

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)	Rothé, Edmond (1873-1942)
Titre	Les applications de la télégraphie sans fil : traité pratique pour la réception des signaux horaires et des radiotélégrammes météorologiques
Adresse	Paris ; Nancy : Berger-Levrault, éditeurs, 1913
Collation	1 vol. (XIII-198 p.) : ill. ; 20 cm
Nombre d'images	229
Cote	CNAM-BIB 8 Ca 972
Sujet(s)	Générateurs de signaux Radiométéorologie 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?8CA972

8° Co 172

E. ROTHÉ

LES APPLICATIONS
DE LA
TÉLÉGRAPHIE
SANS FIL

Berger-Levrault, Éditeurs

LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS, 5-7, rue des Beaux-Arts — rue des Glacis, 18, NANCY

- Dictionnaire militaire.** Encyclopédie des sciences militaires, rédigée par un comité d'officiers de toutes armes, sous la direction de M. Charles MALO.
— *Tome Ier : Lettres A-H.* 1899. Un volume de 1588 pages.
— *Tome II : Lettres I-Z.* 1910. Un volume de 1600 pages. Chaque volume, broché 37 fr. 50
Relié en demi-marroquin, plats toile 42 fr. 50
— **Supplément général**, mettant entièrement à jour le *Dictionnaire* jusqu'au 1^{er} octobre 1911. 1912. Un volume grand in-8 de 421 pages sur deux colonnes, broché 10 fr.
Relié en demi-chagrin, plats toile 12 fr. 50
- Les Archives militaires.** *Revue trimestrielle des progrès réalisés et des modifications survenues dans l'organisation, l'armement, l'outillage, l'instruction et la tactique de toutes les armées du monde et des événements de guerre contemporains, suivie d'une revue critique et bibliographique de la littérature militaire.* Paraissant par fascicules petit in-4. 1^{re} année. 1912.
Prix du fascicule 3 fr.
Abonnement d'un an : France 12 fr.
Union postale 14 fr.
- Revue du Génie militaire.** Paraissant depuis 1887. 12 livraisons mensuelles, à partir de janvier. — Chaque livraison comprend environ 6 feuilles in-8 dans le texte et planches hors texte. — Prix par an, France . . . 25 fr.
Union postale 27 fr.
- Instruction provisoire pour l'emploi et l'entretien du matériel micro-téléphonique de campagne M. 1908**, approuvée par le Ministre de la Guerre le 12 juin 1909. In-8 étroit, avec 6 planches. 60 c.
- Guide du Télégraphiste en campagne.** Télégraphie électrique et optique. Suivi d'un choix des questions posées aux examens des télégraphistes auxiliaires, avec leurs solutions, par ÉM. DÉRISOUR et R. FALCOC, professeurs à l'Association philotechnique et à l'Association polytechnique. 1891. Un volume in-12, avec 85 figures, broché 3 fr. 50
- Stratégie et grande Tactique**, d'après l'expérience des dernières guerres, par le général PEAUON.
— *Tome II.* Voies navigables et reconnaissance des cours d'eau. — Chemins de fer et usage militaire des voies ferrées. — Construction, réparation et destruction des ouvrages. — **Service télégraphique.** — Service postal. — Service de santé, hôpitaux, ambulances, évacuation des malades et blessés. — Dépôts et infirmeries de chevaux. — Magasins sur la ligne de communication. — Baraquements. 1890. Volume grand in-8 de 826 pages, avec nombreuses gravures et 23 planches, broché 15 fr.
- L'Électrification des grandes lignes de Chemins de fer**, par Jean SIGNOREL. 1911. Un volume in-8 de 263 pages, broché. 5 fr.
- Répertoire alphabétique de termes militaires allemands**, traduits et accompagnés de notices explicatives sur l'organisation de l'armée et de la marine de l'empire d'Allemagne, par R. ROY, contrôleur de l'Administration de l'armée. 4^e édition, augmentée et mise à jour par le lieutenant A. BOURGEOIS, professeur d'allemand à l'École d'application de l'artillerie et du génie. 1910. Ouvrage adopté par l'École spéciale militaire de Saint-Cyr. Un volume in-12, broché 3 fr. 50
- Répertoire technologique des Noms d'Industries et de Professions Français-Anglais-Allemands.** Avec notices descriptives sommaires. *Suivi de trois listes alphabétiques des noms allemands, anglais et français.* (Publication du Ministère du Travail et de la Prévoyance sociale. Statistique générale de la France.) 1909. Un volume petit in-4 de 775 pages, relié en percaline gaufrée, tête rouge 30 fr.
- Évaluation des Distances.** *Reconnaissance des objectifs et du terrain*, par le général PEACIN. 3^e tirage. 1908. Brochure in-8 de 55 pages, avec une planche hors texte 60 c.
- La Planchette-Télémetre.** *Ses usages*, par R. COLSON, commandant du génie en retraite. 1911. Broch. in-12, avec la planchette en portefeuille. 2 fr.
- Quand le Soleil est-il à l'Est? A ceux qui courent ou volent sous le Soleil.** *Pour combattre une erreur trop répandue*, par L. PIARRON DE MONDÉSIR, colonel du génie breveté. 1910. Brochure in-8, avec 19 fig. et 1 planche. 2 fr.
- Boussole et Direction.** *Causerie pratique faite aux officiers de son régiment*, par le capitaine d'infanterie G. MONDEIL. 1906. Grand in-8, avec 14 fig. et 2 cartes, broché 1 fr. 25

LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS, 5-7, rue des Beaux-Arts — rue des Glacis, 18, NANCY

J. BOULANGER

COLONEL DU GÉNIE EN RETRAITE

G. FERRIÉ

CHEF DE BATAILLON DU GÉNIE

LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL ET LES ONDES ÉLECTRIQUES

7^e édition, augmentée et mise à jour. 1909. Un volume in-8 de 487 pages, avec 255 figures dans le texte, relié en percaline souple, gaufrée or **10 fr.**

H. LEBLOND

AGRÉGÉ DES SCIENCES PHYSIQUES

Cours élémentaire d'Électricité pratique. 5^e édition, mise à jour et augmentée. 1906. Un vol. in-8 de 622 pages, avec 221 figures, broché . . . **8 fr.**

Électricité expérimentale et pratique. Cours professé à l'École des torpilleurs. Quatre volumes in-8 (1806 pages), avec 495 figures, brochés.

— **Tome I. Étude générale des phénomènes électriques et des lois qui les régissent.** 3^e édition. 1903 **6 fr.**

— **Tome II. Mesures électriques.** 3^e édition. 1907 **9 fr.**

— **Tome III. Machines électriques et accumulateurs.** 3^e édition. 1907 **8 fr.**

— **Tome IV. Application de l'électricité.** 8^e édition. 1903 **8 fr.**

Les Moteurs électriques à courant continu. 3^e édition. Tome I. *Fonctionnement et manœuvre.* 1905. Un vol. in-8 de 358 pages, avec 47 fig., br. **6 fr.**

— **Tome II. Application des électro-moteurs à bord des navires de guerre.** 1905. Un volume in-8 de 552 pages, avec 144 fig., broché **8 fr.**
(Ouvrages couronnés par l'Académie des Sciences)

Notions d'Électricité. Conférences faites au Dépôt central de la télégraphie militaire.

— **Électrostatique,** par J. BOULANGER, chef de bataillon du génie. 1900. Brochure in-8, avec 13 figures. **1 fr.**

— **Unités,** par le même. 1900. Br. in-8 **75 c.**

— **Génération, transformation et conversion des Courants alternatifs,** par E.-R. VILLECLÈRE, capitaine du génie. 1900. Brochure in-8 de 103 pages, avec 72 figures. **2 fr.**

— **Courants et Aimants. Courant continu. Magnétisme. Électromagnétisme. Induction,** par J. BOULANGER, chef de bataillon du génie. 1910. Broch. in-8 de 67 pages, avec 24 figures **1 fr. 50**

Traité pratique de Mécanique et d'Électricité industrielles, par Georges CAYE et A. SAILLARD. Tome I. 1901. Un volume in-8 de 489 pages, avec 312 figures, relié maroquiné souple. **12 fr.**

— **Tome II.** 1905. Un vol. in-8 de 447 pages, avec 281 fig., relié maroquiné souple **12 fr.**

LES APPLICATIONS
DE LA
TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

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

8° Ca. 972

E. ROTHÉ

*Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy
Président de la Commission météorologique de Meurthe-et-Moselle*

LES APPLICATIONS

DE LA

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL



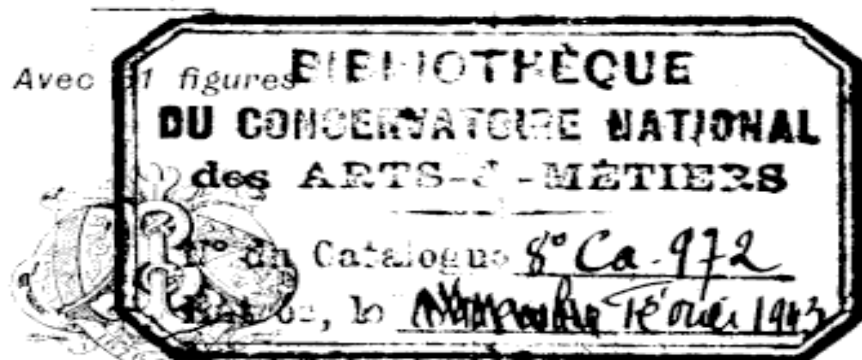
TRAITÉ PRATIQUE

POUR LA

RECEPTION DES SIGNAUX HORAIRES

ET DES RADIOTÉLÉGRAMMES MÉTÉOROLOGIQUES

Avec 1 figure



BERGER-LEVRAULT, ÉDITEURS

PARIS

Rue des Beaux-Arts, 5-7

NANCY

Rue des Glacis, 18

1913

INTRODUCTION

Parmi les grandes découvertes qui ont marqué la fin du dix-neuvième siècle, la télégraphie sans fil ou radiotélégraphie a une place à part. On peut dire qu'elle est au plus haut degré une découverte populaire ; elle a conquis immédiatement la faveur, non seulement des savants, mais de tous ceux qui, sans avoir fait des études scientifiques proprement dites, ont pourtant une culture suffisante pour s'intéresser aux progrès et aux applications de la science.

Tout le monde connaît son rôle dans l'armée et chacun sait les services qu'elle rend journellement à la marine, en prévenant des désastres, en mettant les navires en relation constante avec la terre et en évitant aux passagers, au cours des longues traversées, l'impression pénible de l'isolement.

Au moment de la création des nouveaux programmes scientifiques, voulant justifier l'importance donnée à l'enseignement des sciences et mettre en lumière le rôle de la science dans le développement de l'imagination, un des grands

maîtres de l'Université s'exprimait en ces termes (1) :

« Les sciences ne se bornent pas à la poursuite de résultats utilitaires et pratiques. Elles sont, elles aussi, particulièrement propres à développer les qualités maîtresses de l'esprit...

« N'est-il pas banal de redire, après tant d'autres, quelle haute et pénétrante poésie se dégage souvent de la science ?

« N'élève-t-elle pas l'âme dans les régions les plus pures, cette science qui cherche et découvre les lois des mouvements des astres, indique leur marche, retrouve leur trace et leur place dans les profondeurs de l'espace immense et, nous faisant entrevoir derrière des mondes, d'autres mondes encore plus lointains, et, derrière ceux-ci, sans limites, d'autres mondes encore, nous donne le frisson de l'infini ?

« Ne nous rappelons-nous pas alors avec émotion les vers du poète :

L'astronomie atteint où ne ment plus l'azur,
Sous des plafonds fuyants, chasseresse d'étoiles,
Elle tisse, Arachné de l'infini, ses toiles
Et suit, de monde en monde, un fil sublime et sûr (1).

« Un navire est sur la mer ; la nuit, la brume l'environnent, rien ne le relie à la terre, il est seul (2). Et voici que d'un appareil nouveau

(1) Sully PRUDHOMME, *Le Zénith*.

(2) Les lecteurs ont encore présent à la mémoire le récit émouvant de la perte du navire *Le Titanic* dont le radiotélégraphiste, jusqu'au dernier moment, décrivait dans ses télégrammes la confiance, puis les angoisses, et enfin la résignation des naufragés. 1912.

installé dans sa mâture, une vibration mystérieuse se détache, s'étend, s'amplifie, et tout à coup le développement de son orbite heurte, éveille au loin sur le rivage ou sur un bateau qui passe un autre appareil sensible qui attendait. Une communication est établie, une réponse est donnée à un appel.

« Ne sommes-nous pas confondus et ce spectacle n'éveille-t-il pas notre enthousiasme ? »

La radiotélégraphie rend d'autres services, non moins importants, bien que moins connus du grand public. Elle n'est pas le privilège exclusif de l'armée et de la marine : la principale station française, le poste militaire de la tour Eiffel est un véritable laboratoire de recherches, où les officiers du génie, sans perdre aucunement de vue les intérêts supérieurs de la défense nationale, collaborent, pour le grand bien du pays, à des travaux intéressant l'astronomie ou la météorologie, l'agriculture ou l'aviation.

Les observatoires de province sont désormais reliés à l'observatoire de Paris, qui, deux fois par jour, par l'intermédiaire de cette station, envoie, à tous les pays du monde, l'heure exacte du méridien de Greenwich, et ainsi se trouve résolu pour les horlogers un problème des plus difficiles, le réglage des chronomètres en une ville quelconque de la France ou de l'étranger.

Des signaux émis de Paris permettent de déterminer la différence des longitudes entre deux lieux quelconques. C'est enfin à la télégraphie sans fil que la météorologie est redevable

de ses progrès les plus récents. Ce que les agriculteurs demandent à cette science, c'est bien moins de la statistique, malgré l'intérêt qu'elle présente, qu'une prévision rapide du temps, considérée par beaucoup, il y a peu de temps encore, comme une simple utopie. Si cet important problème ne peut être totalement résolu, il est du moins singulièrement simplifié par le fait qu'un habitant de province, de Meurthe-et-Moselle par exemple, peut actuellement, trois fois par jour, connaître toutes les données relatives au temps de Paris : pression, vitesse, direction du vent, etc...

On peut en même temps connaître toutes ces données pour des stations lointaines et il devient ainsi possible, pour la première fois, d'aborder avec quelques chances de succès le problème de la prévision du temps.

Depuis longtemps, la création d'un service de prévision rapide du temps préoccupe les ministères de l'Agriculture et du Commerce. A maintes reprises, les rapporteurs du budget ont déploré l'absence de ce service.

Il faut reconnaître que plusieurs pas ont pourtant déjà été faits dans cette voie ⁽²⁾.

MM. G. Bigourdan et Angot ont indiqué les premiers l'usage qu'on peut faire de la télégraphie sans fil pour améliorer les avertissements météorologiques. Dans nos régions, l'état du temps est surtout en relation avec le passage des dépressions atmosphériques ; et ces dépressions, venant généralement de l'ouest, arrivent

des parties de l'Atlantique situées au nord du 35° degré de latitude boréale. La moitié à peu près de ces dépressions viennent de l'Amérique du Nord; les autres se forment en plein Atlantique; pour prévoir avec succès l'arrivée et la marche des unes et des autres, sur les côtes occidentales de l'Europe, il faudrait en plein Océan des points d'observation qui font défaut.

Il suffirait que certains navires à vapeur télégraphient, par exemple une fois par jour, leur position géographique et les données météorologiques qu'ils y observent. Par ce moyen, les conditions défavorables à la prévision du temps, dans lesquelles se trouve l'Europe occidentale, seraient très heureusement modifiées; et l'agriculture, comme la marine, pourraient y trouver des avantages économiques très considérables.

Le principal obstacle à la réalisation immédiate de ce projet, on pourrait dire le seul, est, comme le fait remarquer M. Angot (3), directeur du Bureau central météorologique, uniquement d'ordre financier. Pour étendre les cartes quotidiennes du temps jusque vers 15 ou 20 degrés de longitude ouest, c'est-à-dire seulement au quart de la distance qui sépare des États-Unis les dernières stations d'Europe, la dépense annuelle dépasserait certainement 15.000 francs.

Le *Meteorological Office* reçoit chaque jour de quelques navires des radiotélégrammes qui sont publiés régulièrement dans le *Daily Weather Report*. Dès septembre 1907, le Comité météorologique international a abordé l'étude de cette

question et a nommé une commission pour proposer les mesures à prendre afin d'étendre sur l'Atlantique les cartes qui indiquent l'état général de l'atmosphère.

Nous assistons, en ce moment même, au magnifique essor de l'aviation ; malgré le sacrifice de nombreuses victimes, le nombre des aviateurs augmente chaque jour, l'aéronautique se développe, la quatrième arme a fait ses preuves. Les physiciens et les météorologistes ont des devoirs nouveaux, ils n'ont plus le droit de se désintéresser de la physique de l'atmosphère, quelque peu délaissée autrefois. Il importe que chaque centre d'aviation soit muni d'une station capable de transmettre ses observations à distance, aussi bien que de recevoir celles des stations voisines. Comme le disait M. Armengaud jeune (1) : « Il faut que tous ceux qui s'occupent d'aéronautique, sociétés ou individus, unissent leurs efforts sur le terrain d'une noble rivalité pour arriver à la sécurité des aéroplanes. » Et il demande qu'en s'adressant au bureau central, on puisse heure par heure connaître les variations du vent en vitesse et en direction. Seule la télégraphie sans fil peut remplir cette tâche. Un exemple montrera ce que peuvent faire pour la sécurité des aviateurs des observations rapidement transmises et habilement faites.

Une exposition d'aéronautique devant avoir lieu pendant l'été de 1909 à Francfort-sur-le-

(1) Lettre au *Temps*, 30 décembre 1910.

Mein, le directeur de l'institut de physique de cette ville, se fondant sur ce fait que les grains marchent en lignes de tirailleurs, chargea une cinquantaine de personnes, dans un rayon de 150 kilomètres, de lui signaler l'heure et la minute du passage de grains ou d'orages au-dessus d'eux. Il put ainsi suivre leur marche pas à pas et savoir à quelle heure passerait sur lui chaque ligne de grains, ce qui lui permit d'avancer ou de retarder le départ des aéronautes et d'éviter des accidents peut-être mortels. C'est le procédé recommandé maintes fois par notre compatriote M. Durand-Gréville (1). On conçoit aisément combien plus féconde deviendrait cette méthode par l'emploi de la télégraphie sans fil, dont le rôle scientifique deviendra de jour en jour plus considérable.

C'est guidé par ces idées que l'auteur de cet ouvrage a organisé en Meurthe-et-Moselle un service de renseignements rapides et qu'il a dirigé ses efforts vers l'utilisation de la T. S. F.

La Faculté des Sciences de Nancy possède actuellement un poste complet de réception, auquel elle espère pouvoir adjoindre un poste d'émission; plusieurs autres facultés françaises et étrangères ont déjà suivi son exemple, et il est désirable que toutes les stations départementales de quelque importance soient munies tout au moins de postes de réception.

(1) Durand-Gréville, vice-président de la Société astronomique de France. Lettre au *Temps*, 20 janvier 1911.

LES APPLICATIONS

DE LA

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

CHAPITRE I

LES OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES

1. Les condensateurs électriques. — L'étude des *oscillations électriques* repose sur l'observation de la décharge d'un *condensateur*. On appelle ainsi l'ensemble formé par deux surfaces conductrices, dites *armatures*, séparées par un milieu *isolant*, appelé *diélectrique* (air, verre, ébonite, paraffine...).

Un condensateur plan est formé par des plaques planes parallèles. La bouteille classique de *Leyde* est un condensateur *cylindrique* (fig. 1). Sur les faces extérieure et intérieure d'une bouteille ou jarre sont collées des feuilles d'étain constituant les deux armatures.

Une tige métallique, terminée par une sphère, assure au moyen de ressorts le contact avec l'armature intérieure.

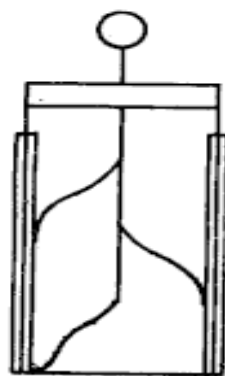


Fig. 1.

Dans les figures on schématise le condensateur par deux traits parallèles.

Pour *charger* le condensateur, on met chacune des armatures en relation avec chacun des *pôles* d'une *source* électrique, machine, batterie de piles, etc..., présentant entre leurs pôles une *différence de potentiel* (1). On peut aussi réunir une des armatures à l'un des pôles et mettre en communication avec le sol, ou, comme l'on dit, *mettre au sol*, le second pôle et la seconde armature.

Un condensateur a une *capacité* d'autant plus grande que ses armatures prennent une plus grande *charge* électrique ou *quantité d'électricité* lorsqu'on les charge avec une même source électrique. La capacité varie comme la *surface des armatures* et en raison inverse de leur *écartement*.

Elle dépend aussi du *diélectrique* interposé.

2. Décharge du condensateur. — Supposons qu'il existe entre les armatures du condensateur une différence de potentiel suffisante pour faire

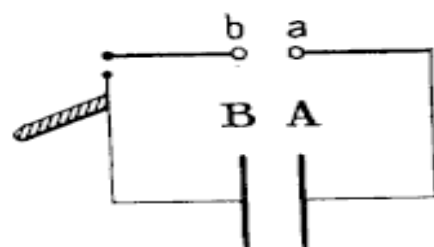


Fig. 2.

éclater une étincelle entre les deux boules d'un *excitateur* *a b* (fig. 2). Mettons l'armature A en relation avec *a* au moyen d'un fil métallique, puis, au moyen d'un second fil isolé, faisons communiquer B et *b* : une

étincelle éclate entre *a* et *b*. A ce moment, on peut dire que toute la résistance du circuit se réduit à celle des conducteurs métalliques ; le passage de

(1) Pour la définition des grandeurs, les termes employés dans cet ouvrage, et les compléments relatifs à ce chapitre théorique, le lecteur se reportera utilement à l'un des ouvrages suivants : *Physique* (classe de math. A et B), par H. BOUASSE et L. BRIZARD, Delagrave, Paris ; *idem*, par H. PELLAT et P. SACERDOTE, Juven, Paris.

l'étincelle rend négligeable la résistance du diélectrique.

Deux cas peuvent alors se présenter, suivant que la *résistance* offerte au passage de l'électricité est grande ou faible, et l'on peut se rendre compte, au moins grossièrement, de l'allure du phénomène, c'est-à-dire de la manière dont le courant s'établit, en le comparant au courant liquide qui s'établit entre deux vases où les *niveaux* sont différents, lorsqu'on établit une communication entre eux. Cette *analogie hydrodynamique* est très commode pour la compréhension des phénomènes électriques.

3. Analogie hydrodynamique. — Supposons que nous ayons deux vases V et V' contenant un liquide à des niveaux différents. Ces vases sont réunis par un caoutchouc à large section que l'on peut aplatir plus ou moins à l'aide d'une pince, afin d'offrir au passage du courant d'eau une résistance plus ou moins grande. Aplatissons-le d'abord beaucoup : nous verrons le liquide monter *progressivement dans le vase dont le niveau est le plus bas* jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint, lentement et sans *oscillations* autour de la position d'équilibre définitive. *Le liquide s'est toujours écoulé du niveau le plus élevé vers le niveau le plus bas par un courant continu.*

Au contraire, laissons le tube largement ouvert dans toute sa section. Nous verrons les liquides en V et V' osciller plusieurs fois autour d'une position d'équilibre, c'est-à-dire *monter et descendre alternativement* jusqu'à ce que l'égalité de niveau soit atteinte. Cette fois, le liquide s'écoule successivement dans des sens différents de V vers V' et de V' vers V : on a un courant alternatif, l'équilibre n'est obtenu qu'après des oscillations.

En résumé, c'est donc de deux manières différentes que l'équilibre peut être atteint, soit par un

courant toujours dans le même sens dit *courant continu*, soit par des courants dirigés alternativement dans des sens différents, ou *courants oscillatoires*.

4. Période d'un courant oscillatoire. — Tout mouvement oscillatoire est caractérisé par sa *période*, c'est-à-dire par le temps nécessaire pour qu'une oscillation complète soit effectuée. Dans le cas précédent, cette période dépend de la constitution du système. Pour une même différence de niveau, plus la masse d'eau est grande, plus l'oscillation est de longue durée. Nous retrouverons tous ces caractères dans l'étude de la décharge des condensateurs où l'on peut poursuivre d'une façon étroite cette analogie hydrodynamique.

Lorsque le condensateur est chargé, on admet que ses armatures sont à des *niveaux électriques* ou *potentiels* différents et que l'une des armatures possède de l'électricité positive, l'autre de l'électricité négative.

Lorsque l'étincelle éclate en *ab*, elle ouvre brusquement passage à l'électricité. On sait que, dans les phénomènes du courant, l'on peut n'envisager que le transport d'électricité positive.

Ce passage se fait seulement dans un seul sens si la résistance du circuit est grande, comme dans le cas où la petitesse de la section du tuyau séparant les deux vases offrait au courant liquide une grande résistance.

La résistance du circuit est d'autant plus grande que sa longueur est plus grande et sa section plus faible. Elle dépend de la nature du conducteur : des colonnes d'eau pure ont une grande résistance et la décharge *y* est continue. Des fils métalliques gros et courts ont une très faible résistance, et alors la décharge change de nature : elle devient oscillante, c'est-à-dire que le courant électrique circule succes-

sivement de l'armature A vers B ou de B vers A avec une période qui dépend de la constitution du circuit.

5. Mise en évidence des oscillations. — Il existe plusieurs procédés pour mettre en évidence la différence qui existe entre les deux genres de décharge. On peut tout simplement déplacer rapidement entre les branches de l'excitateur un morceau de carton : si la décharge est continue, elle le perce suivant une fente allongée ; si au contraire elle est oscillante, elle le perce suivant plusieurs trous séparés.

Mais la meilleure méthode consiste à utiliser un miroir tournant pour observer l'étincelle ou la photographier. A l'œil, elle se présente sous forme d'un trait de feu, à cause de la persistance des impressions sur la rétine ; mais, si on la photographie sur une plaque sensible mobile, ou si on projette son image sur une plaque sensible fixe au moyen d'un miroir tournant, il est possible d'en déceler toutes les particularités.

On utilise le fait que l'extrémité *positive de la décharge est beaucoup plus brillante et impressionne plus fortement la plaque.*

Si la décharge est continue et ne change pas de sens, on obtient pour l'image de l'extrémité positive un trait noir continu, pour l'image négative un trait moins accentué : on obtient donc une bande dégradée.

Si, au contraire, la décharge est oscillante, les impressions sont séparées entre elles, et, en outre, l'impression la plus forte se trouve alternativement à droite et à gauche.

6. Mesure de la période des oscillations. — Si le miroir tournant est entraîné par un moteur d'un mouvement uniforme, il est facile, d'après l'as-

pect des photographies, de conclure que les oscillations se reproduisent périodiquement d'une façon à peu près rigoureuse. On dit qu'elles sont *synchrones*. Les photographies d'étincelles sont, en effet, équidistantes sur la plaque. D'autre part, la période de ces oscillations dépend de la capacité du condensateur et de la constitution du circuit de décharge.

Pour un fil gros et court, rectiligne, et pour le même fil enroulé en spirale, la période diffère : elle dépend de ce qu'on appelle la *self-induction* du circuit, différente suivant la forme de ce circuit de décharge.

On démontre que la période T de la décharge est donnée par la formule

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

où C et L représentent la capacité et le coefficient de self-induction. Sans faire de calculs, on peut avoir une idée de la valeur de la période, par la méthode du miroir tournant, en mesurant la vitesse de rotation de ce miroir. Pour la décharge des bouteilles de Leyde ordinaires, elle est inférieure à $1/1.000.000^{\text{e}}$ de seconde.

7. Phénomènes d'induction produits par les décharges. — De la rapidité des oscillations, il résulte que les variations d'intensité sont aussi extrêmement rapides ; c'est pourquoi elles sont capables de produire des *phénomènes d'induction très intenses*, comme on peut le montrer par des expériences classiques. La suivante est particulièrement démonstrative. Les deux armatures d'une bouteille de Leyde sont réunies par un circuit en forme de rectangle. Les boules de l'excitateur, en relation avec les armatures, sont chargées au moyen d'une *bobine de Ruhmkorff*. Toutes les fois que l'étincelle éclate entre les boules, le circuit rectangulaire est parcouru par le courant de décharge oscillante.

A côté de la première on place une deuxième bouteille identique dont les armatures sont réunies par un circuit rectangulaire parallèle au précédent. En outre, on établit entre les armatures un petit excitateur de décharge; l'expérience montre que des étincelles y jaillissent et que, par conséquent, les oscillations électriques du premier circuit sont capables d'induire dans le second des courants tels qu'il s'établit entre les boules de l'excitateur une différence de potentiel suffisante pour la production d'étincelles.

Nous verrons, dans la suite, d'autres expériences, celles de Tesla (1), qui mettent encore ce fait en évidence.

8. Excitateur de Hertz. — On vient de voir que la période dépend de la capacité du condensateur. Hertz a eu l'idée de prendre un condensateur de très faible capacité formé par deux sphères en regard communiquant avec des tiges et des boules d'excitateur. Hertz a également construit son excitateur avec des plaques carrées de cuivre de 30 centimètres de côté. Ces plaques $P P'$ sont en relation avec les pôles d'une bobine d'induction (fig. 3). Au

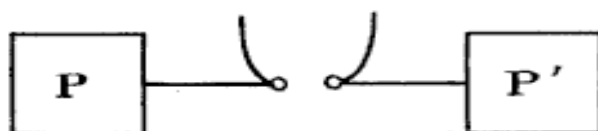


Fig. 3.

moment où des interruptions se produisent au primaire de la bobine, des étincelles jaillissent au secondaire dès que la différence de potentiel est devenue suffisante. Dès lors la résistance entre les deux armatures devient sensiblement nulle et le condensateur se décharge avec *une période extrêmement courte*

(1) Voir chap. V.

de l'ordre de un billionième de seconde. On peut d'ailleurs changer à volonté cette période en modifiant la capacité du condensateur.

9. Étude des effets produits à l'extérieur du circuit de décharge. — Il est bien évident que, dans les conditions indiquées ci-dessus, les charges que prennent les armatures du condensateur sont extraordinairement faibles et si cet excitateur est capable de produire des courants induits, c'est surtout à cause de la rapidité avec laquelle la décharge varie. On peut montrer l'existence de ces courants induits dans des *cercles de cuivre, coupés en un point*, la longueur de la coupure pouvant être réglée au moyen d'une vis micrométrique pour obtenir la distance explosive convenable. Hertz avait pu observer de petites étincelles à la coupure, à plusieurs mètres de l'excitateur, et c'est encore ainsi que l'on répète dans les cours son expérience classique.

Mais ce n'est pas en cela que réside l'importance de l'œuvre de Hertz. Elle repose dans ce fait que le célèbre physicien allemand a prouvé que *tout l'espace qui environne l'excitateur est le siège d'une perturbation électrique; il est modifié électriquement et, de plus, cette modification ne se produit pas instantanément, mais par ondes successives.*

Autour de l'oscillateur, des *vibrations* électriques se propagent, comme les vibrations sonores se propagent dans les gaz, milieu pondérable, ou comme, d'après l'hypothèse de Fresnel, les vibrations lumineuses se propagent dans le milieu fictif auquel on a donné le nom d'éther.

On peut se représenter, au moins d'une façon grossière, le mécanisme de cette propagation en la comparant à celle des ondes produites à la surface de l'eau par le choc répété périodiquement d'une pierre ou d'une tige, ou encore à celle des ébranlements périodiques le long d'une corde élastique.

10. Vitesse de propagation et longueur d'onde. — La vitesse avec laquelle les ondes se propagent a été mesurée à la Faculté de Nancy par M. Blondlot, qui l'a trouvée égale à 300.000 kilomètres par seconde.

