appareil. Si l'on emploie une bobine d'induction, on a également à porter attention au moteur.

Dans le système Lodge-Muirhead, la période propre d'un des circuits est déterminée par un ondemètre, et les autres circuits sont réglés sur la même période. Les autres compagnies emploient un procédé analogue.

Interrupteurs. — L'efficacité d'un interrupteur dépend de la rapidité avec laquelle il rompt le circuit, du maximum d'induction produit dans le noyau et de la régularité de fonctionnement. La rapidité avec laquelle le courant primaire est rompu détermine la rapidité de variation d'induction dans le noyau et par suite le voltage atteint par le courant secondaire. Il est de règle de shunter l'étincelle dans le circuit primaire par un condensateur, en rendant ainsi le courant oscillant, et le faisant passer ainsi par la valeur zéro beaucoup plus tôt.

Lord Rayleigh a montré que le condensateur n'est pas absolument nécessaire à un bon fonctionnement si une extinction suffisamment rapide du courant primaire peut être obtenue autrement. Son moyen, bien que parfaitement suffisant pour une démonstration, n'était cependant pas applicable à la télégraphie sans fil : en fait, il tirait une balle de fusil sur le fil primaire. Une grande coupure se produisait dans le fil et le courant était arrêté dans une fraction très faible de seconde. La vitesse de la balle était probablement d'environ 600 mètres par seconde, vitesse qui ne peut être atteinte par des dispositifs mécaniques ordinaires et qui, par suite, n'est pas applicable pour les bobines d'induction. L'expérience a montré cependant que l'interruption rapide du courant était le facteur essentiel pour la production d'un grand voltage secondaire. Le meilleur interrupteur est donc celui qui produit le changement le plus grand et le plus rapide dans l'induction du noyau, et qui répète cette opération avec la plus grande régularité.

Les réglages ont pour but de tenir compte de ces conditions. Le contact doit durer suffisamment pour permettre au noyau d'atteindre la saturation magnétique, ou à peu près, et la rupture doit être rapide et

régulière. Le radiotélégraphiste ne cherche pas à avoir une pluie d'étincelles longues et minces, semblables à des fils, mais il veut une succession régulière d'étincelles courtes et bien nourries qui doivent craquer fortement et ne pas siffler ou déflagrer.

Capacité. — Les capacités de la télégraphie sans fil sont généralement très faibles, comparées à celles qu'on a jusqu'à présent considérées comme grandes. Elles doivent être, en général, calculées pour la haute fréquence, qui donne des résultats différents des voltages constants, et, comme la tension dans le diélectrique n'est pas constante, mais varie rapidement, l'hystérésis diélectrique de l'isolant n'est pas un facteur négligeable. Cela veut dire que la tension existant dans le diélectrique n'est pas complètement récupérable; une fraction de l'énergie est dissipée et ne se retrouve pas. L'effet est analogue à l'hystérésis magnétique, ou à l'élasticité imparfaite des solides qui, lorsqu'ils sont pliés ou comprimés, ne retournent pas entièrement d'eux-mêmes à leur forme primitive. Dans ces trois cas, l'énergie perdue en apparence est transformée en chaleur. La quantité de chaleur produite à chaque pliage et dépliage, ou à chaque oscillation de potentiel dans le diélectrique, est faible; mais, si les oscillations se suivent au nombre de plusieurs centaines de mille par seconde, la chaleur n'a pas le temps de rayonner et le diélectrique peut devenir assez chaud pour perdre ses propriétés isolantes et être percé par une étincelle. Même des oscillations beaucoup moins rapides, si elles durent un temps suffisant, arrivent à briser une plaque épaisse de verre.

La première fois, autant que je sache, que furent faites des expériences avec un courant de très haut voltage et de puissance considérable, fut à l'occasion de l'exposition électrique du Crystal Palace en 1892. Dans les expériences de MM. Siemens, le courant alternatif d'un alternateur mû par une machine de 25 HP était élevé à 50.000 volts. Des bornes étaient placées au milieu des faces opposées d'une glace épaisse de verre de plus de 30 centimètres carrés. Quand le courant était mis, la plaque était éclairée par un grand nombre d'étincelles en aigrettes courant sur les faces autour des bornes centrales. Peu après, cependant, les aigrettes cessaient et l'on voyait une petite étincelle blanche passant directement à travers la plaque entre les bornes. Après examen, après avoir coupé le courant, on remarqua qu'un trou très fin avait été fondu à travers la glace. Il n'y avait pas de fêlure, mais une légère brûlure de la glace autour du trou qui lui-même ressemblait à celui d'un tube capillaire. Cela montrait que ce n'était pas seulement un effort mécanique qui avait causé la perforation, mais que le verre avait réellement été échauffé par les tensions alternatives contraires jusqu'à la fusion.

Le verre chauffé rapidement perd sa résistance diélectrique; donc, après que la partie centrale de la plaque s'est échauffée, le courant s'y concentre rapidement et accroît l'échauffement jusqu'à ce qu'une perforation se produise.

Il est évident qu'un hystérésis diélectrique semblable occasionnerait une grande perte d'énergie dans une station radiotélégraphique puissante où les appareils de transmission ressemblent beaucoup à ceux de cette expérience, la différence principale étant dans la fréquence des alternances dans les condensateurs, beaucoup plus élevée, naturellement, dans les appareils de télégraphie sans fil. On a trouvé qu'il était avantageux dans beaucoup de cas d'employer un diélectrique comme l'air ou l'huile où l'hystérésis est presque négligeable. L'air, sous une pression de 5 à 6 kilogrammes par centimètre carré, résiste à des tensions beaucoup plus élevées qu'à la pression atmosphérique, et a été ainsi souvent utilisé depuis plusieurs années pour augmenter l'isolement, et par suite la puissance des machines électrostatiques.

Plus récemment, Fessenden l'a employé pour diminuer la distance explosible pour un voltage donné dans des stations radiotélégraphiques, et Fleming et d'autres ont proposé son adoption comme un diélectrique convenable pour les condensateurs. Il paraît possible, là où la dépense d'installation n'est pas de la plus grande importance, d'employer l'air comprimé de préférence aux autres diélectriques dans les condensateurs ayant à supporter un grand courant diélectrique sous une grande fréquence. Autrement l'huile, particulièrement l'huile de résine, bien débarrassée des bulles d'air, est sans doute le meilleur isolant possible.

Dans ses stations transatlantiques, Marconi emploie depuis 1908 des condensateurs à air consistant en grandes plaques de métal suspendues dans l'air à la pression atmosphérique et distantes de plusieurs centimètres. Ces condensateurs prennent beaucoup de place, mais sont peu coûteux et d'un bon rendement.

Malgré les avantages de l'huile, les condensateurs en verre, du type des bouteilles de Leyde, sont très employés en télégraphie sans fil; leur légèreté et leur peu d'encombrement plaident en leur faveur. On emploie de préférence du verre peu épais, car il donne plus de garanties d'homogénéité, et quand on a besoin de grands voltages, on met une ou plusieurs batteries de bouteilles en série.

Une forme pratique est constituée par des plaques alternées de verre et de clinquant immergées dans l'huile ou la vaseline, cette dernière ayant l'avantage de permettre le transport. Dans les condensateurs variables, l'air ou l'huile sont le plus souvent employés.

Les condensateurs du circuit de réception ne nécessitent pas tant de

précautions contre les hauts voltages, et on peut employer une couche mince de papier paraffiné ou un diélectrique semblable.

On doit rappeler que les courants dans les condensateurs d'émission atteignent quelquefois de très grandes valeurs, parfois des centaines d'ampères : pour cette raison, il est avantageux de se servir de plaques dont la conductance est parfois meilleure que celle des papiers d'étain. du feuillard de cuivre remplit parfaitement le but, et, bien que plus cher et plus difficile à découper, il donne des prises de connexions plus solides et moins susceptibles de se briser.

Recherche des défauts. — Condensateurs. — Comme dans les autres essais d'isolement, il ne suffit pas d'avoir un grand nombre de mégohms. On pourrait en trouver un nombre indéfini pour un condensateur à diélectrique perforé complètement sans usage pour la télégraphie sans fil, si on employait un voltage d'essai assez bas (par exemple 1.000 volts). Il est indispensable d'employer au moins le voltage et la fréquence de travail, et d'observer alors les résultats. S'il y a un éclateur dans le circuit d'essai, le caractère de l'étincelle ou son absence indique si le condensateur fonctionne convenablement. Le meilleur essai serait sans doute de placer le condensateur douteux en parallèle avec un éclateur et d'augmenter la distance d'étincelle depuis à peu près zéro jusqu'à la longueur voulue. On trouvera les voltages correspondant à un grand nombre de longueurs d'étincelle dans les tableaux X et XI. On doit se rappeler que, dans les circuits à résonance, les voltages peuvent atteindre parfois des valeurs considérables même pour la télégraphie sans fil. Par exemple, le professeur Fleming parle d'étincelles se produisant au sommet d'une antenne et dont la longueur indiquait un potentiel de 7 millions de volts quand l'antenne était excitée par un circuit oscillant fermé d'égale période.

Condensateurs. — Mesure des dimensions électriques. — Il existe beaucoup de méthodes bien connues pour déterminer la capacité d'un condensateur quand un voltage fixe y est appliqué. Par exemple, la méthode de Lord Kelvin. Les descriptions et les formules de ces essais sont dans tous les formulaires d'électricité. Les mesures à basse fréquence ne donnent cependant pas exactement la capacité, pour la haute fréquence; il est donc nécessaire d'employer des courants de haute fréquence pour mesurer exactement les capacités employées en télégraphie sans fil.

Le professeur Rutherford, en 1896, a fait un grand nombre de déterminations de la constante diélectrique de différentes matières à de hautes fréquences, en employant son détecteur magnétique pour la mesure des

courants. Les résultats ont montré des écarts très considérables avec les capacités trouvées avec un voltage continu. Sa méthode s'applique naturellement à la détermination de la capacité des condensateurs.

D'autres méthodes qui conviennent peut-être mieux pour la mesure des capacités très faibles sont basées sur le principe des circuits à condensateur en résonance de Lodge. Si les deux circuits sont accordés l'un avec l'autre, il est évident que l'égalité de deux capacités peut être prouvée en mettant d'abord l'une, puis l'autre dans le circuit. Si rien d'autre n'a été changé, les capacités sont égales si elles donnent des étincelles de résonance également bonnes. On peut ainsi obtenir un certain nombre de condensateurs égaux qui, par leurs combinaisons variées, en parallèle ou en série, peuvent servir d'étalons pour toute valeur désirée. Il est également clair que, si la self et la capacité du circuit primaire et la self du circuit secondaire étaient connues, et pouvaient être variées d'une façon connue, il serait possible de mesurer directement toute capacité, dans les limites de mesure de l'appareil. Plusieurs instruments ont été construits sur ce principe; un type d'appareil très commode est celui dû au professeur Fleming, qui, bien que conçu pour la détermination des fréquences des ondes, convient à la mesure des capacités qu'on rencontre en télégraphie sans fil. L'appareil s'appelle cymomètre. Nous décrirons son mode d'emploi en parlant de la mesure des longueurs d'onde. La loi qui lie la capacité et la self d'un circuit oscillant à sa période propre est simple, du moins si on considère une approximation qui suffit dans la plupart des cas. Si n est la fréquence, ou nombre de périodes complètes par seconde, C la capacité et L la self en unités C. G. S., on a l'équation

$$n = \frac{1}{2\pi \sqrt{CL}},$$

si deux de ces quantités sont connues, la troisième se calcule facilement. Nous y reviendrons plus tard.

Méthode de Dowse pour les mesures de haute fréquence. — La méthode suivante a été donnée par M. C. Dowse dans l'*Electrician* du 19 août 1910, dans un article sur l'emploi des couples thermoélectriques pour la mesure des courants de haute fréquence :

« Beaucoup d'applications pratiques peuvent être faites de l'action différentielle de deux couples également sensibles, et l'auteur a développé la méthode représentée figure 183, qui permet d'équilibrer avec facilité et exactitude deux faibles capacités. Une bobine A faisant partie d'un circuit oscillant renfermant les capacités C_1 et C_2 forme le primaire d'un résonateur dont le secondaire B peut être déplacé de manière à

varier l'accouplement. Un instrument de mesure I est connecté aux bornes de B, ainsi que deux circuits semblables comprenant chacun un condensateur K_1 , K_2 et les primaires de petits résonateurs O_1 et O_2 . Les bobines secondaires sont accouplées très serrées et reliées aux extrémités des fils chauds de deux couples thermoélectriques semblables. Ces couples sont en opposition et sont reliés à un galvanomètre sensible.

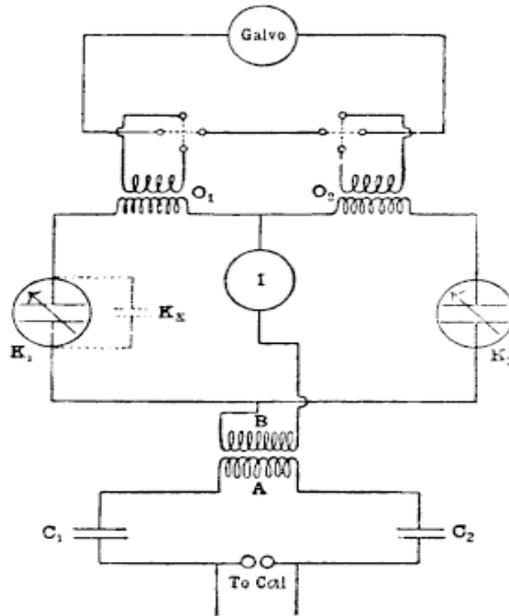


FIG. 185. — Méthode de mesure de Dowse.

La déviation est réduite à zéro en réglant les capacités K_1 et K_2 et la sensibilité est réglée en variant l'accouplement entre A et B. L'ampèremètre I montre la valeur du courant dans le circuit principal et l'expérience montre facilement la valeur maximum qui peut être atteinte sans brûler les couples. Après avoir noté les lectures des capacités variables, la capacité à mesurer K_x est mise en parallèle avec l'une d'elles, et cette dernière variée jusqu'à ce que la déviation soit encore réduite à zéro. La différence des lectures donne la valeur de la capacité K_x . Il est bon de retirer partiellement B avant d'ajouter le condensateur à essayer pour empêcher la surchauffe du couple ;

dans le cas de différences dans le calibrage des couples, on peut les échanger et prendre la lecture moyenne. Cette précaution n'est pas nécessaire si les selfs de O_1 et O_2 sont faibles, le procédé étant semblable à la méthode de correction de la double pesée. Dans une expérience faite d'après cette méthode, les capacités C_1 et C_2 étaient des bouteilles de Leyde ayant 0,0012 microfarad chacune, et les bobines A et B étaient en fil de cuivre n° 16 enroulé sur des tubes de 6 centimètres et de 4 centimètres de diamètre. K_1 et K_2 étaient des condensateurs à air réglables, et les résonateurs du circuit des condensateurs étaient en fil de cuivre n° 16 — le primaire ayant 8 tours et le secondaire 4 tours enroulés l'un sur l'autre. Les couples étaient de fer-constantan ; on employait un galvanomètre de Paul. Une variation de 0,8 0/0 dans la capacité se voyait facilement, et, avec un galvanomètre à miroir, cette sensibilité peut être grandement augmentée.

Si K_x est plus grand que K_1 et K_2 , il est évident que cette méthode peut toujours être appliquée en mettant une capacité connue en série

$$K_z = \frac{K_x K_y}{K_x + K_y}, \quad \text{d'où} \quad K_x = \frac{K_y K_z}{K_y - K_z}.$$

La méthode étant une méthode de réduction au zéro combinée avec une méthode de substitution, peut être appliquée à la mesure des selfs et des résistances. Ainsi, si des selfs L_1 , L_2 sont introduites entre K_1 et O_1 et entre K_2 et O_2 respectivement, le circuit peut être équilibré et une self inconnue L_x mesurée en la mettant à la place d'une portion de L_1 . La même chose est vraie pour les résistances en fil droit.

Mesure de la résistance à haute fréquence. — Lindemann a fait un grand nombre de déterminations de la résistance à haute fréquence de fils étalons par la méthode suivante :

Un circuit oscillant était formé avec le fil à essayer placé en série avec un condensateur variable. Ce circuit était accouplé lâchement à un circuit générateur de courant à haute fréquence, contenant d'habitude un arc de Poulsen, d'une part, et couplé également, d'autre part, à un circuit de mesure comprenant un couple thermique et un galvanomètre. Les lectures des courants maximum de résonance i_0 , i_1 avec et sans résistance additionnelle connue R dans le circuit oscillant donnent la valeur de la résistance inconnue x :

$$x = \frac{R}{\frac{i_0}{i_1} - 1}.$$

Le résultat le plus remarquable obtenu fut la preuve de l'inutilité de l'emploi de fil composé, dans lequel les différents fils étaient isolés seulement avec une faible couche d'émail. Dans un cas, pour une longueur d'onde de 300 mètres, la résistance du fil composé était de 58 0/0 plus grande que celle d'un fil solide ayant la même section de cuivre. Avec un isolement convenable entre les fils, cependant, le fil cordé donne de meilleurs résultats.

Le professeur Fleming a également imaginé une méthode de mesure des résistances en haute fréquence en équilibrant leurs variations de température dans une sorte de thermomètre à air différentiel (*I.E.E. Journal*, 1908).

Relais. — La plupart des systèmes de télégraphie sans fil emploient un relais d'un type ou d'un autre, on pourrait même comprendre presque tous les détecteurs ou les cohérences sous le nom de relais, car leur fonction est généralement celle d'un relais. Cependant, comme il est préfé-

nable de les étudier séparément, nous ne désignerons sous ce terme que les vieux types de relais électromagnétiques. Mais on ne doit pas oublier que tous les détecteurs, sauf ceux qui redressent simplement le courant, sont en réalité des relais, car ils sont actionnés par les oscillations et font agir le courant d'une pile.

Le relais télégraphique ordinaire consiste en un électro-aimant dont les enroulements sont connectés à la ligne venant de la station. Quand le courant de ligne accroît l'aimantation de l'électro-aimant, une languette de fer doux est attirée, et fait contact sur une butée, fermant ainsi le circuit d'une batterie. Il est clair que dans le réglage d'un relais on a affaire avec deux problèmes expérimentaux très difficiles. D'abord la languette doit se déplacer rapidement sous l'influence d'une très légère variation du champ magnétique, et elle doit revenir aussi rapidement quand le champ retourne à sa valeur primitive. Il n'est donc pas possible d'augmenter la sensibilité en réglant les forces antagonistes de manière que la languette soit à peu près en équilibre instable; car dans ce cas le mouvement de rappel serait incertain et lent. Les meilleures conditions de travail dans la plupart des relais paraissent être atteintes quand la languette est retenue par un ressort hélicoïdal assez raide et n'a par suite qu'une faible course.

Si un relais doit agir rapidement, il est évident que la masse en mouvement doit être faible et que le ressort de rappel doit être relativement raide. Si le ressort n'est pas raide, il est très difficile d'avoir les contacts très voisins l'un de l'autre et d'éviter en même temps les effets des vibrations accidentelles. Avec un ressort raide, la distance des contacts peut être presque microscopique et cependant, le mouvement n'écartant que très peu le ressort, la sensibilité peut être aussi grande qu'avec un ressort faible et un plus grand écart, car la force de rappel exercée par le ressort est exactement proportionnelle à son extension.

L'autre problème ayant trait au réglage du relais est ancien et est celui de maintenir les surfaces en contact propres. Les contacts sont forcément des surfaces quelconques, généralement séparant le métal de l'air. Il faut naturellement peu de chose pour altérer ces surfaces. D'où la difficulté d'obtenir une action constante des contacts d'un relais. Une tache microscopique de poussière peut empêcher la fermeture du circuit, et il n'est pas si simple qu'on pourrait le croire d'enlever une tache de poussière sans la remplacer par deux autres.

Un bon relais doit donc être à l'abri de la poussière et ne doit jamais être ouvert dans une salle poussiéreuse. Ses contacts peuvent être nettoyés, si nécessaire, en plaçant un petit morceau de carton fin ou de papier uni entre les contacts qu'on presse en tournant en même temps le papier. L'emploi de condensateurs et de shunts en parallèle avec le

contact a permis d'augmenter le temps pendant lequel un contact peut rester propre et a ainsi accru la sécurité.

A côté des types les plus ordinaires de relais dont les meilleurs sont sensibles à un dix-millième de watt, il existe un certain nombre de relais spéciaux de grande sensibilité qui ont été établis pour les câbles sous-marins à longue distance. Ils sont en général du type à bobine mobile, mais difficiles à régler et non transportables. En 1906 cependant, M. Sullivan a inventé un relais qui, tout en ayant une sensibilité extraordinaire, étant sensible à un dix-millionième de watt (un volt sous dix mégohms), est transportable et facile à régler. Il a établi le relais spécialement pour la télégraphie sans fil, surtout pour servir de relais d'appel dans les stations où on emploie des détecteurs non continus, c'est-à-dire du type électrolytique. Il a été essayé et s'est montré très pratique dans de nombreuses stations à longue portée. M. Sullivan m'a autorisé à reproduire la description suivante de la construction et du fonctionnement de ce relais (1):

« Avec l'augmentation des distances auxquelles les signaux sont transmis en mer, nécessitant l'emploi d'appareils très sensibles à l'aide desquels ils ne peuvent être reçus d'une manière satisfaisante qu'avec le téléphone, le besoin s'est fait fortement sentir d'un appareil donnant un signal d'appel facile à entendre et convenant aux grandes distances. Pour répondre à ce desideratum, M. Sullivan a conçu un relais d'appel très sensible utilisable avec les détecteurs électrolytiques et les détecteurs analogues employés en télégraphie sans fil.

« L'appareil consiste essentiellement en un galvanomètre à bobine mobile très sensible, d'un type analogue au galvanomètre marin de M. Sullivan, et muni de contacts. Des aimants permanents produisent un champ magnétique très intense, et on peut se faire une idée de la sensibilité obtenue par le fait qu'avec une pile sèche sur une résistance de 8 mégohms, on n'a pas atteint la limite de travail. C'est un grand progrès par rapport à la plupart des relais qui se vendent actuellement, qui ne travaillent pas d'une manière satisfaisante avec un courant inférieur à celui donné par une pile sur une résistance de 250.000 ohms. Le succès d'un appareil tel qu'un relais dépend naturellement de la nature, de la forme et du mode de réglage des contacts. La matière est un alliage spécial dont la composition résulte de beaucoup d'années de pratique de ces sortes d'appareils. Si le contact fixe et le contact mobile étaient montés tous deux sur des bras rigides, il en résulterait un inconvénient du fait du rebondissement du bras mobile qui ne donnerait jamais qu'un contact momentané insuffisant pour actionner le frappeur d'un trembleur ordinaire. M. Sullivan évite cet inconvénient en montant non seulement le contact fixe sur ressorts, mais en faisant le léger bras mobile en matière élastique. Quand la position et la tension des ressorts

(1) *Electrician*, 1906.

sont bien réglées, ils jouent légèrement quand le bras frappe le contact, et non seulement le rebondissement est diminué par suite de l'adoucissement du choc, mais le contact est prolongé lors du mouvement de retour. Un réglage très précis est prévu pour les ressorts fixes : une vis fait avancer ou reculer un curseur qui change la longueur réelle du ressort, tandis qu'une autre fait mouvoir la pièce sur laquelle le ressort est fixé. Chaque côté est muni d'un contact, de sorte que le sens du courant dans l'appareil est sans importance. Un autre détail intéressant consiste en une butée prévue pour limiter le mouvement de retour de ces ressorts, et empêcher ainsi le collage.

« La bobine mobile est montée entre des suspensions en bande de bronze phosphoreux au sommet et à la base; elle est amortie électromagnétiquement et bien équilibrée pour l'emploi sur les navires. Comme pour le galvanomètre « parlant » de Sullivan employé pour les câbles sous-marins, le cadre portant la bobine suspendue et les contacts de relais peut être facilement enlevé, et, comme les connexions à la ligne et au circuit commandé sont faites avec des ressorts appuyant fortement sur des blocs, on peut remplacer une bobine en quelques secondes dans le cas où la suspension deviendrait défectueuse ou si la bobine était endommagée. L'appareil complet est simple, robuste et insensible aux vibrations, malgré sa grande sensibilité.

« Bien que destiné primitivement à servir de relais d'appel, l'appareil est susceptible d'enregistrer des signaux à faible vitesse à des distances beaucoup plus grandes que celles possibles avec les autres appareils du même genre. En plus des contacts de relais, l'appareil est muni d'un miroir, de sorte que, si on le veut, on peut suivre les signaux par le mouvement d'un large spot lumineux sur une paroi. Le mouvement d'un tel spot est visible dans une chambre sans grande attention et on peut avoir ainsi une indication dans le cas d'une interruption dans le circuit de la sonnerie. »

Un type intéressant de relais qui n'est pas encore employé dans la télégraphie sans fil est celui inventé par M. G. Brown. Il consiste en deux bobines mobiles montées sur un axe : la bobine inférieure est dans le champ du courant de ligne et actionnée par lui, la bobine supérieure est dans un champ alternatif puissant créé sur place. La bobine supérieure est connectée à un redresseur.

Quand aucun courant ne passe dans la bobine inférieure, la bobine supérieure a son plan parallèle aux lignes de force magnétiques. Quand un courant fait tourner la bobine inférieure, elle entraîne la bobine supérieure et permet aux lignes de force de la traverser; comme le champ est alternatif, il engendre par induction un courant alternatif considérable. Ce courant passe par le redresseur et arrive à l'enregistreur. L'appareil est très ingénieux, n'a pas de contacts de relais, mais est malheureusement un peu compliqué.

En 1910, M. Brown a inventé un relais téléphonique très sensible, qui peut permettre de percevoir des courants téléphoniques qu'on ne pourrait entendre sans lui. Il est très utile pour amplifier les signaux reçus mais est très sensible aux vibrations et ne peut être par suite employé qu'à poste fixe.

Force des signaux. — On peut obtenir une mesure de la force des signaux par la méthode suivante : on règle le circuit de réception et le détecteur de manière à obtenir le maximum d'intensité dans le téléphone. On shunte alors le téléphone par une résistance qu'on règle jusqu'à ce que les signaux ne soient plus qu'à peine perceptibles. La force des signaux peut s'exprimer par

$$A = \frac{r + t}{r},$$

où r est la résistance finale du shunt et t celle du téléphone. Austin fait remarquer qu'avec de l'attention une série de mesures d'intensités de signaux peut être exacte à 10 0/0 près. Pour des résultats très précis, il faudrait un nombre considérable de lectures dont on prendrait la moyenne.

Mesure de la fréquence ou des longueurs d'onde. — La fréquence d'oscillation d'un circuit dépendant de sa self et de sa capacité,

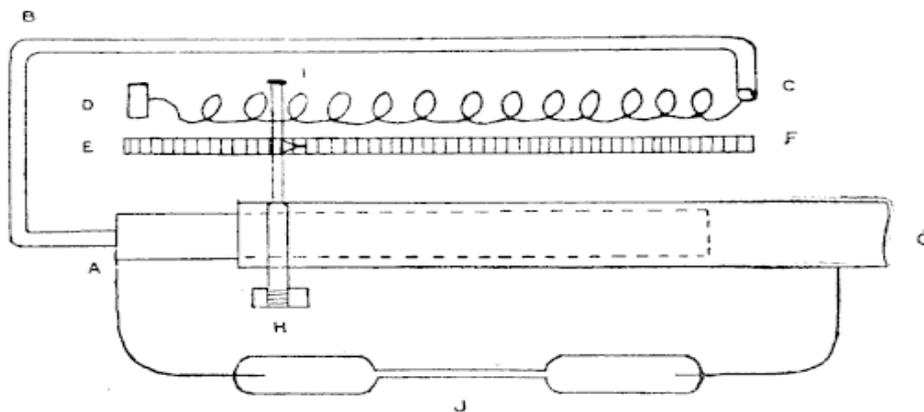


FIG. 186. — Goniomètre Fleming.

ABC, conducteur épais de cuivre. — CD, serpentín utilisé comme self variable. — EF, échelle. — AG, tubes concentriques formant condensateur variable. — HI, curseur variant simultanément la self et la capacité. — J, tube à vide indiquant la résonance.

il est possible de la calculer si on détermine leurs valeurs. On fabrique maintenant un grand nombre d'appareils dans lesquels un condensateur variable gradué est combiné à une self réglable, de sorte que la fréquence d'oscillation du circuit de l'appareil se déduit directement des

lectures. L'appareil est alors placé au voisinage du circuit à mesurer. On excite dans celui-ci des oscillations, et on règle l'autre jusqu'à ce

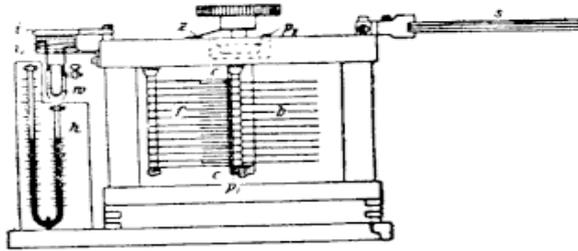


FIG. 187. — Ondemètre Dönitz (élévation).

s., self. — *b*, plaques mobiles. — *f*, plaques fixes du condensateur variable. — *i*, simple spire de fil couplant lâchement le fil du condensateur au thermoampèremètre Snow Harris. *ich*, plusieurs selfs variables de différentes grandeurs sont employées pour varier l'échelle de l'instrument.

qu'un thermogalvanomètre ou tout autre indicateur montre que le courant induit est maximum. Les fréquences des deux circuits sont alors les mêmes, et on en déduit la valeur commune de la lecture de la self et de la capacité du circuit étalon.

Le type le plus simple d'ondemètre est formé par un condensateur multicellulaire variable en circuit avec

une bobine ou un rectangle de fil de self connue et un thermoampèremètre

d'un type convenable tel que celui de Snow Harris. Avec une série de bobines de selfs différentes, l'échelle de l'instrument peut être augmentée.

L'ondemètre de Dönitz appartient à cette classe. Dans l'appareil du professeur Fleming, c'est le mouvement d'une poignée qui varie proportionnellement la self et la capacité. Il est alors possible de graduer l'appareil, que le professeur Fleming appelle un cymomètre, en degrés représentant des fréquences. C'est un avantage pour des déterminations rapides ; mais l'usage de l'appareil devient moins général ; il convient cependant très bien aux mesures courantes de la télégraphie sans fil. La figure 186

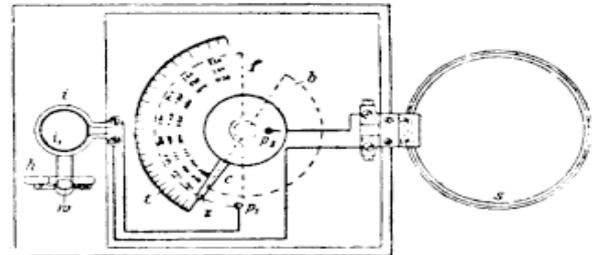


FIG. 188. — Ondemètre de Dönitz (plan).

s., self. — *bf*, plaques mobiles et fixes du condensateur. — *i*, simple spire d'accomplissement à l'appareil thermique de mesure. — L'échelle *t* donne les longueurs d'onde ; il y a trois échelles correspondant à trois selfs différentes *s*.

représente schématiquement cet appareil ; sauf en ce qui concerne la liaison mécanique de la self à la capacité et le tube à néon employé comme indicateur, ce dessin pourrait tout aussi bien représenter les ondemètres employés par les autres compagnies.

Ces appareils peuvent servir, naturellement, à déterminer l'une quelconque des quantités figurant dans l'équation

$$n = \frac{1}{2\pi \sqrt{CL}}$$

pourvu que les deux autres soient connues. Par exemple, pour trouver la capacité d'un condensateur, on le placera en série avec une self connue et on déterminera la fréquence du circuit ainsi formé à l'aide d'un ondemètre.

On mesurerait de même une self en la plaçant en série avec une capacité connue. C'est même probablement la méthode la plus précise pour mesurer l'une ou l'autre de ces deux quantités ; car la mesure de la capacité à voltage constant n'est pas correcte pour les oscillations, et les selfs employées en télégraphie sans fil sont en général si faibles que leur mesure par les autres méthodes est très difficile.

Si une bobine est longue par rapport à son diamètre, sa self s'exprime approximativement par la formule

$$L = l (\pi d n)^2,$$

où L est la self, l la longueur de la bobine, d son diamètre et n le nombre de spires par unité de longueur. Par exemple, une bobine de 5 centimètres de diamètre, 50 centimètres de longueur et deux spires par centimètre, a une self de

$$L = 50 (3,14 \times 5 \times 2)^2 = 50.000 \text{ C. G. S.},$$

ou 1.000 C.G.S. par unité de longueur, approximativement.

La capacité d'un condensateur formé de deux cylindres métalliques concentriques, forme convenant très bien pour les étalons variables, est donnée par la formule

$$K = S \frac{l}{2 \log e \frac{R}{r}},$$

où K est la capacité en unités électrostatiques C.G.S. (qu'on peut convertir en microfarads en les divisant par 900.000), R et r les rayons des cylindres extérieur et intérieur en centimètres ; S est la capacité inductive spécifique (constante diélectrique) de l'isolant séparant les cylindres, l est la longueur des parties des cylindres qui se recouvrent (cette longueur, pour un condensateur qu'on peut varier en tirant partiellement un des cylindres en dehors de l'autre, est sujette à une petite correction).

Ainsi la capacité de deux cylindres qui se recouvrent sur 50 centimètres de leur longueur, dont les rayons sont 2 centimètres et 2^{cm},2, et qui sont séparés par un tube d'ébonite (constante diélectrique = 3),

avec des parois d'une épaisseur de 2 centimètres est environ de

$$\begin{aligned} K &= \frac{30 \times 3}{2 \log \frac{2,2}{2}} = \frac{150}{2 \times 0,0953}, \\ &= 778 \text{ C. G. S. électrostatiques,} \\ &= \frac{778}{(3 \times 10^{10})^2} \text{ C. G. S. électromagnétiques,} \\ &= 0,00087 \text{ microfarad.} \end{aligned}$$

La fréquence d'un circuit qui ne contiendrait pas d'autre self ou d'autre capacité appréciables que celles données ci-dessus serait de :

$$\begin{aligned} n &= \frac{1}{2\pi \sqrt{0,00087 \times 10^{-43} \times 10^4}}, \\ &= \frac{1}{6,28 \sqrt{87 \times 10^{-16}}}, \\ &= \frac{10^8}{6,28 \times 9,34} = 1,71 \times 10^6, \end{aligned}$$

soit environ 2 millions par seconde.

Dans le cymomètre de Fleming, on lit directement sur l'échelle la fréquence et la longueur d'onde. Dans les ondemètres où la capacité et la self ne varient pas en même temps, on construit des échelles de longueur d'onde correspondant aux différentes selfs employées.

Il est évident que la fréquence d'un circuit peut se calculer si l'on connaît sa self ou sa capacité, et qu'on peut la trouver en mettant le circuit en résonance avec un circuit de capacité et self connues.

Un ingénieux fréquencemètre à lecture directe a été inventé par le commandant Ferrié et construit par la maison Carpentier en 1910. Dans l'équation bien connue :

$$\gamma = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}$$

on peut obtenir ω en fonction de γ , de E , R et L étant constants. Un ampèremètre en série avec une self et en parallèle avec un voltmètre mis en série avec une résistance indiquera la valeur de ω , la fréquence, par l'intersection de leurs aiguilles, si ces appareils sont placés côte à côte. L'appareil de Ferrié est basé sur ce principe.

Amortissement. — Le courant oscillant produit par la chute soudaine de la résistance de l'éclateur au moment où l'étincelle se produit diminue graduellement d'amplitude, l'énergie emmagasinée dans la charge se transformant en partie en chaleur, en partie en radiations. Par

radiation il faut entendre, dans ce cas, non seulement la radiation directe en ligne droite à travers l'espace, mais aussi les courants oscillants se propageant à la surface de la terre. Ceux-ci sont finalement amortis par la résistance de la terre et de l'air environnant.

La vitesse d'amortissement d'une oscillation dans un transmetteur est naturellement un facteur très important et sa détermination est indispensable pour déterminer le rendement d'une installation. En Angleterre, l'amortissement se définit généralement comme le rapport de l'amplitude de la deuxième demi-oscillation à celle de la première demi-oscillation, c'est-à-dire de la première onde négative à la première onde positive, si la première est positive. En France, il se définit comme le rapport de l'amplitude de la deuxième onde positive à la première onde positive, c'est-à-dire que la perte par amortissement se calcule sur une oscillation complète. Le logarithme népérien (ou hyperbolique) de l'inverse de l'amortissement, c'est-à-dire du rapport de la première amplitude à la seconde amplitude, s'appelle le décrement logarithmique de l'oscillation.

Il existe plusieurs méthodes expérimentales pour sa détermination. J'en décrirai trois. La méthode du professeur Rutherford pour déterminer le coefficient d'amortissement d'un oscillateur électrique est la suivante :

On fait passer les courants oscillants à travers quelques spires de fil fin dans l'axe desquelles est placée une courte aiguille d'acier ou un faisceau de fils fins d'acier, aimantés à saturation. On note la déviation d'un aimant suspendu ou d'un magnétomètre produite par l'aiguille d'acier placée à une distance donnée. L'aiguille est ensuite placée dans les spires et l'on fait passer le courant oscillant à travers ces dernières. Le changement d'aimantation de l'aiguille est noté par l'observation du magnétomètre ; désignons-la par (A).

L'aiguille est alors réaimantée à saturation et, après une observation au magnétomètre, replacée dans les spires en sens opposé. On fait éclater une étincelle et prend une autre mesure (B) du changement d'aimantation. Ces changements dans l'aimantation sont proportionnels aux amplitudes de la première et de la deuxième demi-onde ; ces observations permettent donc de calculer l'amortissement et le décrement logarithmique. Il y a naturellement d'autres méthodes, mais celle-ci paraît la plus simple à réaliser, et donne des résultats satisfaisants.

Le lieutenant Tissot⁽¹⁾, en employant un ondemètre à self constante et capacité variable, détermine d'abord la fréquence N du circuit donné. Laissant l'ondemètre accordé avec le circuit à mesurer, il introduit des

(1) Soc. int. des électric., *Bullet.*, 6 juillet 1906.

résistances non inductives (petits fils droits de 0 à 3 ohms) dans son circuit et observe la lecture du thermogalvanomètre correspondant à chaque résistance. En portant les résistances en abscisses et les courants en ordonnées, il obtient une droite qui, prolongée, coupe l'axe des X en un point dont, à l'échelle choisie, on désigne l'abscisse par x . En multipliant x par $\frac{1}{2\ell N}$, où ℓ est la self de l'ondemètre, on obtient la valeur de $\frac{\delta}{2 + \delta'}$, δ étant le décrement logarithmique du circuit principal et δ' celui de l'ondemètre. Ce dernier est en général faible en comparaison du premier et peut être alors négligé; $\frac{\ell N}{x}$ est donc approximativement égal à δ , le décrement cherché.

Détermination d'amortissement par la courbe de résonance. —

Dans la figure 189, où l'on a pris la valeur maxima du courant comme unité, traçons une ordonnée CD à une faible distance x de l'ordonnée maxima AB. On peut démontrer ⁽¹⁾ que la somme des décrets des

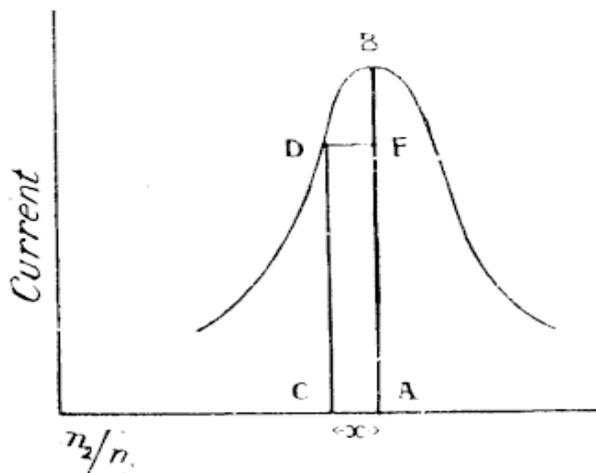


FIG. 189.

circuits primaire et secondaire, par période, est égale à :

$$\delta_1 + \delta_2 = 2\pi x \frac{\gamma}{\sqrt{\gamma_r^2 - \gamma^2}},$$

γ_r étant le courant de résonance et γ le courant du point d'abscisses x , ou :

$$\delta_1 + \delta_2 = 2\pi AC \frac{FA}{\sqrt{(AB)^2 - FA^2}}.$$

On peut donc calculer directement l'amortissement du circuit de la courbe de résonance

obtenue en appliquant un voltage uniforme de haute fréquence, puisque, dans ce cas, δ_1 s'annule. Si on ne peut employer un courant de haute fréquence non amorti, le décrement δ_2 du circuit de résonance peut être rendu négligeable en comparaison de δ_1 et on peut obtenir δ_1 . Autrement on doit intercaler des résistances (voy. méthode de Tissot).

Méthode de Brandes. — Une méthode plus simple, qui n'implique pas le calcul de $\frac{n_1}{n_2}$, mais utilise directement les quantités mesurées, c'est-à-

⁽¹⁾ ZENNECK, *Oscillations électriques*, p. 150.

dire le courant et la capacité, a été indiquée par H. Brandes (1) et expérimentée par von Trautenberg et Monasch (2).

On peut l'employer ainsi : on cherche le courant de résonance et la capacité de résonance ; on varie alors cette capacité, en la rendant d'abord plus petite, puis ensuite plus grande que la capacité de résonance, et en la variant de sorte que dans chaque cas le carré du courant diminue de la même quantité, par exemple de 75 0,0 de sa valeur maxima. La somme des décrets des circuits accouplés est alors

$$\delta_1 + \delta_2 = K \frac{C_2 - C_1}{C_0}$$

On trouve K dans la table donnée par Brandes (ch. XXI) et sa valeur varie avec le rapport choisi. Avec le rapport $\left(\frac{\gamma}{\gamma_c}\right)^2 = 0,75$, on aurait

$$\delta_1 + \delta_2 = 2,72 \frac{C_2 - C_1}{C_0}$$

Si δ_2 est petit, dans cette équation, on en tire la valeur approximative de δ_1 ; ou inversement, si δ_1 est très petit, celle de δ_2 . Le décrement par période complète du circuit primaire peut se calculer par la formule

$$\delta_2 = \frac{R_2}{2N L_2}$$

où R_2 et L_2 sont la résistance et la self et N la fréquence. Si on applique la méthode de Brandes, on a donc :

$$\delta_1 = K \frac{C_2 - C_1}{C_0} - \frac{R_2}{2N L_2}$$

Emploi de courant uniforme (non amorti) de haute fréquence. — Von Trautenberg et Monasch emploient un courant entretenu de haute fréquence engendré par un arc de Poulsen dans le circuit primaire ; on a donc $\delta_1 = 0$. Donc δ_2 se déduit directement, avec une approximation très forte, de la formule

$$\delta_2 = K \frac{C_2 - C_1}{C_0}$$

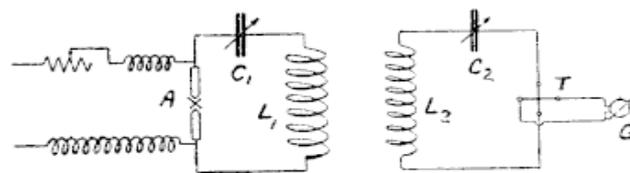


FIG. 190. — Détermination de l'amortissement avec du courant uniforme de haute fréquence.

A, arc Poulsen. — C_1, C_2 , condensateurs variables. — L_1, L_2 , selfs. — T, couple thermique. — G, galvanomètre.

La figure 190 montre un schéma de la méthode employée, et la figure 191

(1) *Ann. d. Physik*, XXII, p. 640, 1907.

(2) *Phys. Zeitschr.*, VIII, p. 925, décembre 1907.

deux courbes de résonance ainsi obtenues. Les abscisses sont les valeurs de la capacité et les ordonnées les lectures d'un galvanomètre, proportionnelles au carré du courant dans le circuit secondaire ou de résonance.

Dans la figure 191, l'amortissement a été changé d'une courbe à l'autre en ajoutant une self supplémentaire. Quand on connaît l'amortissement

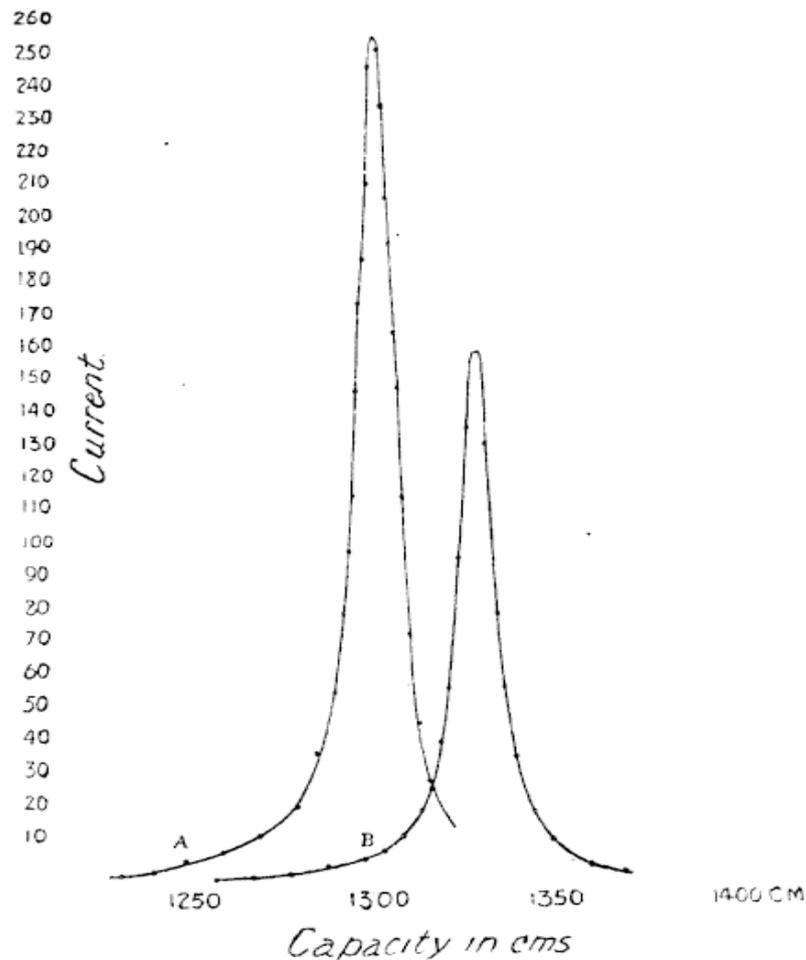


FIG. 191.

Chaque courbe représente la variation du courant dans un circuit où un voltage uniforme de haute fréquence est excité quand on fait varier la capacité en circuit. L'un des circuits avait une self et une résistance (amortissement) supérieures à l'autre.

dû à la résistance du couple thermique, on peut déduire l'amortissement réel du reste du circuit de la valeur de l'amortissement total observée. Une méthode préférable consiste à placer le couple thermique et le galvanomètre dans un circuit séparé sans capacité, et couplé très lâchement au circuit secondaire.

Pour plus de détails dans les diverses méthodes de mesures, on peut

se référer à l'ouvrage *die Frequenzmesser* du Dr E. Nesper (Von Zeit, Leipzig, 1907) et aux *Oscillations électromagnétiques* de Zenneck.

Mesure de l'accouplement. — 1° *Pour des oscillations amorties.* — Le degré d'accouplement K est généralement donné en pour cent ; par exemple $K = 0,1$ s'énonce 10 0/0. $K = 1$ étant la valeur maxima théoriquement possible. En pratique, 60 0/0 est environ la limite, et un accouplement supérieur à 10 0/0 est appelé accouplement serré.

On peut déterminer le degré d'accouplement en faisant agir une oscillation amortie du primaire sur le circuit secondaire.

La méthode consiste à prendre une courbe de résonance avec un ondemètre avec appareil à fil chaud, et à mesurer comme d'habitude le courant pour différentes valeurs de la fréquence ou de la longueur d'onde. On obtient une courbe à deux sommets, analogue à celles de la figure 144, où N' et N'' sont les fréquences correspondant aux sommets. On obtient alors le degré d'accouplement par la formule

$$K = \frac{(N'^2 - N''^2)}{(N'^2 + N''^2)} \quad \text{ou} \quad K = \frac{(\lambda'^2 - \lambda''^2)}{(\lambda'^2 + \lambda''^2)}$$

2° *Courant alternatif entretenu.* — Si on a une source de courant de haute fréquence non amorti, comme un arc de Poulsen ou un alternateur à haute fréquence, l'induction mutuelle des deux circuits peut être déduite de la formule

$$M = \gamma_0' \frac{L_2 \delta_2}{\pi \gamma_0''}$$

où L_2 est la self pour la haute fréquence, δ_2 le décrétement par période complète du secondaire, et γ_0' et γ_0'' les amplitudes des courants uniformes dans le primaire et le secondaire. Si le courant a une forme sinusoïdale, γ_0' et γ_0'' peuvent être déduits des lectures de l'appareil à fil chaud en les multipliant par $\sqrt{2}$, c'est-à-dire par 1,414. Donc, si L_1 est connu,

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}, \text{ et on obtient } K.$$

CHAPITRE XIX

RENDEMENT TÉLÉGRAPHIQUE DES MOYENS DE COMMUNICATION RADIOTÉLÉGRAPHIQUES

Dans la considération du rendement des transmissions radiotélégraphiques, il faut distinguer entre le rendement télégraphique de la transmission des signaux, le rendement en énergie transmise et le rendement opératoire ⁽¹⁾. Ces rendements ne sont pas les mêmes, car le premier renferme, à côté du rendement d'énergie, d'autres facteurs comme la vitesse de transmission des signaux, et, si on emploie un téléphone à la réception, l'adaptation des sons produits à l'oreille de l'opérateur.

Le tableau I indique les principales valeurs en jeu dans l'estimation du rendement d'une intercommunication radiotélégraphique.

Je commencerai l'exposé en établissant le cas général, et j'entrerai ensuite dans les détails des différents rendements.

Il y a à considérer :

Le rendement de l'ensemble formé par une station d'émission P et une station de réception Q, séparées par une bande de terre ou de mer, et destiné à transmettre des messages de P à Q.

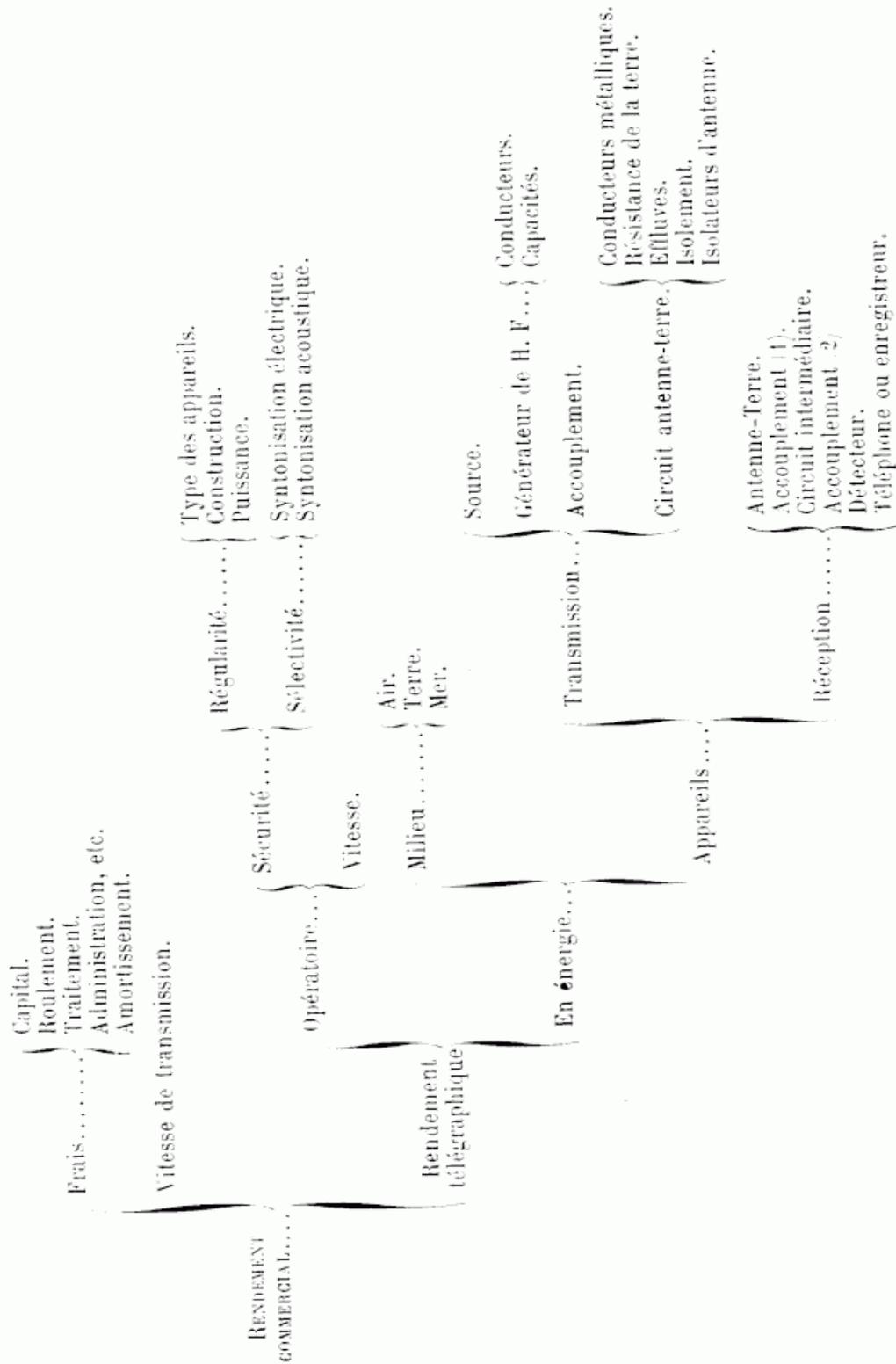
Ce rendement renferme, entre autres, le rendement de l'ensemble comme transmission d'énergie de P à Q. Je commencerai par ce rendement en énergie, plus simple que les autres, car il ne contient que des quantités qui peuvent se mesurer par des méthodes physiques et exclut les facteurs tels que la vitesse de signalisation et la nature des signaux, qui sont plutôt d'ordre commercial et physiologique que d'ordre physique.

J'exclurai également pour le moment le cas très important d'une station centrale transmettant simultanément à un grand nombre de stations de réception.

Il est évidemment incorrect de prendre la définition habituelle du rendement, c'est-à-dire le rapport de l'énergie reçue à l'énergie totale fournie à l'émission, pour la mesure du rendement d'un ensemble de

¹⁾ Ou d'exploitation.

TABLEAU I. — FACTEURS DU RENDEMENT D'UNE STATION RADIOTÉLÉGRAPHIQUE



deux stations correspondantes. Avec une semblable définition, le rendement maximum possible est toujours une fraction extrêmement faible, à cause de la divergence des ondes transmises à la surface de la terre, même avec des appareils parfaits. Un rendement parfait représenté par une fraction infime serait absurde.

Définition du rendement en énergie d'un ensemble de deux stations correspondantes. — Je propose donc de prendre pour base fondamentale de la mesure du rendement en puissance de deux stations le rapport de l'énergie reçue finalement au récepteur à l'énergie qui serait reçue s'il n'y avait pas de perte en chaleur en route, la puissance fournie à l'émission étant la même dans les deux cas.

Cette mesure est analogue au rendement théorique d'une machine thermique. Dans une machine thermique parfaitement réversible, une certaine proportion de la chaleur fournie est seulement transformable en travail, et cette proportion dépend de la différence de température entre la chaudière et le condenseur et de la température absolue. Le rendement théorique ne peut atteindre l'unité que si le condenseur a une température absolue de 0°, ce qui est naturellement une condition irréalisable. Le rendement théorique est donc toujours inférieur à l'unité. Le rendement d'une machine réelle est mesuré par le rapport de deux fractions; celui de la puissance utilisable à la puissance qui serait donnée par une machine théoriquement parfaite travaillant entre les mêmes limites de température.

En considérant une paire de stations radiotélégraphiques, on doit tenir compte de ce que l'absorption de toute l'énergie radiée est aussi impossible que la réalisation du zéro absolu de température; car l'antenne de réception peut au plus n'absorber de l'éther qu'une faible fraction de l'énergie radiée, ses dimensions linéaires étant limitées, quelque parfaite que puisse être sa construction. Il est donc clair que la définition proposée, prenant pour étalon la puissance fournie par le récepteur en supposant qu'il n'y a aucune perte d'énergie dans la transmission, ou dans les différentes transformations dans les appareils, donne le rendement théorique d'une machine thermique.

Cette définition ne tient pas compte de la réduction en densité de l'énergie par divergence, ne considérant comme déchet que la perte d'énergie réelle par effet Joule.

Transmission dirigée. — La définition ne tient donc pas compte ainsi de la radiation dissymétrique de l'antenne. Il serait donc nécessaire, si on employait des antennes dissymétriques, de les placer de façon que les directions de radiation maxima et d'absorption maxima

à la réception soient suivant la direction joignant les deux stations. Les lois de la distribution de la radiation pour les formes d'antennes existant actuellement sont bien connues, grâce aux expériences et aux travaux de Marconi ⁽¹⁾, Braun ⁽²⁾, Bellini-Tosi ⁽³⁾ et autres et peuvent se déterminer pour chaque forme par l'expérience ou le calcul. Il semble donc raisonnable que la première définition du rendement renferme ce facteur, sinon on pourrait avoir une paire de stations dirigées identiques, ayant chacune en particulier, pour la radiation ou pour la réception, des rendements presque parfaits, et donnant, combinées, un faible rendement; tandis que le rendement d'une de ces stations avec une autre du même type, mais située dans une autre direction, pourrait être élevé. — c'est là un résultat qui me paraît conduire à un nombre moins pratique, car alors le rendement dépendrait beaucoup de l'orientation et non exclusivement de la construction.

Comme il est désirable de comprendre le cas des antennes dirigées, on peut y arriver en supposant connue la loi de la distribution de la radiation pour chaque antenne.

Supposons, par exemple, que le rapport de la radiation réelle, dans une direction faisant un angle horizontal ϑ avec la direction de radiation maxima, à la radiation d'une antenne symétrique ayant le même rendement total et la même puissance fournie, soit $f(\vartheta)$, que nous pouvons appeler la fonction de direction; alors le rendement d'une paire de stations pourra s'exprimer par

$$E = f_1(\vartheta_1) f_2(\vartheta_2) e,$$

où ϑ_1 est l'angle de la ligne joignant les stations avec la direction de radiation maxima de la station transmettrice, et ϑ_2 l'angle de la même ligne avec la direction d'absorption maxima de la station réceptrice, et e le rendement d'une paire de stations ayant des antennes verticales, mais semblables pour le reste aux stations dirigées et ayant par conséquent le même rendement total en radiation.

E sera maximum quand $\vartheta_1 = 0$ et $\vartheta_2 = \pi$. Cela indique l'avantage des antennes dirigées sur les antennes symétriques pour une puissance fournie égale. Si les rendements en radiation totale sont les mêmes, la radiation utile de l'antenne dirigée sera plus grande que celle de l'antenne symétrique dans certaines directions et moindre dans d'autres. En fait, il est pratiquement certain que la perte d'énergie par les courants induits dans le sol sous la partie horizontale d'une antenne dirigée

⁽¹⁾ *Proc. Roy. Soc.*, 22 mars 1906.

⁽²⁾ *Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie*, I, 4, 1907.

⁽³⁾ *Phil. Mag.*, série 6, vol. XVI, p. 638 (1908), et aussi *Proc. Phil. Soc.*, vol. XXI, p. 305 (1909).

rend généralement le rendement total d'une antenne dirigée inférieur à celui d'une bonne antenne symétrique. L'avantage d'une antenne dirigée est donc réduit quelque peu en pratique.

Reprenant la définition dans la forme où nous l'avons donnée, nous dirons :

Le rendement en énergie d'une paire de stations radiotélégraphiques pour une puissance donnée fournie à la station de transmission est le rapport de la puissance rendue en dernier ressort par le récepteur à la puissance qu'il fournirait s'il n'y avait aucune perte d'énergie électrique en chaleur, multiplié par les fonctions de direction des antennes.

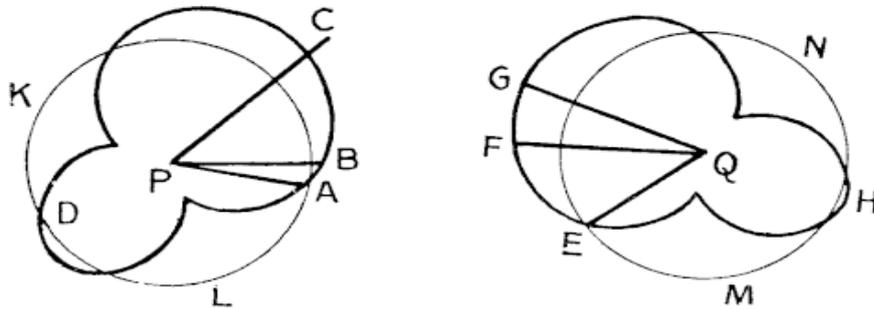


FIG. 192.

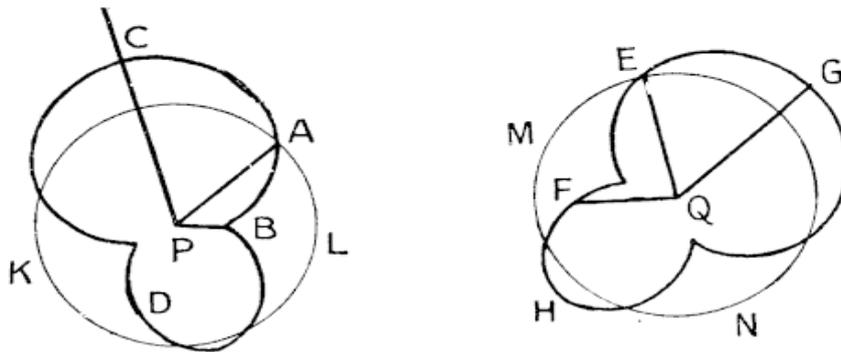


FIG. 193.

Pour illustrer cette définition, supposons que les courbes ABCD, EFGH (*fig.* 192) représentent la distribution de radiation des stations P et Q. Supposons que les circonférences AKL et EMN représentent la distribution de radiation autour des mêmes stations quand on emploie des antennes symétriques et la même puissance fournie. Alors $PA = r_0$ représente la radiation d'une antenne symétrique équivalente, $PB = r$ représente la radiation effective dans la direction de Q et $PC = r_m$ la radiation maxima de la station P.

(¹) *Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie*, cahier 5, 1912.

$QE = r'_0$, $QF = r'$ et $QG = r'_m$ sont les pouvoirs d'absorption à la station réceptrice. On peut supposer qu'ils sont proportionnels à la radiation de l'antenne Q, bien qu'en général il n'y ait pas de proportionnalité nécessaire entre les intensités d'absorption et les intensités de radiation, comme on peut facilement le vérifier pratiquement. L'angle $CPB = \theta^1$ et $CQF = \theta^2$.

Nous avons donc

$$\frac{r}{r_0} = f_1(\theta_1) \quad \text{et} \quad \frac{r'}{r'_0} = f_2(\theta_2),$$

d'où

$$E = \frac{r}{r_0} \frac{r'}{r'_0} e.$$

Dans le cas de la figure 192, on a $E > e$, et dans celui de la figure 193, $E < e$.

Méthode expérimentale directe pour la détermination du rendement de radiation, de la résistance de la terre et des autres constantes d'un transmetteur. — J'ai établi la méthode suivante⁽¹⁾ pour obtenir une mesure directe de la puissance radiée et de la puissance perdue par la résistance de l'antenne et de la terre dans son voisinage immédiat. De la première mesure on peut immédiatement calculer le rendement de la station en puissance radiée, puisque ce rendement est simplement le rapport de la puissance radiée à la puissance fournie. Cette méthode rend ainsi possible une mesure d'importance fondamentale en radiotélégraphie et qu'il avait jusqu'alors été impossible de faire.

Cette méthode de mesure est la suivante :

a) On construit une petite antenne éloignée de quelques longueurs d'onde de la station dont on doit mesurer le rendement. En série avec cette antenne, on place un ampèremètre à fil chaud connecté à la terre. La résistance de cet ampèremètre doit être de préférence assez élevée pour que des oscillations naturelles ne soient pas possibles (c'est-à-dire $R^2C > L$); cette condition n'est cependant pas nécessaire si on prend des précautions pour accorder cette antenne d'essai à la période de la station.

b) On mesure le courant i_1 induit dans l'antenne d'essai par les ondes de la station et le courant I_1 dans l'antenne de la station. Alors i_1^2 est très approximativement proportionnel à la puissance absorbée par l'antenne d'essai, et par suite à la densité de radiation à l'antenne d'essai ou à la puissance totale radiée par la station. De même, si R est la résistance ohmique inconnue représentant toutes les pertes par effet

Joule dans l'antenne et la terre à la station, $I_1^2 R$ est la puissance perdue en chaleur à la station.

c On change ensuite la hauteur de l'antenne de la station (sans changer la longueur des conducteurs) de façon à modifier légèrement la radiation totale ; par exemple en diminuant la hauteur, on diminue la radiation. L'expérience montre qu'une variation de 10 0/0 dans la hauteur suffit. On mesure de nouveau les courants dans les antennes ; appelons i_2 et I_2 les nouvelles valeurs.

Pour *b* et *c*, il est nécessaire de mesurer la puissance en basse fréquence fournie. Elle doit être à peu près la même dans les deux cas.

Il est aussi désirable que *P*, la puissance en haute fréquence fournie à l'antenne, soit constant. On y arrive en rendant la puissance en basse fréquence fournie et le courant dans le circuit primaire de haute fréquence constant, en changeant au besoin l'accouplement entre le primaire et l'antenne. Il n'est cependant pas indispensable que *P* soit constant ; mais alors deux mesures de la puissance dans l'antenne sont nécessaires.

Il est nécessaire que la longueur d'onde λ soit la même dans les deux mesures. Heureusement pour la simplicité de la méthode, cette condition est facile à remplir, car pour une différence de 10 0/0 dans la hauteur sans changer la longueur des conducteurs, on trouve que la longueur d'onde ne varie pas sensiblement. Cette circonstance favorable est sans aucun doute due au fait qu'en abaissant la hauteur de l'antenne on augmente la capacité, mais diminue la self. La fréquence naturelle des oscillations ne change donc pas.

Si une mesure plus exacte montre qu'il y a un changement appréciable dans la longueur d'onde, il est nécessaire de régler la self d'antenne. La variation de résistance ainsi occasionnée est certainement négligeable pour une première approximation ; pour une plus grande exactitude, on peut en tenir compte par une correction de la valeur *R* dans l'équation (1) ci-dessous.

λ et *P* étant les mêmes dans les deux cas, nous avons les équations :

$$\left. \begin{aligned} P &= A i_1^2 + R I_1^2, \\ P &= A i_2^2 + R I_2^2. \end{aligned} \right\} (1)$$

Dans ces équations nous avons cinq quantités connues : *P*, i_1 , i_2 , I_1 et I_2 et deux inconnues : *A* et *R*. Les quantités *A* et *R* sont donc déterminées par ces équations. La seule hypothèse est que *A* et *R* sont restés constants malgré la petite variation de la hauteur de l'antenne. Que tel est bien le cas, du moins pour une première approximation, ce qui suit le montre.

En ce qui concerne R, la fixité de la longueur d'onde λ a pour résultat de rendre constant l'aire de terrain sous l'antenne et dans son voisinage compris dans le circuit terre-antenne, car le diamètre de cette aire dépend de la longueur d'onde. Pour la même raison, la profondeur de pénétration dans le sol est constante. Toute variation dans la valeur de R qui pourrait se produire serait donc due exclusivement à une petite différence dans la distribution du courant dans le sol et serait de second ordre et par conséquent négligeable dans une première approximation. Donc, si R reste constant, les autres facteurs de R tels que les effluves, les fuites, l'hystérésis diélectrique, ne varient pas sensiblement. Pour une première approximation, R est donc constant (voir aussi la note ci-dessous).

En ce qui concerne A, la constance de λ fait que l'antenne d'essai est à une distance d'un même nombre de longueurs d'onde dans les deux cas. Le type d'antenne n'étant d'ailleurs pas modifié par la faible variation de hauteur, il est évident que la distribution de radiation horizontale est sensiblement la même dans les deux cas, et que l'orientation de l'antenne d'essai est la même par rapport à la radiation horizontale. La seule variation électrique est donc le changement de densité de radiation dans le voisinage. Ce changement est complètement représenté dans le terme Λi^2 par le changement de i_1^2 en i_2^2 . A est donc constant dans les conditions de l'expérience (1).

Il est donc évident que les équations

$$\begin{aligned} P &= R i_1^2 + A i_1^2, \\ P &= R i_2^2 + A i_2^2, \end{aligned} \quad (1)$$

donnent A et R.