On appelle longueur d'onde l'espace parcouru par la vibration pendant la durée d'une période T ou $\lambda = VT$.

$V = 300$ millions de mètres.

T est de l'ordre de $\frac{1}{100.000.000}$, d'où $\lambda = 3$ mètres.

Donc, dans un espace de quelques mètres comme la longueur d'un laboratoire, le dispositif de Hertz permet d'obtenir une propagation de plusieurs longueurs d'onde. Mais comment justifier l'hypothèse de cette propagation et mettre en évidence son caractère périodique? Il faut pour cela prouver que l'on peut obtenir, avec les ondes électriques, des phénomènes analogues à ceux que nous offrent les ondes sonores et les ondes lumineuses, c'est-à-dire des phénomènes d'*interférences*.

11. Justification de l'hypothèse de la propagation d'une onde électrique. — Cherchons d'abord à nous expliquer comment on peut concevoir l'existence d'une onde électrique.

Soit $AabB$ un excitateur de Hertz dont les plaques sont verticales et l'axe horizontal (fig. 4).

Dans le plan horizontal passant par ab figurons une droite NN' perpendiculaire à ab et considérons un point M de cette droite. Pour un instant, supposons que toute action produite par l'excitateur au point M se propage de l'excitateur jusqu'en M d'une manière absolument instantanée. A une certaine époque t , l'excitateur est parcouru par un courant allant de gauche à droite pour l'observateur placé en M et regardant l'excitateur. Ce courant produit en M un champ électromagnétique, c'est-à-dire

1.

qu'un petit pôle d'aimant, dont la quantité de *magnétisme* sera égale à l'unité, y sera soumis à une force que nous appellerons intensité du *champ*. Cette force est ici dirigée verticalement de haut en bas. Si l'action se produit instantanément, le champ en M à l'époque t dépend de la valeur du courant à cette époque t . Comme le courant dans l'excitateur est variable et alternatif, le champ en M sera également

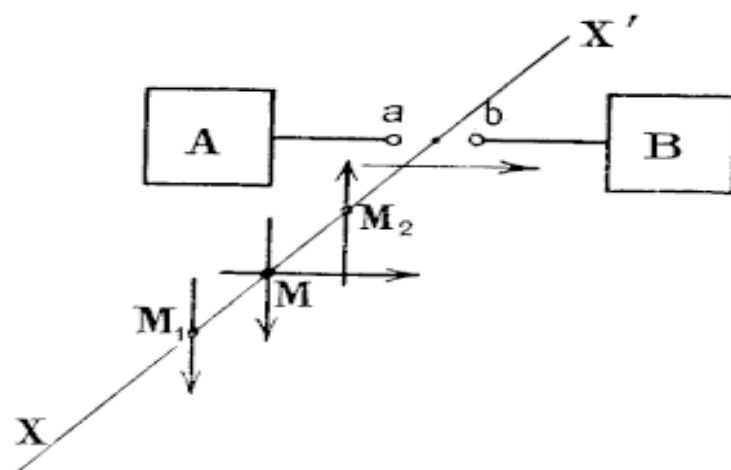


Fig. 4.

variable avec le temps. D'après ce qui précède, on conçoit donc *qu'en chaque point de l'espace il y ait une action qui suive les oscillations du courant de décharge*.

Mais, de plus, l'action de l'excitateur n'est pas instantanée, si bien que la valeur du champ en M à l'époque t dépend, non pas de la valeur du courant à cette époque, mais à un temps θ auparavant, temps nécessaire à l'action pour se propager de l'excitateur jusqu'en M. La valeur du champ dépend donc de l'intensité du courant à l'époque $t - \theta$. Si d représente l'éloignement de M et V la vitesse de propagation, on a d'ailleurs $d = V\theta$.

Envisageons quelques points particuliers sur XX' . D'abord M_1 tel que $d = \lambda$. Il faut un temps égal à la période T pour que l'action atteigne M_1 . Pendant

ce temps T , le courant a repris la même valeur qu'au début ; à l'époque t il a la même valeur qu'à l'époque $t - T$; son effet au temps t à la distance λ est le même qu'à l'époque $t - T$.

Prenons maintenant un point M_2 à la distance $d = \frac{\lambda}{2}$, l'effet magnétique correspond à la valeur du champ un temps $\frac{T}{2}$ auparavant, ou à l'époque $t - \frac{T}{2}$.

Il diffère de l'effet au temps t . Si en M_1 le champ est dirigé vers le bas, en M_2 il sera dirigé vers le haut.

Il résulte de ce qui précède que, à une même époque, l'effet produit par l'excitateur est différent suivant la distance. Deux points séparés par une distance $\frac{\lambda}{2}$ sont soumis à des effets inverses, et deux points séparés par une distance λ sont soumis à des effets de même sens.

D'autre part, il n'y a pas que le champ magnétique à envisager. Au moment où les boules ab sont chargées, l'une positivement, l'autre négativement, il existe un champ électrostatique, c'est-à-dire qu'une quantité d'électricité unité placée en M sera soumise à une force parallèle à l'axe de l'oscillateur et dirigée dans le sens de la flèche, de gauche à droite. La force électrique est maximum quand les boules sont chargées, minimum quand les boules sont déchargées. La force magnétique est maximum avec le courant. Or, on peut se rendre compte par l'analogie hydrodynamique, où le courant est maximum dans le tuyau de communication quand les niveaux sont dans le même plan, que le courant électrique sera maximum au moment où les charges des deux sphères seront annulées. Comme le champ électromagnétique, le champ électrostatique se propage avec une vitesse finie et ce que l'on appelle *onde hertzienne*, c'est la propagation de l'ensemble de ces deux effets à travers l'espace avec la même vitesse.

12. Le détecteur ou résonnateur de Hertz. — Il n'est pas possible de séparer les actions électrostatiques et électromagnétiques, mais on peut utiliser, pour scruter l'espace et déceler la présence des ondes, différents dispositifs.

Si l'on place parallèlement aux plaques de l'excitateur de Hertz des plaques semblables munies de boules d'éclateur, on observe aisément à distance des étincelles.

En faisant tourner cet appareil récepteur de 90 degrés à partir de la position initiale, les étincelles finissent par disparaître. On peut aussi promener dans le champ le cercle à coupure précédemment décrit (page 8) et que l'on appelle communément résonnateur de Hertz pour des raisons que nous verrons plus loin. On voit jaillir à la coupure des étincelles dont l'éclat dépend du plan dans lequel le cercle a été placé et de son azimut. Les étincelles diffèrent considérablement suivant qu'on place le résonnateur dans le plan horizontal défini par les droites ab XX' ou dans le plan perpendiculaire à ab passant par XX' . Les effets obtenus sont aussi très différents suivant la position de la coupure dans le plan du cercle $abXX'$. Nous nous abstiendrons d'entrer ici dans le détail de ces phénomènes, car la théorie qu'il conviendrait de faire sortirait du cadre de cet ouvrage.

13. Preuve matérielle de la propagation des ondes. — L'expérience suivante de Hertz fournit la preuve matérielle de la propagation des ondes. Il les a fait réfléchir sur un grand miroir en feuille de zinc, et il a constaté qu'entre l'excitateur et le miroir, il y a des points pour lesquels l'étincelle est maxima, d'autres pour lesquels elle est minima. Ce phénomène peut être rapproché de celui que produit la réflexion d'ondes périodiques de quelque nature qu'elles soient.

Si l'on produit périodiquement des ondes à la surface d'un liquide contenu dans un vase rectangulaire à l'aide d'une lame frappant le liquide, parallèle à l'un des côtés et fixée à l'une des branches d'un diapason, on constate à la surface de l'eau des lignes équidistantes parallèles à la lame et paraissant fixes. Ces lignes sont le lieu géométrique des points pour lesquels les vibrations d'aller et de retour, après réflexion sur le bord de la cuve, s'ajoutent ou se retranchent. Ce sont des *ondes stationnaires*.

Si une source sonore est placée en face d'un mur, on trouve, entre la source et le mur, des points pour lesquels le son est maximum, d'autres pour lesquels il est minimum. Il se produit encore des *ondes stationnaires*, et l'on appelle *ventre* la région où les vibrations d'aller et de retour s'ajoutent, *nœud* la région où ces vibrations s'annulent.

Comme les ondes stationnaires, les nœuds et les ventres ont toujours pour origine un mouvement vibratoire périodique, il est naturel d'admettre que les ventres et les nœuds de vibrations électriques décelés par le détecteur ou résonnateur de Hertz ont aussi pour origine la propagation d'une perturbation électrique périodique, et l'on peut dire que l'existence d'ondes stationnaires électriques est la preuve matérielle de la propagation des ondes hertziennes.

14. Identité entre les ondes hertziennes et les ondes lumineuses. — On sait que les ondes lumineuses produisent aussi des phénomènes d'interférences, des ondes stationnaires. Ce sont ces ondes stationnaires qui produisent le beau phénomène de la photographie interférentielle des couleurs. Il y a là plus qu'une analogie. Il y a vraisemblablement identité entre les ondes hertziennes et les ondes lumineuses.

1° LES ONDES HERTZIENNES SE RÉFLÉCHISSENT COMME LA LUMIÈRE. — On place l'excitateur de Hertz devant

un miroir métallique cylindrique dont les génératrices sont parallèles à l'axe de l'excitateur et dont la section est parabolique (fig. 5). L'axe de l'excitateur coïncide avec la ligne focale de ce miroir. Celui-ci joue pour les ondes hertziennes le rôle d'un réflecteur de lampe pour la lumière. On prouve aisément, en promenant le résonnateur de Hertz devant le miroir, que les étincelles sont maxima suivant la ligne d'intersection du plan de symétrie parallèle aux génératrices passant par la ligne focale et du plan de symétrie perpendiculaire à l'excitateur.

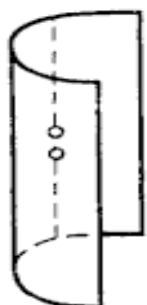


Fig. 5.

Un miroir identique au précédent, placé à distance, de telle manière que le résonnateur soit dans sa ligne focale, produit au résonnateur de fortes étincelles, qui n'existeraient pas sans la présence de ce second miroir. On répète ainsi l'expérience des miroirs conjugués que l'on fait avec les ondes sonores, lumineuses, calorifiques.

Les ondes hertziennes se réfléchissent sur un miroir plan, d'après les lois générales de la réflexion; il suffit, pour le montrer, de disposer les deux miroirs précédents de telle manière que leurs génératrices soient verticales et que leurs plans verticaux de symétrie fassent entre eux un angle. On ne voit pas, dans ces conditions, d'étincelles au résonnateur, mais il suffit, pour en voir apparaître, de disposer un miroir de zinc perpendiculairement au plan bissecteur des plans de symétrie, passant par l'intersection de ces deux plans, ce qui vérifie les lois de la réflexion.

2° Il existe des corps transparents pour les ondes électriques (paraffine, ébonite, etc.), et des corps opaques (corps conducteurs), comme il existe des corps transparents et opaques pour la lumière.

3° Les ondes électriques sont *réfractées*. Les corps transparents taillés en prisme permettent de

mesurer un indice de réfraction comme on mesure l'indice d'une substance transparente pour la lumière.

Aussi est-on conduit à admettre que les ondes lumineuses et électriques ne diffèrent entre elles que par la période, c'est-à-dire par la rapidité avec laquelle les vibrations se produisent. Nous avons admis pour l'oscillateur de Hertz une période de

$$\frac{1}{100.000.000}.$$

Pour la longueur d'onde de la lumière jaune $\lambda = 0^{\mu}, 6 = 0^{\text{cm}} 00006$, $T = \frac{0,0000006}{300.000.000}$,

$$T = 2 \times \frac{1}{10^{15}} = 5 \times 10^{-14}.$$

Il y a donc 500 trillions d'oscillations par seconde.

4° La vitesse de 300.000 kilomètres que M. Blondlot a trouvée pour la propagation des ondes électriques est égale à la vitesse de propagation de la lumière au degré de précision que les expériences comportent.

5° Les radiations électriques peuvent être *polarisées*, comme les radiations lumineuses, c'est-à-dire qu'elles possèdent des propriétés particulières dans des plans particuliers. La façon même dont nous avons conçu les ondes électriques implique cette polarisation, puisque l'excitateur de Hertz possède deux plans de symétrie et que l'état électrique en un point quelconque du milieu dépend du champ magnétique et du champ électrostatique pour lesquels il y a lieu d'envisager les plans de symétrie précédents.

Il était nécessaire de rappeler ces notions élémentaires sur les ondes électriques, auxquelles il sera fait fréquemment appel dans la suite.

CHAPITRE II

LES PHÉNOMÈNES DE RÉSONANCE

Le détecteur d'ondes de Hertz porte le nom de *résonnateur*. Ce nom provient de l'observation suivante : Hertz a constaté qu'à chaque oscillateur correspondait un diamètre du cercle qui lui sert de récepteur. En faisant varier, toutes choses égales, les dimensions du cercle, on trouve un maximum pour la longueur de l'étincelle à la coupure et l'on exprime ce fait en disant que le cercle est alors en *résonance* avec les ondes émises.

Il existe donc, pour les ondes électriques, des phénomènes de résonance comme pour les vibrations mécaniques et acoustiques. La résonance se retrouve dans toutes les parties de la physique, et, pour bien faire comprendre en quoi consiste la résonance électrique, je rappellerai d'abord quelques expériences classiques.

Théorème de Cornu. — Considérons un système élastique capable d'entrer en vibration avec une période propre T , c'est-à-dire telle qu'une oscillation complète se fasse dans le temps T . Pour faire entrer ce système en vibration, on lui communique des impulsions, par exemple de petits chocs répétés. Si ces impulsions sont quelconques, se succèdent à des intervalles quelconques, le système entre en mouvement, mais les vibrations se font mal, leur amplitude est faible ; le mouvement semble gêné. Si,

au contraire, les impulsions se succèdent à l'intervalle de temps T , la période même du système, le mouvement s'accroît, les amplitudes prennent une grande valeur.

Vérification. — Tous les enfants savent que, pour communiquer de grandes amplitudes aux oscillations de l'escarpolette, il ne suffit pas de lui donner des impulsions quelconques : il faut les donner à des intervalles de temps réguliers, correspondant à la durée d'oscillation de la balançoire. A l'entrée des ponts suspendus on lit que les troupes en marche doivent rompre le pas dans la traversée du pont. C'est qu'en effet, si les troupes passent au pas et si ce pas est voisin de la période d'oscillation du pont, celui-ci prend des amplitudes telles que les cordes de tension peuvent se rompre. Un accident de triste mémoire s'est ainsi produit à la traversée du pont d'Angers.

Une expérience intéressante dont l'idée première est due à M. Ch.-Ed. Guillaume met bien en évidence ces phénomènes de résonance au point de vue mécanique. Un tube de caoutchouc est suspendu au plafond et tendu par un mandrin de bois à l'extrémité d'un fil élastique. Un tel système peut osciller de bien des manières : 1° à la façon d'une pendule, exécutant des oscillations de droite et de gauche ; 2° de haut en bas en vibrant verticalement ; 3° comme une corde attaquée par l'archet ; les vibrations communiquées à une extrémité se transmettent tout le long de la corde.

Chacun de ces mouvements oscillatoires a sa période. La plus lente est celle du mouvement pendulaire. En attachant le fil élastique, par une manivelle, à une roue de rouet, on communique au système un mouvement vibratoire par suite des impulsions transmises à l'élastique par la manivelle du rouet. On tourne celle-ci, en augmentant pro-

gressivement la vitesse de rotation. Dès qu'on s'approche de la période du mouvement pendulaire, on voit le tube de caoutchouc osciller de droite à gauche avec de grandes amplitudes.

Si on tourne la roue un peu plus vite, ce premier mouvement est gêné, et bientôt c'est l'oscillation verticale qui prend naissance ; enfin, pour une vitesse de rotation encore plus grande, le tube vibre en serpent.

Cette expérience simple permet immédiatement de comprendre les phénomènes de résonance en acoustique. Si l'on approche d'une cavité métallique un diapason quelconque, on ne constate aucun renforcement du son ; mais, pour un diapason particulier, le son devient intense : dans ce cas les vibrations du diapason se transmettent à l'air de la cavité et, leur période étant précisément égale à celle des vibrations de l'air dans la cavité, celles-ci prennent une grande amplitude et le son est augmenté !

L'expérience est particulièrement instructive quand on prend pour cavité une éprouvette à pied. On verse de l'eau dans l'éprouvette jusqu'à ce que le son soit renforcé. Il y a eu ce moment résonance entre le diapason et la cavité, celle-ci est un résonnateur.

Un tuyau sonore n'est autre chose qu'un résonnateur accordé pour un son de hauteur déterminée. Considérons le cas d'un tuyau fermé. L'expérience montre que si l'on excite ce tuyau, il est le siège d'*ondes stationnaires*. Voici ce qu'il faut entendre par là : pour le son appelé fondamental, il y a au fond du tuyau un *nœud de vibration* ; la tranche d'air y est constamment au repos. A l'ouverture, au contraire, le mouvement est maximum. Il y a aussi au fond un ventre pour la variation de pression. C'est en effet au voisinage du fond que cette variation est maximum. Mais ce même tuyau résonne pour d'autres sons : il peut y avoir deux nœuds et deux ventres depuis le fond jusqu'à l'ouverture.

D'une façon générale, si L est la longueur du tuyau, T la période de vibration, V la vitesse de propagation du son, λ la longueur d'onde,

$$L = (2n + 1) \frac{\lambda}{4} = (2n + 1) \frac{VT}{4}$$

pour $n = 0$ on a $L = \frac{\lambda}{4}$, son fondamental; pour les différentes valeurs de n , on a les harmoniques.

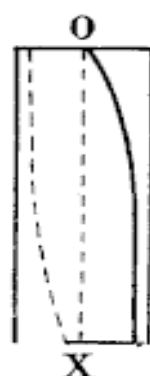


Fig. 6.



Fig. 7.

Si l'on prend comme axe des abscisses l'axe OX du tuyau en comptant les abscisses à partir du fond O , et si l'on figure les amplitudes de vibration en chaque point par des longueurs perpendiculaires à l'axe OX , on a les représentations suivantes de l'état vibratoire du tuyau. La figure 6 représente le tuyau en résonance pour le son fondamental $L = \frac{\lambda}{4}$, et la figure 7 pour l'harmonique $L = 3 \frac{\lambda}{4}$.

Nous avons rappelé ces phénomènes bien connus de l'acoustique parce qu'il existe entre eux et ceux de la résonance électrique une analogie profonde.

Résonance électrique. — Les tuyaux seront remplacés ici par des fils conducteurs parcourus par les oscillations électriques. Une des extrémités du

fil sera mise en bonne communication avec le sol. Ce point de contact est analogue à l'ouverture du tuyau où les vibrations se produisent avec la plus grande facilité. L'extrémité isolée est comparable au fond du tuyau où les ondes se réfléchissent. Au voisinage du fil produisons des oscillations électriques dans un circuit excitateur. Par induction, un courant oscillatoire prend naissance dans le fil, et l'expérience montre que, pour un circuit excitateur quelconque, l'intensité dans le fil est faible comme étaient faibles les amplitudes d'oscillation de la corde pour des impulsions quelconques, comme était faible le son rendu par une cavité non accordée.

Mais si on fait varier convenablement la capacité et la self du circuit excitateur, la période d'oscillation prend une valeur telle qu'il y a résonance entre le circuit excitateur et le fil. A ce moment, on constate par l'expérience que l'intensité est maxima au voisinage du sol. Il y a au contact du sol un maximum ou ventre d'intensité, comme un ventre de vibration à l'ouverture d'un tuyau ; au sommet au contraire, il y a un ventre de tension électrique, comme un ventre de compression dans un tuyau sonore.

Comme les longueurs d'onde électriques que l'on peut seules produire commodément ont plusieurs mètres de long, l'expérience ne peut pas être faite avec un fil rectiligne, qui exigerait une trop grande longueur.

On enroule le fil en forme de solénoïde sur une cage en bois de 2 mètres de haut et dont la section est un carré de 50 centimètres de côté ; les spires sont écartées de 1 centimètre. Toutes les dix spires environ, on intercale dans le circuit une petite lampe à incandescence (de 8 à 10 volts) et l'on constate ainsi que l'illumination des lampes diminue du bas vers le haut, où le filament ne brille pas. En promenant au contraire un tube à vide (tube à hydrogène ou hélium où l'on a poussé le vide au degré des tubes

de Geissler) tout le long du solénoïde, on remarque qu'il s'illumine vivement au sommet, pour rester complètement obscur au voisinage du sol. On peut aussi déplacer simplement le long du fil un objet métallique. Les étincelles qui éclatent entre cet objet et le solénoïde sont de plus en plus fortes à mesure qu'on approche du sommet.

On dira alors que le solénoïde vibre en quart d'onde, comme le tuyau fermé, pour le son fondamental.

Mais il est aussi possible de régler le circuit excitateur de manière à obtenir les harmoniques, qui seront également donnés par la formule

$$L = (2n + 1) \frac{\lambda}{4},$$

λ représentant ici la longueur d'onde des oscillations électriques.

Ces phénomènes de résonance et d'ondes stationnaires dans les fils parcourus par des oscillations électriques permettent d'expliquer les particularités des divers montages de la télégraphie sans fil.

Le solénoïde que nous avons considéré ici peut schématiser une antenne. *Accorder l'antenne* pour la source d'émission, c'est s'arranger de telle manière qu'elle vibre en quart d'onde, c'est-à-dire qu'elle présente à son sommet un ventre de tension et à son extrémité inférieure un ventre d'intensité.

C'est lorsque l'antenne est en résonance avec le circuit excitateur que l'émission des ondes a lieu dans les conditions les plus favorables.

Pour recevoir les ondes, on se servira également d'une antenne que l'on cherchera à mettre en résonance. Tous les phénomènes que nous venons de décrire sont encore plus nets si l'on dispose d'une place suffisante pour tendre l'antenne rectilignement.

Les figures ci-dessous montrent la répartition de l'intensité et du potentiel le long d'une antenne rectiligne en communication avec le sol dans le cas du quart d'onde et de trois quarts d'onde (fig. 8 et 9).

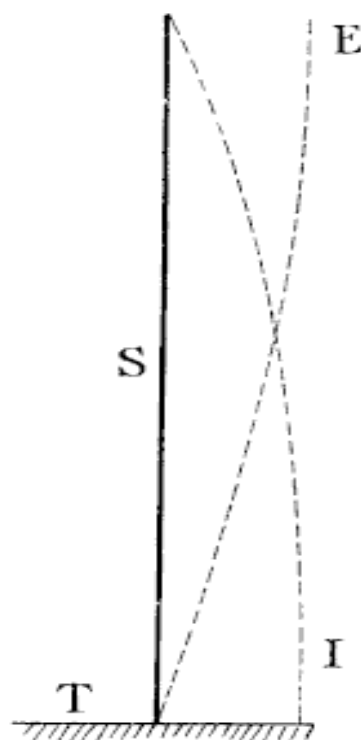


Fig. 8.

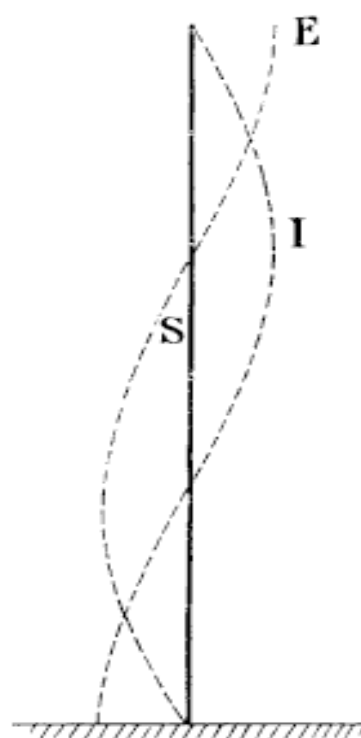


Fig. 9.

Les courbes marquées I sont relatives à la répartition de l'intensité; les courbes marquées E, à la répartition de la tension. On rapprochera ces courbes des figures 6 et 7 relatives aux tuyaux.

Remarquons qu'il est aussi possible d'exciter l'antenne en demi-onde ou suivant les harmoniques pairs, onde entière, etc...

Il suffit d'isoler les deux extrémités de l'antenne et d'intercaler, en son milieu ou au quart, un petit cadre sur lequel s'exercera l'influence du circuit excitateur.

Pour des antennes rectilignes, la répartition de l'intensité et la tension seraient données dans ce cas par les figures suivantes (fig. 10 et 11).

Nous rencontrerons plus tard des exemples de montage où des ventres de tension se forment aux deux extrémités de l'antenne.

Comme, en général, l'antenne a des dimensions déterminées et qu'il n'est pas toujours possible de la mettre en résonance avec le circuit excitateur, on modifie les conditions par l'introduction d'un condensateur ou d'une self dans l'antenne. Il est facile

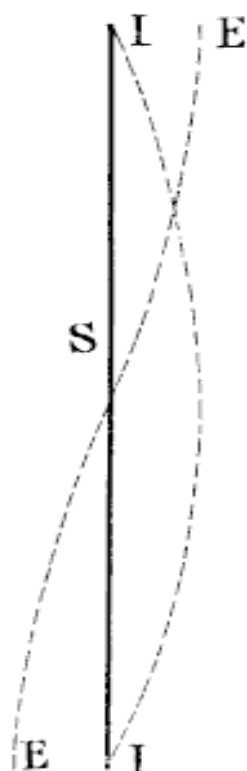


Fig. 10.

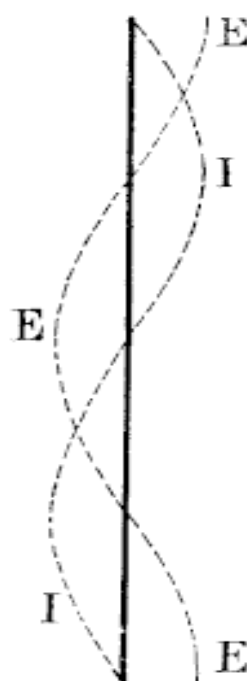


Fig. 11.

de se rendre compte de l'effet produit par l'introduction de ces appareils sur les ondes stationnaires.

Prenons comme exemple une antenne rectiligne vibrant en demi-onde. Il y a au milieu un nœud de tension, et par suite, si L est la longueur de l'antenne, la longueur d'onde est $\lambda = 2 L$.

Introduisons le condensateur : il produit une brusque variation de tension, et il est facile de se rendre compte que le nœud n'est plus au milieu de

l'antenne et que *tout se passe comme si l'antenne était raccourcie*. En effet, si l'on augmente la capacité, cela revient à rapprocher les armatures d'un condensateur plan équivalant à la capacité considérée. Quand les armatures sont au contact (capacité infinie), l'antenne est réduite à elle-même et la longueur d'onde est $2 L$. Si l'on diminue la capacité, on augmente la chute de tension : pour une capacité nulle, tout se passe comme si l'antenne était coupée et chaque portion vibre pour son compte. La longueur d'onde est, par conséquent, toujours inférieure à $2 L$ lorsqu'on introduit une capacité.

Une self produit l'effet contraire : c'est lorsque la self est très grande que l'antenne semble coupée en deux parties. Pour une self nulle, la longueur d'onde est égale à $2 L$. Lorsqu'on introduit la self dans l'antenne, tout se passe comme si la longueur de l'antenne était augmentée.

Amortissement. — Si l'analogie entre les ondes électriques et acoustiques est profonde, il existe pourtant entre elles une différence essentielle, qui fait que les phénomènes de résonance sont beaucoup moins nets pour les premières.

Les ondes électriques sont en général *très amorties*.

On veut dire par là que les amplitudes des oscillations décroissent très rapidement, si bien que, au bout de quelques oscillations, le courant est devenu pratiquement nul.

Cet amortissement des ondes dépend de plusieurs facteurs :

1° En première ligne, de la résistance du circuit (le facteur qui caractérise l'amortissement $\alpha = \frac{R}{2L}$ c'est le rapport entre la résistance et le double de la self-induction) ;

2° A un degré moindre, de l'échauffement du

diélectrique des condensateurs, des pertes par les pointes, les arêtes, etc... ;

3° Du rayonnement de l'énergie électrique à l'extérieur du circuit d'excitation, dans l'espace environnant.

Cette influence est prépondérante dans les montages de télégraphie sans fil, que nous étudierons plus tard sous le nom de montages en excitation directe.

Plus l'amortissement sera grand et moins les phénomènes de résonance seront nets. L'accord des différents circuits d'excitation, de rayonnement, de réception sera d'autant plus difficile à obtenir exactement ou, comme l'on dit, sera d'autant moins aigu que l'amortissement sera plus grand.

Étude mathématique de ces phénomènes.

— Nous avons présenté tous les faits précédents comme des résultats d'observation, comme des faits expérimentaux. Le calcul permet de les prévoir pour la plupart.

On trouvera dans l'ouvrage de MM. Boulanger et Ferrié les calculs relatifs à la décharge des condensateurs, à la répartition des courants variables dans un fil, à l'équation des télégraphistes, à l'influence de l'amortissement. Mais, en réalité, si le calcul indique les résultats d'une façon générale, c'est l'expérience seule qui peut renseigner sur les détails.

Telle est l'opinion des deux auteurs précédents, qui comptent parmi les savants qui ont le plus contribué à l'étude de la télégraphie sans fil et à ses progrès.

« Ces résultats, disent-ils (4), peuvent être déduits du calcul, à la condition toutefois d'admettre un certain nombre d'hypothèses dont la légitimité est loin d'être démontrée et qui n'ont d'autre objet que de faciliter l'établissement des formules.

« Il n'est donc pas étonnant que les résultats du

calcul ne soient pas toujours rigoureusement d'accord avec l'expérience, et il convient de les considérer seulement comme une première approximation.

« Cette remarque est importante et s'applique sans exception à toutes les théories émises au sujet de la télégraphie sans fil. On ne devra jamais oublier, dans la pratique que, en raison de la complexité des phénomènes, les résultats du calcul ne peuvent être qu'approchés et qu'il faut toujours avoir recours à l'expérience, c'est-à-dire aux tâtonnements, pour opérer les réglages définitifs. »

CHAPITRE III

LE TUBE DE BRANLY

Découverte du cohéreur. — Le résonnateur de Hertz est un détecteur trop peu sensible pour qu'on puisse en tirer des applications pratiques. Le problème industriel consistait à trouver un autre détecteur capable de déceler les ondes électriques aux grandes distances.

C'est dans un laboratoire de physique que ce merveilleux appareil fut découvert par un savant français, M. Branly, et quelques années plus tard, en 1895, un ingénieur italien, M. Marconi, l'appliqua à la télégraphie sans fil. Plusieurs mois auparavant l'ingénieur russe Popoff avait également tenté des essais de télégraphie par les ondes hertziennes.

Le *détecteur de Branly* est formé d'un tube de verre contenant de la limaille métallique entre deux fils ou deux pistons métalliques appelés électrodes. Ce tube est intercalé dans le circuit d'une pile. Les grains de limaille ne se touchent pas suffisamment pour que le courant puisse passer d'une façon continue. A cause du grand nombre de mauvais contacts entre les grains de limaille, la résistance offerte au passage du courant est telle que même un galvanoscope sensible n'indique aucun courant. Mais il suffit de produire à distance des étincelles oscillantes pour qu'aussitôt le courant passe. On peut expliquer ce phénomène en disant que deux grains de limaille voisins constituent un petit résonnateur de

Hertz. Une infinité d'étincelles éclatent entre les grains, les soudent entre eux et les transforment en un véritable conducteur. Ce qui semble confirmer cette façon de voir, c'est qu'il suffit de donner un choc au tube pour le ramener à son état primitif. Quand les grains sont soudés, on dit que le tube est *cohéré*.

Quand un choc l'a ramené à l'état primitif, on dit qu'il est *décohéré* et l'on appelle souvent le tube de Branly le *cohéreur*.