Si P est le même pour les deux hauteurs d'antenne, on a :

$$R = P \frac{i_2^2 - i_1^2}{i_1^2 i_2^2 - i_2^2 i_1^2} \quad (2)$$

et

$$A = P \frac{i_1^2 - i_2^2}{i_1^2 i_2^2 - i_2^2 i_1^2}. \quad (3)$$

(1) Dans une lettre reçue de mon ami le Dr Zenneck, celui-ci confirme la constance de A et R dans l'étude d'un cas spécial.

Le Dr Zenneck fait remarquer que si on prend les mesures avec quatre hauteurs différentes de l'antenne, au lieu de deux, on obtient des équations permettant de calculer $\frac{dR}{dh}$ et $\frac{dA}{dh}$, et donnant par conséquent des résultats exacts à une deuxième approximation près.

Je suis d'avis que les premières approximations sont suffisamment exactes pour la pratique, mais il est utile de savoir que cette méthode peut être élargie, de manière à donner tout degré d'approximation désiré.

où R est la résistance ohmique représentant toutes les pertes par effet Joule dans le circuit antenne-terre, et A est la constante par laquelle le carré i_1^2 du courant de l'antenne d'essai doit être multiplié pour obtenir la puissance totale radiée. Si P_1 , pour toute la hauteur de l'antenne, n'est pas égal à P_2 , valeur quand l'antenne est légèrement baissée, on doit porter leurs valeurs dans les équations (1) et modifier les solutions en conséquence.

Pour trouver les valeurs numériques que donnent ces équations, il est nécessaire de connaître la puissance P fournie en haute fréquence à l'antenne par le circuit primaire.

On peut la déterminer par une méthode calorimétrique ou par une méthode ne nécessitant que des mesures électriques.

Pour la méthode calorimétrique, on doit réaliser un circuit représentant le circuit antenne-terre aussi exactement que possible.

Il n'est pas suffisant d'employer un circuit apériodique pour absorber l'énergie et la transformer en chaleur, car sa réaction sur le primaire est différente de celle d'un circuit de résonance. On doit employer un condensateur à air ayant à peu près la capacité de l'antenne, et une self calculée de façon à avoir la longueur d'onde propre de l'antenne, en série avec une résistance, cette dernière étant immergée dans un calorimètre.

La valeur de la résistance doit approximativement représenter le total de la résistance ohmique et de la résistance de radiation de l'antenne. Cette valeur approximative peut être trouvée par le procédé des approximations successives en prenant une valeur probable pour P et en calculant alors les valeurs de R et r que donnent les équations. Leur somme représente la résistance à employer dans le calorimètre.

On peut alors déterminer P par la méthode bien connue consistant à mesurer la chaleur produite dans le calorimètre et à réduire les unités de chaleur en unités de puissance électrique. Si la valeur de P ainsi trouvée est très différente de celle adoptée d'abord, on recommence la détermination en employant une résistance calculée en employant la nouvelle valeur de P , et l'on obtient ainsi une valeur de P plus exacte.

On peut ainsi déterminer la puissance en haute fréquence fournie à l'antenne avec le degré d'exactitude voulu.

Il existe une autre méthode pour la détermination de P qui, bien que peut-être moins satisfaisante que celle du calorimètre, est cependant plus facile à réaliser. On peut avoir P par la formule :

$$P = (R + r) I_1^2,$$

où R est la résistance ohmique, comme ci-dessus, et r la résistance due

à la radiation de l'antenne. Mais :

$$\delta = \frac{R + r}{2nL},$$

d'où

$$R + r = 2nL\delta$$

et par conséquent :

$$P = 2nL\delta I_1^2, \quad (4)$$

où n est la fréquence, δ le décrement logarithmique et L la self totale du circuit antenne-terre.

On peut déterminer toutes ces quantités sans difficulté : n avec l'onde-mètre, δ à l'aide d'une courbe de résonance et L de la manière suivante, par exemple.

On fait deux lectures des longueurs d'onde de l'antenne obtenues en mettant deux selfs différentes en série avec elle. Désignons par L_1 et L_2 ces selfs additionnelles, et par L_a la self inconnue du reste de l'antenne. Appelons λ_1 et λ_2 les deux longueurs d'onde.

En substituant ces valeurs dans l'équation :

$$\lambda = K \sqrt{CL}$$

et en résolvant les deux équations ainsi obtenues, on obtient :

$$L_a = \frac{L_2 \lambda_1^2 - L_1 \lambda_2^2}{\lambda_1^2 - \lambda_2^2} \quad (5)$$

pour la self cherchée et par conséquent $L = L_a + L_1$, self totale du circuit antenne-terre, est connue et peut être portée dans l'équation (4) qui donne P .

Nous avons donc les valeurs de R et A en fonction de quantités déterminables par l'expérience :

$$R = P \frac{i_2^2 - i_1^2}{I_1^2 i_2^2 - I_2^2 i_1^2} \quad (6)$$

et :

$$A = P \frac{I_1^2 - I_2^2}{I_1^2 i_2^2 - I_2^2 i_1^2}. \quad (7)$$

La valeur numérique de la résistance ohmique représentant toutes les pertes par effet Joule dans le circuit antenne-terre est donnée par l'équation de R , et le facteur par lequel le carré du courant dans l'antenne d'essai doit être multiplié pour obtenir la puissance totale radiée est donné par l'équation de A .

Pour les autres valeurs importantes, on a, par exemple, pour la puissance totale radiée :

$$p = A i_1^2$$

ou, par substitution :

$$p = P i_1^2 \frac{L_1^2 - L_2^2}{L_1^2 i_2^2 - L_2^2 i_1^2}. \quad (8)$$

Le rendement comme radiateur du circuit antenne-terre est :

$$E_a = \frac{p}{P} = \frac{A i_1^2}{P}$$

ou :

$$E_a = i_1^2 \frac{L_1^2 - L_2^2}{L_1^2 i_2^2 - L_2^2 i_1^2}. \quad (9)$$

Nous avons également pour la résistance due au rayonnement :

$$r = \frac{p}{i_1^2} = P \frac{i_1^2}{L_1^2} \frac{L_1^2 - L_2^2}{L_1^2 i_2^2 - L_2^2 i_1^2}. \quad (10)$$

Finalement, pour le rendement total de la station considérée comme transmetteur d'énergie, on a :

$$E_0 = E_a \frac{P}{P_0} = \frac{P}{P_0} i_1^2 \frac{L_1^2 - L_2^2}{L_1^2 i_2^2 - L_2^2 i_1^2}, \quad (11)$$

où P_0 est la puissance fournie en basse fréquence.

Conclusion. — Tout le problème de la recherche du rendement, de la résistance de prise de terre, de la résistance due à la radiation d'une station de télégraphie sans fil se trouve ainsi résolu par une méthode correcte en théorie et relativement simple en pratique, qui n'implique, à côté des mesures de courant et de longueur d'onde habituelles dans toute station de T. S. F., qu'une mesure calorimétrique très simple de la puissance.

En pratique, la méthode est susceptible de toute l'exactitude voulue. Les principaux avantages pour l'ingénieur sont : 1° la détermination du rendement d'une station d'émission; 2° la détermination des constantes les plus importantes du circuit antenne-terre, avec son rendement comme oscillateur et comme radiateur, sa résistance ohmique et sa résistance de radiation; 3° la possibilité de choisir les emplacements pour les stations fixes par des mesures comparatives de la résistance de terre à l'aide d'appareils portatifs. En ce qui concerne les recherches, elle donne un moyen de mesurer les résistances de radiation de différents types d'antenne, d'étudier la résistance de différentes sortes de terres, et de

rechercher l'influence pratique des niveaux d'eau à différentes profondeurs, confirmant ainsi et complétant l'œuvre théorique déjà faite sur ces sujets.

Rendements d'exploitation. — On a maintenant à examiner les rendements d'exploitation opposés aux rendements en énergie. Ceux-là sont d'un caractère moins défini et ne sont pas d'habitude exprimables en unités physiques, mais ils présentent une si grande importance qu'un essai pour les analyser, les définir et les coordonner ne peut manquer d'avoir un intérêt pratique. Autant que je sache, un tel essai n'a pas encore été tenté. Je dois donc dire que les définitions données ci-dessous doivent être considérées comme des essais, et qu'elles sont susceptibles d'être modifiées après des études plus complètes.

Il est évident que le rendement en énergie d'une station n'est pas à beaucoup près le seul facteur important dans le rendement télégraphique et que beaucoup d'autres conditions doivent être remplies pour qu'une station soit réellement utile dans une chaîne de transmission. Parmi les facteurs les plus importants sont, par exemple, le type de courant transmis et la méthode permettant de le révéler à la station de réception. Par exemple un courant de haute fréquence parfaitement uniforme ne peut pas être révélé par un téléphone dans un circuit de détecteur, même si l'énergie est importante, tandis qu'en un tel circuit un courant intermittent, même faible, produirait des signaux audibles. Inversement, s'il y a un interrupteur dans le circuit de détecteur, le courant uniforme devient perceptible, et le courant intermittent pratiquement sans effet, à moins que la fréquence d'étincelle ne soit élevée. Une adaptation du transmetteur et du récepteur est donc essentielle au rendement télégraphique. Le rendement télégraphique dépend en outre de phénomènes physiologiques qui sont jusqu'à présent inaccessibles aux mesures physiques.

Sécurité. — L'expression « sécurité », en télégraphie sans fil, équivaut à peu près à « régularité ». La sécurité d'un système de communication ne dépend pas de son rendement en énergie, à moins que la puissance fournie ne soit limitée. La sécurité exige simplement que des signaux bien lisibles soient toujours obtenus entre les stations sans changement dans les dispositifs des appareils, quand on désire communiquer. De grands rendements en énergie ne sont pas nécessaires pour la sécurité; il suffit que les signaux arrivent en quelque sorte avec une force invariable et avec distinction. Pour atteindre ce but essentiel, il peut être nécessaire de sacrifier jusqu'à un certain point le rendement électrique en faveur de la robustesse de la construction mécanique des

appareils; il peut aussi être nécessaire d'éviter une syntonisation trop aiguë. La sécurité de fonctionnement d'un couple de stations peut ainsi être définie comme le rapport du temps qui serait nécessaire à l'expédition du trafic journalier à la vitesse ordinaire de manipulation au temps réellement employé pour la transmission du même trafic augmenté des retards occasionnés par les appareils ou par d'autres causes.

Pour avoir une grande sécurité, il faut une grande réserve de puissance afin que les signaux ne soient pas trop affaiblis par les atmosphériques ou autres causes de gêne. Des procédés de transmission et de réception à grande vitesse sont également utiles, car en moyenne le nombre de troubles atmosphériques par mot est inversement proportionnel à la vitesse de transmission. Des dispositifs pour empêcher les brouillages sont utiles, pourvu toutefois qu'ils n'amènent pas de complications produisant une grande incertitude dans la réception. Une conception et une exécution satisfaisantes au point de vue mécanique et électrique des appareils est aussi importante.

Vitesse de transmission. — De grandes vitesses de transmission sont importantes dans les cas suivants : 1° où le coût des appareils représente une grande partie du coût total ; 2° où une deuxième station peut brouiller les émissions de la première ; 3° où les « atmosphériques » sont fréquents.

La vitesse de transmission est d'habitude calculée en mots par minute, chaque mot valant cinq *v* de l'alphabet Morse.

Syntonisation. — Parmi les rendements d'exploitation, on doit aussi comprendre les propriétés des appareils concernant le degré d'accord ou la syntonisation. On a à considérer deux quantités distinctes en ce qui concerne la syntonisation. Ce sont : 1° l'exactitude de l'accord, et 2° l'acuité de l'accord. La première de ces quantités dépend de la finesse du réglage des appareils, et la deuxième est une propriété physique essentielle de ces appareils. Il faut remarquer que, si l'on n'a pas de procédés de syntonisation exacts, on peut manquer les signaux. Il est donc essentiel d'avoir des dispositifs permettant une variation lente de la longueur d'onde naturelle du récepteur, surtout si on doit recevoir des ondes faiblement amorties.

L'acuité de syntonisation peut augmenter le rendement d'exploitation en diminuant le risque de brouillage par les autres stations, mais elle peut diminuer le rendement si la syntonisation est assez aiguë pour rendre difficiles la recherche des signaux et l'accord avec eux.

Accord acoustique. — En plus de l'accord des fréquences électriques, on peut introduire une autre garantie contre les brouillages en

émittant les trains d'ondes à une fréquence musicale. Les stations d'émission peuvent ainsi être distinguées l'une de l'autre, bien qu'elles soient accordées sur la même fréquence, à l'aide d'un résonateur acoustique (monotéléphone) ou simplement grâce à la hauteur et au caractère du son reçu par l'opérateur.

Si la station émet des ondes continues ou presque continues, un interrupteur dans le circuit de réception permet la réception et a en plus l'avantage d'éliminer dans une grande proportion les signaux parasites pouvant venir d'autres stations à étincelle rare ; car, pour qu'un point soit entendu, il faut que l'interrupteur de réception soit fermé pendant qu'il arrive, et les probabilités sont très grandes pour que ce fait ne se produise pas si l'interrupteur ne ferme le circuit que pendant de courtes périodes avec des espaces blancs particulièrement longs.

Le rendement télégraphique. — Toutes les quantités décrites dans les précédents chapitres sont des facteurs du rendement télégraphique. Il me paraît prématuré d'essayer de les combiner dans une formule unique. J'ai cependant indiqué leur rôle dans le tableau I.

CHAPITRE XX

CALCUL D'UNE STATION SYNTONIQUE DE TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

Ce chapitre est presque entièrement une traduction d'un travail publié dans l'*Elettricista* du 15 juin 1906 et dû à A. Montel et traduit avec son autorisation. Il donne un exposé concis des calculs nécessités par l'établissement d'une station de télégraphie sans fil. Les méthodes et les résultats sont naturellement seulement grossièrement approximatifs, car les données exactes et la théorie manquent encore. Cette approximation donne cependant une idée très satisfaisante des valeurs des grandeurs mises en œuvre et des dimensions convenables des appareils pour chaque cas particulier. J'ai ajouté quelques explications quand elles paraissaient nécessaires, me conformant autrement strictement à l'original.

Il faut remarquer que, contrairement à l'habitude, la fréquence n représente dans ces équations le nombre de demi-périodes par seconde. Pour ramener ces équations à la notation habituelle, on devrait donc remplacer n par $2N$, N étant le nombre de périodes complètes par seconde. Dans les exemples numériques, il est plus simple de faire les calculs comme ils sont en se rappelant que la fréquence serait réellement moitié moindre.

Le travail de M. Montel est le suivant :

La station de transmission consiste essentiellement (*fig. 194*) en un circuit oscillant fermé et en une antenne qui lui est accouplée. C_1 est le condensateur, B est une source d'énergie (secondaire de transformateur), F l'éclateur et L_1 la self du circuit.

Dans la télégraphie syntonique, on met en œuvre de grandes quantités d'énergie; donc C_1 doit être d'une grandeur suffisante bien que $C_1 L_1$ ne doive pas dépasser une certaine limite; il faut donc rendre L_1 petit. La résistance ohmique doit être faible et l'éclateur F doit être divisé en

petites fractions. Ces conditions sont choisies en vue de rendre le coefficient d'amortissement aussi faible que possible.

Le décrément (amortissement rapporté au nombre de périodes) dépend principalement de la longueur de l'étincelle, qui peut varier de 0^{cm}.4 à 0^{cm}.5, suivant la capacité du condensateur, etc., et la résistance du circuit. Il dépend également de la nature et de la dimension des sphères F,

F et de l'hystérésis diélectrique des condensateurs. Désignons par α_1 le décrément dans le circuit oscillant considéré et supposons-le égal à 0,06, ce chiffre représentant un décrément aussi faible qu'on peut l'espérer pour un circuit contenant un éclateur.

En calculant un circuit, on part généralement de sa fréquence n (nombre d'inversions par seconde) ou, ce qui revient au même, de la longueur d'onde qu'on désire adopter pour l'émission. La longueur d'onde doit

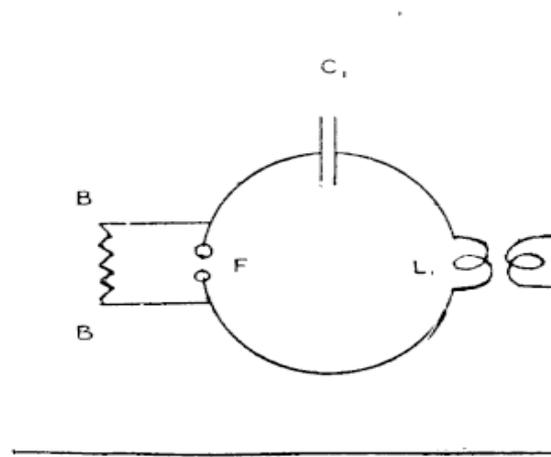


FIG. 194.

croître avec la portée, car de grandes ondes tournent plus facilement les obstacles et parce que, pour émettre de grandes quantités d'énergie, il faut de grandes longueurs d'onde. Il ne faut cependant pas pécher par excès, car en augmentant la longueur d'onde, on augmente aussi la sensibilité aux troubles atmosphériques.

On a (1) :

$$n = \frac{1}{\pi \sqrt{C_1 \mathcal{L}_1}} \quad (1)$$

\mathcal{L}_1 est donné par la forme et les dimensions du circuit et par le diamètre du fil. Si par exemple le circuit est circulaire et de rayon R, et le fil de rayon r , on a l'équation :

$$\mathcal{L}_1 = 4\pi R \left(\log \frac{8R}{r} - 2 \right) \text{ C. G. S.} \quad (2)$$

Dans cette équation, on néglige la self interne du conducteur, car elle est très peu appréciable pour de hautes fréquences et des conducteurs non magnétiques.

De (1), on déduit :

$$C_1 = \frac{1}{\pi^2 n^2 \mathcal{L}_1} \quad (3)$$

(1). n représente la pulsation ; C et \mathcal{L} sont en unités C. G. S. électromagnétiques (1 microforad = 10^{-12} et 1 henry = 10^9 de ces unités).

Soit V_1 le potentiel auquel le condensateur doit être chargé, étant donnée la distance à laquelle on veut télégraphier, cette dernière dépendant du courant dans l'antenne, et celui-ci de la capacité et du potentiel.

$$w = \frac{1}{2} C_1 V_1^2 \quad (4)$$

représente la quantité d'énergie consommée dans une décharge, et, si on désigne par m leur nombre par seconde,

$$W = \frac{1}{2} m C_1 V_1^2 \quad (5)$$

représente la puissance de la station.

La décharge doit être oscillante, aussi peu amortie que possible : c'est-à-dire la résistance et la radiation doivent être négligeables. Si donc i_1 est le courant de décharge, I_1 son amplitude maxima, on a approximativement pour le cas considéré où l'amortissement est faible :

$$I_1 = \frac{V_1}{\pi n \mathcal{L}_1}$$

EXEMPLE NUMÉRIQUE. — *Circuit de condensateur d'un transmetteur.*

Si le circuit est circulaire, le diamètre du fil de 0^m,8, le rayon du circuit de 30 centimètres, et la valeur de n égale à 3×10^6 , on déduit de (2) et (3) :

$$\mathcal{L}_1 = 4 \times 3,14 \times 30 \left[\log_e \left(\frac{240}{0,4} \right) - 2 \right] = 4.656 \text{ C. G. S.},$$

$$C_1 = \frac{4}{3,14^2 \times 3^2 \times 10^{12} \times 4.656} = 6,8 \times 10^{-18} \text{ C. G. S.} = 6,8 \times 10^{-3} \text{ microfarad.}$$

Si on fait $V_1 = 15.000 \text{ volts} = 15 \times 10^{11} \text{ C.G.S.}$ et $m = 30$, on déduit de (4) et (5)

$$w = 0,5 \times 6,8 \times 10^{-18} \times 15^2 \times 10^{22} = 0,765 \times 10^7 \text{ C. G. S.} = 0,765 \text{ watt,}$$

$$W = 30 \times 0,765 = 22,95 \text{ watts,}$$

$$I_1 = \frac{15 \times 10^{11}}{3,14 \times 3 \times 10^6 \times 4.656} = 96 \text{ C. G. S.} = 960 \text{ ampères.}$$

L'antenne doit avoir la même fréquence n , une capacité importante et un grand pouvoir de radiation.

Au lieu d'employer une connexion de terre directe, sujette à des variations (sauf pour une station de bord), il est préférable d'employer un contrepoids électrique, c'est-à-dire un conducteur de surface considérable voisin de la terre.

Nous admettrons, pour plus de facilité dans les calculs, que l'antenne est formée d'un simple fil, auquel cas (1)

$$n = \frac{3 \times 10^{10}}{2l}, \quad (7)$$

l étant la longueur du fil d'antenne, en supposant que le contrepois est égal à l'antenne donnée. De cette équation on peut tirer $l = 5 \times 10^3$ si $n = 3 \times 10^6$.

Pour la télégraphie à une distance donnée, l'intensité du courant dans l'antenne fixe pratiquement toutes les autres conditions. Le potentiel maximum dans l'antenne ne doit pas dépasser une certaine limite, sinon la charge peut être dissipée par suite de fuite; il dépend également du circuit du condensateur, du degré d'accouplement entre ce circuit et l'antenne. La relation entre le courant et la tension peut être représentée par

$$I_2 = 2nC_2V_2, \quad (8)$$

que nous déduisons de la formule connue

$$I = \pi nCV,$$

en tenant compte de la distribution sinusoïdale du courant et de la tension le long de l'antenne. Si nous connaissons V_2 et si nous donnons une valeur définie à I_2 , nous obtenons C_2 . Mais on a aussi

$$C_2 = \frac{l}{2 \log \frac{2l}{r}} \frac{1}{9} 10^{-20} \text{ C. G. S.}, \quad (9)$$

où r est le rayon de l'antenne que nous cherchons.

Dans le cas où r n'est pas négligeable à côté de la longueur de l'antenne, la fréquence n à la place de la valeur donnée en (2) peut être prise, suivant M. Abraham, égale à :

$$n = \frac{3 \times 10^{10}}{2l \left[1 + 5,6 \left(\frac{1}{4 \log \frac{2l}{r}} \right)^2 \right]}. \quad (10)$$

Mais généralement il n'est pas nécessaire de tenir compte de l'épaisseur du fil d'antenne.

(1) D'après M. H. Macdonald, la longueur d'onde totale serait de 5 fois la longueur de l'antenne, et non de 4 fois comme on l'admet. Des expériences ont montré que la valeur intermédiaire 4,8 est à peu près exacte (voy. Fleming, *Electric Wave Telegraphy*, p. 559).

En ne tenant compte que de l'oscillation fondamentale, nous avons, suivant M. Abraham, pour le décrement a_2 de l'antenne, l'expression :

$$a_2 = \frac{2,44}{\log \frac{2l}{r}} \quad (11)$$

dans laquelle on néglige l'amortissement dû à l'échauffement provenant de la résistance ohmique. Cette approximation est en général correcte, Sommerfeld ayant montré que la perte en chaleur par effet Joule produit un amortissement représenté par la formule :

$$a_j = \frac{4,1}{r} \sqrt{\frac{2 \frac{\mu}{\sigma} 2l}{\sigma}} \times 10^{-7} \quad (12)$$

où σ est la conductance en unités C. G. S., μ la perméabilité du fil, μ_0 celle du milieu diélectrique, et r le rayon du fil d'antenne; or cette quantité est petite.

La self de l'antenne est, pour de hautes fréquences :

$$L_2 = 2 \times 2l \times \log \frac{2l}{r} \text{ C. G. S.} \quad (13)$$

L'accouplement du circuit du condensateur à l'antenne doit être aussi faible que possible, afin d'éviter une réaction appréciable du circuit secondaire sur le primaire, et, pour avoir une efficacité maxima, on doit s'assurer que le ventre de courant est bien situé à la base de l'antenne.

Soit M_{21} le coefficient d'induction mutuelle dans le cas de la valeur instantanée du courant donnée pour chaque point du circuit. Dans notre cas, nous pouvons le remplacer par l'expression $\frac{4}{\pi} M_{21}$,

Le courant oscillant i_1 dans le circuit du condensateur produit dans l'antenne une force électromotrice e_2 telle que :

$$e_2 = -\frac{4}{\pi} M_{21} \frac{di_1}{dt} \quad (14)$$

et, si E_2 est l'amplitude :

$$E_2 = \pi n \left(\frac{4}{\pi} M_{21} \right) I_1 = 4n M_{21} I_1 \quad (15)$$

EXEMPLE NUMÉRIQUE. — *Antenne de transmission.*

De (7) on déduit :

$$2l = \frac{3 \times 10^{10}}{3 \times 10^6} = 10^3.$$

Pour fixer le diamètre de l'antenne, supposons que la capacité est par exemple de 300 centimètres (unités électrostatiques, nous déduisons alors de (9)

$$300 = \frac{5 \times 10^3}{2 \log \frac{10^4}{r}}$$

d'où on tire $r = 3$. D'après cela, notre antenne devrait être constituée par un conducteur de 6 centimètres de diamètre. Naturellement, en pratique, on emploierait une antenne composée de plusieurs fils.

De (1) on déduit :

$$a_2 = \frac{2,44}{\log \frac{10^4}{3}} = 0,3.$$

Comme nous l'avons dit, la formule (7) n'est valable qu'autant que le diamètre de l'antenne est négligeable vis-à-vis de sa longueur. Voyons en appliquant (10) si tel est bien le cas ici :

$$n = \frac{3 \times 10^{10}}{10^4 \left\{ 1 + 3,6 \left[\frac{1}{4 \log \left(\frac{10^4}{3} \right)} \right]^2 \right\}}$$

L'expression $3,6 \left[\frac{1}{4 \log \left(\frac{10^4}{3} \right)} \right]^2 = 0,005$ montre que la fréquence n correspond à $2l = 10^4 \times 1,005$, soit environ 10^4 . Nous pouvons donc négliger la différence.

De (13) on tire :

$$I_2 = 2 \times 10^4 \log \frac{10^4}{3} = 160.000 \text{ C. G. S.,}$$

et de (12) :

$$a_j = \frac{1,1}{3} \sqrt{\frac{2 \times 4 \times 10^4}{59 \times 10^{-5}}} \times 10^{-7} = 0,00021.$$

On voit ainsi que l'amortissement dû à la perte par effet Joule est tout à fait négligeable comparé avec a_2 , que nous venons de déterminer.

L'oscillation dans l'antenne. — L'antenne est le siège de deux sortes d'oscillations, l'une étant son oscillation propre et l'autre celle du circuit de condensateur. Dans le cas actuel, on a la même fréquence pour les deux, et la théorie montre que les deux oscillations ont l'amplitude initiale donnée et respectivement les décréments a_1 et a_2 . Les deux oscil-

lations se composent et donnent naissance à une seule oscillation résultante.

Avant de continuer, on peut faire l'observation que, si l'intensité maxima du courant à la base de l'antenne est connue, il est possible de déterminer le potentiel maximum du sommet.

Dans un circuit oscillant dans lequel les valeurs instantanées du courant et du potentiel peuvent être fixées en chaque point de la longueur, on a comme expressions de l'énergie du circuit les formules bien connues :

$$\left. \begin{aligned} w &= \frac{1}{2} CV^2, \\ w &= \frac{1}{2} LI^2. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

C représente la capacité du circuit, c'est-à-dire le nombre de lignes d'induction électrique qui partent d'une moitié du circuit et aboutissent à l'autre moitié, quand la différence de potentiel est l'unité ; \mathcal{L} est la self de tout le circuit et I et V sont les amplitudes du courant et du potentiel.

Les expressions (16) représentent la même quantité d'énergie qui, au moment où le potentiel est maximum, est entièrement sous forme électrique, et au moment où le courant est maximum, est entièrement sous forme magnétique.

Nous en déduisons :

$$CV^2 = \mathcal{L}I^2$$

et, en remarquant que $n = \frac{1}{\pi \sqrt{\mathcal{L}C}}$, nous trouvons de nouveau l'équation (6) :

$$I = \frac{V}{\pi n \mathcal{L}}$$

Dans le cas de notre antenne, nous pouvons supposer que C représente la capacité donnée par la formule (9) pour l'antenne seule : on doit tenir compte du mode de distribution sinusoïdal le long d'elle du potentiel et, pour cette raison, introduire $\frac{C}{\pi}$ au lieu de C ; de même, \mathcal{L} représentant la self de tout le circuit donnée par (13), nous devons y substituer $\frac{2\mathcal{L}}{\pi}$. Dans les équations (16), V représente les différences de potentiel maxima entre les extrémités du circuit. Si nous désignons par V' la différence maxima entre le sommet et la base de l'antenne, c'est-à-dire entre un point extrême et le milieu du circuit oscillant.

ou a :

$$V = \frac{1}{2} V. \tag{17}$$

Nous tirons donc de (16) :

$$\frac{1}{2} \frac{G}{\pi} (2V)^2 = \frac{1}{2} \frac{2\mathcal{E}}{\pi} I^2,$$

d'où :

$$V = I \sqrt{\frac{\mathcal{E}}{2C}}. \tag{18}$$

Si, au lieu des valeurs maxima du voltage et du courant dans l'antenne, nous prenons les valeurs efficaces φ, γ , nous obtenons de même :

$$\varphi = \gamma \sqrt{\frac{\mathcal{E}}{2C}}. \tag{19}$$

La formule $n = \frac{1}{\pi \sqrt{LC}}$, dans notre cas de distribution sinusoïdale du courant et du potentiel le long du circuit, se réduit à :

$$n = \frac{1}{\sqrt{2 LC}}, \tag{20}$$

et de (18), (19), (20) nous tirons :

$$I = \frac{V}{n\mathcal{E}}, \tag{21}$$

$$\gamma = \frac{\varphi}{n\mathcal{E}}. \tag{22}$$

Pour reprendre la suite de notre raisonnement, le potentiel oscillant φ_2 de l'antenne est la somme algébrique de deux v_2^i et v_2^r , et, si V_2 est leur amplitude commune :

$$\left. \begin{aligned} v_2^i &= V_2 e^{-a_1 t} \cos \frac{\pi x}{2l} \sin (\pi n t - \psi^i), \\ v_2^r &= V_2 e^{-a_2 t} \cos \frac{\pi x}{2l} \sin (\pi n t - \psi^r), \\ \varphi_2 &= v_2^i - v_2^r = V_2 (e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t}) \cos \frac{\pi x}{2l} \sin \pi n t, \end{aligned} \right\} \tag{23}$$

où x représente la distance au sommet de l'antenne.

La théorie ⁽¹⁾ donne, pour le cas de notre antenne, où V_2 est comme

(1) Voyez ZENNECK, *Oscillations électromagnétiques*, p. 586.

dans (8) :

$$V_2' = \frac{1}{2} \frac{\pi E_2}{\alpha_1 - \alpha_2}; \quad (24)$$

$$V_{2\max} = V_1 \frac{M_{21}}{\mathcal{L}_1} \frac{2}{\alpha_2} \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right)^{\frac{\alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1}}, \left. \begin{aligned} & \\ & = \frac{1}{2} E_2 \frac{\pi}{\alpha_2} \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right)^{\frac{\alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1}}; \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

$$\gamma_{22}^2 = \frac{1}{8} \frac{E_2^2 \pi^2}{n} \frac{1}{\alpha_1 \alpha_2 (\alpha_1 + \alpha_2)}; \quad (26)$$

E_2 est donné par (15). Dans ces trois formules, en tenant compte de (21), nous tirons les courants :

$$I_2' = \frac{\pi E_2}{2n \mathcal{L}_2 (\alpha_1 - \alpha_2)}; \quad (27)$$

$$I_{2\max} = \frac{V_1 M_{21}}{n \mathcal{L}_2 \mathcal{L}_1} \frac{2}{\alpha_2} \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right)^{\frac{\alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1}}, \left. \begin{aligned} & \\ & = \frac{1 E_2 \pi}{2n \mathcal{L}_2 \alpha_2} \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right)^{\frac{\alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1}}; \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

$$\gamma_{22}^2 = \frac{E_2^2 \pi^2}{n^2 \mathcal{L}_2^2} \frac{1}{\alpha_1 \alpha_2 (\alpha_1 + \alpha_2)}. \quad (29)$$

Au commencement de l'oscillation, I_2 et V_2 ont la valeur zéro, et s'accroissent graduellement, jusqu'à atteindre le maximum $I_{2\max}$ et $V_{2\max}$, et commencent alors à décroître.

φ_2 et γ_2 sont les valeurs efficaces du potentiel et du courant. Les déviations de l'instrument de mesure sont proportionnelles à leur carré.

L'équation (29) donne la valeur efficace du courant pendant une décharge simple et γ_2 est proportionnel à une quantité donnée d'énergie par unité de temps. Si, par seconde, nous avons m décharges, la quantité d'énergie par seconde sera m fois plus grande et nous devons poser :

$$\gamma_{22}^2 = m \frac{E_2^2 \pi^2}{8n^2 \mathcal{L}_2^2} \frac{1}{\alpha_1 \alpha_2 (\alpha_1 + \alpha_2)}, \quad (30)$$

et d'une manière analogue :

$$\gamma_{33}^2 = \frac{m}{8} \frac{E_2^2 \pi^2}{n} \frac{1}{\alpha_1 \alpha_2 (\alpha_1 + \alpha_2)}. \quad (31)$$

EXEMPLE NUMÉRIQUE. — *Antenne d'émission.*

Supposons $M_2^1 = 200$.

De (13) nous tirons comme nous l'avons vu,

$$E_2 = 160.000 \text{ C. G. S.},$$

et de (15) :

$$E_2 = 4 \times 3 \times 10^6 \times 200 \times 96 = 2.300 \times 10^8 \text{ C. G. S.} = 2.300 \text{ volts.}$$

En substituant dans (24) et (28), nous obtenons :

$$V_2 = \frac{1}{2} \frac{3,14 \times 2.300 \times 10^8}{0,30 - 0,06} = 15.000 \times 10^8 \text{ C. G. S.} = 15.000 \text{ volts.}$$

$$I_2 = \frac{15 \times 10^{11}}{48 \times 10^{10}} = 2,88 \text{ C. G. S.} = 28,8 \text{ ampères.}$$

$$V_{2\max} = 15 \times 10^{11} \frac{200}{1.656} \frac{2}{0,30} \left(\frac{0,06}{0,30} \right)^{\frac{0,06}{0,30 - 0,06}} = 8,30 \times 10^{11} \text{ C. G. S.},$$

$$V_{2\max} = 8.300 \text{ volts.}$$

$$I_{2\max} = \frac{8 \times 30 \times 10^{11}}{3 \times 10^7 \times 16 \times 10^4} = 1,71 \text{ C. G. S.} = 17,1 \text{ ampères.}$$

et en supposant que $m = 30$ nous déduisons de (31) et (22) :

$$\varepsilon_2^2 = \frac{30 \times 2.300^2 \times 10^{16} \times 3,14^2}{8 \times 3 \times 10^6} \frac{1}{0,30 \times 0,06 (0,30 - 0,06)},$$

$$\varepsilon_2^2 = 10.050 \times 10^{16} \text{ C. G. S.},$$

d'où :

$$\varepsilon_2 = 100 \times 10^8 \text{ C. G. S.} = 100 \text{ volts.}$$

$$i_2 = \frac{100 \times 10^8}{3 \times 10^6 \times 16 \times 10^4} = 0,021 \text{ C. G. S.} = 0,21 \text{ ampère.}$$

Le circuit de réception. — Considérons maintenant la station de réception qui peut être disposée comme le marque la figure 195. L'antenne est supposée identique à celle de la station d'émission et est faiblement accouplée à un circuit oscillant contenant, par exemple, un cohéreur K et deux condensateurs (dispositifs de Marconi). Le cohéreur au premier moment de l'arrivée de l'onde peut être considéré comme un condensateur, C, est un condensateur de grande capacité par rapport à celle du cohéreur, connecté, en parallèle avec lui, de sorte que les conditions générales du circuit ne soient pas affectées par

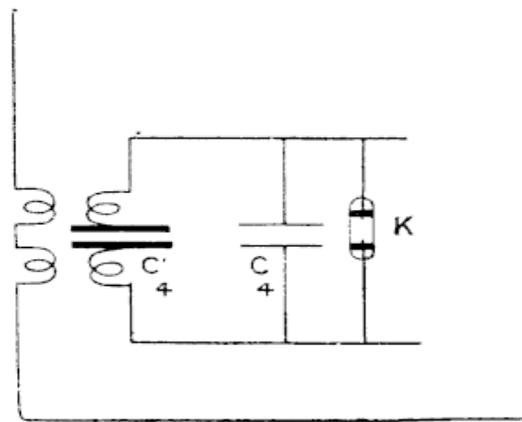


FIG. 195.

les variations de la capacité du cohéreur occasionnées par les mouvements de la limaille, C' est un condensateur empêchant un court-circuitage du relais et de la batterie. Sa capacité est beaucoup plus grande que celle de C_1 , assez grande pour que les conditions du circuit oscillant aboutissant à C_1 et au cohéreur ne soient pas altérées par sa présence. En calculant approximativement le circuit, nous ne tenons pas compte de la capacité du cohéreur. Nous avons :

$$n = \frac{1}{\pi \sqrt{L_1 C_1}},$$

où n est la fréquence adoptée par la station d'émission. L_1 varie suivant la forme et les dimensions du circuit et le diamètre du fil. C_1 doit être comme nous l'avons dit assez grand, mais pas trop grand, de manière à n'avoir pas à exagérer la valeur de C_1 .

D'après les expériences de Duddell et Taylor, le courant efficace dans l'antenne de réception est proportionnel à l'intensité du courant d'émission et inversement proportionnel à la distance entre les stations.

Dans notre cas, supposons qu'à l'aide d'un instrument, nous puissions connaître le courant γ_3 au pied de l'antenne. Ce courant γ_3 est la résultante d'une composante i_3' avec le décrément α_1 de la station d'émission et d'une autre i_3'' ayant le décrément α_2 de l'antenne de réception. Les équations pour le potentiel et le courant sont analogues à (22).

Connaissant γ_3^2 nous tenons de (30), en changeant les indices :

$$E_2 = \frac{\gamma_3^2 8n^3 \Sigma_2^2 \alpha_1 \alpha_2 (\alpha_1 + \alpha_2)}{m\pi^2} \quad (32)$$

et :

$$V_3' = \frac{1}{2} \frac{\pi E_3}{\alpha_1 - \alpha_2}, \quad (33)$$

$$V_{3\max} = \frac{1}{2} E_3 \frac{\pi}{\alpha_2} \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right)^{\frac{\alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1}}, \quad (34)$$

$$I_3' = \frac{\pi E_3}{2n \Sigma_2 (\alpha_1 - \alpha_2)}, \quad (35)$$

$$I_{3\max} = \frac{1}{2n \Sigma_2} E_3 \frac{\pi}{\alpha_2} \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right)^{\frac{\alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1}}, \quad (36)$$

$$\tau_2^2 = \frac{m}{8} \frac{E_3^2 \pi^2}{n} \frac{1}{\alpha_1 \alpha_2 (\alpha_1 + \alpha_2)}. \quad (37)$$

EXEMPLE NUMÉRIQUE. — *Antenne de réception.*

Si, à la base de l'antenne de réception, nous trouvons un courant :

$$\gamma_3 = 3.10^{-3} \text{ ampères} = 3.10^{-4} \text{ C. G. S.},$$

alors nous tirons de (37) :

$$\Phi_3 = 3 \times 10^{-3} \times 3 \times 10^6 \times 16 \times 10^3 = 4,45 \times 10^8 \text{ C. G. S.} = 1,45 \text{ volt.}$$

En appliquant les équations de (32) à (36), on obtient :

$$E_3 = \frac{2 \times 10^{-3} \times 2 \sqrt{2} \times 3 \sqrt{3} \times 10^9 \times 16 \times 10^3}{\sqrt{30} \times 3,14},$$

$$E_3 = 28,4 \times 10^8 \text{ C. G. S.} = 28,4 \text{ volts,}$$

$$V_3 = \frac{3,14 \times 28,4 \times 10^8}{2 \times 0,30 - 0,06} = 185 \times 10^8 \text{ C. G. S.} = 185 \text{ volts,}$$

$$I_3 = \frac{185 \times 10^8}{48 \times 10^{10}} = 3,8 \times 10^{-2} \text{ C. G. S.} = 0,38 \text{ ampère,}$$

$$V_{3\max} = \frac{1}{2} 28,4 \times 10^8 \frac{3,14}{0,30} \left(\frac{0,06}{0,30} \right)^{\frac{0,06}{0,30 - 0,06}} = 104 \times 10^8 \text{ C. G. S.} = 104 \text{ volts,}$$

$$I_{3\max} = \frac{104 \times 10^8}{48 \times 10^{10}} = 2,17 \times 10^{-2} \text{ C. G. S.} = 0,217 \text{ ampère.}$$

Le circuit secondaire de la station de réception. — Le secondaire de la station de réception est formé essentiellement, comme nous l'avons dit, du circuit fermé du condensateur C_4 . Une force électromotrice e_4 est produite en lui, en ses points de couplage avec l'antenne, et correspond aux oscillations transmises par la station d'émission. Ce circuit n'étant pas interrompu par un éclateur, il peut être construit de manière que son amortissement soit excessivement faible. Supposons-le égal à $\alpha_4 = 0,006$.

Les oscillations imprimées au circuit ont le décrément $\alpha_4 = 0,06$ de la station d'émission, tandis que dans le circuit de réception lui-même le décrément est, comme indiqué ci-dessus, $\alpha_4 = 0,006$. Au début, l'oscillation résultante a évidemment la valeur nulle ; elle s'accroît jusqu'à un maximum et décroît ensuite jusqu'à zéro ; α_4 étant dans notre cas beaucoup plus grand que α_4 , l'accroissement de l'oscillation est beaucoup plus rapide que sa décroissance, et nous pouvons admettre, avec une approximation suffisante pour nous donner au moins les maxima, que nous avons affaire à une oscillation ayant le simple décrément α_4 et une amplitude égale à l'amplitude maxima de l'oscillation composée.

La force électro-motrice est donnée par la formule :

$$e_4 = - M_{43} \frac{di_3}{dt}, \quad (38)$$

et son amplitude est :

$$E_4 = I_{3\max} \pi n M_{43}. \quad (39)$$

Comme nous l'avons dit, au début de l'action des ondes, le cohéreur se comporte comme un condensateur. Pendant ce temps nos équations restent bonnes ; mais quand l'oscillation atteint le maximum, ou quand

le cohéreur est cohéré (ce qui peut arriver plus tôt), les équations ont atteint leur but et ne sont plus bonnes ensuite.

Nous pouvons donc admettre que (24), (25), (27), (28) restent bonnes, comme elles ne traitent que de la valeur instantanée du courant et du potentiel en un point du circuit ; elles peuvent donc se transformer en les suivantes :

$$V'_i = \frac{\pi E_i}{z_1 - z_2}, \quad (40)$$

$$V_{i\max} = E_i \frac{\pi}{a_1} \left(\frac{z_1}{z_2} \right)^{\frac{a_1}{z_1 - z_2}}, \quad (41)$$

$$I'_i = \frac{E_i}{L_1 n (a_1 - a_2)}, \quad (42)$$

$$I_{i\max} = E_i \frac{1}{n L_1 a_1} \left(\frac{z_1}{z_2} \right)^{\frac{a_1}{z_1 - z_2}}.$$

EXEMPLE NUMÉRIQUE. — *Circuit de cohéreur.*

De (40), (41) et (6), nous déduisons, en faisant $M = 200$ et $\xi_i = \xi_1 = 1656$:

$$E_i = 2,17 \times 10^{-2} \times 3,14 \times 3 \times 10^6 \times 200 = 0,4 \text{ C. G. S.} = 0,4 \text{ volt,}$$

$$V'_i = \frac{3,14 \times 0,4 \times 10^8}{0,060 - 0,006} = 23,6 \times 10^8 \text{ C. G. S.} = 23,6 \text{ volts,}$$

$$V_{i\max} = 0,4 \times 10^8 \times \frac{3,14}{0,006} \left(\frac{0,06}{0,006} \right)^{-\frac{0,06}{0,054}} = 16,4 \times 10^8 \text{ C. G. S.} = 16,4 \text{ volts,}$$

$$I'_i = \frac{23,6 \times 10^8}{3 \times 10^6 \times 3,14 \times 1656} = 0,15 \text{ C. G. S.} = 1,5 \text{ ampère,}$$

$$I_{i\max} = \frac{16,4 \times 10^8}{3 \times 10^6 \times 3,14 \times 1656} = 0,11 \text{ C. G. S.} = 1,1 \text{ ampère.}$$

Ce que nous venons de dire peut servir à donner une idée quantitative quoique très approximative des phénomènes de la télégraphie syntonique, et montre les moyens de déterminer par le calcul les dimensions des différentes parties d'une installation. Les résultats les plus remarquables que fournissent les exemples numériques donnés sont la démonstration de la difficulté d'obtenir des potentiels suffisamment hauts pour des transmissions à longue distance.

En général, on peut dire que les nombres fournis par les calculs sont, sinon complètement exacts, du moins suffisants pour donner des chiffres pour une étude des valeurs maxima et des quantités qui en dépendent.

NOTA. — Les quantités dont dépend l'action des différents types de détecteurs sont :

Pour les cohéreurs, $V_{i\max}$;

Pour les détecteurs magnétiques, $I_{i\max}$;

Pour les thermiques, γ^2 .

CHAPITRE XXI

TABLES ET NOTES

Afin de rendre ce volume plus utile à ceux qui s'occupent de télégraphie sans fil, nous donnons dans ce chapitre quelques tables numériques ainsi que quelques renseignements.

Plusieurs de ces tables sont nouvelles et ont été établies spécialement pour cet ouvrage ; quand elles ont été empruntées à d'autres travaux, la source d'où elles sont tirées est indiquée.

TABLE I. — RIGIDITÉ DIÉLECTRIQUE DE DIFFÉRENTS ISOLANTS

Kilovolts par centimètre nécessaires pour percer le diélectrique

Micanite	4.000
Mica.....	2.000
Papier de lin paraffiné.	540
Ébonite.....	538
Caoutchouc	492
Huile de lin.....	83
Huile de coton	67
Huile de graissage.....	48
Couche d'air de 2 millimètres d'épaisseur.....	57
Couche d'air de 0 ^m ,6.....	27

Les nombres de ce tableau sont empruntés à différentes sources.

NOTE. — Pour les propriétés de la porcelaine, consulter H. Haworth, *Electrician*, 1^{er} janvier 1909.

TABLE II. — CAPACITÉS INDUCTIVES SPÉCIFIQUES OU INDUCTIVITÉS

(L'inductivité de l'air est prise comme unité)

SOLIDES	
Ébonite	2,5
Verre suivant la densité	6 à 10
Gutta-percha	3
Caoutchouc pur	2,2
— vulcanisé	2,8
Mica	6,7
Paraffine	2,1
Soufre	3,8 à 4,7
LIQUIDES	
Huile de castor	4,8
Huile de pétrole	2,1
Eau à 15° C.	80

NOTE. — Pour des courants de hautes fréquences, les capacités inductives spécifiques sont généralement un peu moindres que les chiffres donnés ci-dessus.

TABLE III. — RÉSISTANCES SPÉCIFIQUES DES MÉTAUX

Argent	1,568
Cuivre	1,561
Or	2,197
Aluminium	2,663
Fer	9,063
Étain	13,048
Plomb	20,380
Mercure	94,070

(En unités C. G. S. par centimètre cube; 1 ohm = 10⁹ C. G. S.)

Définitions et formules

Fréquence = Nombre de cycles complets par seconde : symbole N.

Période = Durée d'un cycle : symbole T.

Longueur d'onde en mètres = $\frac{3 \times 10^8}{N}$: symbole λ .

Fréquence naturelle d'un circuit électrique ouvert = $\frac{5 \times 10^6}{\sqrt{C\xi}}$, ou

C = capacité en microfarads, \mathcal{L} = self en centim. : ou $\lambda = 60\sqrt{C\mathcal{L}}$ mètres (1).

Énergie dans un circuit oscillant : l'énergie potentielle d'un condensateur chargé est $\frac{CV^2}{2}$.

Amortissement. — Dans une onde où les oscillations décroissent d'amplitude, l'amortissement est le rapport de l'amplitude de la deuxième onde positive à la première. Le logarithme népérien de l'inverse de ce rapport s'appelle le *décément logarithmique* par période ou cycle : symbole δ .

Dans quelques ouvrages anglais, le décément est pris par demi-période, c'est-à-dire :

$$\delta' = \log_e \frac{a_1}{a}$$

où a_1, a sont les amplitudes de la première onde négative et de la première onde positive. Si a_2 est l'amplitude de la seconde onde positive,

$$\delta = \log_e \frac{a_1}{a_2} = \log_e \frac{a_1}{a} \frac{a}{a_2} = \log_e \left(\frac{a_1}{a} \right)^2 = 2\delta',$$

puisque :

$$\frac{a_1}{a} = \frac{a'}{a_2}$$

D'où :

$$\delta = 2\delta',$$

Unités du Dr Burstyn. — Le Dr Burstyn a proposé les unités suivantes convenant bien pour les grandeurs de la radiotélégraphie :

$$\begin{array}{ll} \text{Unité de capacité} & = 10.000 \text{ centimètres} \\ \text{Unité de self} & = 25.330 \quad \text{—} \end{array}$$

On a alors pour les longueurs d'onde en kilomètres :

$$\lambda = \sqrt{C\mathcal{L}}$$

Il a également montré que :

$$\delta = \pi \cos \alpha,$$

où α est la différence de phase entre le voltage et le courant.

(1) Ou $\lambda = 2\pi \sqrt{C\mathcal{L}}$ mètres, C et \mathcal{L} étant exprimés en mètres.

TABLE IV. — CAPACITÉ DE CONDENSATEURS A PLAQUES PARALLÈLES
en micro-microfarads.

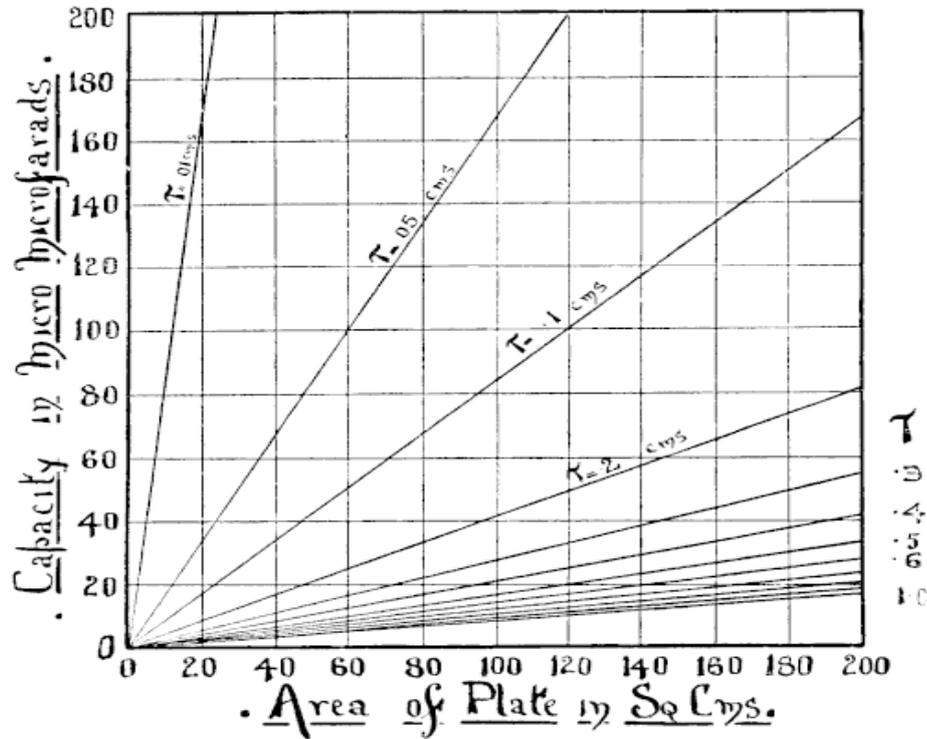


FIG. 196. — Surface des plaques en centimètres carrés.

Les lignes correspondent à des plaques distantes de $\tau = 0^{\text{m}}.01$, etc., etc. Les valeurs sont seulement approchées, sauf si les surfaces sont grandes par rapport à l'épaisseur τ de la lame diélectrique.

Le diélectrique est supposé de l'air; sinon il faut multiplier les résultats par la capacité inductive spécifique.

Pour réduire en microfarads, il faut diviser par 10^6 .

NOTE. — Pour trouver la capacité d'un condensateur plus grand ou plus petit que ceux portés dans le diagramme, on n'a qu'à multiplier les deux colonnes par le même facteur, par exemple par 10 ou $\frac{1}{10}$.

Ex. : deux plaques, chacune de 1^{m^2} , 200 de surface, à $0^{\text{m}},5$ de distance dans l'air, ont une capacité de 200 micro-microfarads.

TABLE V. — CAPACITÉ D'UN CONDENSATEUR CYLINDRIQUE
(en micro-microfarads)

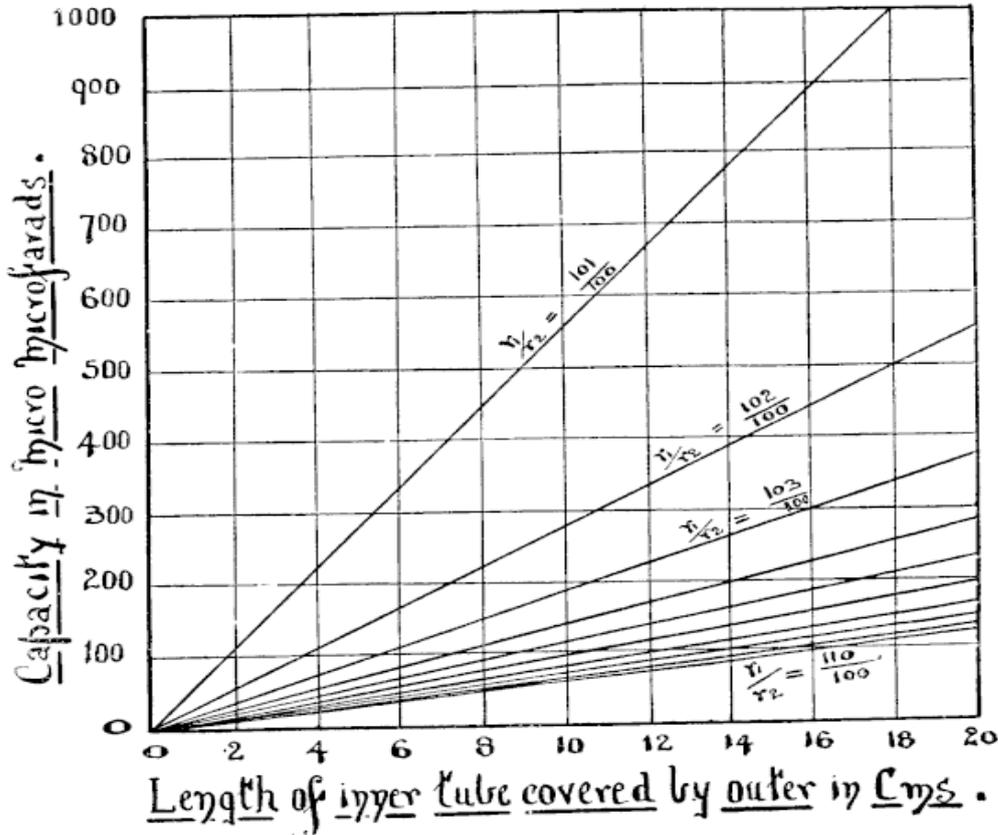


FIG. 197. — Longueur du tube intérieur recouvert par le tube extérieur en centimètres.

Le diélectrique est supposé être de l'air. Si on emploie un autre diélectrique, il faut multiplier par la capacité inductive spécifique.

Le rapport $\frac{r_1}{r_2}$ est le rapport du rayon intérieur du grand tube au rayon extérieur du tube intérieur.

Les lignes entre $\frac{r_1}{r_2} = \frac{103}{100}$ et $\frac{r_1}{r_2} = \frac{110}{100}$ sont pour les valeurs de $\frac{r_1}{r_2} = \frac{104}{100}$, etc. Les longueurs absolues des rayons n'interviennent pas, mais seulement les rapports.

Pour avoir des microfarads, il faut diviser par 10^6 .

TABLE VI. — CAPACITÉ DE FILS VERTICAUX DE LONGUEURS ET DIAMÈTRES DIFFÉRENTS EN MILLIONS DE MICROFARADS

$$\left(\text{De la formule } K = \frac{l}{2 \log e \frac{2l}{d}} \right)$$

NUMÉROS	DIAMÈTRE en centimètres	HAUTEUR EN MÈTRES					
		5	10	20	30	50	50
4	0,590	37,4	68,3	126	181	234	286
10	0,325	34,4	63,7	118	170	220	269
16	0,162	31,8	59,0	110	158	206	252
22	0,071	29,1	54,2	102	147	191	234
36	0,019	25,6	47,8	90,6	132	172	211

La capacité de plusieurs fils voisins les uns des autres est toujours moindre que la somme de leurs capacités individuelles.

La capacité d'un fil composé est peu supérieure à celle d'un fil seul de la même circonférence extérieure.

TABLE VII. — SELF DE BOBINE PAR CENTIMÈTRE DE LONGUEUR

D	N = 1	N = 2	N = 3	N = 4
1	9,86	39,36	88,56	157
2	39,40	157	354,60	630
3	88,70	354,80	798,30	1.419
4	157	630	1.419	2.520
5	243	984	2.214	3.936
6	354	1.419	3.186	5.664
7	482	1.928	4.338	7.712
8	630	2.520	5.670	10.080
9	798	3.192	7.182	12.768
10	986	3.936	8.856	15.744

D = diamètre en centimètres ;

N = tours par centimètre.

Les selfs sont données en centimètres d henry = 10^9 centimètres et sont calculées d'après la formule approximative

$$L = \pi DN^2.$$

Pour obtenir la self approximative d'une bobine de longueur l , on n'a qu'à multiplier par l le chiffre donné dans le tableau. A moins que la bobine ne soit longue par rapport à son diamètre, le nombre trouvé ne représente qu'une approximation grossière. Le tableau donne des chiffres environ 4 0 0 trop grands, si la longueur de la bobine n'est que de 10 fois son diamètre.

**Formules pour des selfs de différentes formes
à très hautes fréquences.**

(En centimètres. — 1 henry = 10^9 centimètres).

1° Fil droit, longueur = l centimètres, diamètre = d centimètres :

$$L = 2l \left(2,3026 \log_{10} \frac{4l}{d} - 1 \right).$$

2° Circuit carré, longueur du côté = l centimètres, diamètre du fil = d centimètres.

$$L = 8l \left(2,3026 \log_{10} \frac{8l}{d} - 1,910 \right).$$

3° Circuit circulaire, diamètre = D centimètres, diamètre du fil = d centimètres :

$$L = 2\pi D \left[\left(1 + \frac{d^2}{4D^2} \right) (2,3026 \log_{10} - 2) \right].$$

4° Long rectangle formé de deux fils parallèles et de deux fils transversaux écartés de D centimètres l'un de l'autre. Longueur de chaque fil = l centimètres, diamètre du fil = d centimètres :

$$L = 4l \left(2,3026 \log \frac{2D}{d} \right).$$

5° Bobine (une couche), N tours par centimètre, diamètre d'enroulement D centimètres, longueur de la bobine = l centimètres :

$$L = (\pi DN)^2 l \left[1 - 0,424 \frac{D}{l} + 0,125 \left(\frac{D}{l} \right)^2 - 0,0156 \left(\frac{D}{l} \right)^4 \right].$$

NOTE. — Il faut diviser par 1.000 pour avoir des microhenrys.

TABLE VIII. — RÉSISTANCE DE FILS DE CUIVRE DROITS
AUX COURANTS CONTINUS ET DE HAUTE FRÉQUENCE

NUMÉROS	DIAMÈTRE en centimètres	RÉSISTANCE en ohms par mètre au courant continu	RÉSISTANCE EN OHMS PAR MÈTRE pour des courants de HF non amortis de fréquences		
			10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷
12	0,264	0,00312	0,0109	0,0328	0,102
14	0,203	0,00528	0,0142	0,0430	0,130
16	0,163	0,00824	0,0180	0,0527	0,168
18	0,122	0,0147	0,0253	0,0715	0,223
20	0,091	0,0260	0,0358	0,0933	0,300
22	0,071	0,0431	0,0509	0,1207	0,389
30	0,0315	0,220	0,220	0,269	0,900
32	0,0274	0,290	0,290	0,313	1,042
34	0,0234	0,398	0,398	0,416	1,235
36	0,0193	0,585	0,585	0,597	1,525
38	0,0152	0,943	0,943	0,950	2,080
40	0,0122	1,466	1,466	1,473	2,580
42	0,0102	2,109	2,109	2,200	3,260
44	0,0081	3,300	3,300	3,300	4,070

Calculé d'après les formules de Kelvin, Maxwell et Rayleigh modifiées par Blyński. Si R est la résistance au courant constant et R' au courant de haute fréquence.

$$\frac{R'}{R} = 1 \text{ quand } \sqrt{a} = \sqrt{\frac{2\pi r^2 \rho}{\lambda}} < 0,5;$$

$$\frac{R'}{R} = 0,079 \times 4a - 0,156 \times 2\sqrt{a} + 1,077, \text{ quand } \sqrt{a} \text{ est entre } 0,5 \text{ et } 1,5;$$

$$\frac{R'}{R} = \frac{2\sqrt{2a} - 1}{4} \text{ quand } \sqrt{a} > 1,5.$$

NOTE. — La résistance de fils courbés est un peu plus forte à cause de la distribution non uniforme du courant.

NOTE. — *Fil d'aluminium d'antenne.* — Un fil d'aluminium assez épais, par exemple n° 16, du même diamètre qu'un fil de cuivre, a environ 1,7 fois la résistance, la même capacité, et un tiers du poids par mètre.

TABLE IX. — RAPPORT DE LA RÉSISTANCE R'' DE HAUTE FRÉQUENCE AVEC AMORTISSEMENT A R , RÉSISTANCE DONNÉE DANS LA TABLE VIII POUR DES COURANTS NON AMORTIS DE HAUTE FRÉQUENCE.

(D'après les formules du Dr Barton)

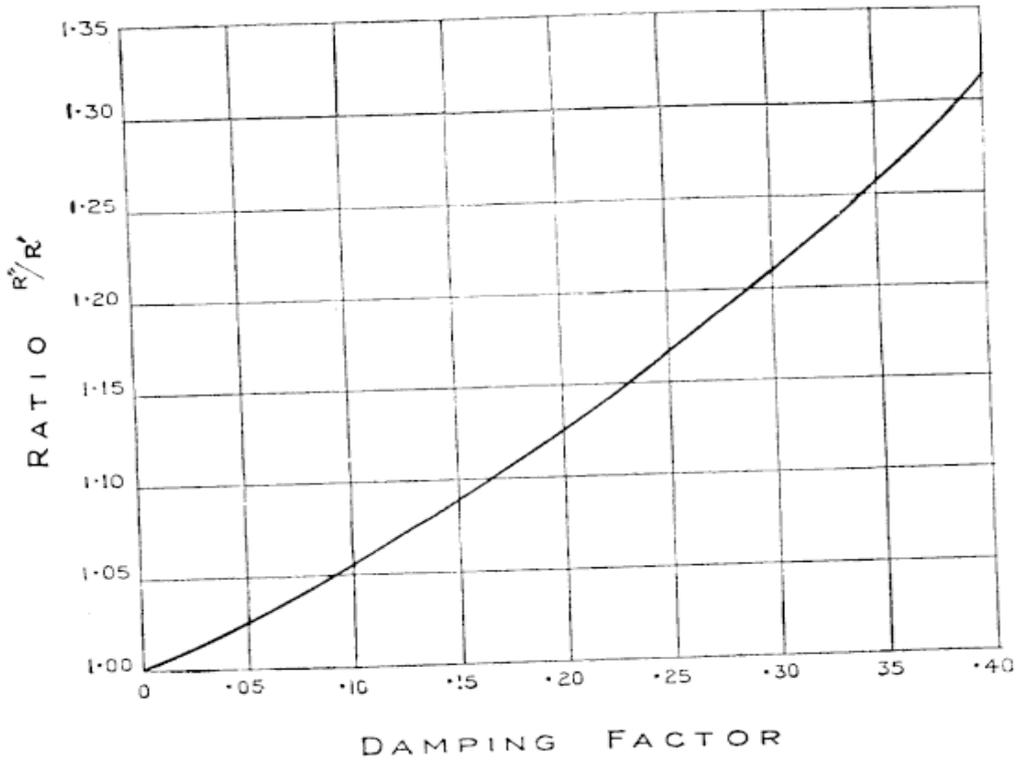


FIG. 198. — Facteur d'amortissement = décrement logarithmique par période divisé par 2π . Le facteur 0,05 correspond donc à $\zeta = 0,314$; le facteur 0,40, à $\zeta = 0,628$.

NOTES SUR LA RÉSISTANCE DES ÉTINCELLES. — La résistance de l'étincelle est en général la résistance la plus grande dans le trajet des oscillations dans un circuit de télégraphie sans fil. Elle varie d'une fraction d'ohm pour une étincelle de 1 millimètre à 8 à 10 ohms pour 1 centimètre et sa valeur dépend de la nature des électrodes, de la capacité en circuit et de l'amortissement. La résistance totale de plusieurs étincelles en série est inférieure à la résistance d'une seule étincelle de longueur égale à la somme des autres; c'est pourquoi on divise actuellement les éclateurs.

TABLE X. — LONGUEURS D'ÉTINCELLES DANS L'AIR
AVEC DES BOULES D'ÉCLATEUR DE DIFFÉRENTES DIMENSIONS

(D'après les expériences de M. E. Watson)

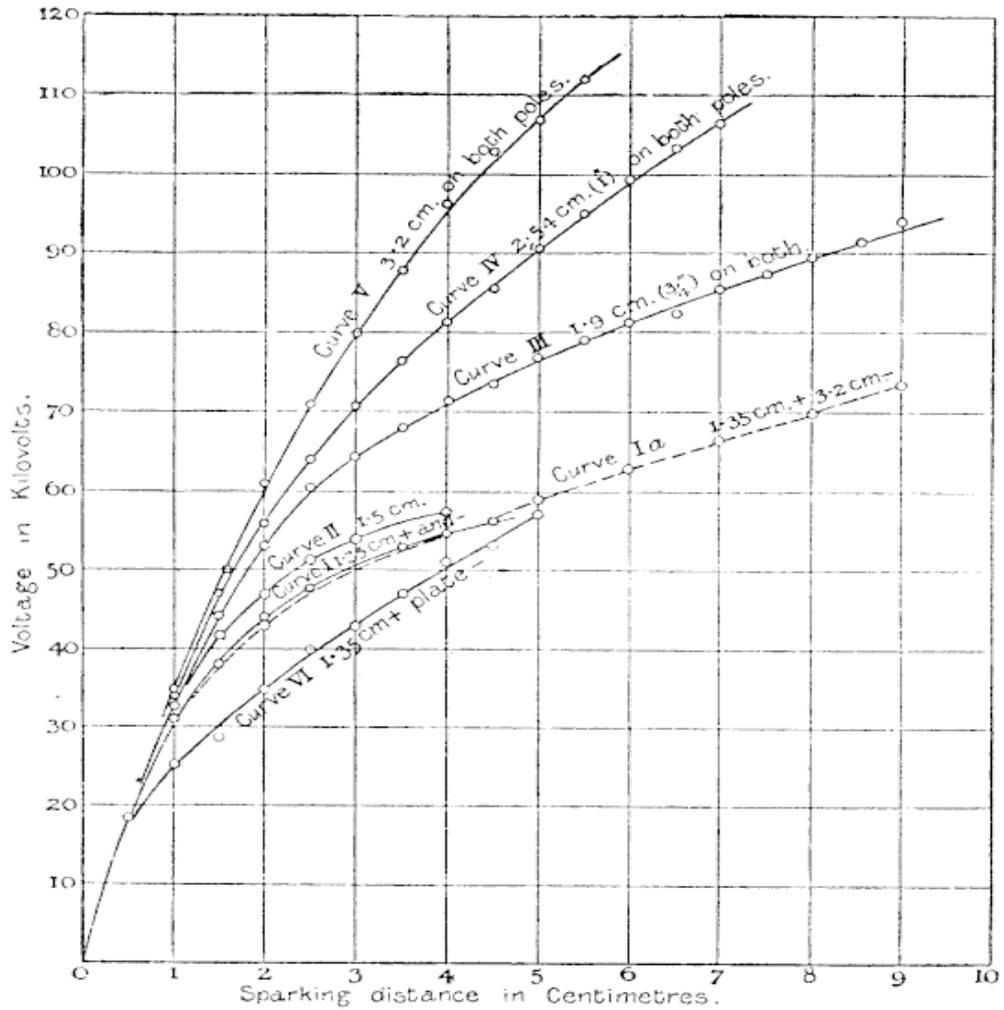


FIG. 199. — Distance d'éclatement en centimètres.