Différents genres de cohéreurs. — Pour les expériences de laboratoire on peut bien aisément construire des cohéreurs. Tous les contacts imparfaits en constituent de suffisamment sensibles.

Un large tube contenant des petites vis d'horloger est un bon cohéreur pour les démonstrations.

Des aiguilles posées en croix l'une sur l'autre constituent le détecteur de Fenyi.

Six ou huit billes de bicyclette, mises au contact dans un tube de même diamètre, où elles glissent exactement, présentent une excellente sensibilité.

Pour des expériences à grande distance, de véritables expériences de télégraphie, la construction exige plus de soin.

On emploie, en général, une limaille inoxydables, comme l'or, qui donne la plus grande sensibilité ;

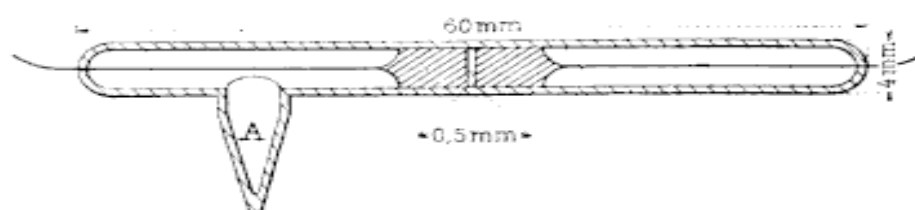


Fig. 12.

viennent ensuite l'argent et les alliages d'or, d'argent et de cuivre.

La quantité de limaille n'est pas indifférente ou, plutôt, les dimensions des pistons qui la compren-

ment ne semblent pas indifférentes. M. Branly prenait un tube de 4 millimètres de diamètre et donnait aux pistons un écartement de 0^{mm}5. Il constituait les pistons en métal oxydable et la limaille en métal inoxydable (fig. 12).

M. Tissot emploie des pistons et de la limaille oxydables, mais fait le vide dans le tube.

Il est bon de pouvoir régler la pression de la limaille, c'est pourquoi M. Ducretet construit les tubes démontables. Il règle la pression en déplaçant un des pistons électrodes au moyen d'une vis.

Enfin M. Blondel a construit des cohérents munis d'une poche en verre contenant de la limaille (fig. 13) et permettant par un simple renversement

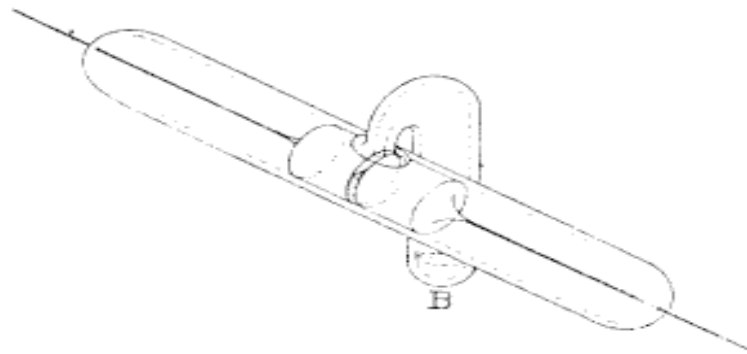


Fig. 13.

de faire varier la quantité de limaille comprise entre les pistons (1). Ce modèle a été perfectionné par M. Ferrié (fig. 14).



Fig. 14.

(1) Le lecteur trouvera dans le *Traité* de MM. BOULANGER et FERRIÉ, chap. XI, p. 228, la description complète des cohérents et des théories qui s'y rapportent. On indique simplement ici la

Installation du cohéreur. — Le cohéreur, qui doit fonctionner sous l'action des ondes, est placé entre l'antenne et le sol, et, en dérivation sur ses électrodes, on installe un circuit comprenant une pile et un appareil avertisseur. Ce sera simplement une sonnette électrique dans des expériences de démonstration, et le marteau de la sonnette même servira de frappeur pour décoherer le tube.

Si l'on veut faire fonctionner un télégraphe inscripteur de Morse, il faudra employer un artifice, car ce télégraphe ne peut être actionné que par une batterie de piles dont la force électromotrice serait trop grande pour le tube de Branly. On met alors dans le circuit du cohéreur un *commutateur spécial* qui fonctionne sous l'action du courant et ferme un second circuit où l'on pourra disposer de telle force électromotrice que l'on voudra. C'est à ce commutateur que l'on donne le nom de *relais*.

Le montage est alors celui que la figure 15 indique.

Dans le circuit 1 est la pile P_1 et le relais R .

Dans le circuit 2 fermé par le commutateur R se trouvent la pile P_2 et le télégraphe Morse.

De plus, l'électro-aimant du frappeur F est en dérivation sur le télégraphe et le levier de ce frappeur sert d'interrupteur pour le circuit 2. Il résulte de ce montage que l'arrivée d'une onde occasionne la fermeture de R , le circuit 2 est fermé, le télégraphe fonctionne ; mais le levier du frappeur attiré interrompt le circuit du télégraphe, le courant cesse de passer dans le circuit 2 ; le levier du frappeur quitte l'électro-aimant et, en oscillant, vient doucement frapper le tube Branly. La décohération se fait et le circuit 1 est interrompu, le commutateur-relais se relève.

description de quelques cohéreurs tels que peuvent en utiliser les lecteurs de cet ouvrage pour des expériences de démonstration sans vouloir faire de la T. S. F. avec appareils inscripteurs fondés sur le cohéreur. L'intérêt historique de cet appareil est d'ailleurs considérable.

On conçoit donc que sur la bande de l'appareil Morse on aura des traits d'inscription correspondant à la durée de réception des ondes. Il suffit donc d'émettre des ondes pendant des temps variables pour per-

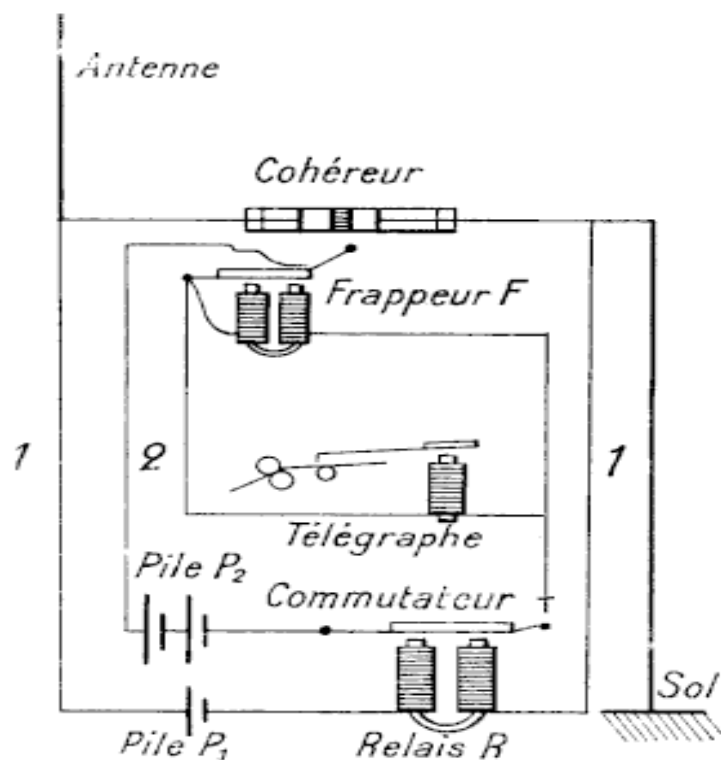


Fig. 15.

mettre à la station réceptrice de lire une dépêche par traits et points de l'alphabet Morse.

Tel est le principe de la télégraphie sans fil fondée sur le cohéreur. Le dispositif précédent peut être monté très aisément dans un laboratoire de physique.

Les appareils d'inscription sont encore employés dans un grand nombre de stations; mais l'inconstance du tube de Branly, les difficultés du réglage font que seuls les professionnels et les spécialistes s'en servent aujourd'hui. Nous ne décrirons donc pas les applications du tube de Branly en détail, nous contentant d'indiquer dans des chapitres ultérieurs son emploi pour le réglage automatique des horloges (Voir chap. IX et XIV), et pour la prévision des orages.

Même pour les expériences de démonstration, il est bon d'enfermer le tube de Branly dans une caisse métallique servant d'écran pour éviter l'action sur le tube des étincelles oscillantes produites au voisinage.

Relais. — Mais le relais dont on vient de voir l'utilité est un instrument de fond que doit posséder toute station d'études à cause des montages multiples qu'il permet d'exécuter (Voir chap. IX).

Il en existe plusieurs modèles.

1° Le plus simple est celui qui est représenté dans la figure précédente ; c'est une sonnette dont le marteau est remplacé par une pointe qui vient appuyer sur une enclume.

2° Le relais polarisé est constitué par un aimant permanent dont les armatures sont prolongées par des noyaux de fer doux sur lesquels sont enroulées des bobines d'électro-aimant. Un faible courant circulant dans les bobines augmentera ou diminuera l'aimantation suivant le sens dans lequel il circule et une lame mobile en regard des noyaux sera déplacée dans un sens ou dans l'autre. En appuyant contre une pointe, elle fera l'office de commutateur.

3° En télégraphie sans fil on n'utilise plus guère que les relais à cadre mobile dont la sensibilité varie suivant la construction. Les plus ordinaires fonctionnent pour des courants de 10 microampères. On arrive aisément à la sensibilité de 5 microampères.

Les relais Claude fonctionnent pour 1 microampère.

Ces relais ne sont autre chose que des galvanomètres à cadre suspendu sur des pivots de saphir ou par des fils de suspension amortissant les oscillations latérales du cadre. Le contact se fait par une pointe de platine entraînée par le cadre, venant appuyer sur un ressort flexible. Une vis permet d'agir sur un ressort antagoniste ramenant le cadre à la position initiale et d'effectuer le réglage

CHAPITRE IV

PRINCIPE DE LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL ANTENNE

Pour faire de la télégraphie sans fil par ondes hertziennes on produit des oscillations électriques dans un conducteur, portant le nom d'*antenne d'émission*, dont une extrémité est à une certaine hauteur au-dessus du sol, tandis que l'autre extrémité communique avec le sol. On sait que ces oscillations transmettent à l'éther un mouvement vibratoire qui se propage dans toutes les directions par ondes hertziennes. A une distance convenable, on place un conducteur analogue au précédent ; ce conducteur devient à son tour le siège d'oscillations électriques, il reçoit les oscillations, c'est l'*antenne de réception*.

Pour télégraphier entre les deux stations, on produira à la station d'émission les oscillations pendant des temps différents. On enverra des séries d'oscillations plus ou moins longues, comme en télégraphie ordinaire, en appuyant plus ou moins longtemps sur un interrupteur Morse. On aura donc des traits ou des points d'oscillations. A la station réceptrice, il faudra disposer d'instruments qui permettent d'une manière quelconque de rendre ces oscillations perceptibles à nos sens, soit à la vue, soit à l'ouïe.

Ce seront les détecteurs et les circuits de récep-

tion. Comme il est bon que les deux stations puissent échanger des télégrammes, ou, comme on dit, « réciproquer », chacune d'elles devra comprendre :

- 1° Une antenne servant à l'émission ou à la réception ;
- 2° Les appareils producteurs d'oscillations sous forme de signaux Morse ;
- 3° Les appareils de réception.

Antenne.

L'antenne servant au rayonnement de l'énergie doit être établie avec le plus grand soin. La portée dépend de la hauteur de l'antenne. On utilise, en général, des monuments élevés, phares, tours ou clochers, ou bien l'on construit spécialement des mâts ou pylones pour y fixer l'extrémité supérieure ; on la suspend parfois à des ballons captifs. On augmente la portée en augmentant la capacité de l'antenne et sa surface de rayonnement. Dans les antennes multiples, on utilise plusieurs fils parallèles tendus sur des croisillons ou sur des vergues parallèles et inclinées par rapport à la verticale.

Dans les installations Marconi, les antennes ont la forme compliquée de pyramides renversées. M. Blondel conseille, pour diminuer la hauteur, de répartir tous les fils en une même nappe horizontale.

Fréquemment aussi, on emploie la forme de l'antenne en parapluie, comme sur les grands navires. La disposition de l'antenne dépend, en résumé, de la place dont on dispose et de la hauteur possible des supports.

Antennes pour émission et réception.

1° ANTENNE DE LA TOUR EIFFEL. — La tour de 300 mètres était un support d'antenne tout indiqué :

mais la Ville de Paris, soucieuse de conserver la perspective du Champ de Mars et de ne pas masquer la façade de l'École militaire, s'opposa à l'édification de toute espèce de construction sur le Champ-de-Mars lui-même. Pour tendre les fils de l'antenne, il fallut se contenter de les suspendre au sommet de la Tour par des isolateurs cannelés en série et de les écarter de la masse métallique de la Tour par des câbles tenseurs, dont ils sont séparés par deux isolateurs réunis par de gros bracelets de caoutchouc. Les câbles tenseurs aboutissent à des pylones placés dans le jardin du Champ-de-Mars. Les six fils, en acier galvanisé, sont réunis formant une sorte d'antenne en parapluie, si bien qu'il suffit d'un seul câble de descente dans le puits servant d'entrée du poste.

Il faudrait beaucoup de mauvaise volonté pour prétendre que ces fils déparent le Champ-de-Mars. Il arrive souvent que pendant les émissions nocturnes, les parties hautes de l'antenne sont lumineuses. Il est intéressant de remarquer que même des portions de l'antenne qui restent invisibles à l'œil sont capables d'impressionner les plaques photographiques. Elles semblent émettre de la lumière ultraviolette, comme l'a montré un des officiers de la Tour en prenant la nuit des photographies de ces antennes.

2^o ANTENNE DE L'INSTITUT DE PHYSIQUE DE NANCY. — On a utilisé la tour de l'Institut de Physique. Un mât de 4 mètres y a été solidement haubanné par des câbles d'acier. On a réalisé ainsi une hauteur de 38 mètres au-dessus du sol. L'antenne est formée de six fils parallèles distants de 50 centimètres, longs de 55 mètres, montés sur des vergues et isolés de celles-ci par des isolateurs en verre de Folembay en forme d'œufs. Les vergues elles-mêmes sont soutenues par des câbles d'acier suspendus

par six œufs en série. A l'aide de câbles et de poulies elles peuvent être hissées ou descendues à volonté de telle manière que l'on puisse modifier la constitution de l'antenne (fig. 16).

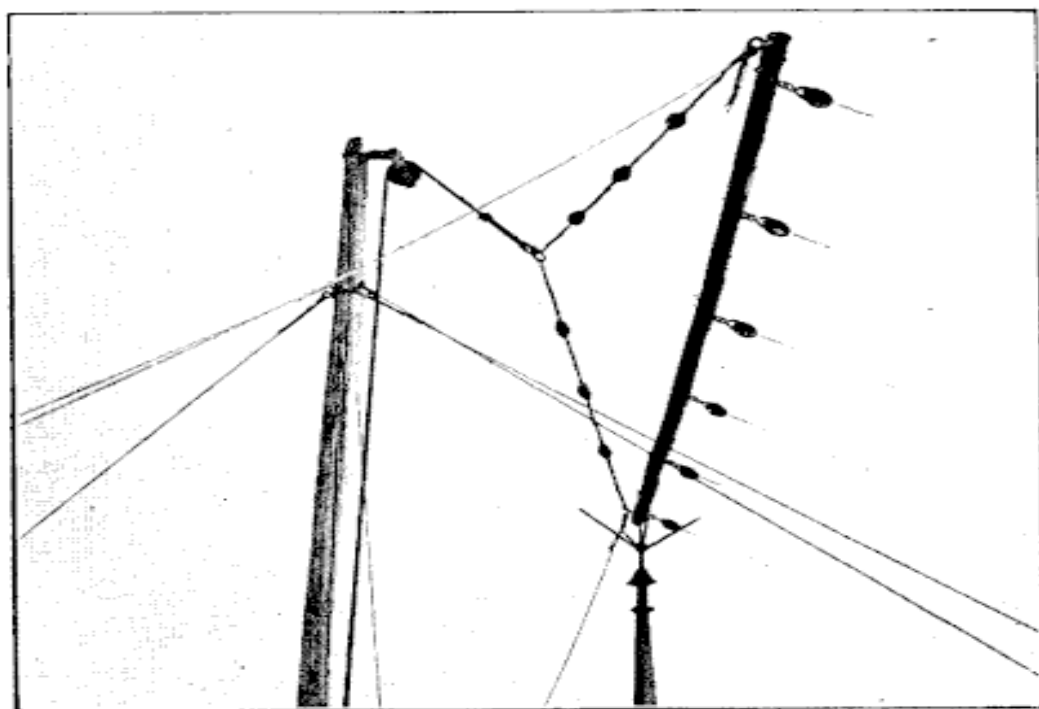


Fig. 16.

Cliché Belliéni.

La première vergue est hissée au sommet de la tour, la seconde au sommet d'un mât de 14 mètres, planté dans la cour et haubanné par des câbles métalliques. L'antenne est donc inclinée par rapport à l'horizon.

3° ANTENNE DU CHAMP D'AVIATION DE JARVILLE. — Une antenne du même genre, mais complètement horizontale, formée de trois fils seulement et à la hauteur de deux mâts de 12 mètres a été installée en une après-midi sur le terrain d'aviation de Jarville pour le meeting d'aviation des 7 et 8 avril 1912.

Antenne de Cluses. — A l'École d'Horlogerie de Cluses on emploie également une antenne de ce

genre. Elle est complètement horizontale et placée au sommet du bâtiment. Il y a quatre fils de 2 millimètres de diamètre, distants de 1 mètre et longs de 60 mètres environ. Les vergues sont en tubes d'acier de 45 millimètres de diamètre ; les fils y sont fixés par l'intermédiaire de tubes de fibre de 45 millimètres de diamètre et de 500 millimètres de longueur. Les mâts télescopiques sont en tubes d'acier ; on emploie 5 diamètres différents de 70, 65, 60, 55 et 50 millimètres.

Ces tubes sont bloqués au bout les uns des autres par des brides. La base de ces mâts est solidement fixée sur la charpente du toit au moyen de brides en fer. Ils sont aussi solidement haubannés.

Des poulies fixes au sommet des mâts permettent de hisser l'antenne et sont établies de manière à rendre la chute du câble impossible (5).

Antenne pour réception seulement.

Lorsqu'on se contente de recevoir, il est inutile d'isoler l'antenne avec autant de soin. Il suffit, en général, d'un support isolant à l'extrémité. On pourra utiliser des bâtons d'ébonite, des supports en cloche de télégraphistes, des anneaux de porcelaine servant aux installations d'énergie électrique ou des œufs de verre. Ceux-ci sont en forme d'ellipsoïde et portent suivant deux plans rectangulaires deux rainures (fig. 17). Dans la première on fixe le fil d'antenne ; la seconde retient le fil de suspension qui peut être quelconque. Si l'œuf se brisait, les deux boucles s'accrocheraient et le fil ne tomberait pas. Si l'on veut employer plusieurs fils parallèles, par exemple sur le toit d'une maison, il est commode de tendre un câble d'acier entre deux cheminées, puis de fixer à la distance de 50 centimètres à 1 mètre autant de ces œufs que l'on veut établir



Fig. 17.

de fils parallèles entre eux et perpendiculaires au câble support.

Il est difficile de donner des indications générales sur l'établissement de l'antenne, mais il est facile, d'après les dispositions locales, de trouver le mode de suspension le plus commode.

Pour entendre le poste de la Tour Eiffel, un fil unique de 20 mètres suffit à la distance Paris—Nancy ou Paris—Saint-Dié. Il n'y a pas intérêt à diminuer cette longueur que l'on peut toujours obtenir entre deux maisons, un arbre et une maison, etc. Il est bon, en tout cas, surtout pour les villes éloignées, de diriger l'antenne dans la direction Paris—Ville où le poste est installé et de mettre l'extrémité isolée de l'antenne à l'opposé de Paris. C'est ainsi que l'on entendra la Tour Eiffel avec le maximum d'intensité.

Plusieurs personnes ont établi des antennes horizontales à fils parallèles *à l'intérieur de greniers recouverts en tuiles ou en ardoises*.

La nature de l'antenne peut être très différente. *Il est préférable d'utiliser du cuivre de 2 millimètres de diamètre.*

On a employé du grillage métallique de clôture, et un de mes correspondants m'a fait connaître qu'il a entendu les transmissions de la Tour Eiffel (même la musicale), en prenant comme antenne un lit de fer remisé dans un grenier.

Antennes naturelles. — Il existe dans les villes des antennes de réception installées naturellement ; ce sont les lignes téléphoniques, télégraphiques, lignes d'énergie électrique, etc.

Tout fil isolé à une extrémité et en relation avec des appareils récepteurs constitue une antenne.

Depuis bien des mois des personnes ont utilisé leurs lignes ou des lignes d'abonnés au téléphone pour recevoir les signaux horaires sans avoir besoin

de demander l'autorisation ministérielle. Il existe depuis longtemps plusieurs de ces installations dans la région de l'Est. Mais la première publication de ce mode de réception a été faite par M. Dosne, ingénieur-électricien à Paris (6), qui a entendu, suivant son expression, de véritables roulements sans appareil de résonance en mettant simplement un détecteur électrolytique et un téléphone en série avec une ligne privée.

Néanmoins, il est préférable d'avoir une antenne isolée indépendante du réseau téléphonique que l'on puisse modifier à volonté suivant les stations que l'on veut entendre, afin d'exécuter des recherches sur le réglage des antennes.

Prise de sol.

L'antenne doit être en bonne communication avec le sol ; M. Blondel (7) a donné en effet une théorie de l'antenne qui prouve que le rôle de la terre est de maintenir à la base de l'antenne un maximum de l'intensité électrique. Tout se passerait alors comme si l'antenne et son image électrique formaient un oscillateur de Hertz. Mais il faut supposer pour cela que le sol est un conducteur parfait.

On sait bien qu'il n'en est jamais ainsi. Il y a sur le sol des aspérités qui gênent la circulation. Les courants pénètrent dans le sol jusqu'à une profondeur qui dépend de sa nature. Aussi les ondes se propagent-elles mieux au-dessus de la mer que sur la terre : un poste dont la portée est de 30 kilomètres sur terre peut atteindre 100 kilomètres sur mer. Si le sol est trop mauvais conducteur, on peut constituer une image véritable de l'antenne à l'aide de ce qu'on appelle le contrepoids, qui peut différer de l'antenne par sa forme, pourvu qu'il ait une self et une capacité convenables.

On a constitué la terre à la Tour Eiffel à l'aide de

75 mètres carrés de plaques métalliques enfoncées au niveau de la Seine. A Nancy on a enfoui dans la cour de l'Institut, au-dessous de l'antenne, environ 7 mètres carrés de plaques métalliques.

Ces précautions sont indispensables pour l'émission. L'observation montre aussi que la réception est d'autant meilleure qu'elle se fait au voisinage du sol même, sur les plaques de sol de l'antenne.

Pour les postes simples de réception on peut prendre le sol sur les conduites d'eau ; pour les postes portatifs on enfonce, dans un sol humide, un piquet de fer galvanisé.

Précautions à prendre contre la foudre. — En été, pendant les orages, l'antenne débite des quantités d'électricité considérables. *On peut tirer de l'antenne des étincelles de plusieurs centimètres* (8). Les appareils ne doivent donc jamais être en relation avec l'antenne quand on n'écoute pas et l'antenne *doit être en bonne communication permanente avec les plaques de sol*. Il faut donc qu'un commutateur permette commodément la mise au sol de l'antenne.

Voici un modèle d'installation qui peut servir à la fois pour un poste de réception et un petit poste d'émission.

L'antenne aboutit à un support cloche de Folembay et de là un fil souple dans un tuyau de caoutchouc pénètre dans le poste à travers un disque de verre cannelé. Ce fil est relié à une barre métallique le long de laquelle on fera des prises d'antenne au moyen de bornes mobiles (fig. 18). Les appareils

(8) On trouvera dans *Le Journal de Physique*, 5^e série, t. I, p. 372, et dans *La Nature*, 1911, p. 340, la description d'un curieux coup de foudre sur une antenne coudée installée par M. Turpain pour la prévision des orages. Plusieurs observateurs virent au coude la forme globulaire de la foudre.

pourront être entièrement séparés de l'antenne en supprimant ces bornes.

D'autre part, sur la table de réception, une deuxième barre métallique est en relation permanente avec les plaques de sol. A l'endroit où le fil

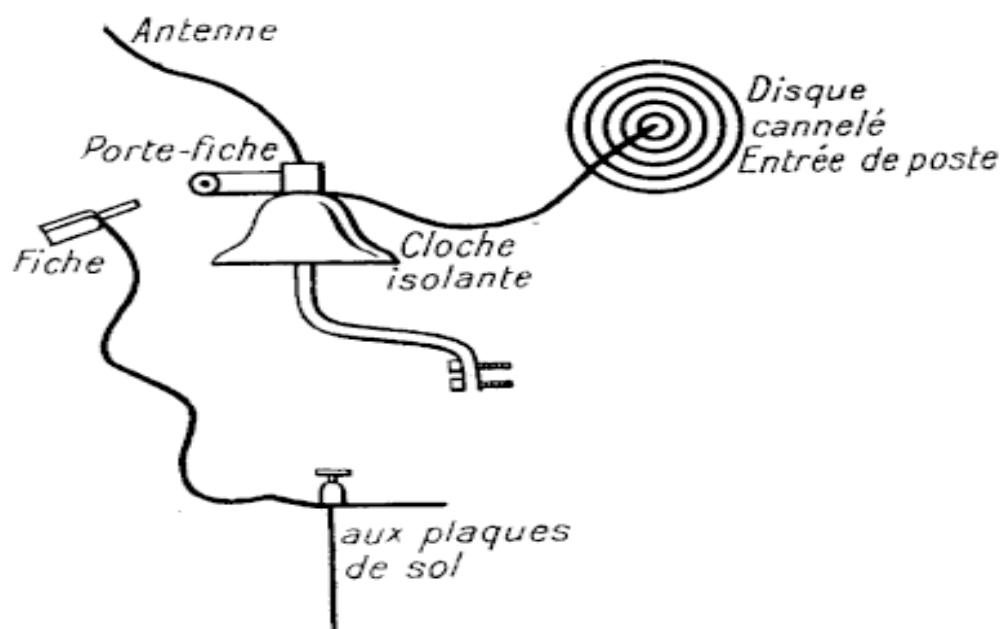


Fig. 18.

de sol pénètre dans le poste on en fait dériver un fil souple aboutissant à une fiche métallique isolée par un manche d'ébonite. Il suffit, pour mettre l'antenne au sol, d'enfoncer cette fiche dans une cavité métallique, ou *porte-fiche*, supportée par la cloche isolante. C'est ce que l'on devra faire toutes les fois que l'on sort du poste.

CHAPITRE V

PRODUCTION DES OSCILLATIONS

POSTES D'ÉMISSION

Excitation directe. — Il s'agit maintenant de produire dans l'antenne des oscillations électriques. On a vu que ces oscillations électriques sont obtenues par la décharge d'un condensateur chargé d'une manière quelconque. En intercalant simplement, entre l'antenne et le sol, les boules d'un exciteur, on obtient un véritable condensateur que l'on charge à une tension élevée au moyen du secondaire d'une bobine d'induction. On a ainsi réalisé le mode d'excitation le plus simple ou excitation directe, et, avec une installation aussi rudimentaire, il est déjà possible d'envoyer les oscillations à une trentaine de kilomètres.

Excitation indirecte. — Mais ce mode d'excitation directe est aujourd'hui à peu près complètement abandonné. C'est l'excitation indirecte que l'on emploie le plus souvent dans la pratique : on produit les oscillations électriques dans un circuit voisin de celui de l'antenne, de telle manière que l'on pourra faire varier la capacité à son gré. Le premier circuit, dit *inducteur*, comprend un éclateur, le condensateur et le primaire d'un *transformateur de Tesla*. On appelle ainsi un circuit ou solénoïde formé par quelques spires d'un fil de gros

diamètre; si l'on charge le condensateur avec une source à haut voltage, le solénoïde va être parcouru par un courant oscillatoire de fréquence élevée ou *haute fréquence*.

On montre dans les cours les effets curieux de ces courants de haute fréquence à l'aide du dispositif suivant. On charge les armatures d'une batterie de jarres à l'aide d'une forte bobine de Rhumkorff. La batterie se décharge à travers un excitateur et le courant de décharge passe dans le solénoïde de Tesla (fig. 19).

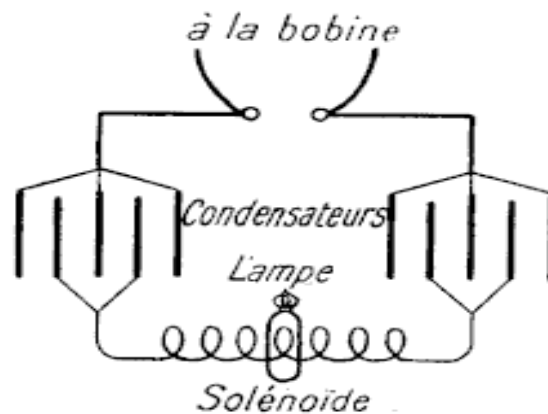


Fig. 19.

Autour de ce solénoïde on met une spire de gros fil fermée sur une petite lampe à incandescence. Les courants induits par la décharge à haute fréquence suffisent pour faire briller la lampe. On peut aussi allumer une lampe entre deux spires du solénoïde, car une différence de potentiel suffisante existe entre ces fils et l'on peut profiter de cette expérience pour montrer que ces courants de haute fréquence sont inoffensifs. On peut intercaler dans le circuit de la lampe un ou plusieurs observateurs sans que celle-ci cesse de s'illuminer. Les courants de haute fréquence passent à la surface des conducteurs; des courants analogues mais de fréquence moins élevée seraient, au contraire, mortels.

Si maintenant l'on entoure le solénoïde primaire

du secondaire de Tesla à nombreuses spires de fil fin, on peut faire jaillir entre les boules d'un excitateur en relation avec les extrémités de ce secondaire une pluie de longues étincelles. L'on peut aussi à distance de ces extrémités illuminer des tubes de Geissler.

Le secondaire du transformateur de Tesla est, au contraire, formé par un grand nombre de spires de fil

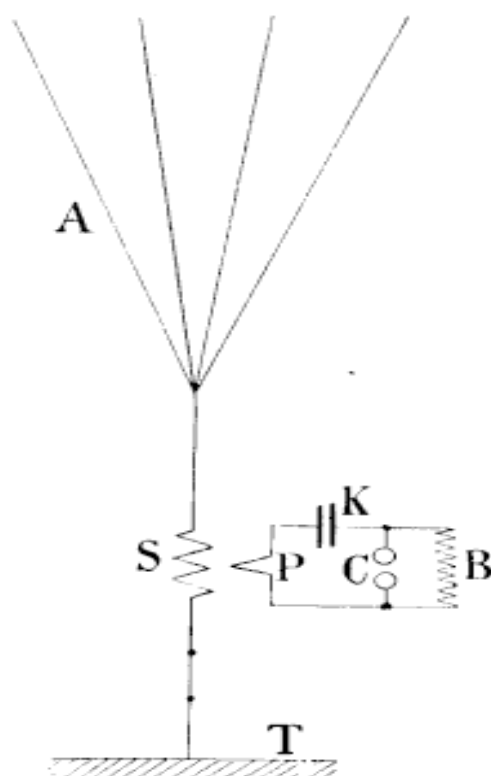


Fig. 20.