TABLE XI. — PETITES DISTANCES D'ÉCLATEMENT DANS L'AIR
EN MILLIONIÈMES DE MILLIMÈTRE

(Dr P. SHAW, *Proceedings of the Royal Society*)

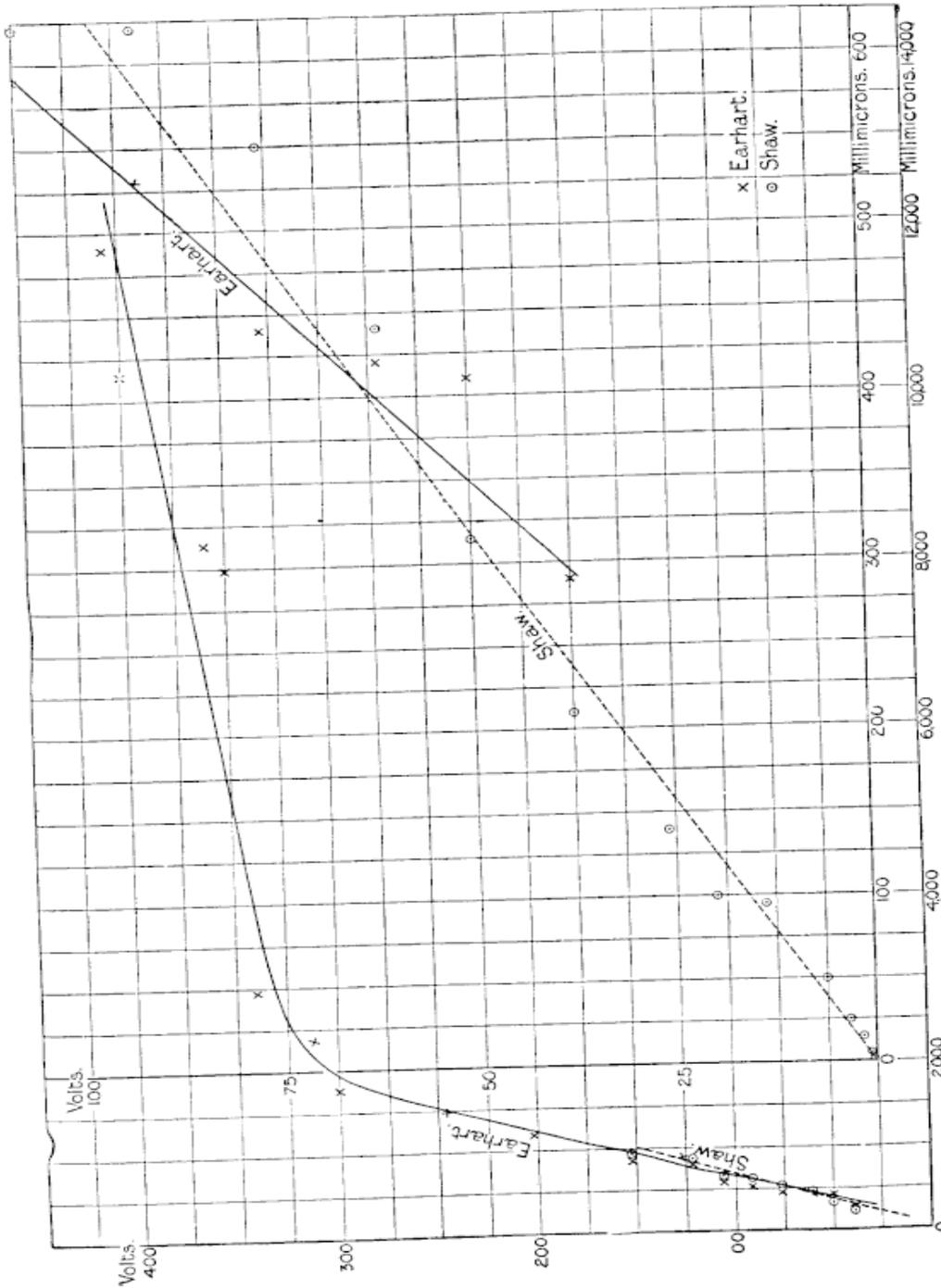


FIG. 200.

Calcul de l'amortissement. — Si δ_1 et δ_2 sont les décrets logarithmiques dans les circuits primaire et secondaire, Brandes a montré que

$$\delta_1 + \delta_2 = K \frac{C_2 - C_1}{C_0}$$

où K est un facteur numérique donné dans le tableau ci-dessous, C_0 est la capacité pour la résonance (dans le secondaire) et C_1 et C_2 sont les valeurs de la capacité pour deux points de la courbe de résonance donnant des valeurs de courant égales. Le tableau ci-dessous donne les valeurs de K pour différentes valeurs du carré du rapport du courant γ_1 se produisant avec C_1 et C_2 au courant γ_0 se produisant avec C_0 , c'est-à-dire quand les circuits sont en résonance.

En général, le secondaire est naturellement le circuit d'ondemètre dont le décrement δ_2 et les autres constantes sont déjà connus.

$\left(\frac{\gamma_1}{\gamma_0}\right)^2$	0,90	0,80	0,75
K	4,71	3,14	2,72

Si le circuit primaire est traversé par un courant de haute fréquence uniforme, δ_1 disparaît de l'équation et δ_2 s'obtient directement.

Si cependant le courant primaire est amorti, il faut faire une seconde détermination où on introduit une résistance connue R' . Alors la somme des décrets devient

$$\delta_1 + \delta_2 + \frac{R'}{2NI} = K \frac{C_2 - C_1}{C_0}$$

donnant une deuxième équation permettant, avec la première, d'obtenir δ_1 et δ_2 .

AMORTISSEMENTS D'ANTIENNES DUS A LA RADIATION (ZENNECK)

Parapluie	$\delta = 0,1$
Antenne droite et T.....	$\delta = 0,2 \text{ à } 0,3$
Éventail ou cône.....	$\delta = 0,3 \text{ à } 0,4$
Double cône	$\delta = 0,5$

NOTES SUR LES MOTEURS A ESSENCE, LES DYNAMOS ET LES ACCUMULATEURS. — Verser toujours l'essence dans le réservoir à travers un tamis, car de petites particules solides peuvent déranger le carburateur.

Employer une bonne qualité d'essence pour éviter des ennuis avec les soupapes.

Étudier le moteur jusqu'à ce qu'on en connaisse les points faibles et les surveiller alors avec soin.

S'il y a beaucoup d'étincelles aux balais de la dynamo, les tourner autour du collecteur jusqu'à ce que celles-ci diminuent.

Si des taches apparaissent au collecteur, enlever les balais et polir le collecteur avec une toile d'émeri en ayant soin que de l'émeri ne pénètre pas dans les paliers, et terminer avec un chiffon huilé, enlevant la poussière.

Ne jamais charger ou décharger les accumulateurs à des régimes plus élevés que ceux indiqués par les fabricants. Ne jamais laisser le voltage d'un accumulateur descendre au-dessous de 1,85 volt et les recharger au moins une fois par quinzaine, même si on ne les emploie pas. Pousser la charge jusqu'à ce que l'acide devienne laiteux par suite du dégagement rapide de gaz entre les plaques. La densité de l'acide doit être au moins de 1,195.

Si les plaques tendent à se désagréger, réduire le régime de charge ou de décharge et examiner de temps en temps les accumulateurs pour éviter des courts-circuits entre les plaques.

Suivre strictement les instructions spéciales données par les fabricants.

Sensibilité des téléphones aux sons de différentes hauteurs. — Les chiffres suivants sont empruntés à un travail de H. Eccles de l'*Electron* de février 1909 :

FREQUENCES	COURANT EN AMPERES	ERGS PAR SECONDE	SENSIBILITÉ
64	1.200×10^{-8}	116.000×10^{-6}	0,00028
128	160	3.640	0,012
256	13,50	56,80	0,77
512	2,70	4	10,90
720	0,80	0,44	100
1.024	1,35	1,40	30,3
1.500	2,40	5,50	8,1

Les courants donnés sont ceux qui produisent juste un son perceptible, la sensibilité maxima étant prise égale à 100.

Pertes diélectriques dans les condensateurs. — Hahnemann et Adelmann ont obtenu les résultats représentés dans les diagrammes A et B par des expériences sur les courants de haute fréquence.

δ = décrement logarithmique (sans hystérésis);
 $\Delta\delta$ = accroissement du décrement dû à l'hystérésis diélectrique.

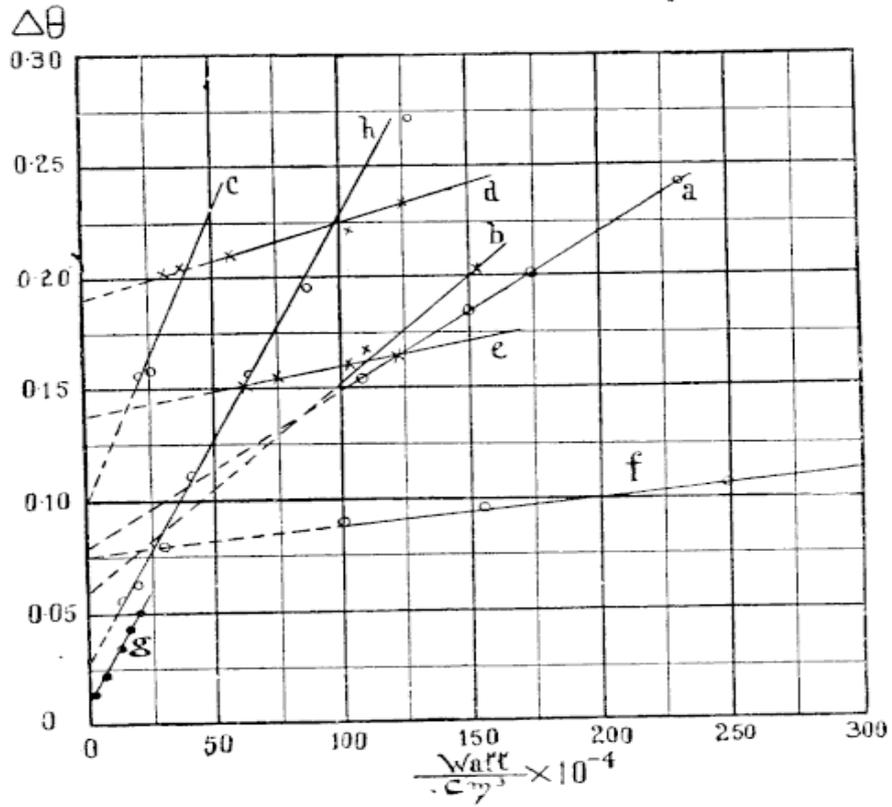


FIG. 201.

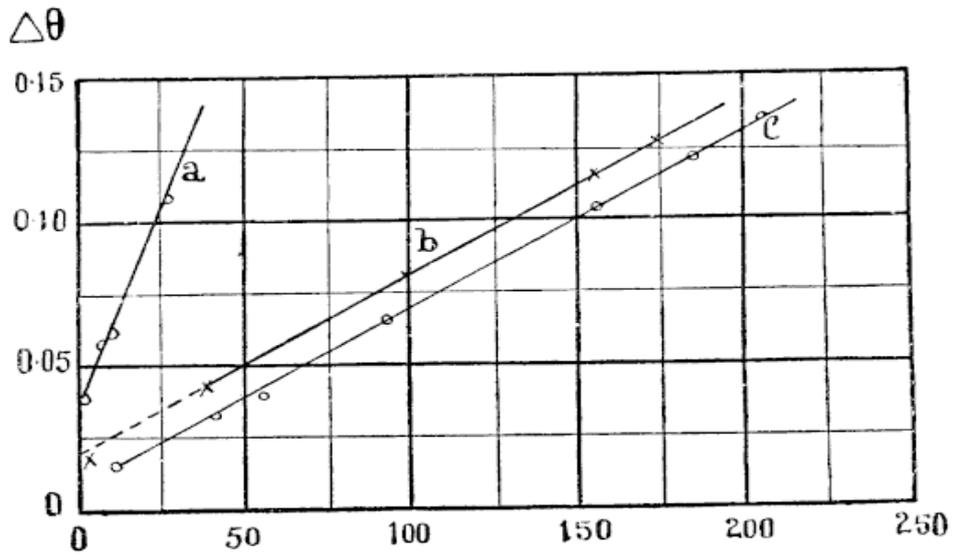


FIG. 202.

L'expérience montre que pour un potentiel donné $\Delta\varphi$ est indépendant de la capacité et de la fréquence. La figure 201 montre la relation de $\Delta\varphi$ aux watts par centimètre cube de diélectrique : a, b, c, d sont pour le caoutchouc, e le papier, f le celluloïd, g l'ébonite, h le mica. La figure 202 donne la valeur de $\Delta\varphi$ pour le carré du potentiel en kilovolts par millimètre : a le verre d'opale, b le flint, c bouteille de Leyde de l'A. E. G.

APPENDICE

SIGNAUX HORAIRES ET RADIOTÉLÉGRAMMES MÉTÉOROLOGIQUES TRANSMIS CHAQUE JOUR PAR LA STATION DE LA TOUR EIFFEL

Les signaux horaires proprement dits sont transmis le matin à 10 h. 43 m., 10 h. 47 m. et 10 h. 49 m., la nuit à 23 h. 45 m. et 23 h. 49 (temps légal ou de Greenwich).

Une série de 180 battements rythmés permettant d'appliquer la méthode des coïncidences pour obtenir l'heure avec une grande approximation est transmise chaque nuit à 23 h. 30. Les heures des 1^{er} et 180^e battements, calculées à l'Observatoire de Paris, sont transmises en chiffres immédiatement après le signal horaire de 23 h. 49 m.

Un télégramme météorologique d'ordre général est expédié chaque matin aussitôt après le signal horaire de 10 h. 49 m.

Trois télégrammes météorologiques, relatifs à la région parisienne, sont transmis chaque jour (sauf les dimanches et jours fériés) respectivement à 8 h., à 10 h. 55 m. environ (aussitôt après le télégramme météorologique d'ordre général) et à 15 h.

Le détail de ces diverses émissions, qui sont toutes faites avec une même longueur d'onde de 2.200 mètres environ, est donné ci-après.

Signaux horaires de jour. — Quelques minutes avant 10 h. 45, la station radiotélégraphique de la Tour Eiffel est reliée, par des lignes souterraines, à l'Observatoire de Paris, d'où les appareils d'émission radiotélégraphique de la Tour peuvent alors être commandés par l'intermédiaire de relais.

A 10 h. 43 m. environ, on transmet les mots : Observatoire de Paris.

A 10 h. 44, il est fait une série de signaux d'avertissement consistant en une suite de traits

— — — — —

et prenant fin à 10 h. 44 m. 55 s. environ.

A 10 h. 45 m. 0 s., une pendule de l'Observatoire ferme elle-même le circuit d'émission, par un dispositif approprié, pendant un temps égal à $\frac{1}{4}$ de seconde environ, ce qui produit un *point* un peu long : c'est le premier signal horaire.

A 10 h. 46 m. environ, il est fait une nouvelle série de signaux d'avertissement consistant en une série de *traits* séparés par *deux points*

et prenant fin à 10 h. 46 m. 55 s. environ.

A 10 h. 47 m. 0 s., le deuxième signal horaire est transmis de la même manière que le premier.

A 10 h. 48 m. environ, il est fait une troisième série de signaux d'avertissement consistant cette fois en une série de *traits* séparés par *4 points*

et prenant fin à 10 h. 48 m. 55 s. environ.

A 10 h. 49 m. 0 s., le troisième signal horaire est transmis de la même manière que les deux précédents.

La nature des signaux d'avertissement fait avant chacun des trois signaux horaires permet d'éviter toute confusion.

Signaux horaires de nuit. — Les signaux horaires de nuit sont transmis de la même façon que les signaux horaires de jour, à 23 h. 45 m., 23 h. 47 m. et 23 h. 49 m.

Signaux rythmés. — Chaque nuit à 23 h. 30 environ, il est transmis une série de 180 points radiotélégraphiques espacés de $(1 - \frac{1}{50})$ seconde environ, les 60° et 120° étant supprimés pour établir des repères de comptage. Cette série est écoutée à l'Observatoire de Paris dans un récepteur de T. S. F. et comparée aux battements d'une pendule garde-temps par la méthode des coïncidences. Un calcul très simple permet de passer des heures notées à la pendule des coïncidences à celles exactes à un ou deux centièmes près des 1^{er} et 180^e points de la série qu'on transforme en heures temps légal en ajoutant la correction correspondante de la pendule.

Ces dernières heures sont transmises aussitôt après le signal horaire de 23 h. 49 m. 0 s. de la manière suivante :

----- 301328-330880 ----- 301328-330880 -----

Si les heures des 1^{er} et 180^e battements sont, par exemple, 23h.30 m.13 s.28 et 23 h. 33 m. 8 s. 80, on transmet les deux groupes de chiffres précédents répétés deux fois.

Pour connaître avec une grande approximation la correction à apporter à un chronomètre ou une pendule de précision par rapport à l'heure légale de l'Observatoire, il suffit d'écouter les battements par l'intermédiaire d'un microphone, en même temps que la série de 180 points transmise par la Tour Eiffel. On calcule ensuite les heures du chronomètre ou de la pendule aux moments du 1^{er} et du 180^e point. En retranchant ces heures respectivement de celles correspondantes qui sont radiotélégraphiées par la Tour, on obtient deux valeurs de la correction du chronomètre ou de la pendule qui doivent concorder à deux centièmes près.

Radiotélégramme météorologique d'ordre général. — Aussitôt après le signal horaire de 40 h. 49 m., il est transmis un radiotélégramme météorologique d'ordre général, émanant du Bureau central météorologique et donnant la pression atmosphérique, la direction et la force du vent, ainsi que l'état de la mer, pour les six stations suivantes :

Reykjavik (Islande), *Valentia* (Irlande), *Ouessant* (France), *la Corogne* (Espagne), *Horta* (Açores), *Saint-Pierre et Miquelon* (Amérique).

Les observations des cinq premières stations sont celles du jour même à 7 heures du matin ; pour la dernière, ce sont celles de la veille à 8 heures du soir.

Ces stations sont désignées respectivement dans la dépêche par leur initiale (R, V, O, G, H, S).

Les renseignements météorologiques, correspondant à chacune d'elles, sont condensés en un groupe de chiffres constitué de la manière suivante :

Les deux premiers chiffres indiquent en millimètres la valeur de la pression atmosphérique, en supprimant le chiffre des centaines (7). Les deux chiffres suivants donnent la direction du vent, le cinquième sa force et le sixième l'état de la mer. (Cette dernière indication n'est pas donnée dans les groupes correspondant à Reykjavik et à Saint-Pierre et Miquelon.)

La traduction de ces chiffres en langage ordinaire est donnée par les tableaux ci-après.

Lorsqu'une observation manque pour une station, les chiffres correspondant à cette observation dans le groupe de la station sont remplacés par des lettres X.

Chaque groupe est précédé de la lettre caractéristique de la station à laquelle il se rapporte.

A la suite des 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.

Exemple de télégramme :

BCM . R48167 . V742013 . 0703211 . C680411 . H73XX01 . S62162

Anticyclone Europe centrale beau temps général dépression Ouest Irlande allant vers Est.

La traduction des groupes est la suivante :

BCM (Bureau Central Météorologique). — Reykiavik : pression 748, vent sud très fort. — Valentia : pression 774, vent SW presque calme, mer peu agitée, etc., etc...

DIRECTION DU VENT			
02 == NNE	10 == ESE	18 == SSW	26 == WNW
04 == NE	12 == SE	20 == SW	28 == NW
06 == ENE	14 == SSE	22 == WSW	30 == NNW
08 == E	16 == S	24 == W	32 == N

FORCE DU VENT		ÉTAT DE LA MER
0 Calme.....	0 à 1 mètre à la seconde.	0 Calme.
1 Presque calme.....	1 à 2 —	1 Très belle.
2 Très faible. — Légère brise.	2 à 4 —	2 Belle
3 Faible. — Petite brise.....	4 à 6 —	3 Peu agitée.
4 Modéré. — Jolie brise.....	6 à 8 —	4 Agitée.
5 Assez fort. — Bonne brise..	8 à 10 —	5 Houleuse.
6 Fort. — Bon frais.....	10 à 12 —	6 Très houleuse.
7 Très fort. — Grand frais....	12 à 14 —	7 Grosse.
8 Violent. — Coup de vent... 14 à 16	—	8 Très grosse.
9 Tempête..... plus de 16	—	9 Tempête.

Radiotélégrammes météorologiques de la région parisienne. — Il est transmis chaque jour trois radiotélégrammes météorologiques relatifs à la région parisienne, à 8 heures, à 10 h. 53 environ et à 15 heures.

Chacun d'eux indique les renseignements ci-après fournis par le Bureau central météorologique, une demi-heure avant la transmission :

1° Vitesse du vent au sommet de la Tour Eiffel, en mètres par seconde et le sens de la variation ;

2° La direction du vent :

N . NNE . NE . ENE . E . ESE . SE . SSE . S
 N . NNW . NW . WNW . W . WSE . SW . SSW . S

et le sens de la variation de sa direction vers le Nord ou vers le Sud :

3° La pression barométrique au Bureau central météorologique et le sens de sa variation ;

4° L'état du ciel ;

5° Les conditions particulières.

Ces radiotélégrammes ont donc la forme suivante :

« Voici renseignements météorologiques Paris »

Vent x (mètres à la seconde)	}	croissant
		décroissant
		stationnaire
Direction y (comme 2° ci-dessus)	}	stationnaire
		vers le Nord
		vers le Sud
Pression z (en millimètres)	}	croissante
		décroissante
		stationnaire

Ciel : découvert — nuageux — couvert.

Soleil, temps brumeux, brouillard, pluie fine, pluie violente, neige.

Ces trois télégrammes ne sont pas, en principe, transmis les dimanches et jours fériés.

CONVENTION RADIOTÉLÉGRAPHIQUE INTERNATIONALE

CONCLUE ENTRE

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.

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 1^{er}, 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 1^{er}, indépendamment de l'installation dont les indications sont publiées conformément à l'article 6, d'autres dispositifs sont 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° a) La « taxe côtière » qui appartient à la station côtière ;
- b) La « taxe de bord » qui appartient à la station de bord ;
- 2° La taxe pour la transmission sur les lignes télégraphiques, calculée d'après les règles ordinaires ;

3° 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 ses 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'Erythrée ;
 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 1^{er}.

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 emporte 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-Petersbourg du 10/22 juillet 1875 sont applicables à la radiotélégraphie internationale.

ART. 18. — En cas de dissentiment 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 1^{er} 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 internationale 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 originaires 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.

Fait à Londres, le 5 juillet 1912.

RÈGLEMENT DE SERVICE ANNEXÉ A LA CONVENTION RADIOTÉLÉGRAPHIQUE INTERNATIONALE

1. — Organisation des stations radiotélégraphiques.

ART. I. — 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 1.800 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 600 mètres ou qu'elles soient supérieures à 1.600 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.

ARR. 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 (paragraphe 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.

ARR. V. — 1. Le Bureau international dresse, publie et revise 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'atterrissage.

2. Il établit et publie une nomenclature des stations radiotélégraphiques visées à l'article 1^{er} 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 1^{er} 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 1^{er} de la Convention. Des essais et des exercices

ne sont tolérés dans ces stations qu'autant qu'ils ne troublent 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 en déchargeant directement l'antenne par étincelles (*plain aerial*) n'est pas autorisé, sauf dans les cas de détresse.

Il peut cependant être admis pour certaines stations spéciales (par exemple celles 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 opérer dans un rayon supérieur 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, paragraphe 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, paragraphe 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 1^{re} 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 six 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.* — 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° Stations ayant un service permanent ;
- 2° Stations ayant un service de durée limitée ;
- 3° Stations n'ayant pas de vacations déterminées.

Pendant la navigation, doivent rester en permanence sur écoute : 1° les stations de la première catégorie ; 2° 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 dix 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. — Les radiotélégrammes portent, comme premier mot du préambule, la mention de service « radio ».

2. Dans la transmission de radiotélégrammes originaux 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 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 rémunération équitable du travail radiotélégraphique, avec application facultative d'un minimum de taxe par radiotélégramme.

La taxe côtière ne peut dépasser 60 centimes par mot, et celle du bord 40 centimes 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 originaux 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 dix 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 originaire 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 originaire 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 paragraphe 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 : « *e* retransmissions télégraphe » ou « *e* retransmissions lettre » (*e* 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 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 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° des frais d'express (article LVIII, paragraphe 4, du Règlement télégraphique); 2° des taxes applicables aux réunions ou altérations de mots non admises, constatées par le bureau ou la station de destination (article XIX, paragraphe 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.

b) Ordre de transmission.

ART. XXIII. — Entre deux stations, les radiotélégrammes de même rang sont transmis isolément dans l'ordre alternatif ou par série 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 0/0 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 reconnaisse 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 directe 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 (article XXV), émis trois fois à des intervalles de deux minutes, l'appel ne peut être repris qu'après un intervalle de quinze 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 minima 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 para-

graphe 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 de 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 séries (article 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 quinze minutes, et rester silencieuses pendant une durée de trois minutes avant de continuer la transmission.

Les stations côtières et de bord qui travaillent dans les conditions prévues à l'article XXXV, paragraphe 2, doivent suspendre le travail à la fin de chaque période de quinze minutes et faire l'écoute sur la longueur d'onde de 600 mètres pendant une durée de trois minutes avant de continuer la transmission.

ARR. 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. Lorsque 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 la 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. Sa distance de 50 milles peut être réduite à 25 milles sous la réserve que la puissance maxima aux bornes de la génératrice n'exécède 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. — Remise 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 à son 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 le 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 neuf jours pour être transmis au navire et ainsi de suite. A défaut d'une telle demande, le radioté-

léggramme 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° *Les radiotélégrammes avec réponse payée.* Ces radiotélégrammes portent, avant 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° *Les radiotélégrammes avec collationnement ;*

3° *Les radiotélégrammes à remettre par exprès.* Mais seulement dans le 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° *Les radiotélégrammes à remettre par poste ;*

5° *Les radiotélégrammes multiples ;*

6° *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° *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° *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'atterrissage du navire réceptionnaire.

Ces radiotélégrammes ne comportent aucune retransmission radiotélégraphique.

L'adresse de ces radiotélégrammes doit être libellée ainsi qu'il suit :

1° Indication taxée « poste » suivie du nom du port où le radiotélégramme doit être remis à la poste ;

2° Nom et adresse complète du destinataire ;

3° Nom de la station de bord qui doit effectuer le dépôt à la poste ;

4° 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 25 centimes 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 quinze 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 côtières et de bord relatives à ce radiotélégramme. 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-Petersbourg 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.

11. — Comptabilité.

ART. XLII. — 1. Les taxes côtières 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 créditée, 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 à 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 et 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 collationnement, 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 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 radiotélégramme avec toutes les indications utiles et dans un délai de six 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 :

1^{re} classe : Union de l'Afrique du Sud ; Allemagne ; États-Unis d'Amérique ; Alaska ; Hawaï et les autres possessions américaines de la Polynésie ; îles 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.

2^e classe : Espagne.

3^e 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 orientale (littoral de l'océan Pacifique) ; Suède.

4^e classe : Afrique orientale allemande ; Afrique allemande du Sud-Ouest ; Cameroun ; Togo ; protectorats allemands du Pacifique ; Danemark ; Égypte ; Indo-Chine ; Mexique ; Siam ; Uruguay.

5^e classe : Afrique occidentale française ; Bosnie-Herzégovine ; Bulgarie ; Grèce ; Madagascar ; Tunisie.

6^e 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 ; Érythrée ; 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. À 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 égale-



ment, 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 télégrammes météorologiques contenant les indications intéressant la région de ces stations. Ces télégrammes, dont le texte ne doit pas dépasser 20 mots, sont transmis aux navires qui en font la demande. La taxe de ces télégrammes 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 télégrammes météorologiques sont transmis à la suite les uns des autres de manière que la durée totale de leur transmission n'excède pas dix minutes. En principe, pendant cet envoi, toutes les stations radiotélégraphiques dont la transmission peut troubler la réception de ces signaux et télégrammes font silence, de façon à permettre à toutes les stations qui le désirent de recevoir ces télégrammes et signaux. Exception est faite pour les cas de détresse et les télégrammes d'État.

4. Les Administrations facilitent la communication aux agences d'informations maritimes qu'elles agréent 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. — Dispositions 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, celles-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 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 radiotélégraphique 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 XXXVI et XLI relatives à l'indication de la voie à suivre, celles des articles LXXV, paragraphe 1, LXXVIII, paragraphes 2 à 4, et LXXIX, paragraphes 2 et 4, relatives à l'établissement des comptes. Toutefois : 1° 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° 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° 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 II de la Convention de Londres, le présent Règlement entrera en vigueur le 1^{er} juillet 1913.

En foi de quoi les plénipotentiaires respectifs ont signé ce Règlement en un exemplaire qui restera déposé aux archives du Gouvernement britannique et dont une copie sera remise à chaque Partie.

INSTRUCTION A L'USAGE DES STATIONS RADIOTÉLÉGRAPHIQUES

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

La présente Instruction contient les règles que doivent observer les stations françaises côtières et de bord pour l'exécution du service radiotélégraphique.

Ces règles visent notamment :

- 1^o La taxation des radiotélégrammes par les stations de bord;
- 2^o La transmission des correspondances entre les stations de bord et les stations côtières;
- 3^o L'admission dans le service radiotélégraphique de diverses catégories de télégrammes spéciaux;
- 4^o La comptabilité.

En outre de la présente Instruction, les stations radiotélégraphiques françaises possèdent la « Convention télégraphique internationale » et la « Convention radiotélégraphique internationale » ainsi que les Règlements qui leur sont annexés.

Ces actes fournissent les bases de l'exécution du service télégraphique et du service radiotélégraphique dans le régime international, régime qui est celui auquel sont soumises les correspondances radiotélégraphiques de toute nature, même lorsqu'elles sont échangées entre la France et un navire français, par l'intermédiaire d'une station française.

A titre de référence, les numéros des articles de ces deux Règlements se trouvent indiqués en tête des chapitres ou articles ou à la fin des paragraphes de la présente Instruction qu'ils concernent. Les lettres R. T. désignent le Règlement télégraphique international et les lettres R. R. le Règlement radiotélégraphique international.

En cas de demande de renseignements ou de contestation entre une

station de bord et une station côtière, il y aura toujours lieu de se référer, selon le cas, à l'un ou à l'autre des Règlements précités.

Ces documents devront également être consultés et leurs dispositions appliquées dans les cas particuliers qui ne sont pas traités dans la présente Instruction.

Il va sans dire que le mot « télégramme » employé dans le Règlement télégraphique s'applique aux « radiotélégrammes ».

Les stations de bord françaises sont aussi munies du Tarif télégraphique utilisé dans la métropole (1). Outre divers renseignements sur le service télégraphique, ce document contient les taxes applicables par les différentes voies usuelles aux télégrammes déposés en France à destination de tous les pays reliés au réseau général.

Ce sont les taxes indiquées dans ce Tarif qui doivent entrer dans la composition des taxes perçues pour les radiotélégrammes transmis aux stations côtières françaises.

La présente Instruction sera désignée sous le nom d'Instruction S. F.

1. — Bureaux télégraphiques et stations radiotélégraphiques.

A. — Bureaux télégraphiques.

I

Les bureaux télégraphiques ouverts à l'échange de la correspondance sont indiqués à la « Nomenclature officielle des bureaux télégraphiques ».

Des notations spéciales, dont l'explication est donnée en tête de ce document, indiquent la nature de chaque bureau et les heures pendant lesquelles il est ouvert au service.

B. — Stations radiotélégraphiques.

II

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 tableau fixe est appelée station de bord.

III

(Art. V, R. R.)

1. Les stations radiotélégraphiques sont indiquées à la « Nomenclature des stations radiotélégraphiques ».

Cette nomenclature donne pour chaque station les renseignements suivants :

1° *a*) 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 ;

b) 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 sont différenciés les uns des autres, et chacun est 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.

2. Le nom d'une station de bord indiqué à la première colonne de la Nomenclature est suivi, en cas d'homonymie, de l'indicatif d'appel de cette station.

3. Les notations suivantes sont adoptées dans les documents à l'usage du service international pour désigner les stations radiotélégraphiques :

P. G., station ouverte à la correspondance publique générale ;

P. R., 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.

IV

(Art. XIII, R. R.)

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.

2. Les stations côtières dont le service n'est pas 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.*

1. 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 la première catégorie ; 2^o celles de la deuxième catégorie, durant des heures de service ; en dehors de ces heures, ces dernières stations doivent rester sur écoute les dix premières minutes de chaque heure. Les stations de la troisième catégorie ne sont astreintes à aucun service régulier d'écoute (art. XIII, § 3 R. R.).

2. Le service radiotélégraphique de la station de bord placé sous l'autorité supérieure du commandement du navire (art. X, § 4, R. R.).

2. — Rédaction et dépôt des radiotélégrammes.

A. — Droit de correspondre par la radiotélégraphie.

V

Il est permis à toute personne de correspondre par l'intermédiaire du réseau radiotélégraphique international.

L'expéditeur d'un télégramme privé est tenu d'établir son identité, lorsqu'il y est invité par le bureau ou la station d'origine.

B. — Irresponsabilité de l'État.

VI

L'État n'est soumis à aucune responsabilité à raison du service de la correspondance privée radiotélégraphique.

C. — Rédaction.

(Art. XI, R. T.)

VII

1. La minute du télégramme doit être écrite lisiblement, en caractères qui ont leur équivalent dans le tableau réglementaire des signaux

télégraphiques et qui sont en usage dans le pays où le télégramme est présenté.

2. Ces caractères sont les suivants :

LETTRES

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, Æ, Á, Â, É, Ñ, Ò, Û.

CHIFFRES

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0.

SIGNES DE PONCTUATION ET AUTRES

Point (.), virgule (,), point et virgule (;), deux points (:), point d'interrogation (?), point d'exclamation (!), apostrophe ('), trait d'union ou tiret (—), parenthèses (), guillemets (« »), barre de fraction (/), souligné.

INDICATIONS ÉVENTUELLES ET SIGNES CONVENTIONNELS

Urgent.....	ou D
Accusé réception télégraphique (télégramme avec) ..	ou PC
Accusé réception télégraphique urgent (télégramme avec).....	ou PCD
Accusé réception postal (télégramme avec).....	ou PCP
Poste.....	—
Poste recommandée.....	ou PR
Ouvert.....	—
Mains propres.....	ou MP
Jour.....	—
Nuit.....	—
Téléphone.....	—
Télégraphe restant.....	ou TR
Poste restante.....	ou GP
Poste restante recommandée.....	ou GPR
X adresses.....	ou TMx
Communiquer toutes adresses.....	ou CTA
x jours.....	—
Réponse payée fr. x.....	ou RP fr. x
Collationnement.....	ou TC
Exprès.....	—
Exprès payé x.....	ou XPx
Exprès payé.....	ou XP
x Retransmissions télégraphe.....	—
x Retransmissions lettre.....	—

3. Les diverses parties dont se compose un télégramme doivent être libellées dans l'ordre suivant :

1° Les indications éventuelles; 2° l'adresse; 3° le texte; 4° la signature.

D. — **Indications éventuelles.**

(Art. XII, R. T.)

VIII

1. L'expéditeur doit écrire sur la minute et immédiatement avant l'adresse celles des indications éventuelles prévues par le Règlement dont il désire faire usage.

2. L'expéditeur d'un télégramme multiple doit inscrire ces indications avant l'adresse de chaque destinataire qu'elles peuvent concerner ; toutefois, s'il s'agit d'un télégramme multiple urgent, il suffit que les indications relatives à l'urgence soient inscrites une seule fois et avant la première adresse.

3. Les indications éventuelles peuvent être écrites sous la forme abrégée admise par le Règlement télégraphique. Dans ce cas, l'agent taxateur place chacune d'elles entre deux doubles traits : \equiv . Lorsqu'elles sont exprimées en langage clair, elles doivent être écrites en français.

E. — **Adresse.**a) *Radiotélégrammes émanant des navires.*

IX

(Art. XIII, R. T.)

1. Toute adresse doit, pour être admise, contenir au moins deux mots : le premier désignant le destinataire, le second indiquant le nom du bureau télégraphique de destination.

2. L'adresse doit comprendre toutes les indications nécessaires pour assurer la remise du télégramme au destinataire. Ces indications doivent être écrites en français ou dans la langue du pays de destination ; toutefois, les noms ou prénoms sont acceptés tels que l'expéditeur les a libellés.

3. L'adresse des télégrammes privés doit être telle que la remise au destinataire puisse avoir lieu sans recherches ni demandes de renseignements.

Elle doit, pour les grandes villes, faire mention de la rue et du numéro, ou, à défaut de ces indications, spécifier la profession du destinataire ou donner tous autres renseignements utiles.

Même pour les petites villes, le nom du destinataire doit être, autant que possible, accompagné d'une indication complémentaire capable de guider le bureau d'arrivée, en cas d'altération du nom propre.

4. Lorsqu'un télégramme est adressé à une personne chez une autre,

l'adresse doit comprendre, immédiatement après la désignation du véritable destinataire, l'une des mentions : « chez », « aux soins de » ou toute autre équivalente.

5. Le nom du bureau télégraphique de destination doit être placé à la suite des indications de l'adresse qui servent à désigner le destinataire et, le cas échéant, son domicile. Il doit être écrit tel qu'il figure dans la première colonne de la nomenclature officielle des bureaux. Ce nom ne peut être suivi que du nom de la subdivision territoriale ou de celui du pays, ou bien de ces deux noms. Dans ce dernier cas, c'est le nom de la subdivision territoriale qui doit suivre immédiatement celui du bureau destinataire.

6. Lorsque le nom du bureau de destination n'est pas encore publié dans la nomenclature officielle, l'expéditeur doit compléter l'adresse par la désignation du pays ou de la subdivision territoriale ou par tout autre renseignement qu'il juge suffisant pour l'acheminement de son télégramme qui, toutefois, n'est accepté qu'à ses risques et périls.

7. L'adresse peut être écrite sous une forme conventionnelle ou abrégée. Toutefois, la faculté pour un destinataire de se faire remettre un télégramme dont l'adresse est ainsi formée est subordonnée à un arrangement entre ce destinataire et le bureau télégraphique d'arrivée.

8. Les télégrammes adressés « poste restante » ou « télégraphe restant » sont acceptés avec une adresse composée, soit de lettres ou de chiffres, soit de lettres et de chiffres, lorsque l'Office destinataire admet ce genre d'adresses. Celles-ci sont admises en France, Algérie et Tunisie (consulter la station côtière pour les autres pays).

9. Les télégrammes dont l'adresse ne satisfait pas aux conditions prévues dans les paragraphes 1 et 6 du présent article sont refusés.

10. Dans tous les cas d'insuffisance de l'adresse, les télégrammes ne sont acceptés qu'aux risques et périls de l'expéditeur, si celui-ci persiste à en demander l'expédition; il en est de même dans les cas prévus au paragraphe 8.

11. Dans tous les cas, l'expéditeur supporte les conséquences de l'insuffisance de l'adresse.

b) Radiotélégrammes à destination des navires.

X

(Art. XV, R. R.)

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.

F. Texte.

XI

1. Les télégrammes sans texte sont admis (art. XIV, R. T.).

2. Le texte des radiotélégrammes peut être rédigé en langage clair ou en langage secret, ce dernier se distinguant en langage convenu et en langage chiffré. Chacun de ces langages peut être employé seul ou conjointement avec les autres dans un même télégramme (art. VI, R. T.).

3. Le texte peut également être rédigé à l'aide du Code international des signaux. La station radiotélégraphique ne traduit pas ce texte lorsque le télégramme doit être retransmis à un autre bureau télégraphique (art. XV, R. R.).

4. Tous les offices acceptent, dans toutes leurs relations, les télégrammes en langage clair. Ils peuvent n'admettre ni au départ ni à l'arrivée les télégrammes privés rédigés totalement ou partiellement en langage secret, mais ils doivent laisser ces télégrammes circuler en transit, sauf le cas de suspension défini à l'article 8 de la Convention de Saint-Petersbourg (art. VI, R. T.).

Les télégrammes en langage secret sont admis dans les relations avec la France, l'Algérie et la Tunisie. Pour les autres pays, voir le tarif télégraphique et consulter, le cas échéant, la station côtière.

XII

1. Le langage clair est celui qui offre un sens compréhensible dans l'une ou plusieurs des langues autorisées pour la correspondance télégraphique internationale.

2. Ces langues sont les suivantes :

Le français, l'albanais, l'allemand, l'ammonite, l'amaric, l'anglais, l'annamite (quocngu), l'arabe, l'arménien, le bohème (tchèque), le bulgare, le chinois, le croate, le danois, l'esclavonien, l'espagnol (castillan), le finnois, le flamand, le grec, l'hébreu, le hollandais (néerlandais), le hongrois, l'illyrique, l'islandais, l'italien, le japonais, le kiswahili, le laotien, le luganda, le luxembourgeois, le malais, le malgache, le norvégien, l'ouolof, le persan, le petit-russe, le polonais, le portugais, le

roumain, le ronthène, le russe, le serbe, le siamois, le slovaque, le slovène, le suédois, le turc et le latin.

XIII

On entend par télégrammes en langage clair ceux dont le texte est entièrement rédigé en langage clair. Toutefois, la présence d'adresses conventionnelles, de marques de commerce, de cours de bourse, de lettres représentant les signaux du Code international, d'expressions abrégées d'un usage courant dans la correspondance usuelle ou commerciale comme fob, cif, caf, svp ou toute autre analogue, ne change pas le caractère d'un télégramme en langage clair (art. VII, R. T.).

XIV

(Art. VIII, R. T.)

1. Le langage convenu est celui qui se compose de mots ne formant pas de phrases compréhensibles dans une ou plusieurs langues autorisées pour la correspondance télégraphique en langage clair.

2. Les mots, qu'ils soient réels ou artificiels, doivent être formés de syllabes pouvant se prononcer selon l'usage courant d'une des langues allemande, anglaise, espagnole, française, hollandaise, italienne, portugaise ou latine. Les mots artificiels ne doivent pas contenir les lettres accentuées ä, á, â, é, ñ, ö, ü.

3. Les mots du langage convenu ne peuvent avoir une longueur supérieure à dix caractères selon l'alphabet Morse, les combinaisons ae, aa, ao, oe, ue étant comptées chacune pour deux lettres. La combinaison ch est également comptée pour deux lettres dans les mots artificiels.

4. Les combinaisons qui ne remplissent pas les conditions des deux paragraphes qui précèdent sont considérées comme appartenant au langage en lettres ayant une signification secrète et taxées en conséquence. Toutefois, celles qui seraient formées par la réunion de deux ou plusieurs mots du langage clair contraire à l'usage de la langue ne sont point admises.

XV

(Art. IX, R. T.)

1. Le langage chiffré est celui qui est formé :

1° Soit de chiffres arabes, de groupes ou de séries de chiffres arabes ayant une signification secrète, soit de lettres (à l'exclusion des lettres accentuées ä, á, â, é, ñ, ö, ü), de groupes ou de séries de lettres ayant une signification secrète :

2° De mots, noms, expressions ou réunions de lettres ne remplissant

pas les conditions du langage clair (art. XII, XIII) ou du langage convenu (art. XIV).

2. Le mélange, dans un même groupe, de chiffres et de lettres ayant une signification secrète n'est pas admis.

3. Ne sont pas considérés comme ayant une signification secrète les groupes visés à l'article XIII.

G. — Signature.

XVI

La signature n'est pas obligatoire; elle peut être libellée par l'expéditeur sous une forme abrégée conforme à l'usage ou être remplacée par une adresse enregistrée (art. XIV, R. T.).

3. — Télégrammes d'État.

(Art. XV, R. T.)

Les télégrammes d'État sont des télégrammes qui émanent du chef d'État, des ministres, des commandants en chef des forces de terre et de mer et des agents diplomatiques ou consulaires des Gouvernements contractants. Les réponses à ces mêmes télégrammes sont considérées comme télégrammes d'État.

XVIII

1. Les télégrammes d'État doivent être revêtus au moment de leur dépôt du sceau ou du cachet de l'autorité qui les expédie. Cette formalité n'est pas exigible lorsque l'authenticité du télégramme ne peut soulever aucun doute.

2. Le droit d'émettre une réponse comme télégramme d'État est établi par la production du télégramme d'État primitif.

3. Le texte des télégrammes d'État peut, dans toutes les relations, être rédigé en langage secret.

4. Les télégrammes d'État qui ne remplissent pas les conditions visées aux articles XII, XIII, XIV et XV ne sont pas refusés; mais ils sont signalés par le bureau qui constate les irrégularités à l'Administration dont ce bureau relève.

5. Les télégrammes d'État rédigés en langage clair donnent lieu à une répétition partielle obligatoire; ceux qui sont rédigés totalement ou partiellement en langage secret doivent être répétés intégralement et d'office par le bureau réceptionnaire.

4. — Télégrammes de service, avis de service et avis de service taxés.

(Art. XVI et XVII, R. T.)

A. — Dispositions générales.

XIX

1. Les télégrammes de service se distinguent en télégrammes de service proprement dits et en avis de service.

2. Ils sont transmis en franchise dans toutes les relations, hormis les cas spécifiés dans l'article ci-après au sujet des avis de service taxés.

3. Ils doivent être limités aux cas qui présentent un caractère d'urgence et être libellés dans la forme la plus concise.

4. Les renseignements qui ne présentent point un caractère d'urgence sont demandés ou donnés par la poste au moyen de lettres affranchies.

B. — Télégrammes de service.

XX

1. Les télégrammes de service proprement dits sont échangés entre les Administrations et les fonctionnaires qui y sont autorisés. Les dispositions de l'article XVIII, paragraphes 3, 4 et 5, sont applicables à ces télégrammes.

Ces télégrammes ne comportent pas de signature.

C. — Avis de service.

XXI

1. Les avis de service sont échangés entre les bureaux télégraphiques ; ils sont relatifs à l'exécution du service et ne comportent ni adresse ni signature.

La destination et l'origine de ces avis sont indiqués uniquement dans le préambule ; celui-ci est rédigé comme suit : « A Lyon-Savoie Ouest 673 (numéro de l'avis) 15 (date de dépôt) (suit la demande du bureau expéditeur). »

2. Ils sont échangés toutes les fois que des incidents de service le nécessitent, notamment lorsque les indications de service d'un télégramme déjà transmis ne sont pas régulières, lors de rectifications ou de renseignements relatifs à des télégrammes d'une série précédemment transmise ; lorsqu'un télégramme ne peut pas être remis au destinataire (art. LIV), lorsque le bâtiment auquel est destiné un radiotélé-

gramme n'a pu communiquer avec la station côtière dans les délais visés à l'article LV.

3. Les avis de service relatifs à un télégramme précédemment transmis reproduisent toutes les indications propres à faciliter la recherche de celui-ci, notamment le numéro de dépôt, la date écrite en toutes lettres (le nom du mois n'est indiqué que s'il y a doute), le nom du destinataire et au besoin l'adresse complète.

4. Les stations côtières doivent rapprocher les avis de service des télégrammes auxquels ils se rapportent afin d'effectuer, le cas échéant, les rectifications nécessaires.

D. — Avis de service taxés.

(Art. XXXVIII R. R. et XVII R. T.)

XXII

1. Les avis de service taxés sont des communications échangées de bureau à bureau à la demande d'un expéditeur ou d'un destinataire, après justification de leur qualité ou de leur identité.

Les avis de service taxés demandant une répétition ou un renseignement ne sont pas admis entre les stations côtières et de bord.

Toutefois, tous les avis de service taxés sont admis sur le parcours des lignes télégraphiques (art. XXXVIII, 7^e, R. R.)

2. Les avis de service taxés originaux des navires ou à destination des navires ne peuvent concerner que des rectifications à des radiotélégrammes précédemment transmis.

Le préambule de ces avis de service est rédigé comme celui des télégrammes privés, mais il est précédé de l'indice « ST ».

Les mots à rectifier dans un radiotélégramme sont désignés par le rang effectif qu'ils occupent dans le texte de ce radiotélégramme, abstraction faite des règles de la taxation.

Les exemples suivants indiquent la forme à donner à ces avis de service :

a) L'expéditeur veut compléter une adresse déclarée insuffisante ou rectifier l'adresse : ST Paris Savoie Ouessant 120 (numéro de dépôt de l'avis de service taxé à bord de la Savoie) 5 (nombre de mots) 4/5 (date) 10 h. 15 = 32, vingt-cinq Bernard (numéro, date du radiotélégramme en cause, nom du destinataire) remettez (ou lisez)... (indiquer la rectification).

b) L'expéditeur veut rectifier un mot du texte primitif transmis ou compléter le texte : ST Londres Carthage Fort de l'eau 34 (numéro de dépôt de l'avis de service taxé à bord du *Carthage*) 8 (nombre de mots) 5/2 (date) 14 h. 30 = 17 treize Kriechbaum (numéro, date, nom du des-

tinataire du radiotélégramme primitif) remplacer troisième 20 par 2000.

Les avis de service taxés sont soumis à la même taxe que les radiotélégrammes ordinaires transmis par la même voie ; ils sont, autant que possible, dirigés par la voie qu'ont suivie les radiotélégrammes auxquels ils se rapportent.

La taxe est perçue sur l'expéditeur de l'avis de service taxé.

5. — Compte des mots.

(Art. XVIII-XIX et XX R. T.)

XXIII

1. Tout ce que l'expéditeur écrit sur sa minute pour être transmis à son correspondant est taxé et, en conséquence, compris dans le nombre des mots.

Toutefois, les tirets qui ne servent qu'à séparer sur la minute les différents mots ou groupes d'un télégramme ne sont ni taxés ni transmis et les signes de ponctuation, apostrophes et traits d'union ne sont transmis et, par suite, taxés que sur la demande formelle de l'expéditeur.

Lorsque des signes de ponctuation, au lieu d'être employés isolément, sont répétés à la suite les uns des autres, ils sont taxés comme des groupes de chiffres.

2. Le nom du bureau de départ, le numéro du télégramme, le quantième et l'heure de dépôt, les indications de voies et les mots, nombres ou signes qui constituent le préambule ne sont pas taxés. Ceux de ces renseignements qui parviennent au bureau d'arrivée figurent sur la copie remise au destinataire.

3. L'expéditeur peut insérer ces mêmes indications, en tout ou partie, dans le texte de son télégramme. Elles entrent alors dans le compte des mots taxés.

XXIV

1. Sont comptés pour un mot dans tous les langages :

1° En adresse :

a) Le nom du bureau télégraphique de destination (ou de la station côtière) écrit tel qu'il figure dans la première colonne de la nomenclature officielle des bureaux et complété, le cas échéant, par les indications qui figurent également dans cette colonne ;

b) Respectivement les noms de subdivisions territoriales ou de pays, s'ils sont écrits en conformité des indications de ladite nomenclature

ou de leurs autres dénominations telles qu'elles sont données dans sa préface;

2° Le nom du navire, tel qu'il figure dans la première colonne de la nomenclature, quel que soit le nombre de lettres qu'il contient;

3° Tout mot convenu remplissant d'ailleurs les conditions fixées à l'article XIV;

4° Tout caractère, toute lettre, tout chiffre isolé, ainsi que tout signe de ponctuation, apostrophe ou trait d'union, transmis à la demande de l'expéditeur (art. XXIII, § 1);

5° Le souligné;

6° La parenthèse (les deux signes servant à la former);

7° Les guillemets (les deux signes placés au commencement et à la fin d'un seul et même passage);

8° Les indications éventuelles écrites sous la forme abrégée admise par le Règlement (art VII).

2. Lorsque les différentes parties de chacune des expressions taxées pour un mot désignant:

1° Le bureau destinataire;

2° La subdivision territoriale;

3° Le pays de destination;

4° Le navire destinataire;

ne sont pas groupées, l'agent taxateur les réunit entre elles.

3. Dans les télégrammes dont le texte est rédigé exclusivement en langage clair, chaque mot simple et chaque groupement autorisé sont comptés respectivement pour autant de mots qu'ils contiennent de fois quinze caractères selon l'alphabet Morse, plus un mot pour l'excédent, s'il y a lieu.

4. Dans le langage convenu, le maximum de longueur d'un mot est fixé à dix caractères comptés suivant les prescriptions du paragraphe 3 de l'article XIV.

Les mots en langage clair insérés dans le texte d'un télégramme mixte, c'est-à-dire composé de mots en langage clair et de mots en langage convenu, sont comptés pour un mot jusqu'à concurrence de dix caractères, l'excédent étant compté pour un mot par série indivisible de dix caractères. Si ce télégramme mixte comprend, en outre, un texte en langage chiffré, les passages en langage chiffré sont comptés conformément aux prescriptions du paragraphe 7 ci-après.

Si le télégramme mixte ne comprend que des passages en langage clair et des passages en langage chiffré, les passages en langage clair sont comptés suivant les prescriptions du paragraphe 3 du présent article et ceux en langage chiffré suivant les prescriptions du paragraphe 7 ci-après.

5. L'adresse des télégrammes dont le texte est totalement ou partiellement rédigé en langage convenu est taxée d'après les prescriptions des paragraphes 1 et 3 du présent article. La signature est taxée selon ces mêmes prescriptions, celles du 1^o du paragraphe 1 exceptées.

6. Les mots séparés par une apostrophe ou réunis par un trait d'union sont respectivement comptés comme des mots isolés.

7. Les groupes de chiffres ou de lettres, les marques de commerce composées de chiffres et de lettres sont comptés pour autant de mots qu'ils contiennent de fois cinq chiffres ou lettres, plus un mot pour l'excédent. Chacune des combinaisons ae, aa, oe, ue et ch est comptée pour deux lettres.

Sont comptés pour un chiffre ou une lettre dans le groupe où ils figurent : les points, les virgules, les deux points, les tirets et les barres de fraction. Il en est de même de chacune des lettres ajoutées aux groupes de chiffres pour désigner les nombres ordinaux, ainsi que des lettres ou des chiffres ajoutés à un numéro d'habitation dans une adresse, même quand il s'agit d'une adresse figurant dans le texte ou dans la signature d'un télégramme.

8. Les réunions ou altérations de mots contraires à l'usage de la langue ne sont pas admises ; il en est de même lorsque les réunions ou altérations sont dissimulées au moyen du renversement de l'ordre des lettres ou des syllabes. Toutefois, les noms de villes et de pays ; les noms patronymiques appartenant à une même personne ; les noms de lieux, places, boulevards, rues et autres dénominations de voies publiques ; les noms de navires ; les nombres entiers, les fractions, les nombres décimaux ou fractionnaires écrits en toutes lettres et les mots composés admis à ce titre dans les langues anglaise et française et dont il peut être justifié, le cas échéant, par la production d'un dictionnaire, peuvent être respectivement groupés en un seul mot sans apostrophe ni trait d'union.

9. Le compte des mots du bureau d'origine est décisif, au sujet des radiotélégrammes à destination des 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 radiotélégramme 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. S'il est fait usage de cette

faculté, le télégramme n'est remis au destinataire qu'après paiement de la taxe complémentaire. Dans le cas de refus de paiement, un avis de service ainsi conçu est adressé au bureau de départ : « A. Wien Savoie Ouessant 5 h. 10 = N° (nom du destinataire), (reproduire les mots réunis abusivement ou altérés) mots (indiquer pour combien de mots on aurait dû taxer) ». Si l'expéditeur, dûment avisé du motif de non-remise, consent à payer le complément, un avis de service ainsi conçu est adressé au bureau destinataire : « A Ouessant Savoie Wien 7 h. = N° (nom du destinataire) complément perçu ». Dès la réception de cet avis de service, le bureau d'arrivée remet le télégramme.

Lorsque après taxation une station de bord reconnaît qu'un télégramme contient soit des réunions ou altérations de mots non admises, soit des expressions ou mots ne remplissant pas les conditions du langage clair ou convenu, et taxés comme appartenant à ces langages, elle perçoit sur l'expéditeur le complément de taxe nécessaire. Les expressions ou mots visés ci-dessus sont traités suivant les règles auxquelles ils auraient dû être soumis et les réunions ou altérations sont comptées pour le nombre de mots qu'elles contiendraient si elles étaient écrites suivant l'usage. La station de bord procède de même, lorsque ces irrégularités lui sont signalées par un Office de transit ou par l'Office d'arrivée.

XXV

Les exemples suivants déterminent l'interprétation des règles à suivre pour compter les mots.

	NOMBRE DE MOTS	
	dans l'adresse	dans le texte
New York ⁽¹⁾	1	2
Newyork	1	1
Frankfurt Main ⁽¹⁾	1	2
Frankfurtmain	1	1
Sanct Poelten ⁽¹⁾	1	2
Sanctpoelten	1	1
Emmingen, Bz Hannover ⁽¹⁾ ⁽²⁾	1	3
Emmingen, Wurttemberg ⁽¹⁾ ⁽²⁾	1	2
New South Wales ⁽¹⁾	1	3
Newsouthwales	1	1
X P 2.50 (indication éventuelle écrite sous la forme abrégée)	1	»

⁽¹⁾ Dans l'adresse, ces diverses expressions sont groupées par l'agent taxateur.

⁽²⁾ « Bz Hannover » et « Wurttemberg » suivant « Emmingen » servent à compléter la désignation des deux bureaux homonymes et figurent ainsi à la première colonne de la nomenclature officielle des bureaux télégraphiques.

	NOMBRE de mots
Van de brande	3
Vandebrande (nom de personne)	1
Du Bois	2
Dubois (nom de personne)	1
Belgrave Square	2
Belgravesquare (contraire à l'usage de la langue)	2
Hyde Park	2
Hydepark (contraire à l'usage de la langue)	2
Hydepark Square ⁽¹⁾	2
Hydeparksquare (contraire à l'usage de la langue)	2
Saint James Street	3
SaintJames Street	2
Rue de la Paix	4
Rue delapaix	2
Responsabilité (14 caractères)	1
Kriegsgeschichten (15 caractères)	1
Inconstitutionnalité (20 caractères)	2
Wie geht's (au lieu de wie geht es)	3
A-t-il	3
C'est-à-dire	4
Aujourd'hui	2
Aujourdhui	1
Porte-monnaie	2
Portemonnaie	1
Prince of Wales (navire)	3
Princeofwales (navire)	1
3 4 8 (4 caractères)	1
44 1/2 (5 caractères)	1
44 1.2 (6 caractères)	2
44,5 (5 caractères)	1
44,55 (6 caractères)	2
44/2 (4 caractères)	1
44/ (3 caractères)	1
2 % (4 caractères)	1
2 p %	3
2 0,00 (5 caractères)	1
2 p 0'00	3
54-58 (5 caractères)	1
17 ^{me} (4 caractères)	1
Le 1329 ^e (1 mot et un groupe de 6 caractères)	3
40 francs 50 centimes ou 40 fr. 50 c.	4
Dixcinquante	1
40 fr. 50	3
Fr. 40.50	2
11 h 30	3

(1) Dans ce cas, l'expression « Hydepark », en un seul mot, ne compte que pour un mot, parce que le mot « park » fait partie intégrante du nom du square.

	NOMBRE de mots
11.30.....	1
Huit/10.....	2
5 'douzièmes.....	2
May/August.....	3
5 bis (numéro d'habitation).....	1
15 A (numéro d'habitation).....	1
15-3 ou 15'3 (numéro d'habitation).....	1
30 ^a (1).....	3
15 × 6 (1).....	4
Two hundred and thirty four.....	5
Twohundredandthirtyfour (23 caractères).....	2
Troisdeuxtiers.....	1
Un neufdixièmes.....	1
Deux mille cent quatre-vingt-quatorze.....	6
Deuxmillecentquatrevingtquatorze (32 caractères).....	3
E.....	1
Emvthf (6 caractères).....	2
Emvchf (6 caractères).....	2
GHF (marque de commerce ou langage secret); un groupe de 3 caractères.....	1
G.H.F. (marque de commerce ou langage secret); un groupe de 6 caractères.....	2
AP/M (marque de commerce ou langage secret); un groupe de quatre caractères.....	1
G.H.F (sans point final) [marque de commerce ou lan- gage secret]; un groupe de 5 caractères.....	1
GHF 45 (marque de commerce); un groupe de 5 carac- tères.....	1
G.H.F.45 (marque de commerce); un groupe de 8 carac- tères.....	2
197a/199a (marque de commerce); un groupe de 9 ca- ractères.....	2
3/M (marque de commerce); un groupe de 3 carac- tères.....	1
E M (lettres isolées, initiales de prénoms).....	2
EM (initiales de deux prénoms, réunies abusive- ment).....	2
L'affaire est <u>urgente</u> , partir <u>sans retard</u> (7 mots et 2 sou- lignés).....	9
Reçu de vos nouvelles indirectes (assez mauvaises) télé- graphiez directement (9 mots et une parenthèse)...	10

(1) Les appareils télégraphiques ne peuvent reproduire des expressions telles que 30^a, 15 × 6, etc. Les expéditeurs doivent être invités à leur substituer la signification explicite : « 30 exposant a », « 15 multiplié par 6 », etc.

6. — Tarifs et taxation.

A. — Régime.

XXVI

Les radiotélégrammes de toute nature même lorsqu'ils sont échangés entre la France et un navire français, par l'intermédiaire d'une station française, sont soumis *au régime international*.

Ce régime comprend le régime européen et le régime extra-européen. Toutefois, cette distinction est sans influence en ce qui concerne les règles auxquelles sont soumis les radiotélégrammes.

XXVII

1. Les radiotélégrammes originaux des navires sont taxés au tarif correspondant à leur transmission à la station côtière la plus rapprochée.

Toutefois, l'expéditeur a le droit, sous réserve des dispositions de l'article LI, paragraphe 2, d'indiquer une autre station côtière par laquelle il désire que son radiotélégramme soit expédié en inscrivant sur la minute la mention correspondante. Exemple : « V. Ouessant » ; dans ce cas, la taxe est appliquée en tenant compte de ses indications.

2. Pour les radiotélégrammes originaux des navires, la taxe télégraphique ordinaire est toujours calculée, si l'expéditeur n'a pas inscrit de mention de voie sur sa minute, d'après le tarif qui correspond à l'emploi de la voie normale à partir de la station côtière à laquelle le radiotélégramme doit être transmis.

3. On entend par voie normale celle dont la taxe est la moins élevée.

4. L'expéditeur qui veut prescrire la voie à suivre indique, sur sa minute, la formule correspondante.

B. — Perception des taxes.

XXVIII

1. La taxe totale des radiotélégrammes comprend :

1° La taxe pour la transmission sur les lignes du réseau télégraphique calculée d'après les règles générales ;

2° La taxe afférente au parcours maritime, savoir :

a) La « taxe côtière » ;

b) La « taxe de bord » ;

3° Les taxes de transit des stations côtières ou de bord intermédiaire ;

4° Les taxes afférentes aux services spéciaux demandés par l'expéditeur (art. 10 de la Convention de Londres).

2. Lorsqu'un radiotélégramme originaire 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.

3. L'expéditeur d'un radiotélégramme originaire 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 verse à cet effet le montant des taxes radiotélégraphiques (taxe côtière et taxe de bord du navire destinataire) et télégraphiques et dépose, 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 visées au paragraphe 2 ; 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.

Les stations de bord intéressées fournissent à la station côtière les renseignements nécessaires pour la liquidation des arrhes déposées pour le paiement des taxes de transit. Dès que la station côtière possède ces renseignements, elle adresse au bureau d'origine un avis de service taxé, si la réponse doit être faite par télégraphe, qui affecte la forme suivante : ST Lyon Ouessant 40 (numéro de l'avis de service taxé) nombre (mots) 43401 (numéro du radiotélégramme) 16 (date du radiotélégramme) percevoir francs 4 fr. 80.

Dans le cas où la réponse doit avoir lieu par la poste, la station côtière envoie ces renseignements par lettre au bureau d'origine.

4. La taxe des radiotélégrammes originaux 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.

5. 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 augmentée, le cas échéant, des taxes de bord des stations intermédiaires.

6. Les taxes de transit côtières ou de bord dues aux stations qui effectuent une retransmission sont les mêmes que celles fixées pour ces stations lorsque ces dernières sont stations d'origine ou de destination.

Toute station qui effectue la retransmission d'un radiotélégramme ne perçoit qu'une fois sa taxe de transit pour l'ensemble des opérations de réception et de transmission.

7. 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. XVII, R. R.).

Exemples : 1° Cas d'un radiotélégramme à retransmettre par la station des Saintes-Maries-de-la-Mer du *Charles-Roux* affecté au service régulier France-Algérie (taxe côtière 0 fr. 15) au paquebot *Plata* (taxe côtière 0 fr. 40). Il devra être perçu une taxe côtière de 0 fr. 40 pour le transit à la station des Saintes-Maries-de-la-Mer, cette taxe étant la plus élevée des taxes côtières de cette station pour l'échange direct des radiotélégrammes avec les deux navires en question.

2° Cas d'un radiotélégramme originaire du *Charles-Roux*, transmis à la station des Saintes-Maries-de-la-Mer (taxe côtière 0 fr. 15) pour être retransmis au navire *France* par la station d'Ouessant (taxe côtière 0 fr. 40). Il devra être perçu, comme taxe de transit, $0 \text{ fr. } 15 + 0 \text{ fr. } 40 = 0 \text{ fr. } 55$.

3° Cas d'un radiotélégramme originaire du *Plata* transmis à la station des Saintes-Maries-de-la-Mer (taxe côtière 0 fr. 40) pour être retransmis au navire *France* par la station d'Ouessant (taxe côtière 0 fr. 40). Il devra être perçu, comme taxes de transit, $0 \text{ fr. } 40 + 0 \text{ fr. } 40 = 0 \text{ fr. } 80$.

XXIX

1. La taxe totale des radiotélégrammes est perçue sur l'expéditeur, à l'exception :

1° Des frais d'express ;

2° Des taxes applicables aux réunions ou altérations de mots non admises, constatées par le bureau ou la station de destination (art. XXIV, § 9, R. T.) ;

3° Des cas visés à l'article XXX.

Les stations de bord doivent posséder à cet effet les tarifs utiles, c'est-à-dire ceux des pays avec lesquels elles sont susceptibles

d'entrer normalement en relations. Les stations de bord ont d'ailleurs 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. Les stations côtières signalent, en outre, le cas échéant, aux stations de bord les interruptions de voies, l'application de la censure, les retards à prévoir, etc., c'est-à-dire toutes les dispositions contenues dans les circulaires en vigueur et relatives à l'acheminement des correspondances sur le réseau.

3. Les taxes sont perçues en monnaie française. Si la somme totale à percevoir pour chaque télégramme contient une fraction de demi-décime, cette somme est augmentée de la quantité nécessaire pour compléter le demi-décime.

4. Lorsque la taxe est indiquée en monnaie étrangère (tarif étranger ou renseignements fournis par une station côtière étrangère), on opère la conversion en monnaie française à l'aide des équivalents indiqués au paragraphe 7 ci-après.

5. Pour taxer un radiotélégramme, la station de bord commence par chercher dans la nomenclature des stations radiotélégraphiques la taxe de la station côtière à laquelle le télégramme doit être transmis et, le cas échéant, la taxe des stations de transit puis, dans le tarif correspondant, la taxe à appliquer entre la station côtière et le pays de destination ⁽¹⁾; le cas échéant, cette dernière taxe est convertie en francs, comme il est indiqué ci-dessus.

Le total de la taxe de bord, de la taxe côtière, des taxes de transit et de la taxe ordinaire visée ci-dessus donne le tarif à appliquer par mot. Il est tenu compte des minima de taxe ou des taxes fixes prévues par certains Offices ou par certaines stations radiotélégraphiques.

6. Les taxes perçues en plus par erreur sont remboursées aux intéressés.

7. L'équivalent du franc est de :

En Allemagne, 0,85 mark;

En Autriche, 1 couronne;

En Hongrie, 1 couronne;

Au Brésil, 640 reis, monnaie brésilienne;

En Bulgarie, 1 lèv;

Au Canada, 19 cents;

En Danemark, 0,80 krone;

(1) En cas de besoin, le nom du pays de destination est déterminé au moyen de la nomenclature des bureaux télégraphiques où il figure en regard du nom du bureau d'arrivée.

Aux États-Unis d'Amérique, 19 cents ;
 En Espagne, 1 peseta, 9 centimes de peseta ;
 Dans la Grande-Bretagne, 9, 6 pence ;
 Dans les Indes britanniques, 0,60 roupie ;
 Dans les Indes néerlandaises, 0,50 florin ;
 En Italie, 1 lire ;
 Au Japon, 0,40 yen ;
 Dans le Monténégro, 1 couronne ;
 En Norvège, 0,80 krone ;
 Dans les Pays-Bas, 0,50 florin ;
 En Portugal, 200 reis ;
 Dans la République Argentine, 20 centavos or ;
 En Roumanie, 1 lei ;
 En Russie, 0,25 rouble métallique ;
 En Suède, 0,80 krona ;
 En Turquie, 4 piastres 23 paras ;
 En Uruguay, 0,4866 peso.