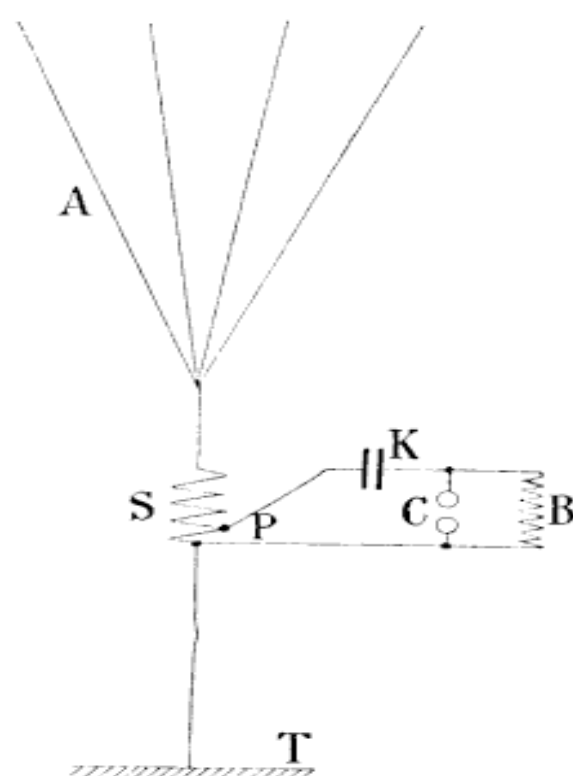


Fig. 21.

très fin. On obtient ainsi par induction une différence de potentiel énorme entre les extrémités de ce secondaire. C'est ce secondaire qui est intercalé dans le circuit de l'antenne, dit *circuit induit*.

Il existe plusieurs variantes de ce montage suivant que l'on emploie un condensateur en batterie ou en cascade et que les pôles de la source électrique utilisée, source à haute tension, communi-

quent avec les bornes du condensateur ou de l'éclateur (fig. 20).

Ce montage en induction exige un très bon isolement des circuits; c'est pourquoi on lui en préfère un autre, dit montage en résonnateur Oudin, qui peut être considéré comme une variante du précédent. C'est lui qui est actuellement utilisé dans la plupart des grandes installations.

Ce montage consiste à prélever sur le secondaire S un nombre de spires suffisant pour constituer le primaire du *résonnateur Oudin*. On intercale donc dans le circuit d'excitation des oscillations électriques une partie de la self de l'antenne comme l'indique la figure 21. La self du circuit oscillant et celle de l'antenne sont en somme en dérivation, d'où le nom de montage en dérivation donné à cette dernière méthode.

L'excitation indirecte est presque toujours aujourd'hui utilisée sous forme d'excitation en dérivation ou en *résonnateur Oudin*. Ce montage sert pour les grandes distances, précisément parce qu'on peut toujours augmenter l'énergie en augmentant la capacité. Il en résulte que les postes à grande énergie ont en même temps une grande longueur d'onde, parce que, en augmentant la capacité du circuit oscillant, on augmente la période et, par suite, la longueur d'onde. On se rappelle en effet que la période $T = 2\pi\sqrt{CL}$, où C est la capacité et L la self-induction du circuit.

Tel est le principe des différentes méthodes utilisées.

Réglages nécessaires. — Mais il est nécessaire de compliquer quelque peu les dispositifs pour effectuer des réglages indispensables.

L'observation montre que l'émission des ondes se fait le mieux quand les circuits de l'antenne et du condensateur sont en résonance; on veut dire

par là que la période d'oscillation du circuit du condensateur est égale à la période propre de l'antenne (Voir chap. II).

Pour constater que l'effet produit est maximum, on intercale dans le circuit de l'antenne une self et une capacité dont on fait varier la valeur jusqu'à ce qu'un ampèremètre thermique, placé dans le circuit à la base de l'antenne, indique un maximum d'intensité. Ce premier réglage effectué, on fait varier l'accouplement des deux circuits inducteur et induit, c'est-à-dire que, dans le montage en induction, on éloigne ou rapproche les deux circuits l'un de l'autre, ou, dans le montage en dérivation, on fait varier le nombre de spires intercalé dans l'antenne.

Comme cette opération détruira forcément la résonance des circuits du condensateur et de l'antenne primitivement établie, il faudra revenir au premier réglage et réaliser successivement le maximum par tâtonnements.

Comme le but de cette brochure n'est pas de donner une description complète des dispositifs d'émission, je me contenterai de décrire la plus grande des installations françaises, celle de la Tour Eiffel dont un si grand nombre d'amateurs écoutent actuellement les communications.

J'indiquerai ensuite comment, avec les ressources d'un laboratoire de physique, on peut constituer un petit poste d'émission, capable de rendre déjà quelques services dans un département.

I. — Poste radiotélégraphique de la Tour Eiffel.

Description générale du poste. — Le poste radiotélégraphique de la Tour Eiffel a été construit tout entier en souterrain, pour ne modifier en rien la perspective du Champ de Mars et ne pas masquer la belle façade de l'École militaire. Toutes les pièces de ce souterrain sont groupées autour

d'une cour centrale, sorte de fosse dont l'ouverture, entourée de pelouses et de grillages, donne de loin l'impression d'un bassin ordinaire de jardin public. C'est dans cette cour que descend l'antenne. La figure A la représente avec l'extrémité de l'antenne tendue par un bracelet de caoutchouc passant sur des isolateurs. On aperçoit au fond la glace et les disques isolants servant à l'entrée du poste.

On accède au souterrain par un escalier masqué dans un bouquet d'arbres et l'on arrive au poste proprement dit par une longue galerie souterraine de 25 mètres. L'ensemble du poste a la superficie d'un rectangle de 25 mètres sur 31 mètres. Il comprend trois salles principales, la salle d'essais des divers dispositifs, véritable laboratoire d'études, la salle de réception et, entre les deux, la grande salle à haute tension. En outre, des petites salles disposées le long d'un couloir comprennent des logements pour les officiers, un sous-officier et des sapeurs; les lavabos, un magasin, un atelier et un bureau télégraphique et téléphonique. Tous ces locaux sont parfaitement éclairés et aérés.

Des agrandissements importants sont actuellement en cours. Une description complète du poste a été faite dans la conférence de M. le commandant Ferrié à l'exposition de Pâques de 1911 de la Société de Physique, et les locaux ont été largement ouverts aux membres de cette Société. On a pu constater ainsi combien ce service s'était développé en un tout petit nombre d'années, grâce au service télégraphique de l'armée et à la collaboration bienveillante de M. Eiffel.

Ce n'est, en effet, qu'en 1903 que la Tour fut mise à la disposition de l'autorité militaire par M. Eiffel, pour les premiers essais. Les installations toutes rudimentaires furent d'abord établies dans des cabanes de planches, dans les terrains de démolition de l'Exposition universelle. Au commencement de

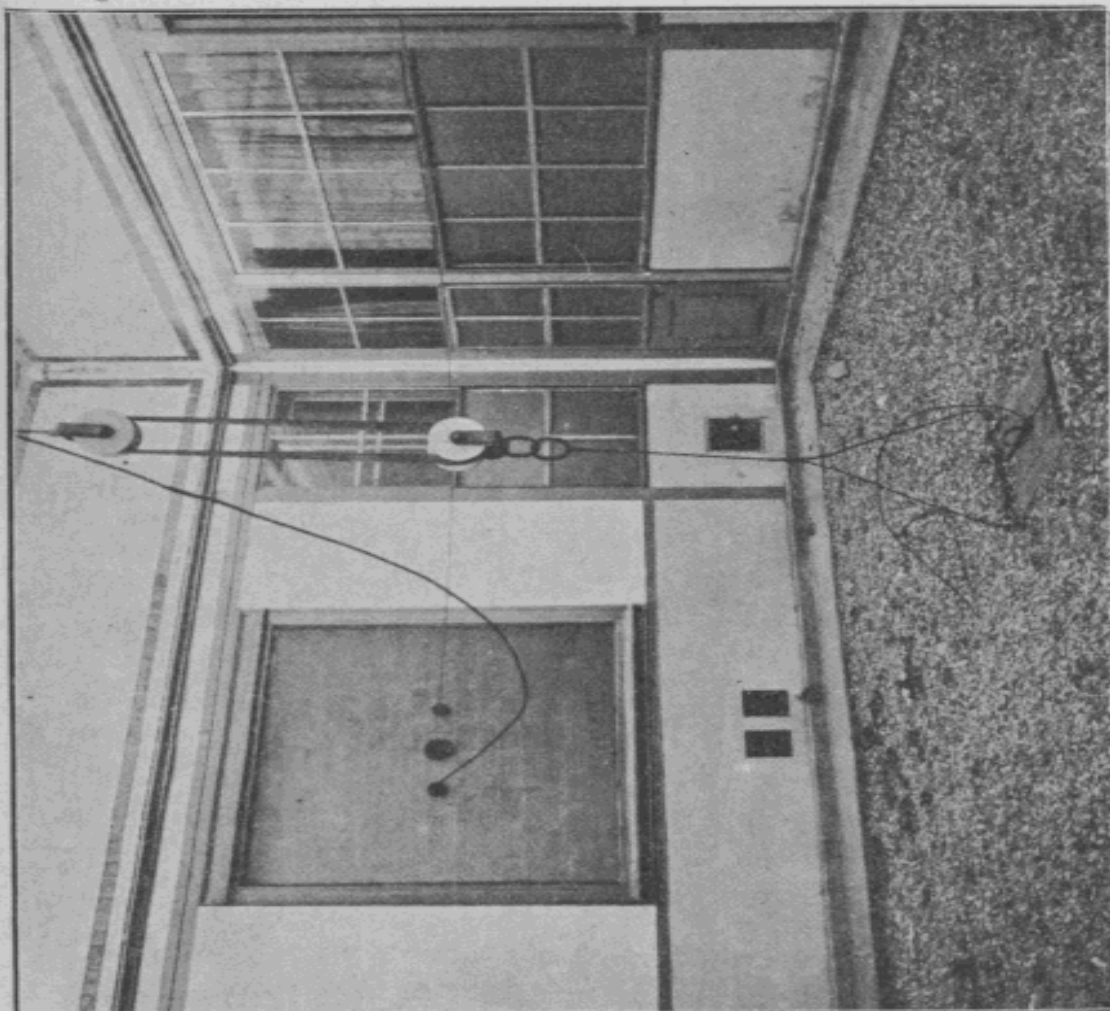
1908, une convention fut signée entre le ministère de la Guerre, la Ville et la Société de la Tour, et les travaux d'installation du souterrain commencèrent.

Ils étaient terminés en 1910 quand survint la terrible inondation, sans précédent. Tout le poste fut submergé par suite de la rupture d'un égout. Des précautions particulières ont été prises depuis pour éviter le retour d'un pareil accident.

Il existe actuellement à la Tour trois postes d'émission :

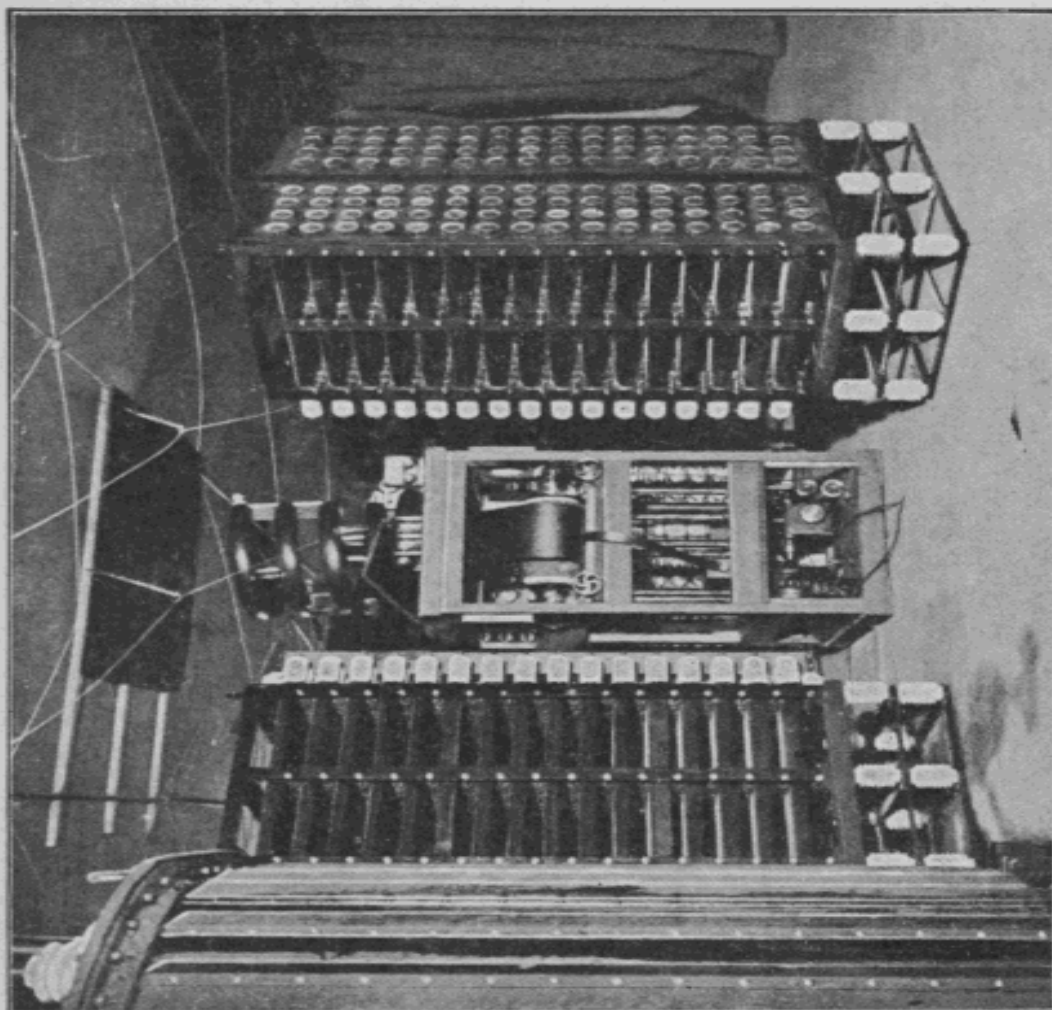
1° GRAND POSTE A ÉTINCELLES RARES. — Le plus puissant dispose d'une énergie de 40 kilowatts environ. C'est le secteur de la rive gauche qui lui fournit le courant alternatif à 42 périodes.

Ce courant est transformé en courant à haute tension par un transformateur isolé à l'huile, du type appelé dans l'industrie transformateur sans fuite. Les bornes de ce transformateur constituent la source à haute tension du montage schématique (fig. 21). Elles sont en relation avec le circuit primaire d'excitation comprenant la batterie de condensateurs, l'éclateur et le solénoïde d'Oudin. Les condensateurs sont des jarres Moscicki ne différant des condensateurs ordinaires que par la nature et la forme du diélectrique. Ce sont de larges tubes de verre qui peuvent avoir jusqu'à 1^m 50 de longueur et dont les parois sont argentées et recouvertes de cuivre électrolytique. L'épaisseur du verre est très augmentée du côté de l'orifice, où les condensateurs se percent en général plus facilement. Plusieurs grandes stations qui ont utilisé ces bouteilles Moscicki se sont déclarées satisfaites : elles supportent, en effet, la tension de 120.000 volts bien qu'en général on ne les expose guère qu'à 80.000 volts. Les condensateurs sont placés sur des éta-gères en bois isolées du sol. La figure B en représente l'ensemble. Leur capacité totale est de 7/10^e



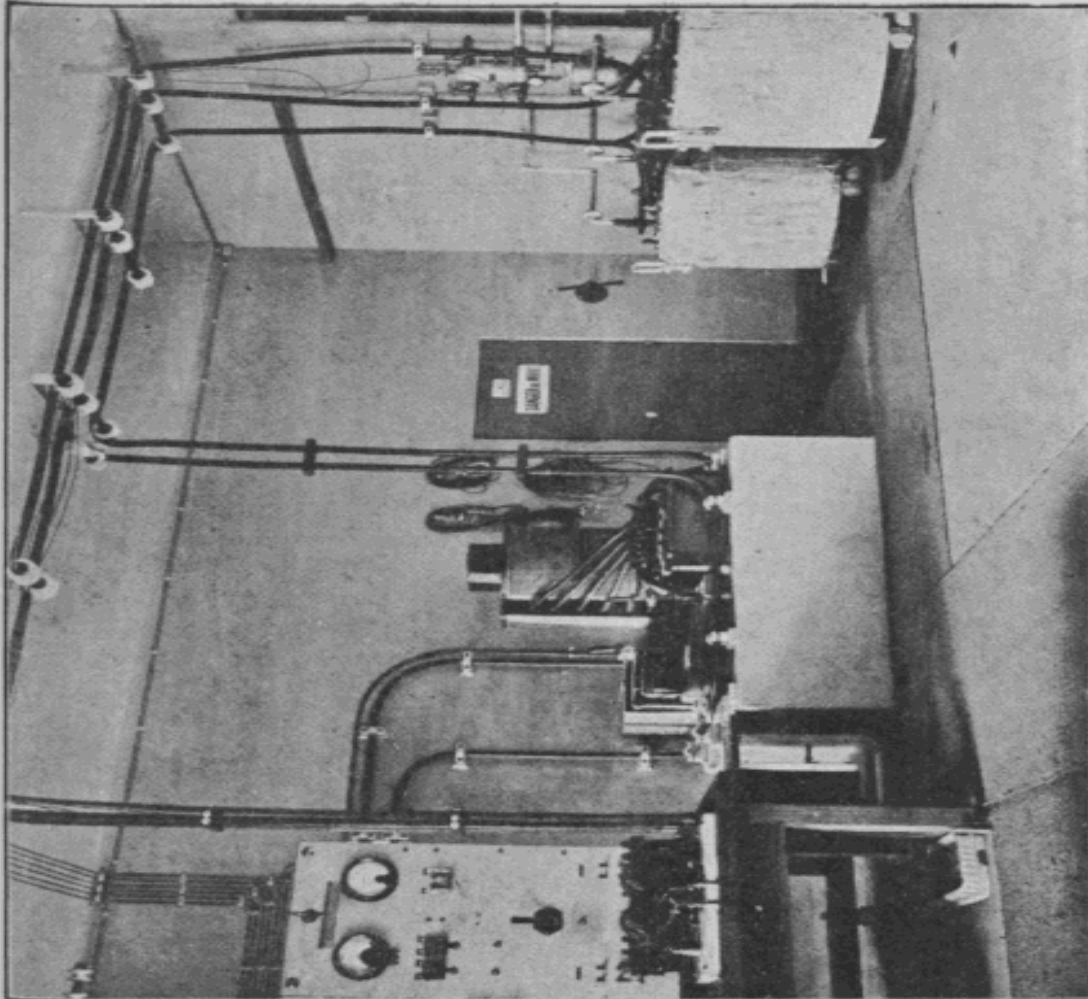
Cliché du vérascope Richard.

Fig. A.



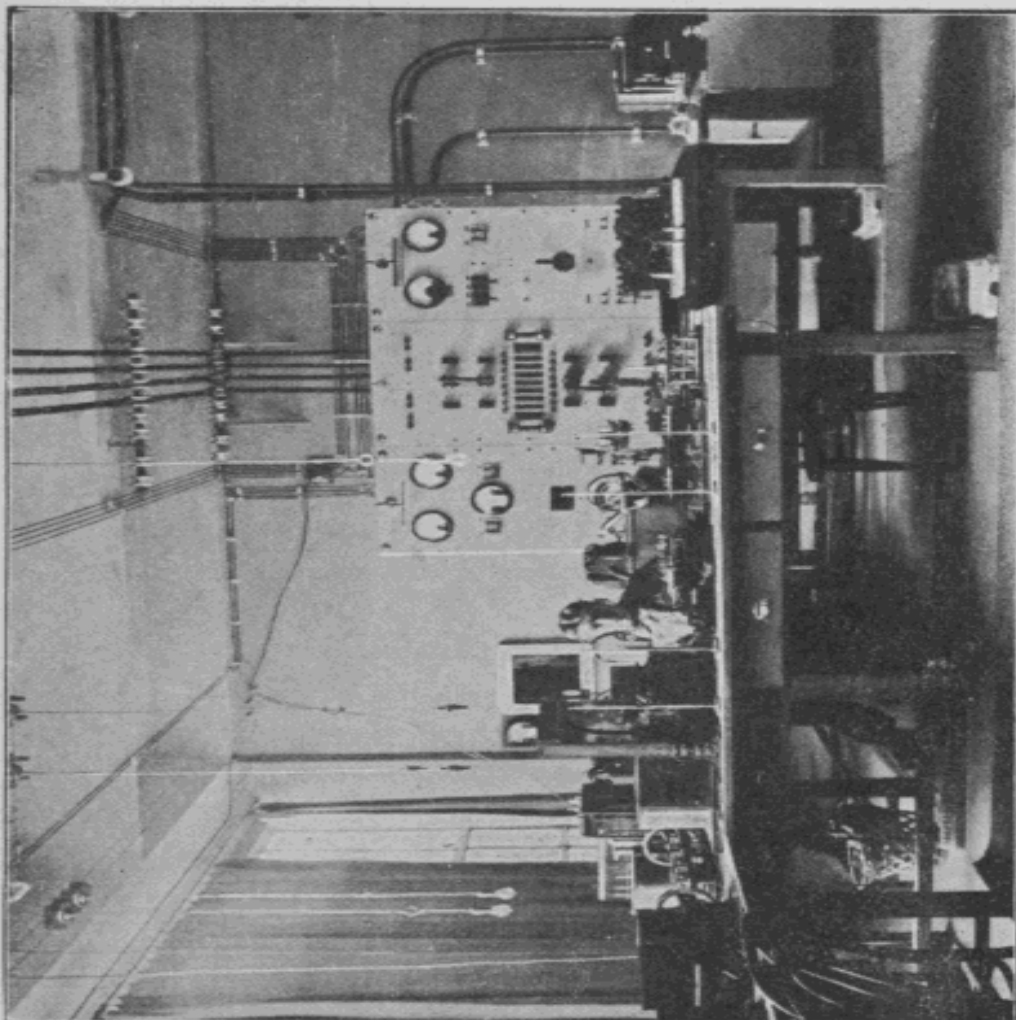
Cliché du vérascope Richard.

Fig. B.



Niche du vérascopie Richa'v.

Fig. G.



Cliché du vérascope Richard.

Fig. D.

de microfarad, en sept groupes de $1/10^6$ de microfarad. C'est au centre de ces étagères qu'on trouve un support de chêne soutenant le solénoïde Oudin.

Celui-ci comprend cinq spires de tube de cuivre rouge (diamètre des spires = 60 centimètres, diamètre du tube = 10 centimètres). Ce tube est fendu dans toute sa longueur pour éviter les courants de Foucault. Les spires sont à une distance de 10 centimètres l'une de l'autre. Elles sont séparées par des poulies isolantes. Un contact mobile le long du serpentín permet d'effectuer le réglage du circuit d'excitation par rapport au circuit de l'antenne (Voir fig. 21). Sur la figure B on aperçoit au milieu des étagères le serpentín Oudin sur son support.

L'éclateur est au-dessous du serpentín sur une plate-forme du support. On étudie constamment à la Tour Eiffel les propriétés de ces éclateurs et on en modifie fréquemment la construction. Pendant longtemps on a utilisé les cylindres de zinc placés en regard parallèlement à leurs axes et animés d'un mouvement de rotation par rapport à ces axes en sens inverse l'un de l'autre. Ce mouvement est commandé par un moteur placé sous le bâti. On tend à remplacer cet éclateur par un excitateur formé d'un plateau et d'un tube en regard à travers lequel on fait passer un violent courant d'air pour souffler l'étincelle.

Aux pièces essentielles il faut ajouter des selfs de réglage pour obtenir la résonance entre le circuit de charge et le circuit d'alimentation. Nous n'insisterons pas ici sur les différentes parties de ce réglage.

Il est possible d'atteindre 320 ampères dans le primaire et 6 ampères dans le secondaire du transformateur. Sans employer ces intensités énormes on dépasse en général 250 ampères au primaire, et il ne serait pas possible de placer un interrupteur Morse même spécialement construit directement dans le circuit. Le manipulateur Morse ne sert qu'à

faire fonctionner un relais formé par un système particulier d'électro-aimants coupant à leur tour le circuit à grande intensité. C'est ce qu'on appelle l'interrupteur-relais. Une des formes les plus employées est celle de l'interrupteur turbine, dont on verra plus loin la description à propos de l'envoi des signaux horaires.

L'installation est complétée par des rhéostats de réglage constitués par de larges rubans de maillechort plongés dans des bacs d'huile. Ils permettent de faire varier l'énergie utilisée à la transmission.

Tous les appareils qui ne présentent pas de danger, c'est-à-dire toutes les parties à faible tension, tableaux de distribution, selfs et rhéostats de réglage, sont réunis au fond de la salle de réception (fig. C), qui est séparée de la salle à haute tension par une porte portant l'inscription « *danger de mort* ». Cette dernière salle est entièrement tendue de toiles afin d'amortir le bruit des détonations rappelant celui des mitrailleuses. De la salle voisine, on peut surveiller les appareils à haute tension à travers une glace.

Le poste dont je viens de donner la description fonctionne en général pour l'envoi des signaux horaires et des dépêches météorologiques.

2° PETIT POSTE A ÉTINCELLES RARES. — Fréquemment, à 8 heures et 3 heures, les dépêches spéciales à l'aviation sont transmises avec le plus petit poste. C'est encore un poste à étincelles crépitantes de 10 kilowatts.

Un compartiment de la salle des essais comprend le transformateur, les condensateurs, qui sont ici des condensateurs plans noyés dans l'huile et l'éclateur. Ce poste a été actionné longtemps par un alternateur Villard dont le principe est extrêmement simple. L'inducteur est mobile, en forme d'H et présente ses pôles de nom contraire en regard. Il

tourne à l'intérieur d'une carcasse d'induit n'ayant que deux bobines. Il est bien aisé de voir que l'on aura ainsi trois alternances successives dont la médiane a la plus grande amplitude. Ces alternances seront séparées largement entre elles puisqu'il n'y en a que deux groupes par tour.

On peut alors augmenter beaucoup la fréquence sans être gêné par la production d'arcs entre les étincelles successives. En tournant à 900 tours on obtient 30 étincelles à la seconde.

3° POSTE A TRANSMISSION MUSICALE. — Si les étincelles sont suffisamment fréquentes, elles fournissent un son musical. Il suffit, pour qu'il en soit ainsi, que la fréquence des alternateurs employés soit supérieure à 1.000 à la minute.

L'alternateur Villard peut fournir des sons musicaux. Mais, le plus souvent, c'est d'un alternateur Béthenod à induit fixe que l'on se sert. Cette machine a son inducteur entraîné par un moteur asynchrone monophasé à 42 périodes et 220 volts. Les sons donnés par les étincelles successives sont suffisamment musicaux pour qu'on puisse en faire varier la hauteur depuis la quinte jusqu'à l'octave par l'emploi d'un rhéostat de champ (1).

Dans ce troisième poste, on emploie l'éclateur tube-plateau. En regard d'un plateau de cuivre on place un tube de laiton de 50 millimètres de diamètre et de 1 millimètre d'épaisseur. Le tube est traversé par un courant d'air provenant d'un petit ventilateur actionné par un moteur électrique.

La figure D indique l'ensemble de la salle de

(1) C'est l'auteur de cet alternateur, M. Béthenod, qui vient de faire connaître un nouveau procédé de transmission. Il a réussi à construire des alternateurs à haute fréquence qui, branchés sur l'antenne, fournissent des transmissions sans transformateur et sans étincelles. Ce système permettrait d'assurer le secret des communications.

réception, en particulier la table où l'on aperçoit le sappeur à l'écoute (1).

II. — Petit poste d'émission construit avec les ressources d'un laboratoire.

On utilise les bobines d'induction de la collection dont plusieurs modèles (Ducretet) ont d'ailleurs été spécialement étudiés en vue de la télégraphie sans fil. On emploie comme interrupteur, l'interrupteur moteur de Ducretet tournant à la vitesse de 600 tours à la minute.

Le moteur étant mis en marche, on interrompt le passage du courant dans le primaire de la bobine à l'aide d'un manipulateur spécial effectuant la rupture à l'intérieur de pétrole. En faisant ainsi passer le courant dans le primaire pendant des temps variables on obtient des oscillations pendant des temps plus ou moins longs (traits et points de l'alphabet Morse).

A) On peut employer l'excitation directe en attachant l'antenne à l'un des pôles de la bobine, mettant le second pôle au sol et en établissant entre les pôles un éclateur formé par des tiges isolées, terminées par des boules de zinc.

On trouve par tâtonnements la distance explosive convenable.

B) Il vaut mieux utiliser le montage en dérivation. Avec une bobine de petit modèle (20 centimètres d'étincelle), le condensateur sera formé par des lames de verre passées à la gomme laque et recouvertes sur une des deux faces de feuilles d'étain de $0^m 08 \times 0^m 20$. On empile 24 lames de ce genre en groupant en batterie les condensateurs ainsi

(1) Les clichés A, B, C, D ont été communiqués par la Société industrielle de l'Est.

formés. Le solénoïde est formé par du fil de cuivre d'environ 5 millimètres de diamètre.

La maison Ducretet a ainsi constitué un petit poste portatif de démonstration intéressant.

C) Avec une bobine de grand modèle, on emploie un résonnateur Oudin formé de 6 spires de tube de cuivre rouge de 14 millimètres de diamètre et enroulé en hélice de 27 centimètres de diamètre.

L'écartement des spires est de 4 centimètres.

Ce résonnateur est isolé par des poulies de verre de Folembay. Deux contacts mobiles permettent de l'introduire dans le circuit de l'antenne et le circuit de décharge (fig. 22). La figure 22 représente

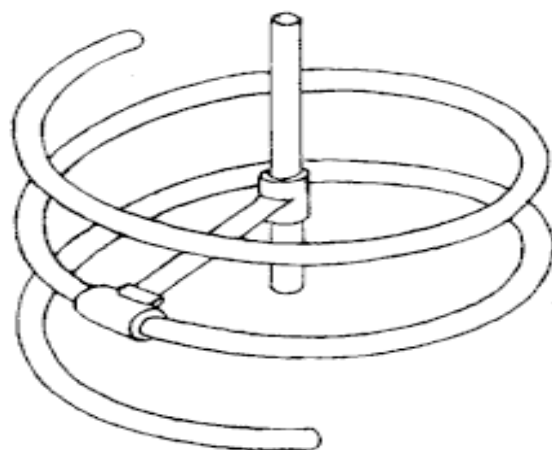


Fig. 22.

une partie de ce solénoïde avec la colonne centrale permettant d'assurer le contact mobile.

Les condensateurs sont des condensateurs plans formés par des lames de verre de 1^{mm} 5 d'épaisseur enduites de gomme laque et recouvertes sur une face de feuilles d'étain de 0^m 08 $\times$ 0^m 20. On a construit ainsi quatre boîtes de condensateurs contenant chacune vingt lames isolées des parois à la paraffine. On peut associer ces boîtes en cascade ou en batterie. On a donc, en résumé, le montage représenté sur la figure 21.

C'est à l'aide de ce dispositif que des communications ont été établies les 7 et 8 avril entre la Faculté des sciences de Nancy et le champ d'aviation de Jarville.

L'énergie était fournie par une batterie de vingt accumulateurs. L'intensité efficace dans l'antenne était d'environ 1 ampère et demi. Les communications ont été parfaitement entendues.

A part la bobine et son interrupteur, toutes les autres parties du montage avaient été construites au laboratoire de physique, ce qui montre que, dans les limites d'un département, avec les ressources d'un laboratoire, il serait possible d'émettre des dépêches qui ne troubleraient en rien les émissions des grandes stations, tout en rendant à l'agriculture et à l'aviation des services incontestables (Voir chap. XII, p. 143, *Applications à la météorologie*).



CHAPITRE VI

PRINCIPE DES APPAREILS DE RÉCEPTION

On donne le nom de détecteurs aux appareils qui, comme le tube primitif de Branly, permettent de déceler les ondes électriques. La façon dont on mettra ces détecteurs en relation avec l'antenne réceptrice dépendra de la nature même du détecteur.