XXX

Lorsque les stations côtières ou de bord ne figurent pas à la *Nomenclature des stations radiotélégraphiques*, il y a lieu d'appliquer les règles ci-après :

a) *Radiotélégrammes originaux ou à destination de la France.*

1° *Radiotélégramme à destination d'une station de bord relevant d'un pays contractant ou non contractant et transmis par une station côtière française.* — Le bureau taxateur perçoit la taxe télégraphique ordinaire et la taxe côtière. Il introduit dans le préambule du radiotélégramme la mention de service non taxé : « percevoir taxe de bord », qui doit être transmise à la station de bord intéressée ;

2° *Radiotélégramme original d'une station de bord relevant d'un pays contractant et transmis à une station côtière française.* — Le radiotélégramme est accepté et acheminé dans les mêmes conditions qu'un radiotélégramme original d'une station de bord notifiée. Il est porté dans les comptes des radiotélégrammes échangés avec le pays auquel appartient le navire transmetteur ;

3° *Radiotélégramme original d'une station de bord relevant d'un pays non adhérent et transmis à une station côtière française.* — Il y a lieu, dans ce cas, de percevoir sur le destinataire la taxe côtière et la taxe télégraphique ordinaire. Dans ce but, la station côtière inscrit

avant l'adresse la mention de service non taxée : « Pcv..... fr..... » (montant des deux taxes susvisées).

b) *Radiotélégrammes originaires ou à destination de l'étranger et transitant par une station côtière française.*

1° *Radiotélégramme à destination d'une station de bord relevant d'un pays contractant ou non contractant.* — Le radiotélégramme est accepté, mais la taxe côtière seule est portée au débit de l'Office d'origine du radiotélégramme ;

2° *Radiotélégramme originaire d'une station de bord relevant d'un pays contractant.* — Le radiotélégramme est accepté, mais la taxe côtière et la taxe télégraphique sont portées par la station côtière au compte de l'Office dont relève le navire ;

3° *Radiotélégramme originaire d'une station de bord relevant d'un pays non contractant.* — Le radiotélégramme est accepté, mais la taxe côtière et la taxe télégraphique ordinaire sont perçues sur le destinataire. A cet effet, la station côtière inscrit en préambule la mention de service : Pcv..... fr..... (montant des deux taxes susvisées).

XXXI

(Art. XXIX, R. T.)

1. L'expéditeur d'un radiotélégramme a le droit d'en demander reçu avec mention de la taxe perçue.

2. Le bureau d'origine a la faculté de percevoir, de ce chef, une rétribution à son profit, dans les limites de 23 centimes.

7. — Transmission des télégrammes.

A. — Dispositions d'ordre général.

XXXII

1. 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 radiotélé-

graphique adopté par les stations (art. 3 de la Convention radiotélégraphique internationale).

2. Les stations utilisent, pour l'échange de la correspondance publique générale, les longueurs d'onde fixées par les articles II, III et IV du Règlement radiotélégraphique international.

3. Toutes les stations sont tenues d'éviter, autant que possible, les interférences avec les autres stations.

Elles doivent, autant que possible, échanger les radiotélégrammes de manière à ne pas troubler le service d'autres stations.

4. Toutes les stations sont tenues d'échanger le trafic avec le *minimum de dépense d'énergie* nécessaire pour assurer une bonne communication (art. VII, R. R.).

5. En ce qui concerne les stations de bord, la puissance transmise à l'appareil radiotélégraphique, mesurée aux bornes de la génératrice, ne doit pas dépasser 1 kilowatt, sauf les exceptions prévues à l'article VIII du Règlement radiotélégraphique international.

6. L'échange de signaux et de mots superflus est interdit. Des essais et des exercices ne sont tolérés dans ces stations qu'autant qu'ils ne troublent point le service d'autres stations; les exercices doivent être effectués avec des longueurs d'onde différentes de celles admises pour la correspondance publique générale et avec le minimum de puissance nécessaire (art. VI, R. R.).

XXXIII

En cas d'infraction aux dispositions de la Convention et du Règlement radiotélégraphique international, la station côtière ou de bord qui la constate signale le fait dans un rapport détaillé adressé à l'Ingénieur chargé du Service de la télégraphie sans fil, par l'intermédiaire, le cas échéant, du Ministère ou de la Compagnie de navigation dont elle relève.

B. — Signaux de transmission.

(Art. XXXI, R. T.)

XXXIV

Les tableaux ci-dessous indiquent les signaux du code Morse employés dans le service.

LETTRES

- Espacement et longueur des signes. } 1° Une barre est égale à 3 points.
 2° L'espace entre les signaux d'une même lettre est égal à un point.
 3° L'espace entre deux lettres est égal à trois points.
 4° L'espace entre deux mots est égal à cinq points.

LETTRES.	SIGNAUX.	LETTRES.	SIGNAUX.	LETTRES.	SIGNAUX.
a	— — — —	h	— — — — —	q	— — — — — — —
ä	— — — — — — —	i	— — —	r	— — — — —
ä ou ä	— — — — — — — — —	j	— — — — — — —	s	— — — —
b	— — — — — — —	k	— — — — — — —	t	— — — —
c	— — — — — — —	l	— — — — — — —	u	— — — — —
ch	— — — — — — — — —	m	— — — — — — —	ü	— — — — — — —
d	— — — — —	n	— — — — — — —	v	— — — — — — —
e	— — — — —	ñ	— — — — — — — — —	w	— — — — — — —
é	— — — — — — —	o	— — — — — — —	x	— — — — — — —
f	— — — — — — —	ö	— — — — — — — — —	y	— — — — — — — — —
g	— — — — — — —	p	— — — — — — — — —	z	— — — — — — — — —

CHIFFRES.	SIGNAUX.	CHIFFRES.	SIGNAUX.	CHIFFRES.	SIGNAUX.
1	— — — — — — — — —	5	— — — — —	9	— — — — — — — — —
2	— — — — — — — — —	6	— — — — — — —	0	— — — — — — — — —
3	— — — — — — — — —	7	— — — — — — — — —		
4	— — — — — — — — —	8	— — — — — — — — —		

Dans les répétitions d'office et dans le préambule des télégrammes, les chiffres doivent être rendus au moyen des signaux suivants dont il peut aussi être fait usage dans le texte des télégrammes ne comportant que des chiffres. Les télégrammes doivent, dans ce cas, porter la mention de service « en chiffres ».

CHIFFRES.	SIGNAUX.	CHIFFRES.	SIGNAUX.	CHIFFRES.	SIGNAUX.
1	— — — —	5	— — — — —	9	— — —
2	— — — — —	6	— — — — — —	0	— —
3	— — — — — —	7	— — — — — — —		
4	— — — — — — —	8	— — — — — — — —		

PONCTUATION et INDICATIONS.	SIGNAUX.	PONCTUATION et INDICATIONS.	SIGNAUX.
Point. (.)	— — — — — — — —	Souligné (avant et après les mots ou le membre de phrase).	— — — — — — — — — —
Point et virgule. (,)	— — — — — — — — —	Appel (préliminaire de toute transmission). ...	— — — — — — — — — —
Virgule. (,)	— — — — — — — — — —	Double trait. (=)	— — — — — — — — — —
Deux points. .. (:)	— — — — — — — — — —	Compris.	— — — — — — — — — —
Point d'interrogation ou demande d'une transmission non comprise. (?)	— — — — — — — — — —	Erreur.	— — — — — — — — — —
Point d'exclamation. (!)	— — — — — — — — — —	Croix. (+)	— — — — — — — — — —
Apostrophe. ... (')	— — — — — — — — — —	Invitation à transmettre.	— — — — — — — — — —
Trait d'union ou tiret. (-)	— — — — — — — — — —	Attente.	— — — — — — — — — —
Barre de fraction (/)	— — — — — — — — — —	Fin de travail. ...	— — — — — — — — — —
Parenthèses (avant et après les mots). ()	— — — — — — — — — —	Signal de détresse (répété à de courts intervalles).	— — — — — — — — — —
Guillemets (avant et après chaque mot ou chaque passage mis entre guillemets. (« »))	— — — — — — — — — —		

Pour transmettre les nombres fractionnaires, on doit, afin d'éviter toute confusion possible, transmettre la fraction en la faisant précéder du double trait (=).

Exemples : pour $1 \frac{1}{16}$, on transmettra $1 = 1/16$, afin qu'on ne lise pas $11/16$; pour $99 \frac{27}{4}$, on transmettra $99 = 27/4$, afin qu'on ne lise pas $992 \frac{7}{4}$.

C. — **Ordre de transmission.**a) *Appels de détresse.*

XXXV

1. 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 (art. XXI, R. R.).

2. Toutes les stations radiotélégraphiques sont tenues d'accepter par priorité absolue les appels de détresse provenant des navires, de répondre de même à ces appels, sauf l'exception prévue au paragraphe 3 ci-après, et d'y donner la suite qu'ils comportent (art. 9 de la Convention radiotélégraphique internationale).

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 (art. XXI, R. R.).

3. Dans le cas où le navire en détresse ajoute, à la fin de la série de ses appels de secours, 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. XXI, R. R.).

b) *Télégrammes.*

XXXVI

(Art. XXXII, R. T.)

1. La transmission des télégrammes a lieu dans l'ordre suivant :

- a) Télégrammes d'État ;
- b) — de service ;
- c) — privés urgents ;
- d) — privés non urgents.

2. Tout bureau qui reçoit un télégramme, présenté comme télégramme d'État ou de service, le réexpédie comme tel.

XXXVII

Art. XXXIII, R. T.)

1. Une transmission commencée ne peut être interrompue pour faire place à une communication d'un rang supérieur qu'en cas d'urgence absolue.

2. Les télégrammes de même rang sont transmis par les bureaux de départ dans l'ordre de leur dépôt et par les bureaux intermédiaires dans l'ordre de leur réception.

3. Deux stations en relation directe échangent des télégrammes dans l'ordre alternatif, en tenant compte des prescriptions de l'article XXXVI 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 quinze minutes (art. XXIII, R. R.).

4. Les télégrammes d'une même série sont considérés comme formant une seule transmission.

Toutefois les télégrammes reçus ne sont pas conservés à l'appareil jusqu'à la fin de la série, et il est donné cours à chaque télégramme régulier dès que le deuxième télégramme venant après lui est commencé.

XXXVIII

(Art. XXXIV, R. T.)

1. Un télégramme de rang supérieur comme ordre de transmission ne compte pas dans l'alternat.

2. Le bureau qui vient d'effectuer une transmission est en droit de continuer lorsqu'il survient un télégramme auquel la priorité est accordée sur ceux que le correspondant a à transmettre, à moins que ce dernier n'ait à donner la répétition d'un télégramme d'État ou n'ait déjà commencé sa transmission.

3. Dans le cas où l'échange des transmissions a lieu alternativement, lorsqu'un bureau a terminé sa transmission, le bureau qui vient de recevoir transmet à son tour ; s'il n'a rien à transmettre, l'autre continue. Si, de part et d'autre, il n'y a rien à transmettre, les bureaux donnent le signal de fin de travail.

D. — Appel des stations.

XXXIX

(Art. XXIV, R. R.).

1. Toute correspondance entre deux stations commence par le signal d'appel.

2. En règle générale, c'est la station de bord qui appelle la station côtière, qu'elle ait ou non à transmettre des radiotélégrammes (art. XXIV, R. R.).

3. 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 0/0 de la portée normale de la station côtière.

4. 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 reconnaisse 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.

5. Pour l'appel, toute station fait emploi de l'onde normale de la station à appeler.

6. Si, malgré ces précautions, un échange radiotélégraphique public est entravé, 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.

7. 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.

XL

1. L'appel comporte le signal $\text{---} \text{---} \text{---} \text{---}$, l'indicatif répété trois fois de la station appelée, le mot « de » suivi de l'indicatif de la station expéditrice répété trois fois (art. XXV, R. R.).

2. La station appelée répond en donnant le signal $\text{---} \text{---} \text{---} \text{---}$, suivi de l'indicatif répété trois fois de la station correspondante, du mot « de », de son indicatif et du signal $\text{---} \text{---} \text{---}$ (art. XXV, R. R.).

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 $\text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---}$ (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. XXV, 3, R. R.).

4. Toute station qui doit effectuer une transmission nécessitant l'emploi d'une grande puissance émet d'abord trois fois le signal d'avertissement $\text{---} \text{---} \text{---} \text{---}$, avec la puissance minima 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. XXVII, R. R.).

XLI

Si une station appelée ne répond pas à la suite de l'appel (art. XXXIX) répété trois fois à des intervalles de deux minutes, l'appel ne peut être repris qu'après un intervalle de quinze minutes, la station faisant l'appel s'étant d'abord assurée qu'aucune communication radiotélégraphique n'est en cours (art. XXXVI, R. R.).

XLII

(Art. XXVIII, R. R.)

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 claire 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.

La station côtière répond en indiquant soit le nombre de radiotélégrammes, soit le nombre de mots qu'elle a 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 de 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.

XLIII

1. Lorsqu'une station côtière est saisie d'appels provenant de plusieurs stations de bord, la station côtière décide de l'ordre dans lequel les stations de bord 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. XXIX, R. R.).

2. On ne doit ni refuser ni retarder un télégramme si les indications de service, les indications éventuelles ou certaines parties de l'adresse ou du texte ne sont pas régulières. Il faut le recevoir et puis en demander, au besoin, la régularisation au bureau d'origine par un avis de service, conformément aux dispositions de l'article XXI (art XXXV, R. T.).

F. — Règles de transmission.

a) Relations entre stations radiotélégraphiques.

XLIV

1. 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 séries (art. XXXVI); elle commence ensuite la transmission ou fait suivre ces indications du signal **— — — —** (invitation à transmettre) (art. XXX, R. R.).

2. La transmission du radiotélégramme est précédée du signal **— — — — —**.

La station procède ensuite à la transmission du préambule dans l'ordre suivant :

- a) Mention de service « RADIO » ;
- b) Nature du télégramme au moyen d'une des mentions S, A, D, suivant qu'il s'agit d'un télégramme d'État, d'un télégramme ou d'un avis de service, d'un télégramme privé urgent ;
- c) La lettre B mais seulement lorsque la station correspond directement avec la station destinataire ;
- d) Désignation du bureau d'origine ou de la station de bord ;
- e) Numéro du télégramme ;
- f) Nombre de mots taxés ;
- g) Dépôt du télégramme par deux groupes de chiffres, indiquant le premier, le quantième du mois, et le second, l'heure et les minutes.

Les stations du bord indiquent l'heure de dépôt au moyen des chiffres de 0 à 24 ;

- h) Voie à suivre (quand l'expéditeur l'a indiquée sur sa minute) ;
- i) Mentions de service (art XXXVI, R. T.).

3. A la suite du préambule, on transmet successivement les indications éventuelles, l'adresse, le texte et la signature (art. XXXVI, R. T.).

4. Le double trait (**— — — — —**) est transmis pour séparer le préambule des indications éventuelles, les indications éventuelles entre elles, les indications éventuelles de l'adresse, les différentes adresses d'un

télégramme multiple entre elles, l'adresse du texte et le texte de la signature (art. XXXVI, R. T.).

5. La transmission est terminée par le signal $-----$ suivi de l'indicatif de la station expéditrice et du signal $■■■■$.

6. 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. XXXI, R. R.).

XLV

1. Lorsque le radiotélégramme à transmettre contient plus de 40 mots, la station expéditrice interrompt la transmission après chaque série de 20 mots environ par un point d'interrogation $■■■■■■■■$ et elle ne reprend la transmission qu'après avoir obtenu de la station correspondante la répétition du dernier mot bien reçu suivi d'un point d'interrogation ou, si la réception est bonne, le signal $-----$ (art. XXXII, R. R.).

2. Si l'employé qui transmet s'aperçoit qu'il s'est trompé, il s'interrompt par le signal d'erreur, répète le dernier mot bien transmis et continue la transmission rectifiée (art. XXXVI, § 4, R. T.).

3. Dans le cas de transmission par séries, l'accusé de réception est donné après chaque radiotélégramme (art. XXXII, R. R.).

4. 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 (art. XXXII, R. R.).

5. Les stations côtières et de bord qui travaillent dans les conditions prévues à l'article L, § 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. XXXII, R. R.).

6. Pour donner ou demander des renseignements concernant le service radiotélégraphique, les stations doivent, le cas échéant, faire usage des signaux prévus dans la liste annexée à la présente Instruction (art. XXII, R. R.).

b) Relations entre les stations côtières et les bureaux télégraphiques.

XLVI

1. Les stations côtières, dans leurs relations avec les bureaux télégraphiques, appliquent pour la transmission du préambule les dispositions qui précèdent, en tenant compte des modifications suivantes :

Pour les télégrammes originaires des bateaux, 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. XIV, R. R.).

2. La mention « RADIO » doit toujours être transmise en tête du préambule.

F. — Réception et répétition d'office.

(Art. XXXVII, R. T.)

XLVII

1. Aussitôt après la transmission, l'employé qui a reçu compare, pour chaque télégramme, le nombre des mots reçus au nombre annoncé. Quand le nombre des mots est donné sous forme de fraction, cette comparaison ne porte que sur le nombre de mots et de groupes existant réellement, indépendamment du nombre de mots taxés.

Si l'employé constate une différence entre le nombre de mots qui lui est annoncé et celui qu'il reçoit, il la signale à son correspondant en indiquant le nombre de mots reçus, et répète la première lettre de chaque mot et le premier chiffre de chaque nombre (*exemple* : 17 j e r b 2 d . . . etc...). Si l'agent transmetteur s'est simplement trompé dans l'annonce du nombre de mots, il répond : « Admis » et indique le nombre réel de mots (*exemple* : 17 admis) ; sinon, il rectifie le passage reconnu erroné d'après les initiales reçues.

2. Lorsque cette différence ne provient pas d'une erreur de transmission, la rectification du nombre de mots annoncé ne peut se faire que d'un commun accord entre le bureau d'origine et le bureau correspondant. Faute de cet accord, le nombre de mots annoncé par le bureau d'origine est admis.

XLVIII

1. Les employés peuvent, pour mettre leur responsabilité à couvert, donner ou exiger la répétition partielle ou intégrale des télégrammes qu'ils ont transmis ou reçus ⁽¹⁾.

2. La répétition partielle est obligatoire pour les télégrammes d'État en langage clair ; elle comprend tous les nombres, ainsi que les noms propres et, le cas échéant, les mots douteux. La répétition d'office se fait par l'employé qui a reçu. L'employé qui donne cette répétition doit,

(1) Il ne doit être fait usage de cette faculté qu'en cas de nécessité réelle, de manière à ne pas entraver le service.

s'il y a rectification, reproduire les mots ou nombres rectifiés. En cas d'omission, cette seconde répétition est exigée par l'employé qui a transmis.

3. Quand on donne la répétition des nombres suivis de fractions, on doit, afin d'éviter toute confusion possible, répéter la fraction en la faisant précéder du double trait (=).

Exemples : Pour $1\ 1/16$, on transmettra dans la répétition $1 = 1/16$, afin qu'on ne lise pas $11\ 1/16$; pour $99\ 27/4$, on transmettra $99 = 27\ 4$, afin qu'on ne lise pas $992\ 7/4$.

4. Cette répétition ne peut être retardée ni interrompue sous aucun prétexte, sauf dans le cas où la station intéressée perçoit des signaux de détresse.

G. — Accusé de réception.

XLIX

1. Après la vérification du nombre de mots et, le cas échéant, la répétition d'office, le bureau qui a reçu donne à celui qui a transmis l'accusé de réception du télégramme (1).

Cet accusé de réception est donné par R suivi de l'indication du numéro du télégramme reçu « R 236 » (art. XXXIX, R. T.).

Cet accusé de réception 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 chaque station au moyen du signal **-----** suivi de son indicatif (art. XXXIV, R. R.).

3. Dans le cas de transmission par séries, l'accusé de réception est donné après chaque radiotélégramme (art. XXXII, R. R.).

L

(Art. XXXIII, R. R.)

1. Lorsque, dans les échanges entre stations radiotélégraphiques, 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 répété, à la demande de la station réceptrice, sans toutefois dépasser trois répétitions. 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. Si aucune réponse n'est faite après

(1) Il est recommandé de ne porter, sur les originaux ou sur les copies de passage, les indications relatives à la transmission qu'après avoir reçu l'accusé de réception.

trois appels, la transmission n'est pas poursuivie. Dans ce cas, la station transmettrice peut demander l'accusé de réception par l'intermédiaire d'une autre station 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 la mention de service : « Réception douteuse » à la fin du préambule et donne cours au radiotélégramme.

II. — Direction à donner aux radiotélégrammes.

LI

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 (art. XXXV, 1. R. R.).

2. Toutefois, si l'expéditeur a indiqué la station côtière par laquelle il désire que son radiotélégramme soit expédié, la station de bord attend 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 4.800 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 R.R. 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 (art. XXXV, R. R.).

3. Lorsque l'expéditeur a prescrit la voie à suivre sur le réseau télégraphique, les bureaux intéressés sont tenus de se conformer à ses indications (art. XLI, § 3 R. T.).

I. — Annulation d'un télégramme sur la demande de l'expéditeur.

(Art. XLIV, R. T.)

LII

1. L'expéditeur d'un télégramme peut, en justifiant de sa qualité, en arrêter la transmission, s'il en est encore temps.

2. Lorsqu'un expéditeur annule son télégramme avant que la transmission en ait été commencée, la taxe est remboursée, sous déduction d'un droit de vingt-cinq centimes (0 fr. 25), au maximum, au profit de la station de bord, si le radiotélégramme a été déposé à bord d'un navire.

3. En ce qui concerne les télégrammes à destination des navires, si le télégramme a été transmis par le bureau d'origine, l'expéditeur ne peut en demander l'annulation que par un avis de service taxé, émis dans les conditions prévues à l'article XVII du Règlement télégraphique international et adressé à la station côtière destinataire. Autant que possible, cet avis de service est successivement transmis aux bureaux auxquels le télégramme primitif a été transmis, jusqu'à la station côtière.

Si la station côtière a transmis le radiotélégramme au navire ou si elle a pu l'annuler avant transmission, elle en informe le bureau d'origine. Cette information a lieu par télégraphe si l'expéditeur a payé une réponse télégraphique à l'avis d'annulation ; dans le cas contraire, elle est envoyée par la poste comme lettre affranchie.

K. — Arrêt des télégrammes.

LIII

Les dispositions applicables à l'arrêt des radiotélégrammes sont celles qui sont visées à l'article XLV du Règlement télégraphique international.

A bord des navires, le droit d'arrêter les radiotélégrammes n'appartient qu'au commandant.

8. — Remise à destination.

LIV

(Art. XLVI, R. T.)

1. L'expéditeur peut, suivant les renseignements qu'il possède, demander la remise par téléphone. Il doit inscrire avant l'adresse la men-

tion « Téléphone ». La France, l'Algérie et la Tunisie acceptent ce mode de remise.

2. Les télégrammes sont, dans tous les cas, remis ou expédiés à destination dans l'ordre de leur réception et de leur priorité.

2. Les télégrammes portant la mention « Jour » ne sont pas distribués pendant la nuit ; ceux qui sont reçus pendant la nuit ne sont obligatoirement distribués immédiatement que lorsqu'ils portent la mention « Nuit » ou que le bureau d'arrivée est en mesure de reconnaître qu'ils présentent un réel caractère d'urgence.

LV

(Art. XLVII, R. T.)

1. Un télégramme peut être remis soit au destinataire, soit aux membres adultes de sa famille ou à toute personne à son service, à moins que le destinataire n'ait désigné par écrit un délégué spécial ou que l'expéditeur n'ait demandé, en inscrivant avant l'adresse la mention « Mains propres » ou « = MP = », que la remise n'ait lieu qu'entre les mains du destinataire seul. L'expéditeur peut demander aussi que le télégramme soit remis ouvert, en inscrivant avant l'adresse la mention « Ouvert ». Ces derniers modes de remise ne sont pas obligatoires pour les administrations de destination qui déclarent ne pas les accepter (voir le Tarif télégraphique).

2. Lorsqu'un télégramme ne peut être remis, le bureau d'arrivée envoie, à bref délai, au bureau d'origine, un avis de service faisant connaître la cause de la non-remise et dont le texte est rédigé sous la forme suivante : = 423 quinze Delorme Parana Fortdeleau (numéro, date et adresse du télégramme textuellement conformes aux indications reçues) refusé, destinataire inconnu, débarqué, décédé, pas à bord, etc. Le cas échéant, cet avis est complété par l'indication du motif du refus (art. XIX).

3. Le bureau d'origine vérifie l'exactitude de l'adresse et, si cette dernière a été dénaturée, il la rectifie sur-le-champ par avis de service affectant la forme suivante : N° 423 quinze (numéro et date du télégramme) pour... [adresse rectifiée]. Le cas échéant, cet avis de service contient les indications propres à redresser les erreurs commises, telles que : « faites suivre à destination, annulez télégramme, etc... ».

4. Si l'adresse n'a pas été dénaturée, l'avis est réexpédié par la station côtière d'origine au navire expéditeur ou, si c'est impossible, à la dernière station de bord qui lui a transmis le télégramme primitif. Si cette réexpédition ne peut être faite directement par la station côtière d'ori-

gine, celle-ci achemine par fil l'avis de service sur une autre station côtière du même pays ou d'un pays voisin.

Dès qu'elle a reçu l'avis de non-remise, la station de bord intermédiaire rapproche cet avis du télégramme auquel il se rapporte; si elle constate que l'adresse a été dénaturée, elle opère comme il est indiqué au paragraphe 3 ci-dessus; dans le cas contraire elle retransmet l'avis de service au navire d'origine qui, après vérification, le communique à l'expéditeur. Ce dernier ne peut compléter, rectifier ou confirmer l'adresse que par avis de service taxé.

S'il s'agit d'un radiotélégramme à destination d'une station de bord, cette station transmet, autant que possible, l'avis de non remise 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. XXXVI, R. R.).

5. Si, après l'envoi de l'avis de non-remise, le télégramme est réclamé par le destinataire, ou si le bureau de destination peut remettre le télégramme sans avoir reçu l'un des avis rectificatifs prévus par les paragraphes 3 et 4 ci-dessus, il transmet au bureau d'origine un second avis de service rédigé dans la forme suivante : 29 onze (numéro et quantité) Mirane (nom du destinataire) réclamé ou remis.

L'avis de remise est communiqué à l'expéditeur si ce dernier a reçu notification de la non-remise.

6. Tout télégramme à destination d'un navire qui n'a pu être délivré au destinataire est versé aux archives pour être compris dans l'envoi à adresser à l'Administration des Postes et des Télégraphes, conformément à l'article LX.

LVI

(Art. XXXVII, R. R.)

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 8^e jour suivant, cette station côtière en donne avis à 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 9^e jour (jour de dépôt non compris).

Toutefois, si la station côtière a l'assurance que le navire est sorti de son rayon d'action avant qu'elle ait pu lui transmettre le radiotélégramme, cette station en informe immédiatement le bureau d'origine qui avise sans retard l'expéditeur de l'annulation du message. L'expédi-

teur peut, par avis de service taxé, demander à la station côtière de transmettre le radiotélégramme au plus prochain passage du navire.

9. — Télégrammes spéciaux.

A. — Télégrammes privés urgents.

LVII

(Art. XLVIII, R. T.)

1. Les radiotélégrammes urgents ne sont admis que sur le parcours entre les stations côtières et les bureaux télégraphiques d'origine ou de destination et seulement pour certains pays. Ils sont admis à destination de la France, de l'Algérie et de la Tunisie. Pour les autres pays, voir le tarif télégraphique et consulter, le cas échéant, la station côtière.

2. L'expéditeur d'un télégramme privé peut obtenir la priorité de transmission et de remise à destination en inscrivant l'indication « Urgent » ou = D = avant l'adresse et en payant le triple de la taxe d'un télégramme ordinaire de même longueur par le même parcours.

3. Sur les lignes du réseau télégraphique, les télégrammes privés urgents ont la priorité sur les autres télégrammes privés, et leur priorité entre eux est réglée dans les conditions prévues par le paragraphe 2 de l'article XXXVII.

B. — Accusés de réception.

LVIII

Les accusés de réception ne sont admis que pour les radiotélégrammes à destination des navires en mer et seulement pour ce qui concerne le parcours entre le bureau d'origine et la station côtière.

Ils sont traités selon les dispositions des articles LII et LIII du Règlement télégraphique international.

C. — Télégrammes multiples.

LIX

(Art. LVI, R. T.)

1. Tout expéditeur peut adresser un télégramme, soit à plusieurs destinataires dans une même localité ou dans des localités différentes, mais desservies par un bureau télégraphique, soit à plusieurs destinataires

sur un même navire, soit à un même destinataire à plusieurs domiciles dans la même localité ou dans des localités différentes, mais desservies par un même bureau télégraphique. A cet effet, il inscrit avant l'adresse l'indication : « adresses » ou = TM x =, qui entre dans le nombre des mots taxés. Le nom du bureau de destination ou du bateau ne figure qu'une fois, à la fin de l'adresse.

Dans les télégrammes adressés à plusieurs destinataires, les indications concernant le lieu de la remise, telles que bourse, gare, marché, etc., doivent figurer après chaque adresse ou après la dernière si elles se rapportent à un ensemble d'adresses successives.

2. L'adresse d'un télégramme multiple, si celui-ci comporte des indications éventuelles, est rédigée conformément aux prescriptions de l'article VIII, paragraphe 2.

3. Il est perçu pour les télégrammes multiples, en sus de la taxe par mot, un droit de 0 fr. 50 pour l'établissement de chaque copie ne comprenant pas plus de cent mots taxés. Le nombre de copies est égal au nombre des adresses moins une.

Pour les copies comportant plus de cent mots taxés, le droit est de 0 fr. 50 par cent mots ou fraction de cent mots. La taxe pour chaque copie est calculée séparément, en tenant compte du nombre de mots qu'elle doit contenir.

Pour les télégrammes urgents, le droit de 0 fr. 50 par copie et par cent mots est porté à 1 franc.

4. Dans les deux premiers cas prévus par le paragraphe 1^{er} du présent article, chaque exemplaire du télégramme ne doit porter que l'adresse qui lui est propre, et l'indication « x adresses » ou = TMx = n'y doit pas figurer, à moins que l'expéditeur n'ait demandé le contraire. Cette demande doit être comprise dans le nombre des mots taxés, inscrite avant l'adresse de chaque destinataire qu'elle concerne et formulée comme suit : « Communiquer toutes adresses » ou = CTA =.

D. — Télégrammes à acheminer par poste.

LX

Ses 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'atterrissage du navire réceptonnaire.

Ces radiotélégrammes ne comportent aucune retransmission radiotélégraphique.

L'adresse de ces radiotélégrammes doit être libellée ainsi qu'il suit :

1° Indication taxée « poste » suivie du nom du port où le radiotélégramme doit être remis à la poste;

2° Nom et adresse complète du destinataire;

3° Nom de la station de bord qui doit effectuer le dépôt à la poste;

4° Le cas échéant, nom de la station côtière. Exemple : Poste Buena-saires Martinez 14 Galle Prat Vaparaison Avon Lizard.

La taxe comprend, outre ces taxes radiotélégraphiques et télégraphiques, une somme de 0 fr. 25, si le radiotélégramme est envoyé comme lettre ordinaire (art. XXXIX, R. R.).

A l'arrivée du navire dans le port à partir duquel doit avoir lieu l'acheminement postal, la station de bord remet le radiotélégramme à la poste, après l'avoir revêtu d'un timbre-poste de la valeur suffisante pour l'acheminement jusqu'à destination.

Si l'expéditeur désire que son radiotélégramme soit envoyé comme lettre recommandée, il inscrit avant l'adresse l'une des indications éventuelles taxées « Poste recommandée » ou « PR » et acquitte une taxe de 0 fr. 50. Les télégrammes de l'espèce sont remis au guichet du bureau de poste qui doit les acheminer par la voie postale.

E. — Radiotélégrammes à remettre par exprès ou par poste.

LXI

1. L'envoi par exprès ne peut être demandé que pour les États qui ont accepté ce mode de transport et dans le cas où le montant des frais d'exprès est perçu sur le destinataire.

2° L'expéditeur qui désire envoyer un radiotélégramme à remettre par exprès inscrit sur la minute l'indication éventuelle taxée « Exprès », le montant des frais d'exprès est perçu sur le destinataire.

3. 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.

L'indication éventuelle correspondante est « Exprès payé x » ou = XP x =; x désignant la somme versée par l'expéditeur pour les frais d'exprès (art. XXXVIII, R. R., et LVIII, R. T.)⁽¹⁾.

4. Lorsque l'expéditeur désire que le bureau télégraphique d'arrivée achemine son radiotélégramme par la voie postale, soit comme lettre ordinaire, soit comme lettre recommandée, il inscrit, avant l'adresse, l'une des indications éventuelles taxées soit « Poste », soit « Poste recommandée » ou = PR =.

⁽¹⁾ Certains offices étrangers ayant prévu et notifié le montant des frais de transport à payer, l'indication éventuelle à employer dans ce cas est « Exprès payé » ou = XP =.

5. Les radiotélégrammes à acheminer comme lettres ordinaires, à l'intérieur du pays de destination télégraphique, sont expédiés sans frais. Ceux à acheminer comme lettres recommandées acquittent la taxe de recommandation postale (0 fr. 25).

6. Les radiotélégrammes qui doivent être acheminés par la voie postale hors des limites du pays de destination télégraphique acquittent une taxe de 0 fr. 25, s'ils sont envoyés comme lettres ordinaires, et de 0 fr. 50, s'ils sont envoyés comme lettres recommandées.

F. — Radiotélégrammes avec collationnement.

LXII

1. Le collationnement consiste dans la répétition intégrale des radiotélégrammes de bureau à bureau.

2. L'expéditeur d'un radiotélégramme obtient le collationnement en inscrivant sur la minute du radiotélégramme qu'il expédie l'indication éventuelle taxée « collationnement » ou « TC » et en acquittant une taxe supplémentaire égale au quart de la taxe d'un radiotélégramme ordinaire du même nombre de mots par la même voie que le radiotélégramme à expédier.

G. — Radiotélégramme avec réponse payée.

LXIII

1. Tout expéditeur peut affranchir la réponse qu'il demande à son correspondant, en inscrivant sur la minute du radiotélégramme l'une des indications éventuelles taxées : « Réponse payée fr. x » ou « RP fr. x » (x représentant le montant de la somme payée d'avance pour la réponse).

2. Dès la réception d'un radiotélégramme avec réponse payée, la station de bord remplit sur le carnet des bons pour réponse payée toutes les indications de la souche et du bon qui s'y trouvent portées.

La somme à inscrire sur le bon et sur la souche est celle qui est indiquée sur le radiotélégramme demandé.

3. La valeur du bon est écrite en toutes lettres sauf les centimes qui peuvent être écrits en chiffres. Si l'espace destiné à recevoir cette indication n'est pas tout à fait rempli, on le complète par un tiret allant jusqu'à la fin de la ligne.