D'un point de vue générale, on peut employer pour la réception les mêmes montages que pour l'émission, de manière à obtenir la résonance pour la longueur d'onde considérée : montage direct, où le détecteur est intercalé dans le circuit de l'antenne ; montage en dérivation, où l'on prend sur le secondaire lui-même les quelques spires nécessaires au primaire de l'antenne ; montage en induction, où le secondaire est complètement séparé du primaire.

1^o MONTAGE DIRECT. — Dans le montage direct il n'y a qu'un seul circuit d'oscillations. Le détecteur est intercalé entre la self de réglage et le sol (fig. 23). Au besoin on emploie aussi dans le circuit de l'antenne un condensateur de réglage (Voir p. 24).

2^o MONTAGE D'INDUCTION. — Un poste d'induction complet comprend dans le primaire une self d'antenne réglage G placée en série avec l'antenne, un condensateur de réglage, le primaire P d'un transformateur réglable et une capacité réglable C. Dans

le secondaire I, le détecteur D et un condensateur réglable C (fig. 24). (Sous la lettre D on comprend

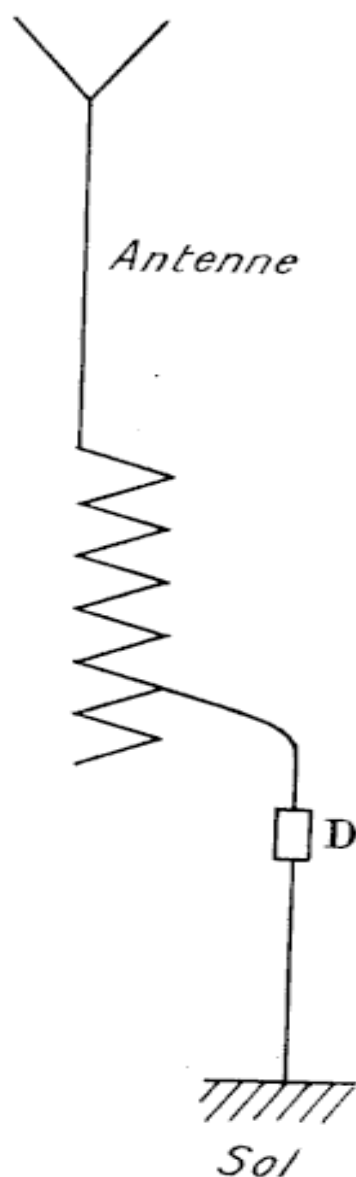


Fig. 23.

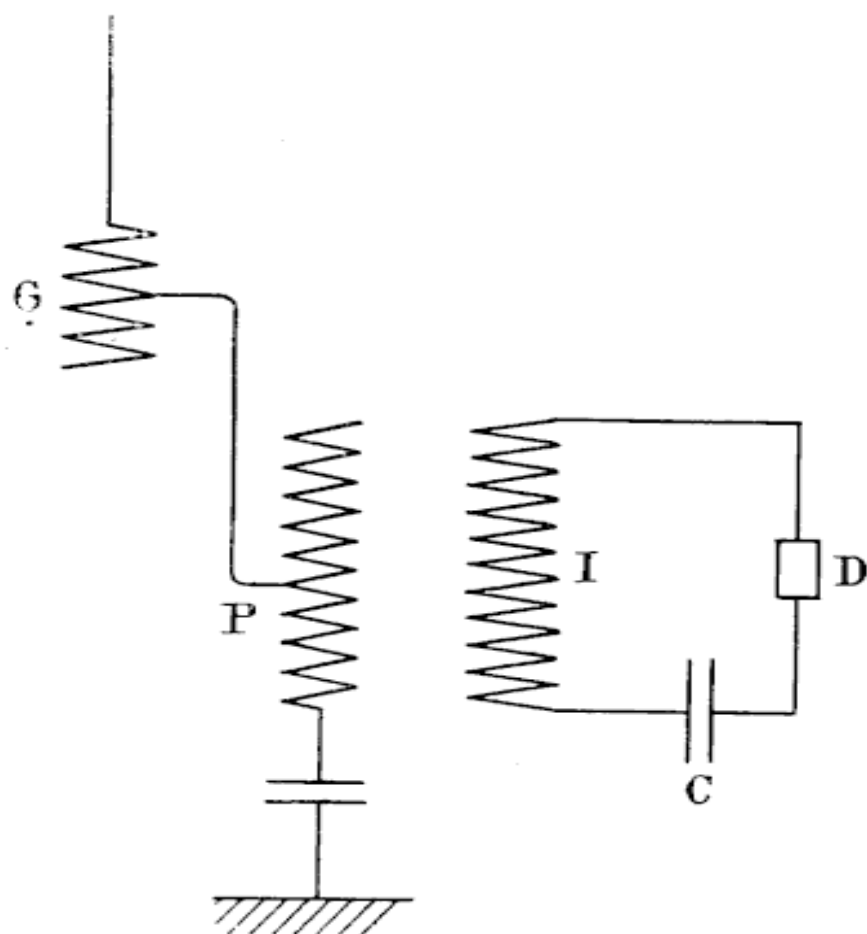


Fig. 24.

le détecteur proprement dit et les accessoires qui permettent de rendre les ondes sensibles à nos sens.)

3^o MONTAGE EN DÉRIVATION. — Le montage en dérivation ne diffère du précédent qu'en ce que

l'antenne est en dérivation sur le circuit du détecteur D comme la figure l'indique (fig. 25). Le primaire P est alors compris entre le point d'attache de l'antenne et le sol. Le secondaire I est constitué par la bobine entière dont P est une fraction.

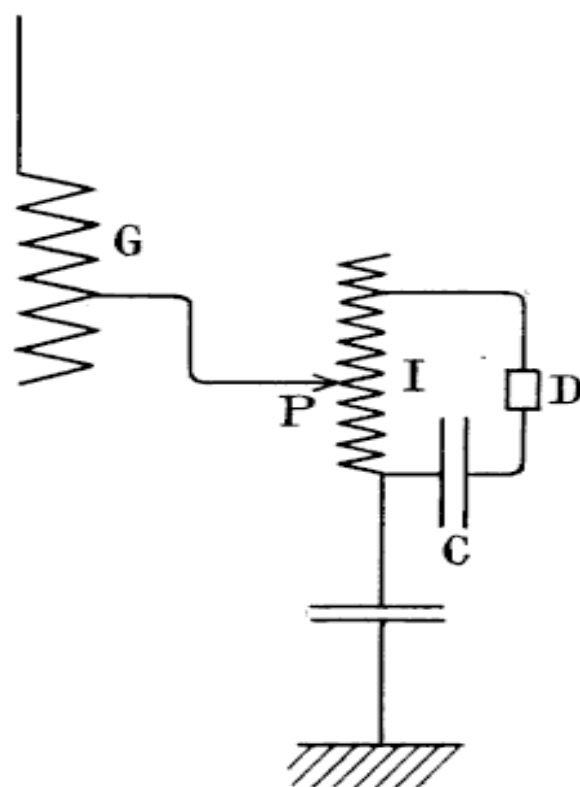


Fig. 25.

Détecteurs.

Nous ne nous occuperons ici que de trois genres de détecteurs : 1° les détecteurs thermiques ; 2° les détecteurs électrolytiques ; 3° les détecteurs à contacts solides et à cristaux.

1° Détecteurs thermiques. — Thermogalvanomètre.

Les détecteurs thermiques sont les plus simples en principe. Ils consistent, dans leur partie essen-

3.

tielle, en un fil métallique fin, du platine en général, qui s'échauffe sous l'action des oscillations reçues dans l'antenne. L'échauffement dépend du carré de l'intensité du courant circulant dans le fil et non du courant seulement. On peut donc mesurer par l'échauffement du fil toute l'énergie mise en jeu dans l'antenne qui, elle aussi, dépend du carré de l'intensité. Il ne serait pas possible de se servir d'un galvanomètre ordinaire, même si sa sensibilité était suffisante, puisque dans les oscillations électriques le sens du courant change constamment.

Le montage adopté est le plus simple, c'est le montage direct. Le fil à échauffer est mis en série avec l'antenne et la self de résonance. On fait varier celle-ci jusqu'à ce que l'on ait obtenu le maximum d'échauffement.

Comment mesurer cet échauffement ?

On peut mesurer la variation de résistance du fil : c'est la méthode *bolométrique* que je ne décrirai pas, en raison des difficultés que présente son montage. Elle ne peut être abordée que dans un laboratoire bien installé.

Mais il existe un appareil simple, le thermogalvanomètre, qui peut être mis entre toutes les mains. Son seul inconvénient est son prix élevé.

Thermogalvanomètre. — M. Duddel place au-dessus du fil fin un couple thermo-électrique Bi—Sb fermé par une boucle de platine formant un petit cadre de galvanomètre très allongé. Ce cadre, suspendu par un fil de quartz, est mobile dans le champ d'un aimant permanent puissant. L'échauffement du fil fait varier la température de la soudure thermo-électrique placée en regard, la boucle est traversée par un courant d'autant plus intense que la variation de température est plus grande (fig. 26). Elle tourne sous l'action du champ magnétique et la rotation est mesurée par la méthode ordinaire. Un

petit miroir concave est fixé au cadre et forme sur une règle graduée l'image d'une lampe électrique à filament rectiligne.

La sensibilité du thermogalvanomètre peut être modifiée de deux manières :

1° Le fil à échauffer est amovible. On peut substituer successivement des fils de di-^{verses} résistances.

L'appareil dont nous disposons à Nancy est muni de quatre résistances différentes.

C'est celle de 96° qui convient pour les mesures relatives aux signaux FL ;

2° Le fil est placé dans une monture mobile qui peut être soulevée plus ou moins à l'aide d'une vis micrométrique.

L'appareil est complété par une monture permettant le réglage du cadre autour de l'axe vertical.

Une pince fixant le cadre permet de transporter aisément l'instrument qui est ainsi d'un usage commode. Afin que la température soit bien uniforme à l'intérieur de l'appareil, l'ensemble du galvanomètre est contenu dans une cage métallique à parois épaisses. La verticalité du tout est assurée par un niveau d'eau.

La seule précaution à prendre est d'éviter les variations de température dues à des courants d'air, rayonnements, etc. A cet effet, il est bon de placer l'instrument à l'intérieur d'une caisse à doubles parois dont l'intervalle est rempli de coton.

Le thermogalvanomètre ne donne de bonnes indications que si les signaux émis sont suffisamment prolongés pour qu'un équilibre thermique puisse s'établir et que le cadre puisse prendre une position fixe. Des émissions de 10 secondes du poste de la

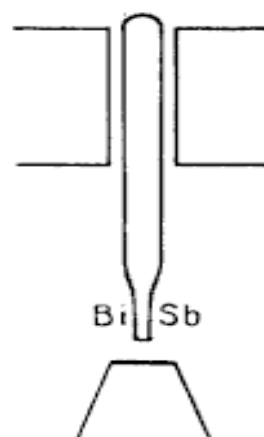


Fig. 26.

Tour Eiffel à étincelles rares sont parfaitement suffisantes.

Pour une énergie mise en jeu de 40 kilowatts on obtient à 300 kilomètres, pour l'antenne de la Faculté des sciences de Nancy précédemment décrite, environ 40 millimètres de déviation à une distance de 2 mètres du miroir. Le thermogalvanomètre présenté une inertie trop grande pour qu'on puisse suivre une dépêche par traits et points. Mais c'est le seul instrument *qui donne des résultats précis sur l'énergie dans l'antenne*. Son montage et sa théorie sont les plus simples, c'est pourquoi il a été décrit avant les autres détecteurs dont le fonctionnement présente encore quelques points obscurs au point de vue théorique, tout en étant d'un usage plus facile pour la majorité des expérimentateurs.

2^e Détecteur électrolytique.

Le détecteur électrolytique ou détecteur de Ferrié est celui qui intéresse davantage les amateurs de télégraphie sans fil, en particulier tous ceux qui désirent recevoir les signaux horaires.

Cet appareil se compose tout simplement d'un vase de verre contenant de l'eau acidulée où plongent deux électrodes de platine. L'une de ces électrodes est extrêmement fine. C'est un fil d'un centième de millimètre de diamètre rasé à la surface du tube de verre où il est scellé. L'autre électrode est un large fil.

Il est facile de construire soi-même un détecteur ; on se procure du fil de diamètre variable depuis 0^{mm} 01 jusqu'à 0^{mm} 03 (1). Les fils fins ou à la Wolaston ont été étirés dans une enveloppe d'argent. Il

(1) On trouve de ce fil chez Heraus, à Hanau, et à Paris, chez Quenessen, 56, rue Montmartre. La maison Ducretet, à Paris, fabrique et livre au public d'excellentes pointes qui donnent toute satisfaction.

faut dissoudre cette enveloppe dans l'acide azotique avant le montage (fig. 27). On étire un tube de verre de faible diamètre en laissant une ouverture suffisante pour le passage du fil. On introduit alors dans la cavité un morceau de fil suffisant pour qu'il dépasse des deux côtés. On ferme le tube à la lampe et on rassemble du verre à l'extrémité, en faisant tourner cette extrémité dans la flamme. On coupe ensuite le bout du fil qui dépasse et on l'arrase en l'usant sur du papier de verre très fin. Si l'on dis-

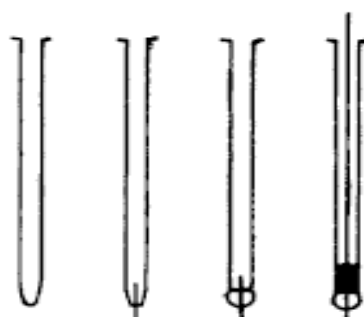


Fig. 27.

pose d'un microscope, on s'assurera que le fil ne présente pas une surface rugueuse ou un champignon d'aplatissement à son extrémité. On verse alors quelques gouttes de mercure à l'intérieur du tube et on établit le contact avec le reste du circuit au moyen d'un fil de cuivre.

M. Bey, contrôleur des signaux électriques à la Compagnie de l'Est, indique la méthode suivante pour l'obtention d'un bon détecteur.

On se procure un fil de platine de 5/100^e de millimètre, que l'on étire aussi fin que possible : dans un

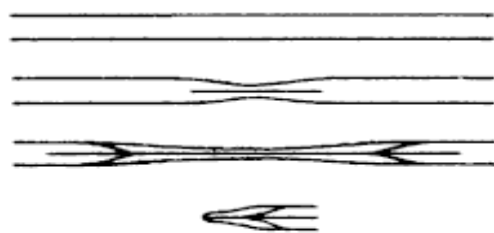


Fig. 28.

tube de verre, que l'on a travaillé à la lampe pour lui donner l'étranglement représenté ci-contre, on place un morceau de ce fil (fig. 28). On chauffe le tout, puis on laisse refroidir de telle façon que

le fil soit bien noyé dans la masse du verre. Ensuite, à l'aide d'un mince jet de flamme, on ramène au rouge la partie médiane du tube dans laquelle le fil de platine est emprisonné, et on étire légèrement ; le fil s'allonge et son diamètre diminue.

Après une série d'opérations de ce genre, on examine à quel endroit du tube le fil a été le plus réduit, et on casse en ce point II ; ce qui donne ainsi deux tubes. En frottant l'extrémité de la cassure sur de la toile émeri fine, on amène le fil à effleurer rigoureusement l'extrémité du tube (9).

Le diamètre de la seconde électrode peut être absolument quelconque. Les expériences avec des électrodes de différentes surfaces n'ont pas donné de résultats suffisamment probants.

La concentration du liquide n'a pas une très grande influence. Celle qui correspond au maximum de conductibilité, ou 1/10^e en volume environ, convient bien à la construction du détecteur.

L'expérience a montré la nécessité de bien isoler les deux électrodes l'une de l'autre dans un bouchon de paraffine ou d'ébonite. Si, à l'endroit où les deux fils traversent le bouchon, il s'est produit entre eux du *grimpage* de sel ou d'acide, le fonctionnement est altéré.

La seconde électrode n'est pas nécessairement en platine. M. Jegou la construit en plomb. Un vase de plomb servant de *cathode* contient le liquide et la seconde électrode ou bien encore on entoure la pointe sensible d'un gros fil de plomb. Le fonctionnement de ce détecteur ne diffère du précédent que par la force électromotrice utilisée pour la sensibilité maxima.

Théorie. — Le détecteur électrolytique n'est donc autre chose qu'un *voltamètre à électrodes de platine dissymétriques*.

Quand un voltamètre a ses électrodes de platine symétriques, c'est-à-dire de même surface, la force électromotrice nécessaire pour produire l'électrolyse visible avec dégagement de bulles gazeuses, a une valeur bien déterminée voisine de 1^v 56. Pour cette valeur de la force électromotrice, on voit se dégager

de l'*oxygène* sur l'électrode par où le courant entre ou *anode* et de l'*hydrogène* sur l'électrode par où le courant sort ou *cathode*. (L'anode est en communication avec le pôle positif de la source électrique, pile ou accumulateur, la cathode est reliée au pôle négatif.)

Mais si les électrodes ont des surfaces très différentes (pointe fine et lame ou gros fil), la force électromotrice pour laquelle l'électrolyse visible a lieu est toute différente. Pour 1^v,08 il y a déjà sur la pointe une électrolyse, avec apparition de bulles visibles au microscope. Le temps pendant lequel l'électrolyse dure dépend du rapport des surfaces des électrodes ; il peut atteindre plusieurs heures si la grande électrode a plusieurs décimètres carrés de surface.

Pendant que ce dégagement de bulles a lieu, la petite électrode est déjà polarisée : si le dégagement dure aussi longtemps, cela tient à ce que l'électrode large n'est pas encore polarisée. Lorsqu'elle le sera complètement, le dégagement cessera ; c'est pourquoi il dure d'autant moins que la seconde électrode est de dimension plus voisine de celle de la petite.

Pour montrer que cette explication est exacte, il suffit, quand la polarisation est atteinte, de sortir la grande électrode, de la chauffer dans une flamme, de laisser refroidir, puis de la remettre en place. L'électrolyse reprend aussitôt, sans qu'on ait eu besoin de toucher à la pointe fine complètement polarisée.

Ces phénomènes se produisent dans le détecteur : si, après sa fabrication, on établit entre les électrodes une force électromotrice croissante en intercalant un galvanomètre dans le circuit, on obtient un accroissement subit du courant, accusé par le galvanomètre, dès qu'on atteint une force électromotrice un peu supérieure au volt. Le courant diminue ensuite d'autant plus vite que les deux électrodes sont de dimensions plus voisines.

Il faut d'ailleurs remarquer que, si ces phénomènes se produisent aussi bien quand la pointe est anode ou cathode, *il existe néanmoins une dissymétrie complète entre la polarisation anodique et la polarisation cathodique du platine* ⁽¹⁰⁾, comme le montrent les courbes de charge de ces électrodes relevées à l'oscillographe. La polarisation cathodique est immédiate, la polarisation anodique exige un certain temps. Si donc un courant alternatif traverse un voltamètre dissymétrique, deux alternances successives de signes contraires ne détruiront pas exactement leurs effets et un train d'ondes passant dans le voltamètre y produira une polarisation dans un sens déterminé. Le voltamètre polarisé, fermé sur le circuit d'un galvanomètre, donne naissance à un courant continu de la pointe fine vers la large électrode à l'intérieur du voltamètre (fig. 29).

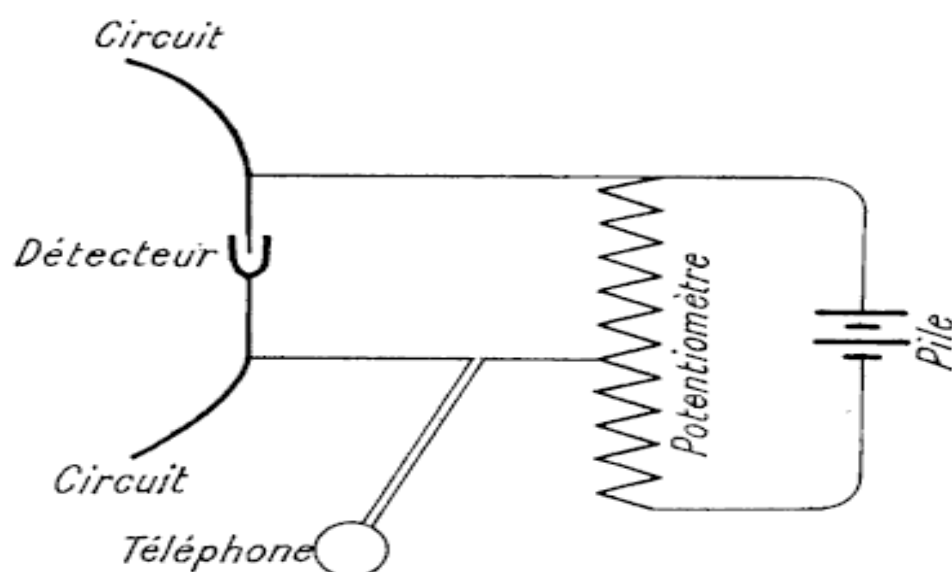


Fig. 29.

Or, le détecteur électrolytique s'emploie, en télégraphie sans fil, aux grandes distances, avec une force électromotrice auxiliaire. On met aux bornes, en dérivation, un *potentiomètre* ou *compensateur* dont on peut régler la force électromotrice à volonté.

Le voltamètre est donc constamment polarisé par la force électromotrice extérieure. Les ondes ont pour effet de le dépolariser partiellement. Elles le dépolarisent de telle manière que, chaque fois, c'est toujours la force électromotrice extérieure qui fournit l'énergie nécessaire pour le polariser à nouveau. C'est ce courant de recharge qui sera indiqué par un galvanomètre ou un téléphone placé dans le circuit.

Bien que l'on puisse employer fréquemment la pointe comme *cathode*, le détecteur électrolytique fonctionne mieux lorsque la pointe est *anode*.

Ce fait est en relation avec la dissymétrie entre les polarisations anodique et cathodique, les courants de polarisation anodique sont plus intenses.

Le détecteur électrolytique ne fonctionne normalement que si la force électromotrice appliquée aux électrodes est inférieure à celle qui produit l'électrolyse continue. Dans le cas contraire, on est gêné par le dégagement des bulles de gaz. Cette force électromotrice est naturellement variable, d'après ce qui précède, suivant la construction du voltamètre, les dimensions de la petite et de la large électrode, la concentration du liquide, la température, l'état d'agitation du liquide, etc... ; en résumé, suivant les conditions dans lesquelles le dégagement visible du gaz peut avoir lieu.

Des expériences nombreuses que nous avons faites, il résulte que l'on peut entendre les communications de la Tour Eiffel à étincelles rares ou crépitantes avec des forces électromotrices variables dans d'assez larges limites. Mais la réception des transmissions musicales comme celle de Norddeich exige une force électromotrice bien déterminée. Aussi est-il bon, pour effectuer les montages en dérivation ou en induction, de construire tout d'abord un *potentiomètre*.

Potentiomètre. — Le *potentiomètre* permet de réaliser des forces électromotrices variables à volonté.

Le plus simple consiste en un fil résistant A B en communication avec les deux pôles d'un ou plusieurs accumulateurs (fig. 30).

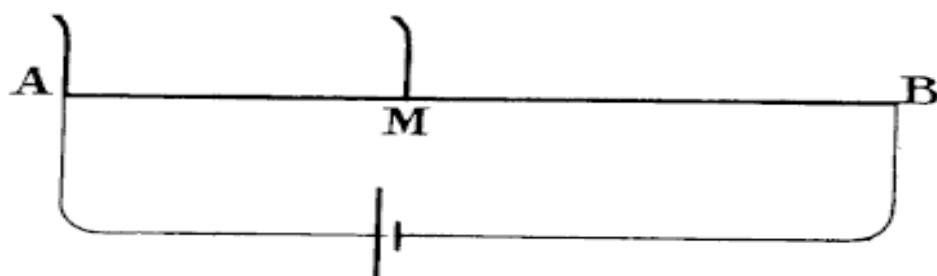


Fig. 30.

Un curseur mobile M permet de faire une prise de potentiel variable entre les points A et M.

Si l'on réunit A et M aux bornes du détecteur, il suffira de déplacer le curseur M pour faire varier la force électromotrice appliquée au détecteur. Cette force électromotrice dépend à peu près du rapport des résistances comprises sur le fil entre AM et AB.

Le détecteur électrolytique a une grande résistance. Il est nécessaire que le potentiomètre ait lui-même une résistance notable pour que le fil AM ne le mette pas en court circuit.

Voici la forme commode qu'on peut lui donner. On le constitue par douze bobines de même résistance en série de 2 à 10 ohms chacune, en fil de maillechort isolé. Ces bobines sont fixées sous le couvercle d'une boîte en bois. A l'extérieur du couvercle les extrémités des bobines aboutissent à des fiches métalliques disposées autour d'un cercle de telle manière qu'une bobine soit intercalée entre deux fiches consécutives. Une manette mobile autour du centre du cercle établit le contact entre une borne M fixe et l'une quelconque des touches.

Les deux fiches extrêmes A et B communiquent avec les pôles d'une série de deux accumulateurs; les fiches A et M servent à établir la force électro-

motrice variable entre les bornes du détecteur par l'intermédiaire d'un téléphone (1) (fig. 31).

L'ensemble du détecteur électrolytique du téléphone et du potentiomètre remplacera donc le détecteur D des figures 23, 24, 25.

Quelle que soit la théorie exacte du détecteur

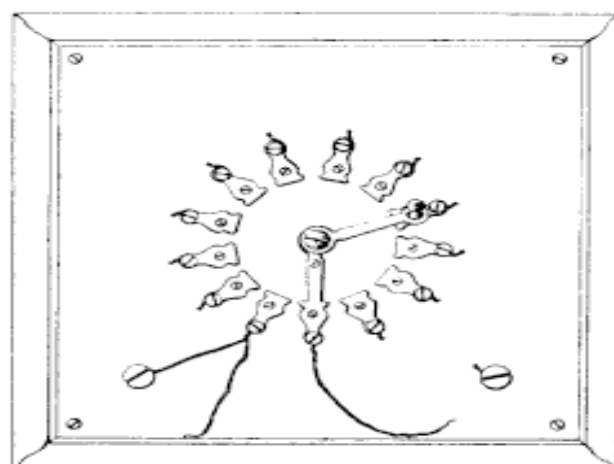


Fig. 31.

électrolytique, l'expérience montre que le téléphone accuse le passage des ondes dans le circuit de résonance des postes en dérivation ou en induction et par suite ces montages permettent de recevoir *les dépêches de télégraphie sans fil au son* suivant l'expression consacrée. Quelles sont maintenant les conditions que doit remplir le téléphone ?

Téléphone. — Le détecteur ayant une résistance élevée, il est bon d'utiliser des téléphones à grande résistance, tels qu'ils sont construits par la maison Ducretet (4.000^{Ω}), la Société des Téléphones (de 1.000 à 4.000^{Ω}). On pourra, suivant le nombre que l'on désire mettre en série ou en quantité, faire

(1) Avec l'appareil précédent, on obtient aux diverses touches des forces électromotrices voisines de $0^{\text{v}} 33$, $0^{\text{v}} 65$, $0^{\text{v}} 98$, $1^{\text{v}} 32$, $1^{\text{v}} 64$, $1^{\text{v}} 97$, 2 volts, $2^{\text{v}} 63$, $2^{\text{v}} 92$, $3^{\text{v}} 16$, $3^{\text{v}} 33$, $3^{\text{v}} 47$.

varier la résistance de 1.000 à 4.000 Ω . On peut parfaitement mettre deux téléphones de 4.000 Ω indifféremment en série ou en quantité.

Ces téléphones présentent pourtant l'inconvénient d'être coûteux. La Société des Téléphones construit un modèle courant (150 Ω) qui permet déjà d'entendre convenablement en le plaçant directement dans le circuit. Mais si l'on veut utiliser ces téléphones dans les meilleures conditions, on peut avoir recours à l'artifice, qu'ont employé plusieurs physiciens, et qu'a publié pour la première fois M. Jegou ⁽²¹⁾ : dans le circuit du détecteur, on met le primaire à grande résistance d'un petit transformateur enroulé sur noyau de fer doux (150 Ω).

Aux bornes du secondaire à faible résistance (1 Ω) on attache autant de téléphones à faible résistance (150 Ω) que l'on voudra.

Ce dispositif donne des résultats comparables à ceux des téléphones à 4.000 Ω . Il devient plus économique si l'on emploie un grand nombre de téléphones pour faire entendre les communications simultanément à plusieurs personnes.

Condensateur en dérivation aux bornes du détecteur. — Le détecteur à grande résistance, placé dans le circuit de résonance, nuit au passage des oscillations électriques et produit un amortissement des ondes. Afin de remédier à cet inconvénient, on place souvent en dérivation sur les bornes du détecteur un petit condensateur formé par deux tubes de laiton coaxiaux. Dans ces conditions, les ondes peuvent circuler dans un circuit de résonance qui ne comprend que des selfs et des capacités. Le montage est alors représenté par la figure suivante (cas de la dérivation) (fig. 32). L'addition de ce condensateur augmente beaucoup la netteté de la réception. Mais on peut s'en passer entièrement grâce au montage ci-contre.

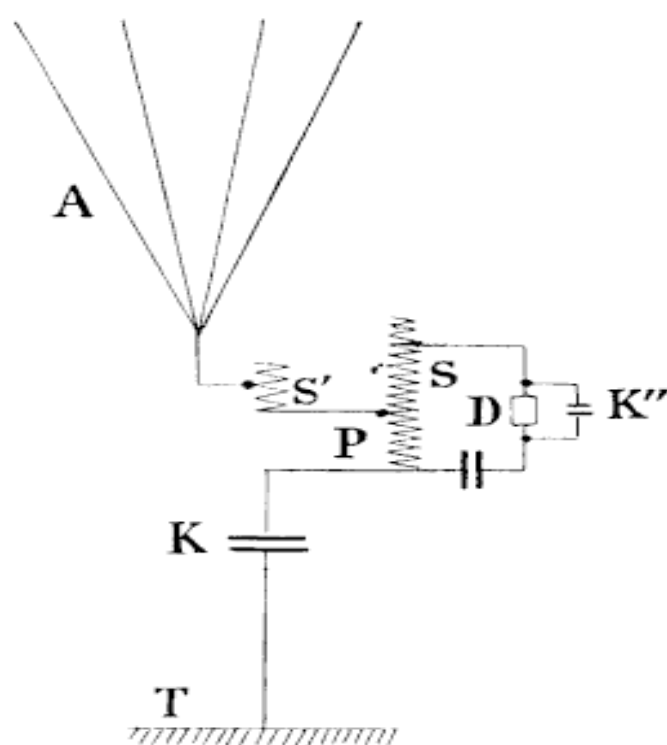


Fig. 32.

Emploi de piles sèches. Dispositif à un seul circuit oscillant avec détecteur en dérivation. — Deux piles sèches hydra en série fournissent une force électromotrice à peu près convenable pour le bon fonctionnement du détecteur. Étant donnée une antenne accordée à l'aide d'une self en relation avec le sol, on établit entre le sol et l'extrémité de la self une dérivation comprenant le détecteur, le téléphone, et les deux piles en série. Le pôle positif de la pile communique avec la pointe du détecteur (fig. 33).

On entend alors les communications avec une intensité remarquable telle qu'aucun autre montage ne peut la donner. Quand les oscillations d'un train d'ondes parcourent l'antenne, il s'établit entre le sol et l'extrémité de la self une différence de potentiel qui produit la dépolarisation du détecteur. Les piles fournissent le courant nécessaire pour le polariser à nouveau.

Ce montage n'est bon que si, entre l'extrémité de la self et le sol, il s'établit une différence de potentiel suffisante. Il faut donc s'arranger de telle manière que l'accord soit obtenu avec une antenne et une

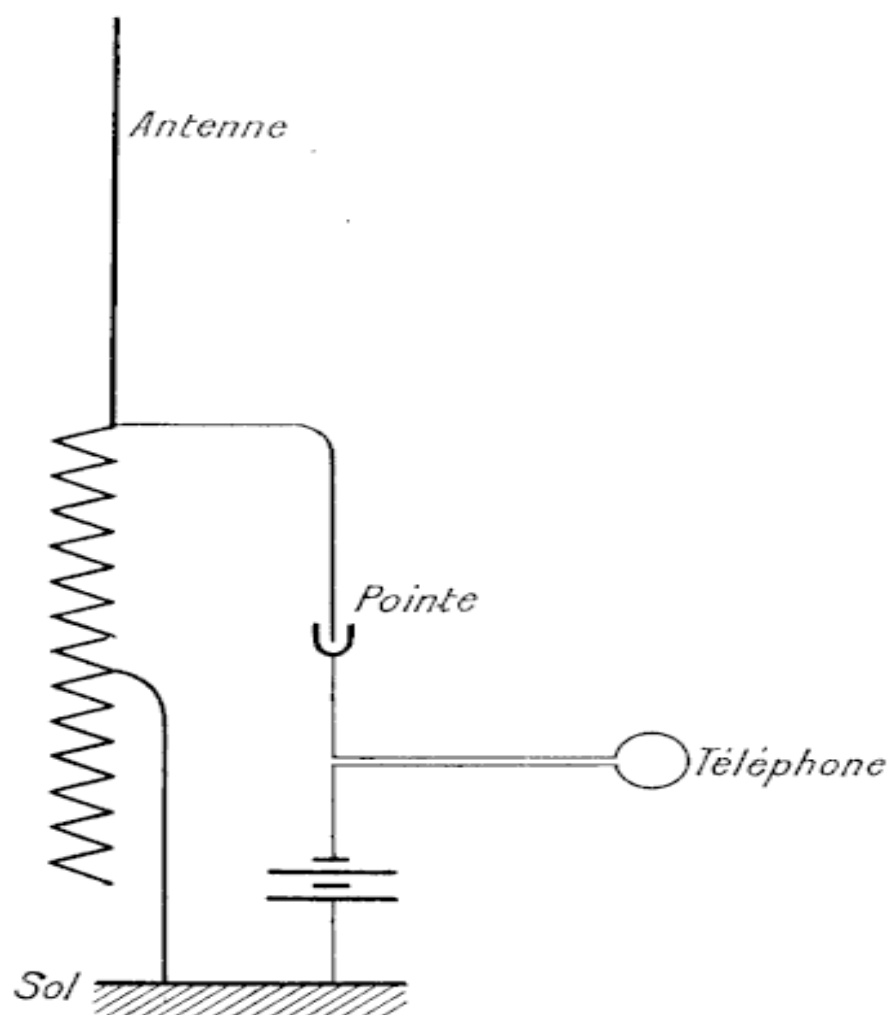


Fig. 33.

self convenable. Comme on le verra dans les descriptions pratiques (page 77), ce montage convient parfaitement pour les réceptions de FL avec de toutes petites antennes.

Emploi du galvanomètre balistique. — Si l'on veut, non pas comprendre une dépêche, mais

comparer les effets produits au détecteur par une seule étincelle de décharge ou par un train d'ondes, on peut substituer au téléphone un galvanomètre balistique, réglé à l'amortissement critique. Par exemple, avec un galvanomètre Hartmann et Braun à deux enroulements de 4^{Ω} et 1.000^{Ω} , on forme l'enroulement à faible résistance sur une résistance $6^{\Omega}15$.

Entre les bornes de l'enroulement à grande résistance on met un shunt universel, c'est-à-dire des résistances dont la somme est toujours celle qui correspond à l'amortissement critique (ici 5.000^{Ω})

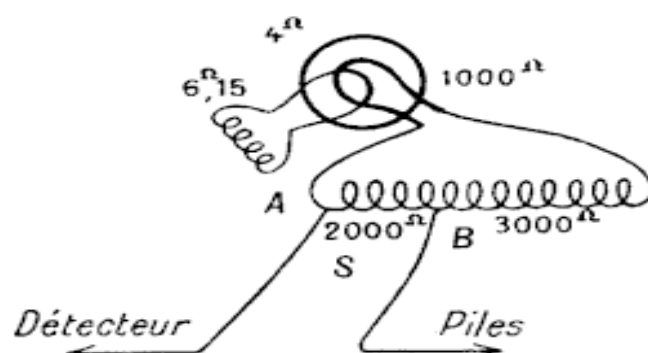


Fig. 34.

et telles cependant qu'on puisse shunter le galvanomètre avec des résistances variables. Le montage est indiqué dans la figure 34; le shunt S compris entre les points A et B vaut ici 2.000^{Ω} . Substitué dans le circuit du détecteur au téléphone, ce galvanomètre indique une déviation permanente due au courant de dépolarisation.

Toutes les fois qu'un train d'ondes est recueilli, le galvanomètre accuse une augmentation de la déviation permanente dans le sens du courant fourni par la pile.

Appareils du commerce. — On trouve tout montés dans le commerce des appareils où les inventeurs ont cherché à obtenir la résonance dans un

circuit comprenant en série le résonateur, le détecteur, le téléphone et la pile formée de deux éléments sans potentiomètre.

Un premier circuit comprend l'antenne et une partie de la self. La self entière constitue le circuit de résonance ; c'est en somme un montage en dérivation où le condensateur a été supprimé et où le détecteur et les piles sont mis en série avec la self de résonance (fig. 35).

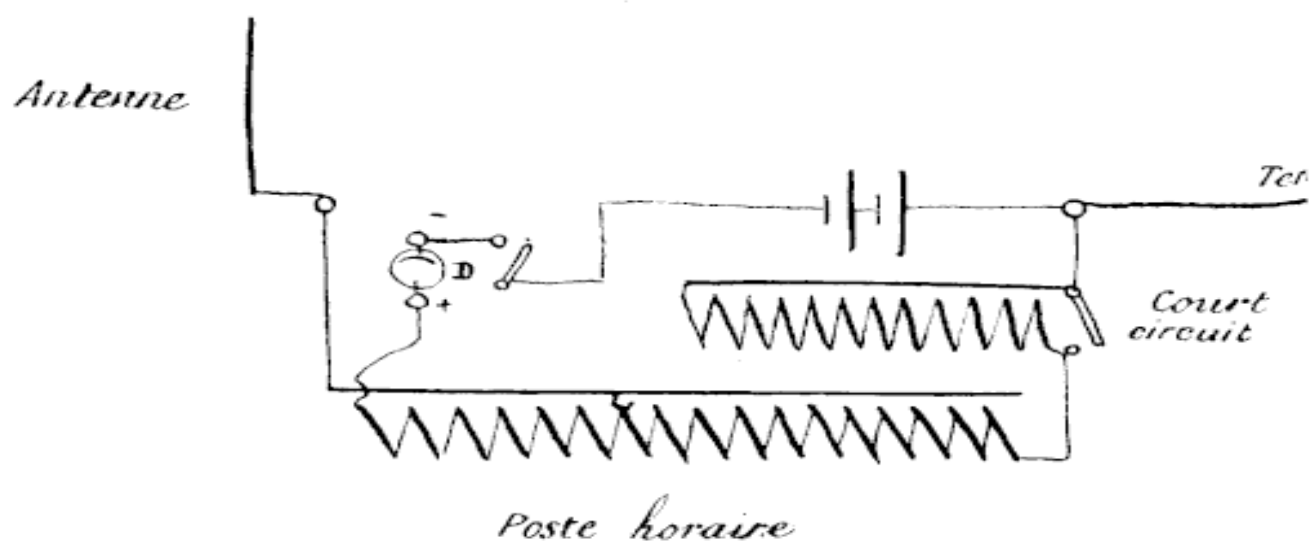


Fig. 35.

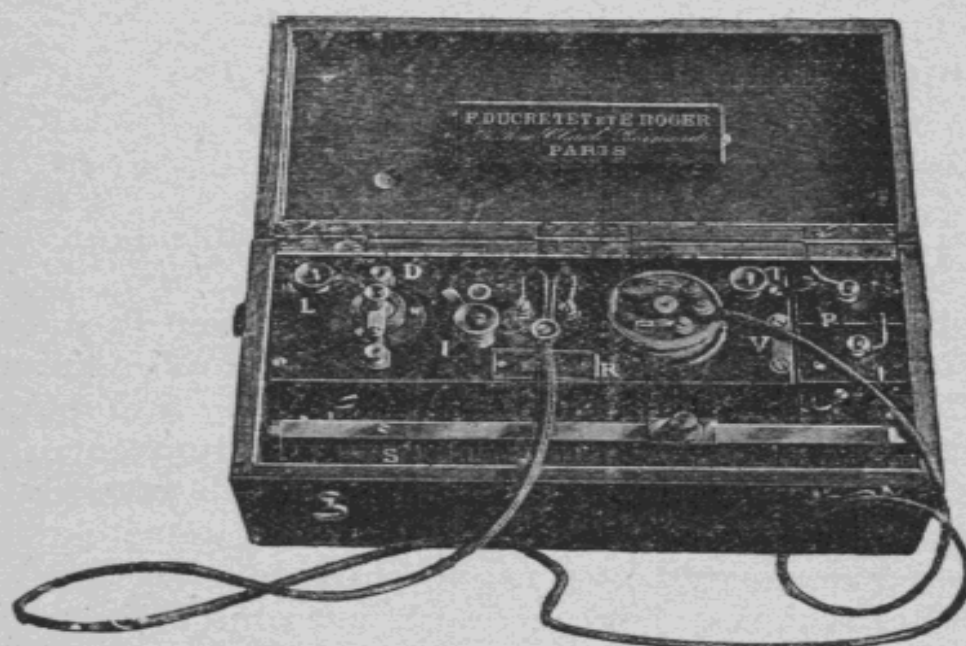
La figure 36 représente l'ensemble de l'appareil Ducretet.

Tels sont les récepteurs de signaux horaires de MM. Ducretet et Roger, de Paris d'une part, et Jegou, de Sablé-sur-Sarthe d'autre part, qui donnent de bons résultats. La théorie exacte de ces appareils, bien que plus compliquée, se rapproche de celle du dernier montage exposé.

Historique. — Le principe du détecteur électrolytique a été indiqué par M. le commandant Ferrié au Congrès international d'Électricité en 1900. Il le considérait comme une sorte de cohéreur à contact unique, dont une des électrodes serait constituée

par l'électrolyte. L'appareil décrit au Congrès était constitué par une pointe très fine en platine affleurant la surface d'un liquide contenu dans un vase de verre. Dans le liquide plongeait un fil de platine de section quelconque. A l'origine, le fil de platine était fixé à une vis qui permettait d'assurer l'affleurement au liquide.

Cette forme d'appareil avait l'inconvénient de nécessiter des réglages fréquents, le niveau du



Communiqué par F. Ducretet et Roger.

Fig. 36.

liquide variant par l'évaporation. En outre, les moindres vibrations troublaient le fonctionnement de l'appareil, les mouvements du liquide faisant varier la surface immergée.

M. Ferrié évite ce dernier inconvénient en soudant le fil de platine à l'intérieur d'un tube de verre qu'il ne dépasse que d'une faible longueur pénétrant dans le liquide. On a vu que pratiquement on fait affleurer le fil à la surface du tube de verre. Les détecteurs électrolytiques ne se dérèglent que très

lentement. Ils peuvent fonctionner, sans qu'on y touche, pendant des mois. Pourtant à la longue, il peut arriver que l'on soit gêné par le bruit de l'électrolyse pour des forces électromotrices auxquelles précédemment l'électrolyse n'avait pas lieu. Il suffit de retirer la pointe et de la laisser reposer, sans s'en servir, pendant quelques jours pour que le platine reprenne ses propriétés premières.

Toutefois si l'on n'a pas d'électrode de rechange, et que l'on soit pressé de l'utiliser à nouveau, on peut user la pointe et le tube de verre qui l'entoure sur du papier de verre très fin.

3° Détecteurs à contacts solides.

Comme on vient de le rappeler, le détecteur électrolytique peut être considéré comme une sorte de cohéreur à un seul contact imparfait; bien que moins sensible, tout contact imparfait peut remplir le même office. Un général américain Dunwoody a remarqué qu'en serrant un cristal de carborundum entre les pointes métalliques, on constituait un détecteur.

Quelques auteurs pensent que des détecteurs de ce genre doivent être rapprochés de piles plus ou moins sèches qui se polariseraient sous l'action des ondes, ou encore d'éléments thermo-électriques qui s'échaufferaient.

Les principaux types de détecteurs à conduits solides sont les suivants :

1° Le *carborundum*, *carbone* : Pastille de carborundum maintenue dans une pince au contact d'un petit crayon de charbon qu'un ressort ou une vis appliquent contre la pastille. Ce détecteur s'emploie comme l'électrolytique avec deux piles sèches en série et un téléphone à grande résistance (fig. 37);

2° *Pyrite de fer*, *cuivre* : Monté comme le précédent, ce détecteur s'emploie sans pile avec un téléphone de 500 ohms en dérivation;

3° *Sulfure de cuivre, oxyde de zinc fondu* : Ce détecteur de M. le commandant Tissot ⁽¹²⁾ est du type « rectifiant ». Il se compose d'une électrode fine, constituée par du sulfure de cuivre encastré dans un godet de laiton, sur lequel est appuyée par la pression d'un ressort l'électrode mobile dont le mouvement est réglé par un piston. L'électrode mobile est constituée par un fragment d'oxyde de zinc fondu enchâssé dans un culot métallique à l'aide

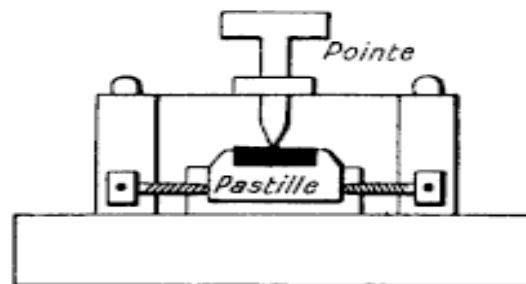


Fig. 37.

d'alliage Darcet. Le détecteur est protégé par un étui cylindrique de laiton. Cet étui, qui est emmanché à baïonnette sur le socle et que l'on doit enlever pour procéder au réglage du détecteur, lors de la mise en service, peut tourner autour de son axe d'un angle de 30° dans un sens ou dans l'autre, afin de mettre les électrodes en court circuit ;

4° *Galène et fil de platine* ⁽¹³⁾ : Le cristal de galène a 3 ou 4 millimètres de long dans sa plus grande dimension. Sur sa surface appuie légèrement la pointe du fil de platine Pt (longueur 3 centimètres, diamètre 1/10^e de millimètre). On emploie ce détecteur sans pile, comme dans le montage à un seul circuit oscillant, c'est-à-dire qu'on dérive entre la self de réglage et le sol un circuit comprenant le détecteur et des téléphones à résistance moyenne en série ; ce détecteur est recommandable pour la région parisienne ;

5° *Sulfure de plomb-cuivre* ⁽¹⁴⁾ : Ce détecteur de

M. Flajolet s'obtient en chauffant pendant deux à quatre minutes, dans une petite coupelle de porcelaine, fermée par un bouchon de même matière, 5 grammes de plomb et 13 de soufre. On a ainsi du sulfure de plomb pulvérulent contenant un assez fort excès de soufre qui le rend moins friable.

Ce corps est serré dans une pince métallique qui forme l'une des prises de contact, l'autre est constituée par quelques brins de fils de cuivre fins portés par une lame-ressort (fig. 37).

Le détecteur ainsi obtenu, constituant un couple thermo-électrique très énergique, a une résistance qui reste, pour tous les échantillons étudiés, comprises entre 200 et 300 ohms. D'après l'auteur, sa sensibilité est, dans la plupart des cas, égale ou supérieure à celle des détecteurs électrolytiques, et pour les signaux de la Tour Eiffel à Lyon (460 km. de Paris) les courants qu'il envoie dans un circuit de 800 ohms de résistance valent $1/5^e$ de microampère. M. Flajolet se sert de ce détecteur avec antenne horizontale de 4 brins de 85 mètres de longueur, 2 millimètres de diamètre, à 15 mètres du sol ; il emploie le montage en dérivation en mettant les appareils récepteurs en dérivation sur le condensateur.

CHAPITRE VII

CONSTRUCTION DE DIVERS POSTES DE RÉCEPTION

Ce chapitre sera consacré à la construction d'un certain nombre de postes de réception très simples et l'on y trouvera des données numériques suffisantes pour effectuer leur montage sans s'exposer (1) à de fausses manœuvres.

1. — Montage à circuit oscillant unique.

1^o ÉTABLISSEMENT D'UN POSTE SIMPLE COMPLET PORTATIF. — Ce poste fonctionne dans d'excellentes conditions avec une antenne très réduite (1); à une distance de Paris supérieure à 300 kilomètres, il a permis de lire entièrement la dépêche météorologique de la Tour Eiffel, d'abord sur une colline de Nancy, la Foucotte (environ 300 mètres d'altitude), puis près de Saint-Dié, dans les Vosges, à Saint-Michel-sur-Meurthe (500 mètres d'altitude environ). L'antenne est un fil de cuivre unique de 2 millimètres de diamètre, de 20 mètres de longueur, suspendu à l'aide d'un ou deux anneaux de porcelaine (supports isolants du commerce) servant aux électriciens pour la pose des fils à l'extrémité d'un support de quelques mètres de hauteur (arbre,

(1) Voir p. 70, le schéma du montage (fig. 33).

poteau, bambou de canne à pêche de 5 à 6 mètres tenu au bout du bras). La distance au-dessus du sol a même pu être considérablement abaissée.

On entend les dépêches en mettant une antenne de 15 à 30 mètres à 15 centimètres du sol seulement.

La self est formée de deux bobines cylindriques en carton avec joues de bois (diamètre $24^{\text{cm}} 5$, fil recouvert de deux enveloppes coton, diamètre $0^{\text{mm}} 7$ mesuré nu) (fig. 38).

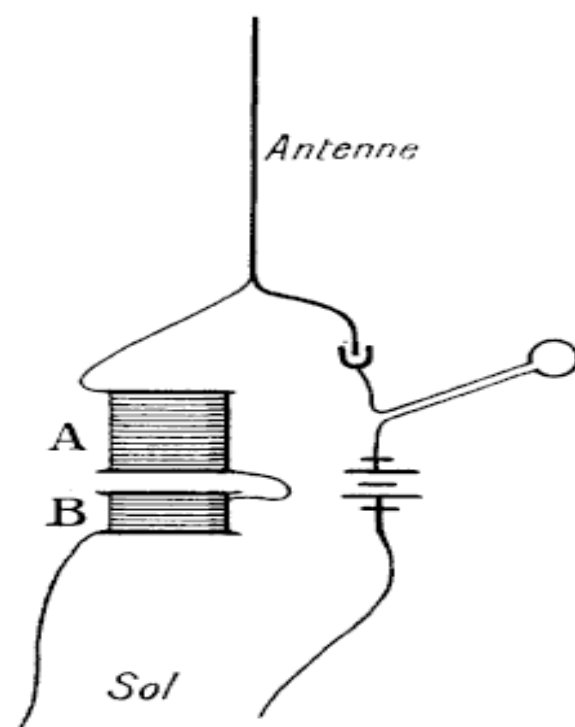


Fig. 38.

Les caractéristiques de ces bobines, que nous désignerons par les lettres A et B, sont les suivantes :

	Bobine A	Bobine B
Diamètre du cylindre	$24^{\text{cm}} 5$	$24^{\text{cm}} 5$
Longueur	$12^{\text{cm}} 5$	6^{cm}
Diamètre, fil de cuivre recouvert de deux enveloppes coton. . .	$0^{\text{mm}} 7$	$0^{\text{mm}} 7$
Nombre de spires.	115	55
Résistance mesurée	$4^{\Omega} 4$	$2^{\Omega} 1$
Self mesurée	$0^{\text{h}} 00335$	$0^{\text{h}} 0010$

Dans le circuit du détecteur électrolytique, qui est, comme on l'a vu plus haut, en dérivation sur la self, on met en série le détecteur, un téléphone, un commutateur (interrupteur à plots de tous les électriciens) et deux éléments de pile sèche. On veille à ce que le pôle positif de la pile communique avec le fil fin du détecteur. Tous ces instruments peuvent être placés dans une même boîte de très faible volume qui peut même être contenue à l'intérieur de la bobine A.

Quel que soit le montage adopté, on commencera par s'assurer que le pôle + de la pile communique avec le fil fin. Si l'on s'était trompé, on en serait d'ailleurs averti immédiatement par le bruit de l'électrolyse qui se produit alors abondamment. On s'assurera d'ailleurs que le circuit du détecteur est en bon état en ouvrant et fermant le commutateur. On doit entendre au téléphone le bruit de la fermeture.

Comme téléphone on peut prendre un téléphone à grande résistance, modèle Ducretet 4.000^Ω, ou plusieurs téléphones en série de résistance totale 1.000 à 4.000^Ω, ou encore un téléphone ordinaire à faible résistance 150^Ω de la Société des Téléphones, à la condition d'utiliser le transformateur de M. Jegou (1). Sur ce transformateur on peut mettre plusieurs téléphones en quantité permettant l'audition à plusieurs personnes simultanément.

Le poste que je viens de décrire est à peu près accordé pour une petite antenne simple de 20 mètres qu'il est possible d'établir n'importe où avec des moyens de fortune.

La longueur d'onde d'antenne varie suivant la longueur des fils de connexion, mais il est toujours possible de parfaire le réglage en approchant ou écartant les bobines A et B l'une de l'autre, ce qui fait varier la self de l'ensemble.

(1) Voir p. 68.

On peut encore régler en faisant varier légèrement la longueur d'antenne à l'aide d'une tringle à coulisse semblable aux tringles à rideaux.

C'est pour la facilité du réglage que les bobines ont été enroulées séparément. Si l'on est certain du réglage, on peut enrouler le fil sur une carcasse unique.

J'ai indiqué dans ce paragraphe la construction qui me semble la plus simple à réaliser. Il est évident que l'on peut substituer aux bobines précédentes une self réglable comme celle dont je décrirai plus loin la construction.

Expériences faites avec ce montage. — Un de mes correspondants, M. Tavenaux, de Sedan, après avoir entendu les réceptions à Nancy, a exécuté à Sedan un grand nombre d'essais dont les principaux sont résumés ici. Dans toutes ces expériences, les selfs sont formées par du fil de 5 millimètres enroulé sur du tube de 3 à 4 centimètres.

A. ANTENNES SUR LE SOL. — Un fil de sonnette de 30 mètres de long environ, a été plongé dans une mare de 15×50 mètres environ et posé sur le sol; il a été conduit à l'appareil de réception, à la borne antenne; un autre fil, également posé sur le sol, a été mis dans un ruisseau et relié à la borne terre. La réception des signaux horaires de la tour Eiffel, bien que faible, était nettement perceptible.

B. ANTENNES A L'INTÉRIEUR DE GRENIERS. — Dans des greniers recouverts en ardoise ou en tuiles, on prend comme antennes du grillage galvanisé de poulailler.

Avec un grillage dont les dimensions sont : 7 mètres $\times$ 0^m50 l'accord est obtenu avec 160 mètres du fil précédent enroulé sur du tube de 3 à 4 centimètres, et avec un grillage de 2 mètres $\times$ 0^m80 avec 250 mètres,

En prenant comme antenne un lit de fer de $0^m 90 \times 1^m 50$, il faut 180 mètres.

Avec 20 fils de cuivre de $7^m 50$, en couches superposées, écartés de 20 centimètres dans tous les sens, l'accord est obtenu avec 100 à 110 mètres.

La prise de terre était constituée, dans tous ces essais, par un fil intérieur fixé à la canalisation d'eau. Aucun fil n'était à l'extérieur.

Les antennes de 7 mètres $\times 0^m 50$, le lit de fer et les fils de cuivre permettent d'entendre la transmission musicale; l'antenne de 2 mètres $\times 0^m 50$ ne permet d'entendre que la transmission ronflée.

Dans l'église de Sedan, à la hauteur des toits des maisons voisines, séparées de l'église, sauf du côté de la façade, par des rues très étroites, sous les combles avec couverture en ardoise, deux fils de 50 mètres donnent l'accord avec 120 mètres, et du grillage de 20 mètres $\times 0^m 50$ avec 140 mètres. Les réceptions sont intenses sans terre, en prenant comme contrepoids l'horloge de l'église.

Poste du lycée Louis-le-Grand. — A Paris, la réception est infiniment plus facile qu'à distance. On verra plus loin (page 96) comment il est possible d'entendre avec antennes à l'intérieur des maisons.

Au lycée Louis-le-Grand, on emploie le montage précédent avec une antenne de 80 mètres formée par un fil nu de cuivre dont le diamètre a $0^{\text{mm}} 9$. Il part du sommet d'une tour où il est fixé à l'aide d'un bâton d'ébonite et aboutit au laboratoire de physique. La self est enroulée sur une caisse en bois à section carrée de 25 centimètres de côté. Du fil de sonnerie enroulé sur cette caisse forme une bobine de 50 spires. On cherche par tâtonnements la spire à laquelle il faut attacher le fil de sol pour obtenir la meilleure réception.

La seule différence consiste dans l'emploi du détecteur à galène-platine qui suffit à Paris bien

que moins sensible que l'électrolytique (Voir p. 74). Les récepteurs téléphoniques peuvent aussi être beaucoup moins sensibles que ceux qui ont été décrits. Les professeurs du lycée emploient les récepteurs ordinaires de la collection.

2° CONSTRUCTION D'UNE SELF RÉGLABLE UNIVERSELLE A CURSEURS. — Le mot *universelle* veut dire que cette bobine pourra servir à des usages multiples : 1° à l'établissement du montage à circuit oscillant unique dont on vient de donner la description ; 2° comme self d'accord dans le montage en dérivation ; 3° comme self d'antenne dans le montage en induction.

La section de la bobine est un octogone ; la carcasse s'obtient en construisant deux joues de bois octogonales un peu plus larges que la bobine elle-même, le côté de l'octogone ayant 7 centimètres de côté. Perpendiculairement à ces joues, on applique, en les collant ou clouant, deux planchettes à angle

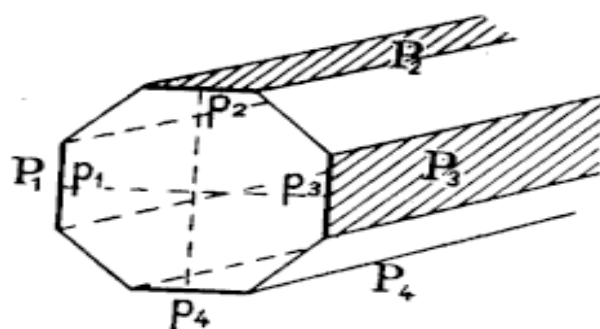


Fig. 39.

droit $p_1 p_3$, $p_2 p_4$. Sur le croisillon ainsi formé, on fixe perpendiculairement quatre planchettes, P_1 , P_3 , P_2 , P_4 parallèles aux côtés de l'octogone des joues (fig. 39). La construction de cette carcasse est très facile ; il est évident que l'on peut adopter la forme cylindrique si l'on dispose de tubes d'ébonite, de fibre ou de carton d'un diamètre suffisant, ou si l'on dispose d'un mandrin convenable permettant d'en-

rouler du carton ou des bandes de papier entrecroisées et collées qui, après séchage, présenteront une résistance suffisante. J'ai employé fréquemment cette forme polygonale, comme étant la plus facile à obtenir sous un diamètre quelconque.

La bobine ayant été enroulée, on arrête les extrémités du fil au milieu des joues où l'on fixe des bornes terminales, et on la recouvre d'une couche

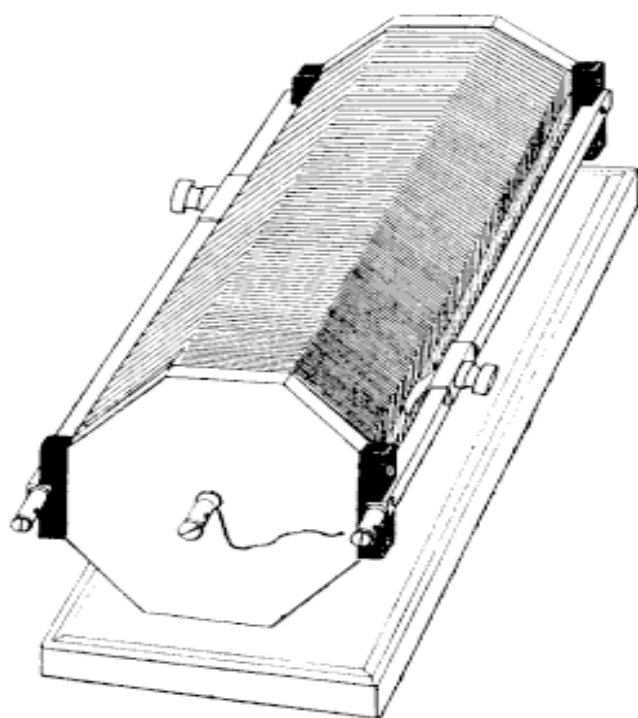


Fig. 40.

de vernis épais à la gomme laque, obtenu en dissolvant à refus de la gomme laque blonde dans de l'alcool à 95°. On laisse sécher, puis, à l'aide d'un grattoir, on enlève l'enveloppe de coton sur une largeur de 1 centimètre et dans toute la longueur de la bobine au milieu de faces P_1 et P_3 , comme l'indique la figure 40. Ces parties dénudées serviront à établir des contacts mobiles. On en met en général deux, indépendants, un sur chaque face, en prévision de divers montages dont on verra plus loin la descrip-

tion. Pour cela, on fixe sur les joues, sur la tranche des côtés p_1 et p_3 de l'octogone, des morceaux d'ébonite de 2 centimètres environ d'épaisseur, dans lesquels on a ménagé deux encoches rectangulaires destinées à l'introduction des extrémités de deux règles en laiton ou en aluminium à section carrée de 10 à 12 millimètres de côté (On trouve ces règles dans le commerce). A chacune d'elles, on fixe une borne et on attribue un curseur mobile. Celui-ci est formé d'un prisme creux de laiton, de section rectangulaire un peu plus grande que celle des règles de telle manière qu'on puisse introduire, entre la règle et le curseur, un morceau de ressort de réveil, afin de bien assurer le contact entre le prisme et la règle. En face de la partie dénudée de la bobine, entre la bobine et la règle, on fixe au prisme creux, à l'aide de petites vis, un morceau de ressort, à l'extrémité duquel on a soudé un fil cylindrique parallèle aux spires



Fig. 41.

de la bobine, d'un diamètre un peu plus grand que celui du fil de la self. Comme le montre la figure 41, le contact se fait alors très exactement entre le ressort et la bobine, condition très importante pour la bonne réception car, dans le cas contraire, on est gêné constamment par les variations de courant qui se produisent au contact imparfait.

Ce modèle de self, établi après bien des tâtonnements, peut être construit très facilement sous la forme définitive qui vient d'être indiquée avec les moyens dont on dispose dans un atelier d'amateur.

Voici les données numériques de trois des bobines que nous avons établies sur ce modèle :

Bobine C destinée aux faibles longueurs d'onde. —

Elle est formée de deux circuits en série, de diamètres différents, longueur totale : 45 centimètres ; longueur des spires : 51^{cm} 8 ; joues de 7 centimètres de côté,

1^{er} circuit : 89 spires de 1^{mm} 4 de diamètre.

Résistance 0^a 65; self, 0^h 00057.

2^e circuit : 202 spires de 1^{mm} 2 de diamètre.

Résistance 2^a; self, 0^h 0035.

Bobine D destinée aux longueurs d'onde moyennes. — Longueur : 45 centimètres; longueur des spires : 51^{cm} 8; enroulement total en fil de 1 millimètre mesuré nu, recouvert de deux enveloppes coton; résistance 3^a 7; self, 0^h 00513.