L'agent signe la souche et le bon; il appose le timbre à date de la station de bord sur l'une et l'autre de ces pièces, à gauche de sa signature. Il s'assure de la concordance du bon avec la souche et détache l'un de l'autre en coupant, vers le milieu, l'onglet qui les sépare.

Le bon ne comporte ni surcharge, ni grattage, ni rature. Si l'on fait erreur en établissant un bon, on doit l'annuler par deux barres croisées et le rattacher à la souche, en l'annotant convenablement. On établit ensuite un nouveau bon.

4. Le bon est joint extérieurement à la copie d'arrivée au moyen d'une épingle ou d'un peu de gomme. L'enveloppe ou la patte des radiotélégrammes et le reçu qui l'accompagne portent, en caractères très apparents, la mention « avec un bon de... (somme en toutes lettres) pour la réponse ».

5. Le bon de remise 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 (art. XXXVIII, R.R.).

6. Si la taxe du radiotélégramme pour l'envoi duquel le bon est utilisé est supérieure à la valeur du bon, le complément de taxe doit être payé par l'expéditeur de la réponse.

7. Si le destinataire refuse le télégramme ou seulement le bon, l'opérateur de bord l'invite à mentionner son refus sur le reçu. En cas de refus du radiotélégramme, l'avis de non-remise réglementaire est transmis sans retard.

Quant au bon, il est annexé au radiotélégramme auquel il se rapporte et transmis, avec ce radiotélégramme, en même temps que les pièces de comptabilité du navire, au service de la télégraphie sans fil, à Paris.

8. Les bons de réponse ne peuvent être employés que par le bénéficiaire ou son mandataire. Ils servent à acquitter, jusqu'à concurrence du montant total des divers bons présentés à la fois, les taxes principales et accessoires d'un radiotélégramme ou de plusieurs radiotélégrammes déposés simultanément par lui pour des destinations quelconques. Ils sont également acceptés en paiement d'avis de services taxés.

9. Un bon ne peut être utilisé que pendant le délai de quarante-deux jours qui suit la date de sa délivrance.

10. Les carnets de bons pour réponse payée doivent être conservés en lieu sûr ou dans un meuble fermant à clef. Les carnets commencés sont traités de la même manière en dehors des heures de vacation.

Avant d'être livrés aux intéressés, les bons doivent être revêtus au recto de la mention très apparente : « *Utilisable seulement à bord du navire...* (nom du navire). »

11. Les bons non utilisés peuvent être remboursés sur autorisation de l'Administration centrale dans le délai de trois mois qui suit la délivrance du bon.

Le bon, lorsqu'il est restitué à une station de bord, est transmis à cet effet à l'Ingénieur chargé du service de la télégraphie sans fil.

10. — Documents de service et archives.

LXIV

En outre des registres et imprimés nécessaires à l'exécution du service radiotélégraphique, chaque station de bord, autorisée par l'Administration des Postes et des Télégraphes et ouverte à l'échange de la correspondance privée, doit être munie des documents suivants :

- 1° Une copie de l'autorisation (licence) délivrée par l'Administration des Postes et des Télégraphes ;
- 2° Le Règlement télégraphique international ;
- 3° La Convention et le Règlement relatifs à l'exécution du service radiotélégraphique international ;
- 4° La présente Instruction ;
- 5° La Nomenclature officielle des bureaux télégraphiques ouverts au service international ;
- 6° La Nomenclature officielle des stations radiotélégraphiques ;
- 7° La liste alphabétique des indicatifs d'appel ;
- 8° Le tarif télégraphique français, ainsi que les tarifs utilisés dans les pays possédant des stations côtières ouvertes à la correspondance privée avec lesquelles la station de bord est susceptible de communiquer en temps normal ;
- 9° Un carnet de bons de réponse payée ;
- 10° Un registre sur lequel sont mentionnés, au moment où ils se produisent, les incidents de service de toute nature, ainsi que les communications échangées avec des stations côtières ou des stations de bord et relatives à des avis de sinistres.

D'autre part, les radiotélégraphistes en service à bord doivent être munis de leur certificat d'aptitude professionnelle.

LXV

1. Doivent être transmis à l'Administration des Postes et des Télégraphes (Bureau de l'Ingénieur chargé du Service de la Télégraphie sans fil) le 10 de chaque mois :

- 1° Les copies de passage des stations côtières des télégrammes d'État ou privés échangés avec les navires en mer pendant le mois précédent ainsi que tous les documents y relatifs ;
- 2° Les originaux des télégrammes d'État ou privés, les télégrammes d'arrivée non remis et les documents y relatifs, ainsi que le registre prévu à l'article LXIV, des stations de bord installées sur des navires rentrés à leur port d'attache pendant le mois précédent.

2. L'envoi de ces documents est effectué, le cas échéant, par l'intermédiaire des Départements ministériels ou des Compagnies de navigation dont les stations relèvent.

3. Dans la transmission de ces documents, toutes les précautions doivent être prises pour assurer le secret des correspondances.

LXVI

La délivrance de copies de radiotélégrammes, ainsi que la communication des originaux à l'expéditeur, au destinataire ou au fondé de pouvoirs de l'un d'eux, sont soumises aux dispositions de l'article LXX du Règlement télégraphique international.

11. — Réclamations et remboursements.

LXVII

Les réclamations concernant le service radiotélégraphique sont soumises aux dispositions des articles LXXI, LXXII, LXXIII et LXXIV du Règlement télégraphique international et à celles de l'article XLI du Règlement radiotélégraphique international.

LXVIII

Les taxes des radiotélégrammes déposés dans les stations de bord, qui, pour une cause quelconque, n'ont pu être transmis par celles-ci, sont immédiatement remboursées aux expéditeurs.

12. — Relations entre stations de bord et retransmission.

LXIX

Les transmissions échangées entre les stations de bord doivent s'effectuer de manière à ne pas troubler le service des stations côtières, celles-ci devant avoir, en règle générale, le droit de priorité pour la correspondance publique (art. XLVI, R. R.).

LXX

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. XLVII, R. R.).

13. — Transmissions météorologiques.

LXXI

(Art. XLV, R. R.)

N. B. — Les dispositions relatives aux transmissions météorologiques, en ce qui concerne le service français, seront notifiées ultérieurement.

14. — Comptabilité.

A. — Stations côtières.

LXXII

1. Les stations établissent, au jour le jour, et transmettent, le 10 de chaque mois, à l'Administration des Postes et des Télégraphes (Bureau de l'Ingénieur chargé du Service de la Télégraphie sans fil) des relevés n° 1366 des communications radiotélégraphiques échangées pendant le mois précédent avec les navires en mer.

2. Ces relevés indiquent dans l'ordre des transmissions :

a) Les radiotélégrammes reçus des stations de bord.

Les radiotélégrammes originaires des navires étrangers de même nationalité sont réunis sur un même relevé n° 1366 : il est établi un relevé pour chaque nationalité des navires correspondants.

Les radiotélégrammes originaires des navires français donnent lieu également, pour chaque Compagnie de navigation, à l'établissement d'un relevé distinct n° 1366 comprenant les communications émanant de tous les navires d'une même Compagnie ;

b) Les radiotélégrammes de toute origine (français et étrangers) transmis aux navires en mer.

Les stations établissent pareillement un relevé distinct n° 1366 pour chaque nationalité de navire destinataire et pour chaque Compagnie française de navigation ;

c) Les radiotélégrammes originaires de l'étranger à destination des bâtiments en mer.

Indépendamment de leur inscription sur les relevés visés dans le paragraphe *b* ci-dessus, les radiotélégrammes originaires de l'étranger transmis aux stations de bord par une station côtière sont décrits sur des relevés n° 1367. Les radiotélégrammes qui n'ont pu être transmis au navire destinataire sont également décrits dans ces relevés : en regard de chaque inscription, une mention sommaire doit indiquer la cause de la non-transmission. Un relevé spécial est établi pour chaque office d'origine.

3. Les avis de service taxés originaires ou à destination des navires en mer sont traités comme les radiotélégrammes ; les autres avis de service ne doivent pas être inscrits sur les relevés du trafic.

B. — Stations de bord des navires français.

LXXIII

1. Il est tenu dans chaque station de bord un procès-verbal analogue au relevé n° 1367 *bis*, sur lequel sont inscrits les radiotélégrammes au fur et à mesure de leur transmission aux stations côtières, la taxe perçue pour chacun d'eux est mentionnée également sur ce relevé.

Les taxes sont totalisées à la fin de chaque journée et récapitulées de jour en jour jusqu'à la date d'arrivée du navire à son port d'attache français.

Les compléments ou remboursements de taxe, motivés par une cause quelconque, sont inscrits en fin de journée au-dessous du total de la journée pendant laquelle ces opérations de régularisation sont effectuées.

Le total définitif de la journée est ressorti ensuite.

Une mention de référence est portée en regard de l'inscription du radiotélégramme ayant donné lieu à une opération de perception complémentaire ou de remboursement.

2. Il est tenu également dans chaque station de bord un procès-verbal indiquant, au fur et à mesure des réceptions, les radiotélégrammes reçus des stations côtières et le nombre de mots de chacun d'eux.

3. Chaque station de bord établit au jour le jour des relevés n° 1367 *bis* des radiotélégrammes échangés entre elle et les stations côtières.

Ces relevés décrivent, dans l'ordre des transmissions, à partir du jour du départ du navire jusqu'à la date où le navire a rejoint son port d'attache français :

- a) Les radiotélégrammes transmis aux stations côtières ;
- b) Les radiotélégrammes reçus des stations côtières.

Chaque nationalité des stations côtières avec lesquelles des communications ont été échangées donne lieu à l'établissement d'un relevé spécial tant pour les radiotélégrammes d'arrivée que pour ceux de départ.

C. — Compagnies françaises de navigation.

LXXIV

1. Le 10 de chaque mois, chaque Compagnie de navigation transmet à l'Administration des Postes et des Télégraphes (Bureau de l'Ingénieur chargé du Service de la Télégraphie sans fil) les documents indiqués ci-après se rapportant aux communications radiotélégraphiques échangées avec les postes côtiers par les stations à bord des navires qui ont rejoint leur port d'attache pendant le mois précédent :

Procès-verbaux de transmission (art. LXXIII, § 4).

Relevés n° 1367 *bis*.

Compte mensuel de la Compagnie.

2. Chaque Compagnie établit son compte mensuel dans les conditions suivantes :

Les relevés n° 1367 *bis* sont groupés en deux classes, arrivée et départ, et récapitulés par l'Office des stations côtières de réception ou de transmission.

Les différentes récapitulations sont ensuite inscrites sur le compte mensuel qui doit présenter, par nationalité : d'une part, le doit de la Compagnie, c'est-à-dire le montant des taxes côtières et télégraphiques revenant aux divers Offices pour les radiotélégrammes transmis aux stations côtières par les stations de bord de la Compagnie ; d'autre part, l'avoir de la Compagnie, c'est-à-dire le montant des taxes de bord et, le cas échéant, les taxes revenant aux stations de bord intermédiaires, les taxes totales perçues pour les réponses payées, les taxes perçues pour l'établissement de copies supplémentaires et pour la remise par poste, qui lui sont acquises pour les radiotélégrammes transmis à ses navires par les stations côtières.

La balance du doit et de l'avoir de la Compagnie est dégagée au pied du compte.

Le compte mensuel est établi en double expédition, certifié exact par le représentant de la Compagnie et appuyé des relevés n° 1367 *bis* qui y sont récapitulés.

(Annexe à l'article XXII du Règlement)

**Liste des abréviations
à employer dans les transmissions radiotélégraphiques**

1 ABRÉ- VIATION	2 QUESTION	3 RÉPONSE OU AVIS
	----- (CQ) -----	Signal de recherche employé par une station qui désire entrer en correspondance.
	----- (TR) -----	Signal annonçant l'envoi d'indications concernant une station de bord (article XXVIII).
	----- (?) -----	Signal indiquant qu'une station va émettre avec une grande puissance.
PRB	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.
QRA	Quel est le nom de votre station ?	Ici la station
QRB	A quelle distance vous trouvez-vous de ma station ?	La distance entre nos stations est de milles nautiques.
QRC	Quel est votre vrai relèvement ?	Mon vrai relèvement est de degrés.
QRD	Où allez-vous ?	Je vais à
QRF	D'où venez-vous ?	Je viens de
QRG	A quelle compagnie ou ligne de navigation appartenez-vous ?	J'appartiens à
QRH	Quelle est votre longueur d'onde ?	Ma longueur d'onde est de mètres.
QRJ	Combien de mots avez-vous à transmettre ?	J'ai mots à transmettre.
QRK	Comment recevez-vous ?	Je reçois bien.
QRL	Recevez-vous mal ? Dois-je transmettre 20 fois : ----- pour permettre le réglage de vos appareils ?	Je reçois mal. Transmettez 20 fois : ----- pour que je puisse régler mes appareils.
QRM	Êtes-vous troublé ?	Je suis troublé.
QRN	Les atmosphériques sont-elles très fortes ?	Les atmosphériques sont très fortes.
QRO	Dois-je augmenter l'énergie ?	Augmentez l'énergie.
QRP	Dois-je diminuer l'énergie ?	Diminuez l'énergie.
QRQ	Dois-je transmettre plus vite ?	Transmettez plus vite.
QRS	Dois-je transmettre plus lentement ?	Transmettez plus lentement.
QRT	Dois-je cesser la transmission ?	Cessez la transmission.
QRU	Avez-vous quelque chose pour moi ?	Je n'ai rien pour vous.
QRV	Êtes-vous prêt ?	Je suis prêt. Tout est en ordre.
QRW	Êtes-vous occupé ?	Je suis occupé avec une autre station (ou : avec). Prière de ne pas troubler.
QRX	Dois-je attendre ?	Attendez. Je vous appellerai à heures (ou : au besoin).

ABRÉ- VIATION 1	QUESTION 2	REPONSE OU AVIS 3
Q R Y	Quel est mon tour?.....	Votre tour est numéro
Q R Z	Mes signaux sont-ils faibles?.....	Vos signaux sont faibles.
Q S A	Mes signaux sont-ils forts?.....	Vos signaux sont forts.
Q S B	Mon ton est-il mauvais?.....	Le ton est mauvais.
Q S C	Mon étincelle est-elle mauvaise?...	L'étincelle est mauvaise.
Q S D	Les intervalles de transmission sont-ils mauvais?	Les intervalles de transmission sont mauvais.
Q S E	Comparons 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	La transmission sera faite par séries de 10 radiotélégrammes.
Q S J	Quelle est la taxe à percevoir pour	La taxe à percevoir est de
Q S K	Le dernier radiotélégramme est-il annulé?	Le dernier radiotélégramme est annulé.
Q S L	Avez-vous reçu accusé de réception?	Prière donner accusé de réception.
Q S M	Quelle est votre vraie route?.....	Ma vraie route est de degrés.
Q S N	Communiquez-vous avec terre ferme?	Je ne communique pas avec terre ferme.
Q S O	Êtes-vous en communication avec une autre station (ou : avec.....)?	Je suis en communication avec (par l'intermédiaire de)
Q S P	Dois-je signaler à que vous l'appellez?	Informez que je l'appelle.
Q S Q	Suis-je appelé par?	Vous êtes appelé par
Q S R	Expédiez-vous le radiotélégramme?	J'expédierai le radiotélégramme.
Q S T	Avez-vous reçu un appel général?..	Appel général à toutes stations.
Q S U	Prière m'appeler dès que vous aurez fini (ou : à heures).	Je vous appellerai dès que j'aurai fini.
Q S V	Correspondance publique est-elle engagée?	Correspondance publique est engagée. Prière de ne pas la troubler.
Q S W	Dois-je augmenter ma fréquence d'étincelle?	Augmentez la fréquence d'étincelle.
Q S X	Dois-je diminuer ma fréquence d'étincelle?	Diminuez la fréquence d'étincelle.
Q S Y	Dois-je transmettre avec la longueur d'onde de mètres?	Passons à l'onde de mètres.
Q S Z	Transmettez chaque mot deux fois; j'ai de la difficulté à recevoir vos signaux.
Q T A	Transmettez chaque radiotélégramme deux fois; j'ai de la difficulté à recevoir vos signaux, ou : Répétez le radiotélégramme que vous venez de transmettre; la réception en est douteuse.

Lorsqu'une abréviation est suivie d'un point d'interrogation, elle s'applique à la question indiquée en regard de cette abréviation.

EXEMPLES

Stations

- | | | | |
|---|-----------------|---|---|
| A | QRA ? | = | Quel est le nom de votre station ? |
| B | QRA Campania | = | Ici la station Campania. |
| A | QRG ? | = | A quelle compagnie ou ligne de navigation appartenez-vous ? |
| B | QRG Cunard. QRZ | = | J'appartiens à la Cunard Line. Vos signaux sont faibles. |

La station A augmente alors l'énergie de son transmetteur et transmet :

- | | | | |
|---|--------|---|--|
| A | QRK ? | = | Comment recevez-vous ? |
| B | QRK | = | Je reçois bien. |
| | QRB 80 | = | La distance entre nos stations est de 80 milles nautiques. |
| | QRC 62 | = | Mon vrai relèvement est de 62 degrés. |
| | etc. | = | etc. |

INDEX ALPHABÉTIQUE

A

Absorption des ondes par différents sols, 229.
 Absorption par les couches de différentes conductivités, 230.
 Antennes : amortissement des —, 320 ; courant dans l'—, 302 ; longueur du fil d'—, 299 ; direction de radiation, 177.
 Air : ionisation de l'—, 241 ; conductivité de l'air par Thomson, 241.
 Alaska, la télégraphie sans fil dans l'—, 118.
 Alpes, leur effet sur la transmission, 237.
 Alternateur : fréquence de l'— et nombre d'étincelles, 53.
 Aluminium, propriétés, 316.
 Amplitudes à la résonance, 198.
 Andaman, installation des îles —, 127.
 Anti-cohéreurs, 68.
 Acuité d'accord, 200.
 Arc, courbe caractéristique, 42 : — chantant de Diehdell, 44 ; arc instable, comme générateur d'ondes, 42 ; — sans champ magnétique, 45.
 Arco (comte), inventions, 34.
 Armstrong et Orting, détecteurs électro-capillaires, 98.
 Artom, système de T. S. F. dirigée, 178.
 Atmosphère, propriétés électriques, 203 ; hauteur de la couche conductrice, 207.
 Atmosphériques, 241.
 Audibilité des signaux, 273.
 Audion de Forest, 98.
 Aurores, récentes observations, 215.
 Austin, audibilité des signaux, 273 ; connexions de terre, 173 ; détecteurs magnétiques Marconi, 71 ; mesures sur les transmissions à longue distance, 253 ; valve à vide, 102 ; détecteurs électrolytiques, 100.
 Amortissement, 191 ; travaux de Brandes, 278 ; cause de l'—, 22 ; — des antennes, 320 ; courbe d'—, 198 ; —

d'après la courbe de résonance, 278 ; mesure de l'—, 278 ; méthodes de Tissot, 277 ; Monasch, 279 ; Rutherford, 277 ; Traubenberg, 279.
 Antennes dirigées (théorie de Zeenneck), 181.
 Arc instable comme générateur, 42.
 Antenne horizontale, radiation par une —, 180.
 Alternateur Tesla, 36 ; Goldschmidt, 37.
 Accouplement (coefficient), 201.

B

Barkhausen, production des vibrations, 48 ; mesure des courants d'émission et de réception, 235.
 Battlements, 201.
 Bellini et Tosi, récepteur, 181 ; système de T. S. F. dirigée radiocompas, 182.
 Blondel, propagation des ondes, 214.
 Bolomètre, modèle de Tissot, 86.
 Brandes, sur l'amortissement, 279.
 Brandy, cohéreur, 57.
 Braun, inventions du professeur, 34 ; oscillographe à rayons cathodiques, 45.
 Brown, système Hozier Brown, 144.
 Brylinski, pénétration des courants, 211.
 Buenos-Aires, de Clifden à —, 113.
 Burstyn, hauteur du contrepois d'antenne, 131.
 Bobine d'induction, 49 : — à résonance, 50.
 Barreter (Fessenden), 85.
 Bezold, 9.
 Buzzer (Lodge), 120.

C

Capacités élevées d'antenne, Lodge-Muirhead, 129.
 Capacités inférieures, hauteur au-dessus de la terre, 131.
 Capacité, importance, 8.
 Cap Cod, station Marconi, 103.

- Courbes caractéristiques, 46 ; leur détermination, 47 ; méthode du condensateur, 48 ; méthode de la self, 48 ; courbes des courants uniformes de H. F., 45.
- Clerk Maxwell, théorie des ondes, 11.
- Clifden, station Marconi, 119.
- Circuit fermé (système à), 5.
- Cohérence (force de), 57.
- Cohéreur, circuit du —, 306 ; courant du —, 307 ; mesure du voltage dans le circuit du —, 60, 68 ; découverte du —, 25 ; influence du voltage appliqué au —, 60 ; cohéreur Lodge-Muirhead, 67 ; 119 ; limailles du cohéreur Marconi, 58 ; rapidité d'action du —, 56 ; courbes caractéristiques des —, 64.
- Conduction à travers un gaz, 41.
- Conductivités, 310.
- Connexions de terre, 173.
- Circuits accouplés, 209.
- Accouplement, 202 ; relation avec l'énergie transmise, 205.
- Gram, 11°
- Cristaux (détecteurs à), 99.
- Courants de H. F. (production), 35.
- Cymomètre Fleming, 273.
- Constante diélectrique du sol, 226.
- Couplage direct, 33.
- Circuits fortement amortis, 200.
- Convertisseurs statiques de fréquence, 39.
- Contact imparfait comme détecteur, 57.
- Calcul d'une station, 296.
- Compagnie générale de radiotélégraphie (système), 164.
- D**
- Distances anormales, 236.
- Diagramme d'absorption, Zenneck, 226.
- Détecteurs capillaires, 98 ; carborundum, 99 ; électrolytique, 96 ; zincite chalcoppyrite, 102 ; galène, 99 ; silicium, 99 ; détecteurs thermométriques, 89 ; détecteurs magnétiques, 70.
- Dérèglement logarithmique, .
- De Forest, antenne dirigée, 179 ; détecteur électrolytique, 95 ; système, 179 ; audion, 98.
- Direction de la radiation (détermination de), 177.
- Dissipation d'énergie dans la transmission, 220.
- Dolbear, système, 25.
- Dowse, méthode de mesure, 267.
- Duddell et Taylor, expériences dans la mer d'Irlande, 215 ; thermogalvanomètre, 89 ; arc chantant, 44.
- Dispersion (loi de la), 219.
- Distribution dissymétrique de la résistance à la réception, 221.
- Décharges par étincelle, 19.
- E**
- Électricité atmosphérique, écoulement, 31.
- Eccles, effets des oscillations sur le fer, 78 ; sur les cohéreurs à limaille, 59 ; détecteurs à cristaux, 100.
- Edwards ; portées de jour et de nuit, 238.
- Électrolytique, détecteur : de Forest, 95 ; Fessenden, 97 ; Pupin, 96.
- Epstein, formes d'onde, 233.
- Erskine Murray, méthode de détermination du rendement, 287.
- Eiffel (tour), signaux horaires, 325.
- Émetteur secret, Fessenden, 138.
- Excitation par choc, systèmes à —, 162, 204.
- Essai de capacité, 261.
- des condensateurs, 266.
- de la continuité des conducteurs, 259.
- de l'amortissement, 276.
- de la fréquence, 273.
- des bobines d'induction, 261.
- de l'isolement, 259.
- des interrupteurs, 263.
- des récepteurs, 261.
- des relais, 269.
- des transmetteurs, 262.
- des longueurs d'onde, 273.
- Eindhoven, galvanomètre, 73.
- Ewing, détecteur magnétique, 73.
- Émetteur Marconi, 111 ; Lepel, 166 ; Pe-
lit, 122.
- F**
- Fessenden, barrette, 85 ; générateur, 10 ; détecteur électrolytique, 97 ; détecteur magnétique, 72 ; système —, 132 ; hétérodyne, 81 ; transmetteur secret, 138.
- Fitzgerald, période d'oscillation électrique de la terre, 245.
- Fleming, valve à filament chaud, 98.
- Fréquence, définition, 186.
- G**
- Galène, 99.
- Galletti, système, 171.
- Garcia, antenne dirigée, 178.
- Gibson, graphiques, 186.
- Glace Bay, station Marconi, 109.

Goldschmidt, alternateur à haute fréquence, 37 ; convertisseur statique de fréquence, 39 ; système —, 159.
 Gray, manipulateur, 106.
 Gray (J.-H.), oscillations lentes, 188.
 Gaz, conductibilité, 41 ; effet d'une partie gazeuse dans un circuit, 39.
 Générateur d'ondes uniformes Marconi, 111.

H

Hack, absorption par les couches terrestres, 230.
 Heaviside, propagation des ondes, 214.
 Henry Joseph, recherches, 6.
 Hertz, recherches, 10 ; oscillateur, 12 ; diagramme de propagation des ondes, 13.
 Hellinger, limites de non-interférence, 23.
 Haute fréquence, dynamo à —, 36.
 Hozier-Brown, détecteur, 115 ; système —, 144.
 Hughes, inventions, 6.
 Hystérésis, pertes par, 18.
 Hystérésis diélectrique, 321.
 Hétérodyne (Fessenden), 84.

I

Ionisation de l'air, 241.
 Isolateur, huile comme —, 20.
 Intensité de transmission, variations, 141.
 - Interférence prévenir — de Fessenden, 136.
 Interrupteur de sonnerie, 52 ; de Lodge Muirhead, à mercure, 53 ; — Wehnelt, 51.
 Isolement, 259.

J

Jackson (capitaine), expériences, 27 ; expériences sur les cérames, 213 ; sur les variations de transmission, 212.
 Jigger à secondaire divisé, 194 ; rôle du —, 194.
 Joly, transformateur statique de fréquence, 39.
 Joule, résistance de radiation et par effet —, 287.

K

Kelvin, courants oscillants, 187 ; images électriques, 211 ; superposition des mouvements vibratoires, 21.

L

Lepel, éclateur, 163.
 Leyde, circuit à bouteilles de — de Lodge, 7.
 Lindemann, mesure de la résistance en haute fréquence, 269.
 Lindsay, système, 2.
 Lodge, système électromagnétique, 2 ; premières expériences, 27 ; système syntonique, 33 ; circuits de bouteilles de Leyde en résonance, 7.
 Lodge-Muirhead, installation des îles Andaman, 126 ; système —, 115.

M

Machrihanish, station Fessenden, 141.
 Magnétique (détecteur), Austin sur le —, 71 ; — Fessenden, 72 ; — Marconi, 70 ; — Walter, 73.
 Marconi, variations diurnes, 236, 238 ; système, 103 ; premiers essais, 27 ; expériences de télégraphie dirigée, 110 ; connexion à la terre, 28 ; premier récepteur, 30 ; stations à longue portée, 109 ; détecteurs magnétiques, 70 ; force des signaux, 273 ; tuner, 109 ; générateur de courant uniforme de H. F., 111.
 Marillier, description du système Lodge-Muirhead, 115.
 Maskelyne, antenne, 35.
 Mesure de l'amortissement, 276.
 Mesure des courants d'émission et de réception (Barkhausen), 235 ; mesure des résistances en haute fréquence (Lindemann), 269 ; mesure des longueurs d'onde, 273 ; de l'accouplement, 281.
 Molybdenite, 99.
 Monash, sur l'amortissement, 279.
 Montel, calcul d'une station syntonique, 296.
 Morse, code, 380.
 Mer, résistance, 211.
 Mouvement harmonique simple, 186.
 Méthode directe de détermination du rendement, en radiation, de la résistance de la terre, 287.

N

Nuit, différence entre la transmission de jour et de — (Marconi), 236.
 Nuit, théorie sur les portées de jour et de —, 239.
 Nauen, station, 171.
 Norfolk et San-Francisco, intercommunication, 242.

- Numérique, distance — (Sommerfeld), 232.
 Nombre d'étincelles, 51; Duddell, 195; Tissot, 196.
- O**
- Oscillographe Braun, 45.
 Ondes d'espace, 232.
 Ondes stationnaires (Tesla), 219; (Bezold), 9.
 Ondes de surface, 232.
 Observations de Marconi sur la transmission, 236, 238.
 Oscillations (propriétés), 186.
- P**
- Pachena Point et Victoria, intercommunication, 238.
 Paraboliques, miroirs —, 177.
 Pedersen, manipulateur automatique, 156; tikker, 155.
 Pourcentage d'accomplissement, 201.
 Période, définition, 190.
 Peukert, système, 163.
 Phase, différence de —, 178; différence de phases des composantes horizontale et verticale de la force électrique, 227.
 Pierce, sur les détecteurs, 99.
 Polarisées, ondes polarisées planes, 12.
 Popoff, récepteur, 16.
 Potentiomètres à liquide, 60.
 Poulsen, générateur, 40; système, 152.
 Preece, système, 5.
 Pupin, détecteur électrolytique, 36.
 Portées de jour et de nuit, 238; limite de la portée, 223.
 Point d'un bateau, détermination, 181, 183.
 Petit éclateur, 166.
 Prise de terre, 176.
 Pont bolométrique de Tissot, 86.
- R**
- Radiocompas Bellini-To-i, 181; Telefunken, 182.
 Résistance de la surface de la terre, 173.
 Résistance et autres constantes d'un transmetteur: méthode expérimentale pour la détermination du rendement en radiation, 287.
 Rendement en énergie, 284; méthode de E. Murray pour la détermination du —, 287; rendement du système Lodge-Muirhead, 128; — de la transmission radiotélégraphique, 295; rendement opératoire, 293; rendement télégraphique Zenneck, sur le —, 289.
 Radiation, résistance de —, 174; coefficient de —, 173; détermination du rendement en radiation, 287; détermination de la résistance de radiation, 287.
 Radiogoniomètre, 182.
 Rapport des composantes horizontale et verticale de la force électrique, 228.
 Rayleigh, construction des transformateurs, 192.
 Récepteur Lodge-Muirhead, 119; courant dans les circuits de —, 306.
 Records de longue distance, 113.
 Réflexion des ondes, 12.
 Redresseurs, détecteurs —, 95.
 Réfraction des ondes, 13.
 Reich, différences de potentiel à la base d'antennes, 173.
 Résistance, effets de la distribution dissymétrique de la —, 224.
 Résonance, courbes de —, 197.
 Robertson, lignes électrostatiques de force, 59.
 Russell, oscillations magnétiques, 80.
 Rutherford, premières expériences, 21; expériences sur la radiation, 69; sur l'amortissement, 277.
 Rapidité de transmission, 294.
 Radiotélégraphie (C¹ g¹ de), systèmes, 163, 165.
 Recherches récentes sur la transmission, 232.
- S**
- Syntonisation acoustique, 294.
 Systèmes dirigés, 284.
 Section gazeuse d'un circuit, 39.
 Self-induction, importance, 8; formules de calcul, 315.
 Sécurité du service, 293.
 Sand, observations sur l'électrolyse, 97.
 Sella-Tieri, détecteur magnétique, 83.
 Signaux, force (Marconi), 238; audibilité, 273.
 Silicon, 99.
 Slaby, transmetteur, 35; double connexion à la terre, 34.
 Sommerfeld, distance numérique, 232; portées théoriques, 223.
 Snow Harris, thermogalvanomètre, 89.
 Solari, cohéreur à mercure, 67.
 Superposition des mouvements périodiques, 21.
 Sutton, détecteur à galène, 101.
 Systems Willoughby Smith, 2; Lodge-Muirhead, 4, 115; Marconi, 103; Fes-

- sendeu, 132; Hozier-Brown, 144; Poulsen, 152; Goldschmidt, 159; Lepel, 162; Telefunken, 167; Cie g^{ie} de radiotélégraphie, 166; Galetti, 171; Tesla, 245; Dolbear, 26.
Système syntonique, 33.
- T**
- Tesla, alternateur à haute fréquence, 36.
Télégraphie dirigée (théorie de Zenneck), 183.
Transmission dirigée, 177.
Terre, période de vibration de la —, 245; résistance de la —, 211; détermination de la résistance de la —, 173.
Tables : accumulateurs, 321; capacité des fils verticaux, 314; capacité des condensateurs, 312; coefficient d'amortissement et résistance, 317; self des bobines, 314; capacités inductives spécifiques, 310; rigidité des isolants, 309; codes Morse, 383; résistance de fils de cuivre droits, 316; longueurs d'étincelles, 318; résistance des étincelles, 317.
Taylor, atmosphériques, 244.
Telefunken, système, 31, 167; compas radiotélégraphique, 182.
Tesserenc de Bore, 241.
Téléphones (sensibilité), 321; — hétérodyné, 84.
Tesla, expériences de Colorado Springs, 248; détecteur, 251; transformateur à H. F., 19; système syntonique, ; recherches, 17; rayon sensible, 21; système radiotélégraphique proposé en 1893, 26; système à ondes terrestres, 245.
Thermogalvanomètre (Duddell), 89.
Thomson, conductibilité de l'air, 208.
Tikker Peddersen, 155.
Tissot, bolomètre, 86; essais sur la transmission, 216.
Tarikata, sur les détecteurs, 100.
Trains d'onde, 22.
Tuner Marconi, 109.
Transformateur Tesla, 19.
Transformateur de réception, 31.
Transmission le long des couches conductrices de l'air, 243.
Transmission de jour et de nuit, 236, 239.
Transmission dirigée, 284; dissipation d'énergie dans la —, 220; sur mer, mesures d'Austin, 233; recherches récentes sur la —, 232; rapidité de —, 294; théories de la —, 239; transmission vers l'ouest le jour et la nuit, observations de Marconi, 236.
Transmetteur à grande vitesse Peddersen, 154.
True, résistance de la terre, 173.
Transformateur statique de fréquence, 39.
- U**
- Uller, antenne horizontale, 185.
- V**
- Variations de la transmission vers l'ouest du jour à la nuit (observations de Marconi), 238.
Valve à vide, travaux d'Austin, 102.
Vallauri, transformateur statique de fréquence, 39.
Variation des courants reçus avec la distance, 220.
Von Bezold, recherches, 9.
Vibrations complexes, 24.
Valve Fleming, 98.
- W**
- Walter et Ewing, détecteur magnétique, 73.
Wave-chute de l'essenden, 133.
Webb, système, 54.
Wien (Max), étincelles soufflées, 162, 204.
Wildmann, variations dans la transmission, 209.
Wilboughby-Smith, système, 2.
- X**
- X-stopper de Marconi, 106.
- Z**
- Zenneck, rendement, 289; théorie de la transmission, 226; télégraphie dirigée, 183.
Zincite-chalcopryrite, détecteur, 102.