Bobine E. — Construite comme les deux précédentes, mais dont la section est un polygone de douze côtés. Longueur : 30 centimètres; longueur des spires : 95 centimètres; fil de 0^{mm} 8 de diamètre; résistance 7^a 4; self, 0^h 0128.

3^o USAGE DE CES SELFS DANS LE MONTAGE PRÉCÉDENT. — On peut utiliser la self C entière ou une fraction de D pour entendre la Tour Eiffel, en les substituant aux bobines A et B avec une antenne d'un fil unique de 40 mètres environ. Dans ce montage, on n'utilise qu'un des curseurs en laissant le second à l'extrémité de la bobine. L'antenne est fixée à la borne initiale de la bobine au milieu d'une des joues, le fil de sol est en relation avec le curseur mobile.

4^o USAGE DE CES SELFS AVEC L'ANTENNE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE NANCY(1). — Avec cette antenne, déjà importante, on entend la Tour Eiffel avec une petite portion des bobines C et D. Avec C, l'enroulement à gros fil suffit; avec D, on utilise environ le quart de la bobine.

La bobine E est surtout destinée aux très grandes longueurs d'onde.

C et D permettent d'entendre sans difficulté les postes de Norddeich; FL, Poldhu, Cliffden.

La bobine B est tout accordée pour la Tour Eiffel

(1) Voir la description p. 35.

et permet de l'entendre avec une très grande intensité.

La station de Norddeich s'entend d'une manière très intense avec 44 spires de fil de 1 millimètre de diamètre recouvert de deux enveloppes coton, mesuré nu, enroulées sur une couronne de carton de 25 centimètres de diamètre. Sa résistance est 0^m8 , sa self 0^h00072 (1).

D'une manière générale, les bobines accordées définitivement sur une station donnent une audition plus intense que les bobines à curseur dont une portion n'est pas utilisée. Il est vraisemblable que des oscillations circulent dans la partie restante de la bobine et peuvent y produire des phénomènes d'interférences.

II. — Montage en dérivation.

Suivant les stations à entendre, le montage en dérivation a été utilisé avec la grande antenne avec les bobines C, D et E. C'est D qui a servi le plus fréquemment et qui convient pour Eiffel, Norddeich et Poldhu.

Il est nécessaire ici d'utiliser un ou plusieurs condensateurs. Ces condensateurs se construisent aisément avec des feuilles de laiton, de zinc ou d'aluminium, séparées par du papier paraffiné (feuilles de papier ordinaires trempées dans de la paraffine bouillante).

CONDENSATEUR C_1 . — On obtient à peu près $1/1.000^e$ de microfarad en réunissant en *batterie* six feuilles carrées de zinc d'un côté, cinq feuilles de l'autre, séparées par du papier paraffiné et ayant

(1) La longueur d'onde des stations étrangères varie fréquemment. Les réglages indiqués ici sont susceptibles de légères modifications.

12 centimètres de côté. Le tout est solidement serré par de la ficelle paraffinée. Les armatures de noms contraires aboutissent à deux bornes.

CONDENSATEUR C_2 . — Pour pouvoir modifier la capacité, on a établi un condensateur de ce genre, mais dans lequel les armatures sont réunies de la manière suivante à des bornes isolées sur ébonite.

1° Les cinq armatures paires communiquent ensemble avec une borne O ; 2° l'armature 1 communique avec une borne a , l'armature 2 avec b , l'armature 3 avec c ; 3° les armatures 4, 5, 6 communiquent ensemble avec la borne d . Des verrous $a' b' c' d'$ permettent de faire communiquer chacune de ces bornes avec celles qui sont placées en regard et que l'on réunit métalliquement au point d'attache du circuit. Les bornes $a b c d$ étant en relation métallique avec O , la capacité du système est nulle.

En isolant a et fermant le verrou a' on introduit

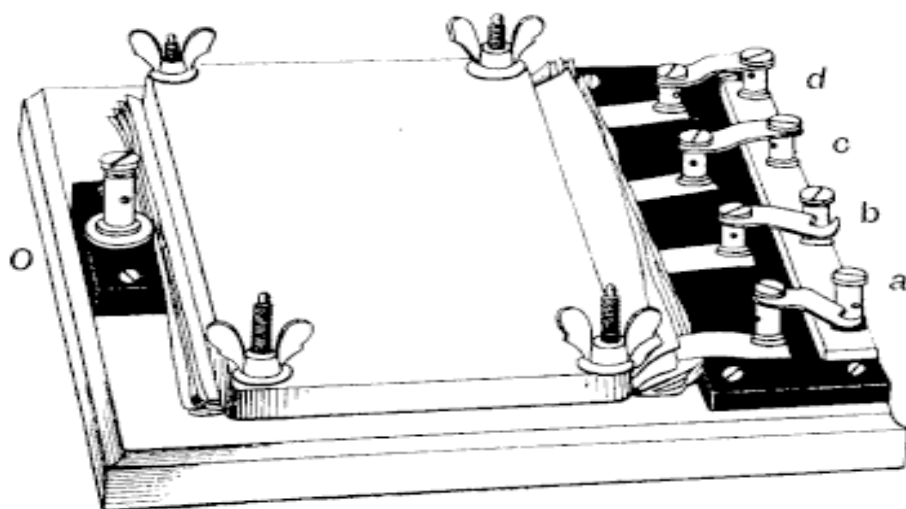


Fig. 42.

la capacité formée par deux plaques en regard ou un condensateur plan. En isolant b et fermant le verrou b' on introduit deux condensateurs égaux au précédent; le verrou c' correspond encore à deux condensateurs, le verrou d' à 5 (fig. 42). On a donc

des condensateurs disposés comme les poids marqués d'une boîte, la capacité variant de 1 à 10.

Bien que les plaques métalliques et le papier paraffiné soient serrés entre deux plaques de bois au moyen de vis de métier, la construction n'est pas assez précise pour qu'on puisse obtenir des capacités proportionnelles aux nombres des plaques en jeu.

La mesure nous a en effet donné pour les différentes touches :

Borne	<i>a.</i>		$1/1,900^e$	de microfarad.
—	<i>b.</i>		$1/840^e$	—
—	<i>c.</i>		$1/820^e$	—
—	<i>d.</i>		$1/400^e$	—

CONDENSATEUR C_3 . — Pour obtenir une variation continue de la capacité, on peut utiliser un condensateur cylindrique ; un tube de laiton de 10 centimètres de diamètre et de 20 centimètres de hauteur est fixé verticalement par des cales d'ébonite sur une planche. Suivant son axe on a disposé une règle de bois le long de laquelle on peut déplacer à frottement un second cylindre recouvert de papier paraffiné s'adaptant à l'intérieur du premier (fig. 43). A cet effet le second cylindre est fermé à la partie supérieure par une plaque d'ébonite munie de ressorts frottant contre la règle. La capacité est maxima quand le cylindre est enfoncé au maximum.

Cet appareil facile à construire fournit une capacité maxima de $6/10,000^e$ de microfarad, c'est-à-dire un peu plus grande que celle qui correspond à la touche *a* du condensateur précédent, et il en résulte que l'ensemble des condensateurs C_2 et C_3 permet d'obtenir une valeur quelconque de la capacité depuis zéro jusqu'à environ $1/200^e$ de microfarad.

CONDENSATEUR C_4 . — Il est particulièrement commode d'avoir pour les montages où les capacités

interviennent, outre ces appareils de fortune, un bon condensateur à capacité variable progressant graduellement et d'une façon ininterrompue. Le modèle construit par la Société radiotélégraphique est cons-

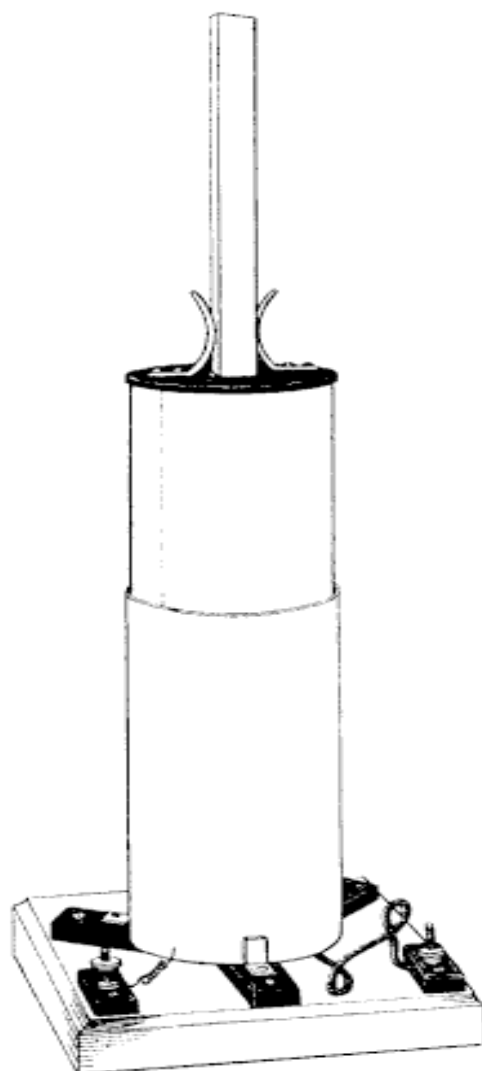


Fig. 43.

titué par des demi-cercles parallèles, mobiles autour d'un axe, se déplaçant entre des demi-cercles fixes. Le tout est enfermé dans une boîte isolée à l'ébonite. Un bouton extérieur permet de faire varier la capacité repérée en même temps par un index mobile sur une graduation en demi-cercle de 0 à 180.

On dresse à l'avance un tableau donnant les valeurs des capacités correspondant aux différentes divisions de 5 en 5.

Dans le montage en dérivation, il est bon d'employer au lieu de piles dans le circuit du détecteur un potentiomètre permettant de faire varier la force électromotrice appliquée au détecteur comme on l'a indiqué page 66.

En outre, il est utile de mettre en dérivation aux bornes du détecteur un petit condensateur de faible capacité formé de tubes concentriques.

III. — Montage en induction.

Tous les postes précédents sont des postes omnibus permettant d'entendre très aisément les diverses stations, mais ne permettant pas de les séparer très exactement. Le montage qui présente la plus grande sécurité et qui permet de sélectionner davantage les réceptions des différentes sources, quitte à perdre un peu d'intensité, est le montage en induction dont le principe a été donné page 42.

Je décrirai ici l'appareil que j'ai construit spécialement pour l'étude des grandes longueurs d'onde comme celles qui correspondent à certaines décharges atmosphériques.

Le primaire est formé par une bobine cylindrique à carcasse de carton avec deux joues de bois. La première joue pleine porte en son centre une règle de bois à section rectangulaire de 80 centimètres de longueur, supportée à la seconde extrémité par un chevalet amovible, sur lequel elle est vissée à l'aide d'une vis de métier (fig. 44). La seconde joue est creuse de manière à laisser pénétrer les bobines induites. Sur cette règle on pourra déplacer des bobines interchangeables munies de joues en bois pleines percées seulement d'une ouverture rectangulaire pour le passage de la règle servant de rail.

Cette bobine primaire F a une longueur de 25^{cm} 6 et un diamètre de 25^{cm} 5. Le diamètre du fil nu est 0^{mm} 775. La résistance est 6^Ω 5 ; la self a une valeur de 0^h 0091. A la partie supérieure se trouve une règle métallique à curseur comme dans les selfs réglables précédemment décrites.

Comme bobines secondaires j'ai utilisé : 1° la bobine B et une deuxième identique B₁ ; 2° la

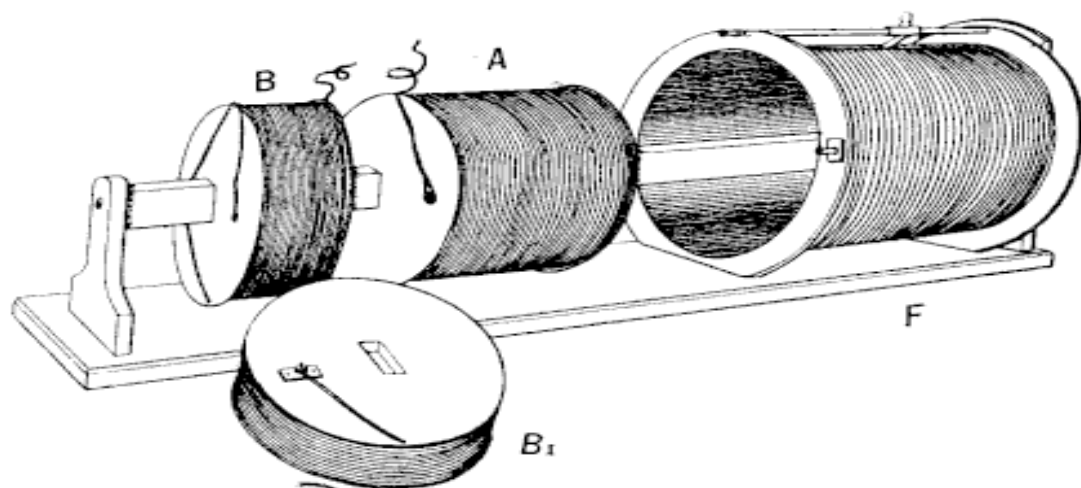


Fig. 44.

bobine A ; 3° une bobine G dont les caractéristiques sont les suivantes : longueur 22 centimètres, diamètre 25 centimètres, nombre des spires 207, diamètre du fil 0^{mm} 7, résistance 7^Ω 2, self 0^h 00764 ; 4° une bobine H : longueur 45 centimètres, diamètre 25 centimètres ; nombre de spires 413, diamètre du fil 0^{mm} 66, résistance 14^Ω 6 et self 0^h 0184.

Les bobines B B₁ A G H constituent une série telle que l'on a sensiblement :

Selfs de B + B₁ juxtaposées = self de A ;

Selfs de B + B₁ + A juxtaposées = self de G ;

Selfs de B + B₁ + A + G = self de H.

Grâce à ces conditions, on peut réaliser un montage particulier permettant *la mesure des longueurs d'onde*. Les capacités utilisées dans le secondaire

sont des capacités variables telles que C_2 ou C_4 ; on utilise avec profit le condensateur C_3 en dérivation aux bornes du détecteur.

A l'aide de ce poste d'induction on peut réaliser un certain nombre d'expériences curieuses :

1° On peut montrer qu'avec toutes ces selfs, si différentes, on peut entendre distinctement les stations d'Eiffel, de Norddeich et de Poldhu. Il faut évidemment accoupler chaque fois d'une façon différente, c'est-à-dire enfoncer plus ou moins les bobines induites et faire varier la portion utile du circuit inducteur primaire.

Une self et une capacité d'antenne formées par les bobines C ou D et les condensateurs C_1 ou C_2 permettent d'assurer la résonance du primaire ; avec une self d'antenne qui permet de diminuer la self du primaire et par suite l'accouplement, on peut ainsi entendre FL ou Norddeich en écartant la bobine B à plusieurs centimètres du primaire F ;

2° Les bobines G et H ne conviennent qu'aux grandes longueurs d'onde, leurs selfs étant très grandes.

Mais on peut augmenter considérablement l'intensité de la réception et faire les réglages en approchant à une distance convenable autour de l'induit H un cercle de cuivre de 3 centimètres de diamètre.

La self de la bobine H, entourée de ce cercle dans sa partie médiane, tombe de 0^h0184 à 0^h0146 et celle de G de 0^h00764 à 0^h0045 . On conçoit donc que les réglages puissent être ainsi très facilement obtenus. L'approche du cercle revient à modifier la self.

3° Au lieu du cercle de cuivre, on peut approcher une bobine plate fermée sur elle-même enroulée sur une bande de carton, du diamètre des bobines induites (25 centimètres). Ce *bandeau* que nous appellerons I est formé de 64 spires juxtaposées de fil de $0^{mm}55$. Sa résistance est 4^{Ω} , sa self 0^h0016 ,

La *self* de *H* mesurée avec le bandeau dans la partie médiane en court circuit est abaissée de $0^h 0184$ à $0^h 0120$. Celle de *G*, dans les mêmes conditions, est abaissée de $7^h 00764$ à $0^h 0045$ comme pour le cercle de cuivre.

4° COMPARAISON DES LONGUEURS D'ONDE A LA RÉCEPTION. — En modifiant quelque peu le montage précédent, on est conduit à un dispositif qui permet de mesurer les longueurs d'onde à la réception ou, en tout cas, de construire une courbe d'étalonnage, c'est-à-dire de graduer exactement le récepteur en longueurs d'onde.

On prend, comme primaire, le primaire du poste d'induction, c'est-à-dire la bobine *F*. Comme secondaire on prend les bobines *B* et *B*₁ en série, mais très éloignées l'une de l'autre, avec un accouplement très faible, *B* au voisinage de *F*, *B*₁ très loin. Les bobines *B* et *B*₁ sont fermées sur le condensateur variable *C*₄ à aiguille mobile. Autour de *B*₁ on installe une bobine identique à *F* avec curseur, ou encore, plus simplement, un induit un peu différent comme le bandeau *I*. Dans le circuit de ce dernier on met le condensateur variable *C*₂ avec le détecteur en série muni d'un condensateur *C*₃ en dérivation sur ses bornes. Le circuit du potentiomètre est installé comme dans le poste ordinaire en induction.

On a ainsi constitué un circuit intermédiaire analogue à l'ondamètre de Marconi. Ce circuit intermédiaire ne comprend que des selfs et des condensateurs. Quand, par tâtonnement, le meilleur accord est obtenu, la longueur d'onde du circuit est très voisine de celle de la source. Elle est proportionnelle au produit $\sqrt{C L}$. La self restant fixe, l'accord s'obtient simplement par la variation de capacité. On peut donc comparer les longueurs d'onde en comparant les racines carrées des capacités.

Cette méthode de mesure, qui ne nécessite qu'un

seul appareil délicat, le condensateur variable C_4 , permet beaucoup mieux que tous les autres dispositifs d'obtenir la sélection des diverses sources.

Il y a une double induction, et par suite, il ne faut pas s'attendre à une grande intensité ; mais, on a là *un dispositif de sécurité* qui nous a donné avec la grande antenne de la Faculté des Sciences de Nancy de très bons résultats, en nous permettant d'isoler, c'est-à-dire d'entendre séparément des sources nombreuses fonctionnant simultanément. Suivant la valeur des longueurs d'onde, on peut substituer à B et B_1 l'ensemble $B + B_1$ et A ; $B + B_1 + A$ et G ; $B + B_1 + A + G$ et H. Ces dernières combinaisons ne sont guère utiles que dans le cas des décharges atmosphériques.

On voit que la construction de l'ensemble des bobines permet d'avoir une sorte de boîte de contrôle, pour repérer les longueurs d'onde les plus variables depuis un millier jusqu'à plusieurs milliers de mètres.

CHAPITRE VIII

RÉCEPTION AVEC PLUSIEURS ANTENNES

Lorsqu'on a installé une grande antenne comme celle de l'Institut de physique, on peut greffer sur celle-ci plusieurs autres de moindre dimension.

L'influence de la grande antenne peut être mise aisément en évidence par les expériences suivantes : On installe un poste en montage simple à un seul circuit d'oscillations sur la grande antenne (par exemple la bobine C), puis on tend n'importe comment dans la cour un fil de 10 à 15 mètres servant d'antenne pour un second poste constitué par les bobines A et B. Chacun des postes possède ses organes indépendants, détecteur, téléphone, etc...

L'on constate alors que :

1° Si l'on accorde la bobine C et aussi celle du second poste, on entend très fort simultanément aux deux postes ;

2° Si l'on désaccorde C, on cesse d'entendre aux deux postes ;

3° Si l'on supprime la bobine C et si l'on isole la grande antenne, on n'entend plus que très faiblement au second poste ;

4° Si l'on met la grande antenne au sol sans la bobine C, on entend un peu mieux que dans le cas précédent ;

5° Il est même possible de supprimer le sol, et alors l'ensemble des deux postes ne constitue plus qu'un vibreur unique présentant des ventres de tension aux extrémités des antennes et un nœud de tension ou maximum d'intensité au contact du sol.

Nous avons pu ainsi greffer sur le grand poste différents petits postes où les antennes étaient constituées par des morceaux de grillage de 2 à 4 mètres carrés, des fils très courts, etc...

Comme la réception au grand poste n'est nullement diminuée, on a ainsi un procédé pour installer divers téléphones avec leurs détecteurs propres et faire entendre les communications à un très grand nombre de personnes.

Les plaques enfouies dans le sol sont mises en relation avec une lame de métal munie de bornes auxquelles on attache les fils de sol des divers postes.

Réception à Paris. — Il suffit à Paris de prendre, dans un appartement quelconque, comme sol la conduite d'eau, et comme antenne un fil tendu le long des murs à l'intérieur de la pièce. On réalise en somme directement sur l'antenne d'émission de la Tour Eiffel à courte distance le montage que nous effectuons avec la grande antenne de l'Institut.

On a vu que les lignes télégraphiques et téléphoniques pouvaient servir d'antennes. Ce sont des antennes tout installées. Quelques-unes de ces lignes dans les grandes villes peuvent se trouver accordées naturellement sur la Tour et *il en résulte que leur présence facilite la réception avec de petites antennes*. Il est possible que lorsqu'on ne dispose que de quelques fils dans un grenier et que l'on entend très fortement les radiotélégrammes, c'est que les réceptions se trouvent naturellement facilitées à l'insu même de l'observateur par un phénomène analogue.

C'est pour éviter une cause d'erreur de ce genre que j'ai répété mes expériences avec petites antennes dans les Vosges, suffisamment loin de toute ville.

CHAPITRE IX

LES SIGNAUX HORAIRES

Historique. — Le marin a constamment besoin de connaître son *point*, c'est-à-dire de déterminer la *longitude* et la *latitude*. La *latitude* est facile à déterminer par l'observation des astres. La *longitude* ne peut, au contraire, s'obtenir que par la différence de deux angles.

La détermination nécessite la connaissance simultanée de l'heure du lieu et de l'heure du méridien origine, celui de Paris par exemple.

L'heure locale est fournie par l'observation des astres, mais la détermination de l'heure du méridien origine est un problème des plus difficiles. En 1714, le Parlement anglais promettait 20.000 livres à l'inventeur d'un procédé donnant cette heure à *deux minutes près*. A la même époque, le Régent de France promettait pour le même problème 100.000 livres françaises. C'est l'horlogerie qui résolut d'abord la question par la montre Harrison. Depuis, les bâtiments de commerce emploient des chronomètres de précision qu'ils règlent à Paris⁽¹⁶⁾.

Organisation du service. — En 1907, une enquête montra que la plupart des bâtiments pouvaient recevoir les signaux FL. Une des plus belles applications scientifiques de la télégraphie sans fil est l'envoi de l'heure du méridien origine avec une précision inconnue jusqu'alors. Puisque l'électricité

se propage comme la lumière, avec une vitesse voisine de 300.000 kilomètres par seconde, une longueur de 300 kilomètres est parcourue en $1/1000^{\text{e}}$ de seconde. Les progrès réalisés en ces dernières années par la radiotélégraphie permettent d'envoyer des signaux à des milliers de kilomètres. Il était alors naturel de penser à utiliser cette merveilleuse méthode pour le réglage des horloges à bord ou à terre, de manière à permettre aux diverses stations d'avoir l'heure exacte du méridien origine.

Les services de la Guerre et le Bureau des Longitudes prirent l'initiative de l'organisation de ce service, et, afin d'assurer aux signaux la précision la plus parfaite, demandèrent la collaboration de l'Observatoire. Les rôles incombant à chaque service étaient naturellement indiqués.

Nous décrirons l'installation de ce service en reproduisant les instructions pour l'envoi de l'heure par la radiotélégraphie à l'Observatoire de Paris, rédigées par M. F. Boquet, astronome, chef du service de l'heure⁽¹⁷⁾, et la description du matériel radiotélégraphique publiée par M. le commandant Ferrié⁽¹⁸⁾.

Le service devait être inauguré vers le début de l'année 1910; mais le poste de radiotélégraphie du Champ-de-Mars ayant été envahi par les eaux (crue de la Seine, fin janvier 1910), tous les appareils furent plus ou moins endommagés et ce n'est que le 23 mai que le premier envoi de l'heure put avoir lieu.

A partir de cette date, l'envoi à minuit eut lieu tous les jours de l'année sans exception. A dater du 21 novembre, on fit tous les jours (dimanches et jours fériés exceptés) un second envoi à 11 heures du matin, pour donner satisfaction aux demandes des horlogers pour qui l'heure de minuit était peu commode et aussi pour satisfaire les stations météorologiques et séismographiques.

La loi du 10 mars 1911 a fixé l'heure légale en France, heure du méridien de Greenwich. Or, des signaux allemands, dont on trouvera plus loin la description, sont émis à midi et minuit, temps moyen de Greenwich; afin d'éviter toute confusion, à partir de la nuit du 30 juin au 1^{er} juillet 1911, les signaux français furent envoyés à 10^h 45 du matin et à 11^h 45 du soir, soit 23^h 45.

Le service est assuré par roulement entre divers astronomes, tous les fonctionnaires de l'Observatoire pouvant être d'ailleurs appelés, suivant les besoins du service, à collaborer à cet envoi.

Réglage des pendules de l'Observatoire. — Chaque jour, à 4 heures de l'après-midi, les deux pendules de temps moyen utilisées dans ce service, pendules Leroy (n^{os} 1116 et 1117), sont remises à l'heure par l'observateur de jour qui les compare par coïncidence à la pendule sidérale directrice ou à toute autre pendule sidérale.

L'astronome laisse une note indiquant la correction probable de la pendule sidérale employée (Winnerl, Fénon et Joseph) et, s'il le juge utile, les corrections des pendules de temps moyen (Berthoud ou Bréguet); ces corrections sont calculées pour 11 heures du soir d'après la marche probable des pendules. Le samedi, cette note indique en outre les corrections pour le dimanche à 9 heures du matin (service de l'envoi de l'heure en province par le télégraphe, qui pourra être supprimé quand les postes radiotélégraphiques de réception seront suffisamment répandus) et à 11 heures du soir (service radiotélégraphique).

La correction à faire subir aux pendules Leroy par l'astronome chargé de l'envoi de l'heure est, en général, très faible, ces pendules étant réglées de manière à avoir une marche diurne voisine de zéro. Lorsque leur marche vient à changer, on la ramène

à l'état voulu à l'aide de poids, comme pour la pendule F. Berthoud des circuits urbains : on évite ainsi l'arrêt de la pendule, et le réglage se fait avec plus de précision qu'en élevant ou abaissant la masse pesante du pendule.

Les divers observateurs des services méridiens, tant de jour que de nuit, doivent profiter de toutes les circonstances favorables pour déterminer la correction de la pendule directrice. Les élèves astronomes assurent ce service les dimanches et jours de congé. Le calculateur adjoint au service du Grand Instrument méridien détermine chaque matin l'état provisoire de l'Instrument, toutes les fois qu'il a été possible d'avoir les observations d'une circompolaire et d'une ou plusieurs étoiles horaires. Dans les cas où cette détermination n'est pas possible, on emploie le dernier état calculé, la stabilité de l'appareil permettant de conclure la correction avec la précision voulue.

Toutes les pendules (TM et TS) et tous les chronomètres (TM et TS) étant d'ailleurs suivis avec la plus grande régularité par l'observateur de jour, il est presque toujours possible d'avoir l'heure avec exactitude.

Les pendules Leroy sont à poids moteur, l'échappement est de Graham ; la tige du balancier est en métal invar (2^e catégorie, $\alpha = 12383$), sa masse en bronze (forme cylindrique). Une capsule circulaire placée sur la tige au tiers environ de la hauteur, distance comptée à partir des lames de suspension en acier, permet l'addition de poids de réglage. La vis qui supporte l'arrêt circulaire de la masse a un filetage carré de 1 millimètre, la circonférence en est divisée en trente parties, cette vis est munie d'un contre-écrou. La durée de marche est d'un mois. Mais, par précaution, on effectue le remontage tous les quinze jours, suivant la règle adoptée pour toutes les pendules de l'Observatoire.

L'envoi du signal horaire se fait automatiquement grâce au dispositif suivant. Soient (fig. 45) :

C, l'axe de la roue des minutes (1 tour par heure) ;

F, l'axe de la roue des secondes (1 tour par minute) ;

A, un sautoir de vingt-quatre dents (1 tour par vingt-quatre heures).

Le dispositif du côté gauche est destiné à l'envoi

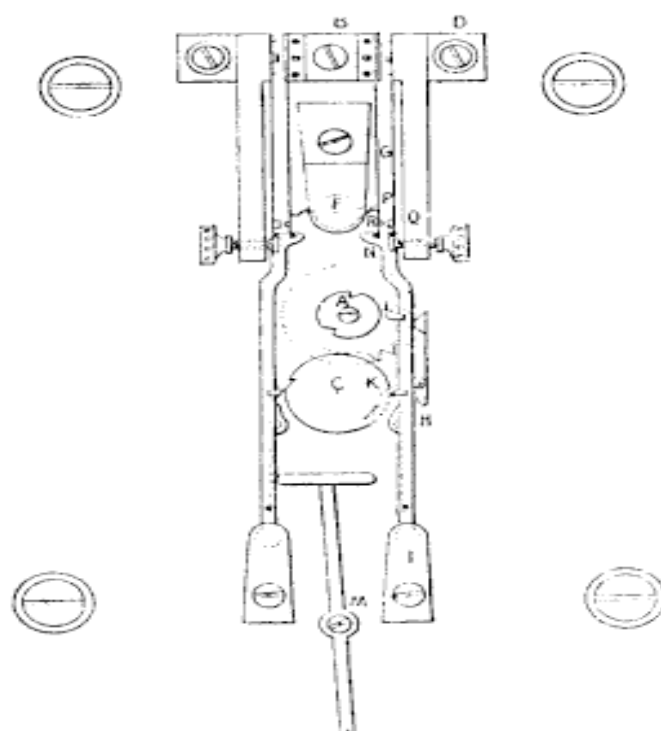


Fig. 45.

d'un signal par heure, celui du côté droit à l'envoi des signaux de 10^h 35 du matin et 11^h 45 du soir.

La pièce B porte un ressort G muni d'une pierre P, pouvant être déplacée par un doigt fixé sur l'axe F de la roue des secondes. D est une pièce isolée portant également un ressort muni d'un contact de platine Q, qui peut être, à un moment déterminé, touché par la pointe R fixée sur le ressort G. En I, est articulée une pièce d'acier H qui ne permet à

la fonction de se faire qu'à des intervalles de 13 et 11 heures (envois du soir et du matin).

La pièce H porte en K une pierre qui peut tomber dans les trois encoches (indiquées en pointillé) de la came fixée sur la roue *e* des minutes. Mais la pierre K ne peut tomber dans les encoches de la came que si l'une des deux entailles du sautoir A se trouve en face de la pierre L fixée comme K sur la pièce H.

On fait coïncider les deux encoches de la pièce A avec les heures d'envoi des signaux, et chacune des trois encoches de la pièce C avec les minutes 0, 2, 4.

Quand la pierre K est remontée sur la partie antérieure de C, deux goupilles isolées fixées en N sur la pièce H maintiennent les ressorts G et Q sans leur permettre d'être en contact, tout en soustrayant P à l'action de F. Mais lorsque la pièce K est retombée dans une encoche, les ressorts sont rendus à leur élasticité; G actionné par F établit le contact. La durée de celui-ci est d'ailleurs réglable, un contact trop court risquerait de n'être pas perçu, trop long il définirait mal le dixième de seconde qu'on doit s'efforcer de donner.

La pièce M, qui peut se déplacer de gauche à droite et réciproquement, permet de faire fonctionner l'un ou l'autre des systèmes (signaux de la nuit et du matin, ou signaux horaires).

Un dispositif très simple, construit par M. Borrel, permet de remettre très rapidement les pendules à l'heure. Sur la tige du balancier, on a fixé (fig. 46) un barreau aimanté A en regard d'un solénoïde S.

En I est un inverseur de courant de la pile P (deux éléments Leclanché). Si les pôles de noms contraires de l'aimant et du solénoïde sont en regard, il y a retard; il se produit de l'avance dans le cas contraire. L'action correctrice, quel que soit le sens du courant, doit produire pour une intensité de 0,1 ampère, une seconde par heure environ. Le

temps employé à la correction est proportionnel à l'intensité du courant, c'est-à-dire que, si un courant de 0,1 ampère corrige de une seconde en soixante minutes, un courant dix fois plus intense corrigera le même écart en dix fois moins de temps, soit 1 ampère pour une seconde en six minutes. Le maximum de sensibilité de l'action correctrice est atteint lors-

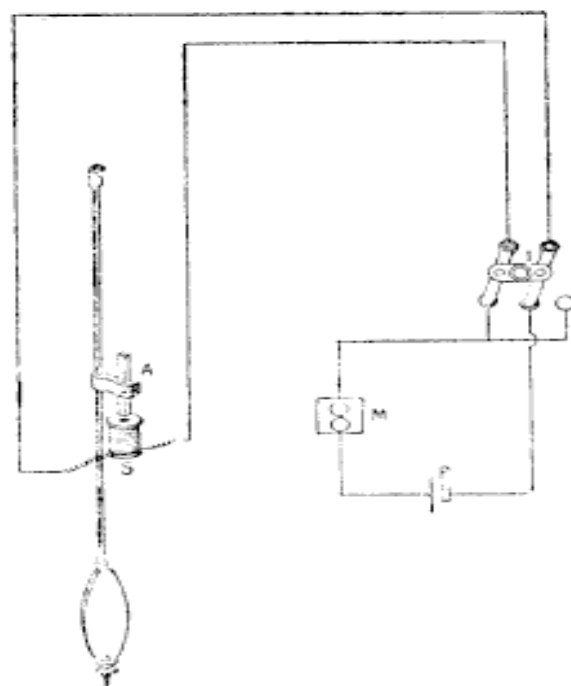


Fig. 46.

que le barreau aimanté est le plus rapproché du solénoïde ; mais il faut éviter de les mettre à une distance trop petite, le jeu de la caisse pouvant soulever le solénoïde et produire l'arrêt de la pendule, accident assez fréquent aux électros de synchronisation.

On a intercalé dans le circuit, entre la pile P et l'inverseur I, une boîte de résistance M. Jusqu'à présent, la remise à l'heure s'est faite avec la résistance minima (11^{Ω}) qui permet de regagner une seconde en trente minutes environ. L'expérience

a d'ailleurs prouvé que le rôle de la résistance est absolument inutile, et l'on a avantage à regagner la différence le plus rapidement possible.

Un commutateur placé entre les deux pendules permet d'utiliser l'une ou l'autre à volonté. Afin d'éviter toute erreur de la part de l'observateur, l'inverseur de courant porte les indications avance ou retard : le bouton allongé qui permet de déplacer la pièce double I doit être mis en regard de l'indication choisie. Une fiche double permet de faire fonctionner l'appareil, cette fiche doit être enlevée immédiatement après la remise à l'heure. Par surcroît de précaution, l'observateur doit ramener les contacts de la boîte de résistance à 0 dizaine, 0 unité, auquel cas le courant est interrompu.

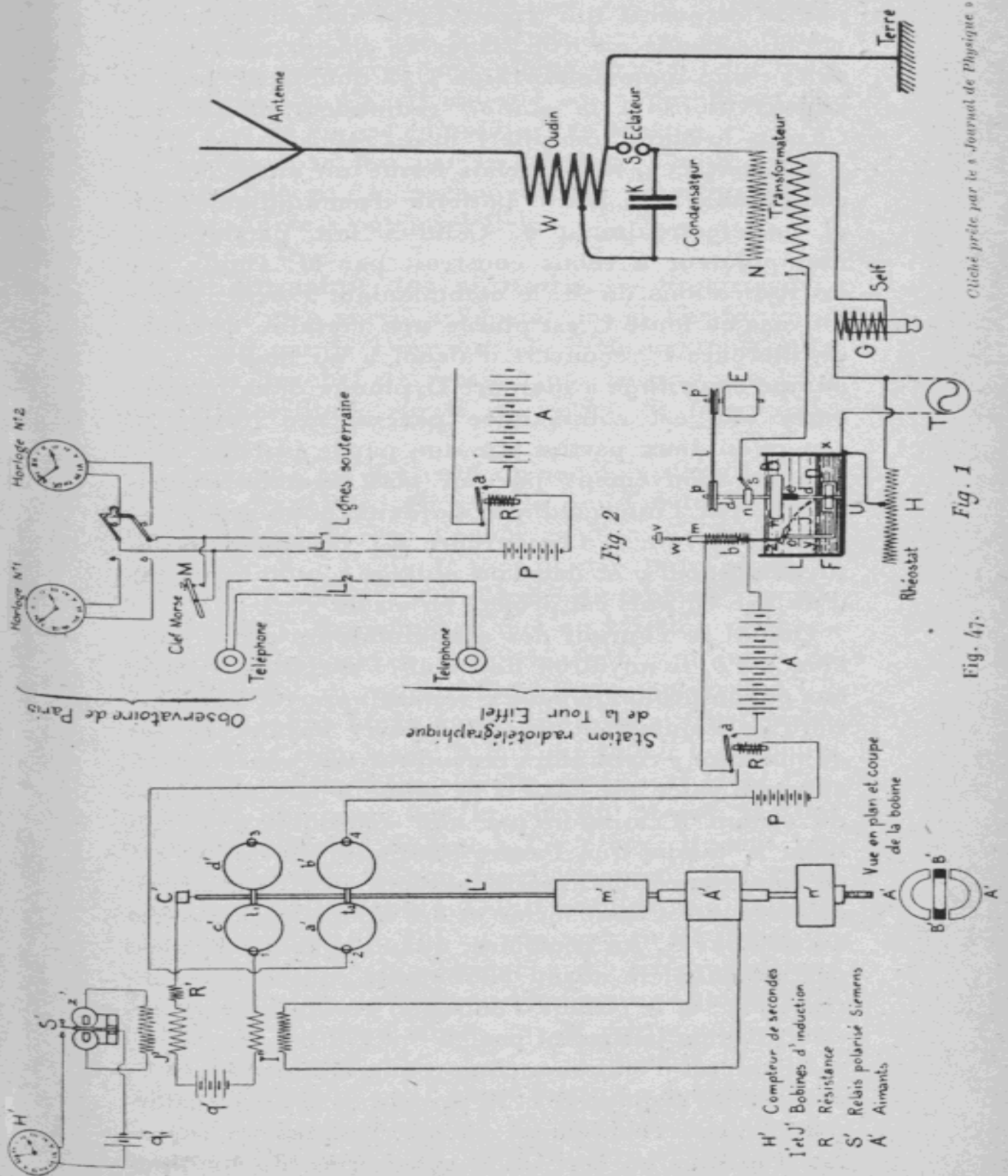
Pour remettre à l'heure l'une des pendules Leroy, on place donc le commutateur supérieur du tableau situé entre les deux pendules sur celle de ces deux horloges qu'on veut régler. Si la pendule avance (correction négative), on met le commutateur inférieur sur l'indication retard ; si elle retarde (correction positive), on le met sur l'indication avance. Cela fait, on place la fiche de l'inverseur de courant et on met la pile en action avec la résistance minima, le cadran de gauche de la boîte de résistance correspond aux dizaines, celui de droite aux unités.

Les comparaisons des diverses pendules se font à l'aide des microphones placés sur les pendules, d'un appareil à jacks et de viseurs placés sur la table qui porte le jack.

Telles sont les instructions données par M. Boquet, directeur du service de l'heure, et approuvées par M. Baillaud, directeur de l'Observatoire de Paris.

Voyons maintenant comment le signal horaire est transmis à la Tour Eiffel.

Circuits de transmission et d'émission. — Le circuit des pendules est fermé automatiquement



Cliché prête par le « Journal de Physique »

Fig. 1

Fig. 47.

par le dispositif qui vient d'être indiqué pendant $1/5$ de seconde environ. Dans ce circuit sont intercalés : une ligne souterraine L, à double fil, reliant l'Observatoire à la station radiotélégraphique du Champ-le-Mars, une pile P et un relais R (fig. 47).

Le contact a de ce relais ferme un autre circuit comprenant une petite batterie d'accumulateurs A et un électroaimant b . Celui-ci fait partie d'un manipulateur à relais construit par M. Gaiffe sur les indications de M. le commandant Ferrié : Dans un vase en fonte U est placée une certaine quantité de mercure F recouvert d'alcool à 95 degrés. Une pompe centrifuge à mercure D plonge dans le mercure, elle est commandée par un axe vertical d séparé en deux parties par une partie isolante e et mis en mouvement par un petit moteur électrique E, par l'intermédiaire de deux poulies p p' et d'une courroie L . Le mercure est refoulé dans un tuyau vertical y et dans un ajutage r mobile autour d'un axe O, puis est projeté en un jet j .

Quand le courant des accumulateurs passe dans l'électro b , le noyau m de celui-ci est attiré vers le bas et son prolongement z venant appuyer sur l'arrière de l'ajutage r , en fait relever l'avant. Le jet de mercure j vient alors rencontrer une couronne en cuivre B calée sur l'axe d et reliée à une extrémité du circuit d'émission par une couronne n et un balai s , tandis que l'autre extrémité du circuit est en communication avec le mercure en X. Le circuit d'émission est donc fermé et des étincelles jaillissent à l'éclateur S. Au contraire, quand le relais R n'est pas actionné, le noyau m remonte sous l'action du ressort w , et le circuit d'émission restant ouvert, les étincelles ne jaillissent pas.

Le circuit d'émission comprend : l'alimentation T, une self de réglage G et le primaire I d'un transformateur, convenablement calculé. De plus un rhéostat H est mis en dérivation aux bornes du manipu-

lateur U pour faciliter l'établissement et la rupture du courant. Enfin des condensateurs et des résistances non inductives sont placés en shunt sur tous les électros ; on n'a pas indiqué ces appareils sur la figure afin de ne pas compliquer le schéma.

L'émission se fait par le montage Oudin précédemment décrit, le secondaire du transformateur étant la source à potentiel élevé.

Transmission des signaux. — En principe, il ne peut être sursis à l'envoi que si l'ordre en a été donné par le Directeur de l'Observatoire à la demande du chef de service, par suite d'une trop grande incertitude sur la correction de la pendule principale.

Ce fait ne s'est présenté qu'une fois depuis l'installation du service. En cas de non-fonctionnement des pendules Leroy, l'envoi peut avoir lieu, par ordre spécial, à l'aide de tops donnés par l'observateur avec le manipulateur Morse du tableau spécial.

A 10^h30 l'astronome se met en relation téléphonique avec le poste de radiotélégraphie militaire de la Tour Eiffel au moyen d'une ligne souterraine L₂, qui, dans le cas où L₁ aurait subi des avaries, pourrait aussi la remplacer. A la Tour Eiffel, les sapeurs de service mettent les circuits en état et alors l'astronome, appuyant sur la clé du Morse M, fait quelques signaux d'essai à l'éclateur. Il peut lui-même contrôler le bon fonctionnement des émissions, car on a établi à l'Observatoire une antenne réceptrice allant du sol au sommet du bâtiment où elle se bifurque : une branche est fixée au-dessus de la cage de l'escalier d'honneur, l'autre à la hampe du drapeau située sur la partie supérieure de la façade nord.

Les signaux d'essai étant faits, un télégraphiste de la Tour annonce vers 10^h40 l'envoi dans les termes suivants : « FL — FL. Paris-Observatoire

et B C M (bureau central météorologique). Voici signaux horaires et télégramme météorologique. »
 . — — (ce qui signifie : attente). Cette formule n'est pas absolue, mais on ne s'en écarte guère. Pour l'envoi de 23^h45 on supprime B C M et télégramme météorologique.

Après avoir abaissé le levier qui établit la ligne *signaux horaires*, l'astronome envoie de 10^h44^m 0^s à 10^h44^m 55^s une série de traits (tops allongés — — — — —, etc., de une seconde environ) avec le manipulateur. Pour cela, à l'aide d'un viseur, de grossissement 10, placé près du tableau, l'astronome suit les aiguilles de la pendule choisie pour prendre la seconde, en même temps qu'il appuie sur le levier du manipulateur. A 10^h45^m 0^s, le signal est envoyé automatiquement par la pendule.

Le casque téléphonique sur la tête, l'astronome, tout en conservant la liberté de ses mouvements, peut se rendre compte que l'envoi a été fait normalement.

De 10^h46^m 0^s à 10^h46^m 55^s (environ), il envoie une série de traits suivis de deux points — . . — . . — . . , etc., traits de une seconde environ, les deux points en une demi-seconde (ce qui veut dire : voici le deuxième envoi), deux minutes après le premier.

A 10^h47^m 0^s la pendule envoie automatiquement le deuxième signal. Enfin, de la même façon, de 10^h48^m 0^s à 10^h48^m 55^s (environ), l'astronome envoie une série de traits suivis de quatre points : les traits en une seconde, les quatre points en une seconde environ, — — — (ce qui veut dire : voici le dernier envoi quatre minutes après le premier). On s'assure que la pendule envoie bien automatiquement le signal attendu à 10^h49^m 0^s.

L'envoi de 23^h45 se fait de la même manière, mais les trois signaux sont émis à 23^h45, 23^h47, 23^h49.

L'envoi de trois signaux assure la réception d'une

façon à peu près certaine, malgré les parasites, les perturbations atmosphériques.

Signaux horaires allemands. — A la station maritime de Norddeich, à l'embouchure de l'Elbe, se trouve un poste émetteur puissant de télégraphie sans fil dont la longueur d'onde est inférieure à celle de FL. Une bonne pendule de précision y est réglée sur celle de l'Observatoire impérial de Wilhelmshafen.

C'est tout à fait automatiquement que les signaux horaires sont transmis, sans qu'aucun opérateur ait à intervenir. Comme à l'Observatoire de Paris, la montre de Norddeich est remise à l'heure par un courant de correction; celui-ci est transmis directement de l'Observatoire de Wilhelmshafen.

Comme dans toutes les transmissions mécaniques, il peut y avoir des ratés, des perturbations, mais les opérateurs de la station s'en aperçoivent et peuvent les porter à la connaissance des bateaux en mer aussitôt après la transmission automatique des signaux horaires.

L'envoi des signaux a lieu deux fois par jour, à 12 heures et à 24 heures (temps de Greenwich). Quelques minutes avant on lance des appels de marine . . . — . . . — . . . —.

Puis à 11^h57^m 47^s la station émet son indicatif K N D. A 11^h58^m 38^s elle annonce M G Z (Mittag Greenwich Zeit).

Les signaux proprement dits se composent de traits émis de seconde en seconde.

A 11^h58^m 46^s ces signaux commencent. Ils sont répartis en trois groupes de cinq secondes de durée séparés par des intervalles de cinq secondes.

Les émissions ont lieu à :

11 ^h 58 ^m 46	47	48	49	50 ^s
11 58 56	57	58	59	60
11 59 6	7	8	9	10

puis une pose ; enfin

11 ^h 59 ^m 36	37	38	39	40 ^s
11 59 46	47	48	49	50
11 59 56	57	58	59	60

ou 12^h0^m0^s.

Le commencement du dernier signal donne exactement midi.

Grâce à ces signaux, on peut appliquer la méthode des coïncidences en comparant les nombres de secondes entendus au téléphone aux battements de l'horloge d'observation ou du chronomètre. On cherchera à noter avec quel battement du chronomètre ou de l'horloge coïncide un des signaux de Norddeich et quel écart il en résulte pour la réception du dernier signal, celui de midi.

L'ensemble des groupes de signaux remplit un but intéressant, celui de permettre encore la comparaison entre l'horloge de Norddeich et le chronomètre étudié, quand bien même quelques signaux de chaque groupe feraient défaut ou ne pourraient être entendus par suite de perturbations extérieures.

Avec quelque attention, il est toujours possible à l'observateur qui aurait laissé passer quelques signaux de reconnaître par les intervalles qui séparent les groupes, à quels groupes il a affaire et quelle seconde ils annoncent.

Lorsque l'émission est terminée on fait le signal de fin de communication **•—•—•** (1).

Réception des signaux. — On peut opérer comme il vient d'être dit par la méthode des coïncidences. On peut aussi, pour les signaux FL, mettre en marche un bon compteur à secondes au moment de l'envoi du premier signal de 10^h45 et observer l'écart des indications de cet appareil avec les

(1) Voir *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1910, t. XXXVI, p. 9 et 17.

signaux de 10^h47 et 10^h49 . On a ainsi un moyen pour vérifier chaque jour la marche de son chronomètre. On verra plus loin comment des signaux spéciaux permettent encore plus commodément la vérification des pendules et horloges des observatoires.

Remise à l'heure automatique. — MM. Chartier, ex-élève de l'école nationale d'horlogerie de Cluses, et François, constructeur électricien, ont imaginé un dispositif automatique permettant la remise à l'heure sans qu'il soit besoin d'avoir un observateur immobilisé dans l'attente du signal de télégraphie sans fil.

L'ensemble des appareils utilisés peut être divisé en trois parties :

- 1° Mouvement d'horlogerie ;
- 2° Partie réceptrice des ondes hertziennes ;
- 3° Mouvement distributeur.

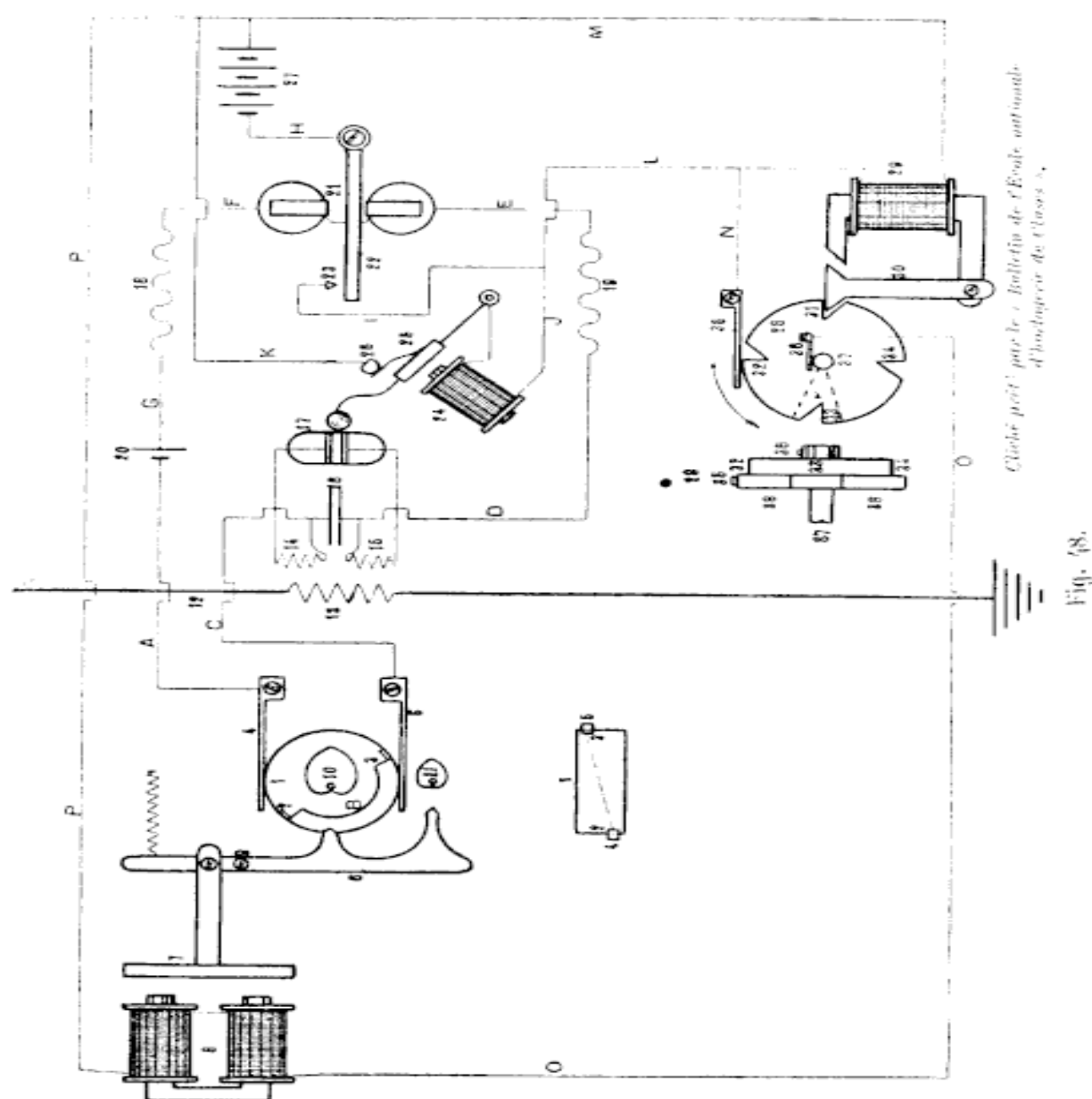
1° MOUVEMENT D'HORLOGERIE. — Le mouvement d'horlogerie comporte tout d'abord un disque 1 faisant une révolution par 24 heures seulement et non par 12 heures. Ce disque est muni de deux contacts 2 et 3 disposés de façon à ne fermer le circuit des balais 4 et 5 qu'aux environs de 23^h45 précis, soit quelques instants avant l'heure de réception du signal de télégraphie sans fil et coupant le circuit quelques instants après (fig. 48).

D'autre part, le mouvement d'horlogerie comporte un fouet 6, solidaire de l'armature 7, qui vient, au moment donné, attirer l'électro 8.

Par ce mouvement d'attraction, le fouet 6, pivotant en 9, vient frapper la came 10 qui entraîne la minuterie, et, de ce fait, l'aiguille des heures et celle des minutes.

Le fouet vient en même temps frapper la came 11 pour le retour des aiguilles des secondes ; lesdites came et aiguille des secondes, solidaires l'une de

l'autre, étant ajustées à frottement gras sur l'axe prolongé de la roue des secondes, le retour de ces



aiguilles a lieu à l'heure déterminée sans arrêter la marche de celles-ci, ni la marche du mouvement.

2^o PARTIE RÉCEPTRICE DES ONDES DE TÉLÉGRAPHIE SANS FIL. — Les appareils employés sont ceux que

l'on utilise généralement, soit une antenne 12 reliée au primaire du transformateur 13, dont l'autre extrémité est reliée au sol (montage en induction).

Le secondaire du transformateur est divisé en deux parties 14, 15, dont les extrémités intérieures sont reliées aux deux armatures d'un petit condensateur 16, et les extrémités extérieures, aux bornes du cohéreur 17 (tube de Branly).

Aux extrémités intérieures des demi-secondaires est également relié, par l'intermédiaire de deux bobines d'impédance, 18, 19, le circuit de la pile 20 et du relais 21. Ce circuit passe par les deux balais 4, 5, et ne se trouve donc établi qu'au moment où le disque 1 établit le contact entre 4 et 5.

L'armature du relais 22, son contact 23, l'électro 24 du décohéreur 25, le contact de celui-ci 26 et la batterie 27, sont connectés comme à l'ordinaire.

3^e MOUVEMENT DISTRIBUTEUR. — Ce mouvement consiste en un tambour 28, commandé par un mécanisme analogue à celui des sonneries de pendules, tournant à une vitesse appropriée, mais ne pouvant être mis en marche qu'autant que l'électro 29 aura attiré l'armature 30 qui vient arrêter ledit tambour par son logement dans les diverses encoches 31, 32, 33, 34.

Deux balais 35, 36, viennent frotter, l'un sur la périphérie du tambour et l'autre sur son axe 37.

La partie où frotte le balai 35 est en matière isolante 38, sur toute la périphérie, sauf sur la partie 33 correspondant à l'ouverture de l'angle α .

Fonctionnement. — Le cohéreur 17 est soumis aux ondes électriques toute la journée et la nuit, mais il ne peut transmettre aucun signal, le circuit A, B, C, D, E, F, G commandant le relais, étant coupé en B.

Les deux contacts 2 et 3 sont disposés sur le disque 1 de façon à établir le circuit ABC vers 23^h 30.

A ce moment, le courant produit par la pile 20 actionne le relais 21. Celui-ci attire l'armature 22 qui, au contact de 23, ferme le circuit de la pile 27 par H, I, J, l'électro 24, le tappeur 25, le contact 26 et par K.

L'armature 30 était en prise pendant la journée avec l'encoche 34 du tambour 28.

Au moment où, comme on l'a dit ci-dessus, l'armature 22 vient au contact de 23, l'armature 30 est attirée par le fait du courant qui traverse l'électro 29, et libère le tambour 28, qui fait un quart de révolution dans le sens indiqué par la flèche.

Le premier résultat, au moment de l'établissement du contact par le disque 1, aura donc été d'amener le tambour dans la position indiquée sur le schéma.

A 23^h 44, un train d'ondes est lancé de la Tour Eiffel, comme signal préparatoire. Le contact 22, 23 s'établit comme précédemment; le frappeur 25 est actionné autant de fois qu'il y a de signaux; l'électro 29 est également actionné et laisse à nouveau le tambour tourner d'un quart de tour.

En tout état de cause, quelques secondes avant minuit, le tambour 28 a son encoche 32 en prise sur l'armature 30; de ce fait, le balai 35 est au contact de la partie conductrice 39.

Au moment où le signal de 23^h 45 est donné, le contact 22, 23, se trouve établi comme précédemment; le frappeur 25 est actionné; l'électro 29 est de même actionné et laisse à nouveau le tambour tourner d'un quart de tour.

En même temps, le balai 35 étant au contact de 33, le circuit se trouve établi par H, 22, 23, I, L, N, 35, la partie conductrice 33, l'axe 37, le balai 36, O l'électro 8 et P.

L'électro 8 a donc pour effet, à ce moment précis,

de frapper le fouet 6 sur les cames 10 et 11, ce qui a pour résultat de mettre sur l'heure précise les aiguilles solidaires de ces cames.

Après le signal de 23^h45, le tambour, qui sera venu dans la position de prise de son encoche 33 avec l'armature 30, aura supprimé le contact par N, O.

Le signal suivant aura pour effet de venir remettre l'encoche 34 en prise avec 30, et en même temps empêchera, par un nouveau dispositif en construction, la transmission de tout nouveau signal, jusqu'au moment où le disque 1 aura tourné d'une quantité suffisante pour rompre le contact entre 4 et 6.

Il est évident que les appareils sont réglés pour la remise à l'heure exacte et en tenant compte des retards provenant du relais, des électros, de la course des armatures, etc...

Un dispositif de ce genre, qui, d'après les auteurs, n'introduit pas une erreur supérieure à la demi-seconde, peut rendre les plus grands services aux observatoires, aux centres horaires des compagnies de chemins de fer, et surtout à tous les horlogers qui, désireux de fournir des instruments d'une marche soigneusement contrôlée, ont besoin pour eux-mêmes d'une remise à l'heure journalière⁽¹⁹⁾.

Inscription graphique des signaux de l'heure émis par la Tour Eiffel. — M. A. Turpain⁽²⁰⁾, professeur à la Faculté des sciences de Poitiers, s'est efforcé d'obtenir l'inscription graphique des signaux de l'heure émis par la Tour Eiffel. Il y est parvenu à l'aide d'un microampèremètre enregistreur de grande sensibilité, construit sur ses indications par la maison Richard. Pour obtenir dans cet appareil une intensité suffisante, il a associé en batterie six électrolytiques, aussi semblables que possible, munis de résistances de réglage. Grâce à cet artifice, il a pu obtenir des traits et des points sous la pointe de son enregistreur.

La Conférence internationale de l'heure. — Pendant la correction des épreuves de cet ouvrage, a paru, aux *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, une note de M. G. Bigourdan (37) sur la Conférence internationale de l'heure, dont nous extrayons ce qui suit :

Sur la proposition du Bureau des Longitudes, le Gouvernement français invita, en mai 1912, un certain nombre de Gouvernements étrangers à désigner des délégués qui, joints à ceux de la France, étudieraient le problème radiotélégraphique au point de vue de l'envoi de l'heure et de la détermination des longitudes.

Répondant à cet appel, quinze Gouvernements étrangers ont désigné des délégués qui, avec ceux de la France, et non compris les membres du Bureau des Longitudes, étaient au nombre de soixante-trois. En outre, soixante-quatre savants français, appartenant en grand nombre à l'Académie des Sciences, ont été invités à prendre part aux discussions.

La Conférence internationale de l'heure, réunie à Paris, le 15 octobre 1912, a émis en séance générale, le 23 octobre, des vœux fort intéressants.

Nous citerons seulement ceux qui sont relatifs à la transmission des signaux horaires.

Vœux. — 9. Une commission provisoire nommée par la Conférence pourrait organiser, à titre d'essai, la coopération dont il s'agit et étudier les améliorations de toute nature à apporter à ce projet, avant de le soumettre officiellement à l'approbation des Gouvernements.

10. Il est à désirer qu'en chaque point du globe on puisse toujours recevoir un signal horaire de nuit et un signal horaire de jour, le nombre total des signaux perceptibles ne dépassant pas, en principe, quatre par vingt-quatre heures.

11. Les observatoires et les administrations inté-

ressées mettront à l'étude l'organisation de l'enregistrement automatique des signaux horaires.

12. L'étude de la répartition définitive des centres d'émissions horaires sera confiée à la Commission internationale de l'heure.

La liste ci-après indique les stations qui seront vraisemblablement en état, au 1^{er} juillet 1913, de jouer le rôle de centres d'émissions horaires, et les heures auxquelles devront être faites ces émissions.

	Heures, Temps civil de Greenwich
Paris.	0 ^h (minuit).
San Fernando (Brésil)	2
Arlington (États-Unis)	3
Manille	4 (provisoire).
Mogadiscio (Somalie italienne)	4
Tombouctou	6
Paris.	10
Norddeich-Wilhelmshaven	12 (midi).
San Fernando (Brésil)	16
Arlington (États-Unis)	17
Massaouah (Érythrée)	18
San Francisco	20
Norddeich-Wilhelmshaven	22

Toute station horaire, autre que les précédentes, qui viendrait à être créée, ne pourra faire, en principe, ses émissions qu'à des heures (de Greenwich) rondes, différentes des heures ci-dessus.

13. La Commission internationale de l'heure sera chargée de régler les émissions des signaux destinés aux besoins scientifiques, et notamment de ceux qui ont pour objet l'unification pratique de l'heure.

14. Les signaux horaires seront uniformément produits conformément au schéma suivant :

*Tableau indiquant le genre et la distribution
des signaux horaires internationaux.*

57^m 0^s à 57^m 50^s *signaux d'avertissement.*

57^m 55^s à 58^m 0^s *signaux horaires : trois traits de 1 seconde avec intervalles de 1 seconde.*

58^m 8^s à 59^m 0^s *signaux horaires* : un trait de 1 seconde et un point de 1/4 de seconde, ce dernier aux époques 58^m 10^s, 58^m 20^s, 58^m 30^s, 58^m 40^s, 58^m 50^s, puis trois traits de 1 seconde, séparés par un intervalle de 1 seconde ; de 58^m 55^s à 59^m.

59^m 0^s à 60^m 0^s *signaux horaires* : deux traits de 1 seconde séparés par 1 seconde, et un point de 1/4 de seconde, ce dernier coïncidant avec les époques 59^m 10^s, 59^m 20^s, 59^m 30^s, 59^m 40^s, 59^m 50^s, puis trois traits de 1 seconde, séparés par un intervalle de 1 seconde.

15. Les centres d'émissions horaires feront usage d'une longueur d'onde uniforme d'environ 2.500 mètres. Lorsqu'ils emploieront des émissions musicales, la tonalité de celles-ci devra être choisie de manière que la réception soit soustraite, autant que possible, aux perturbations de toute nature.

CHAPITRE X

DÉTERMINATION DES LONGITUDES

Pour déterminer la différence de longitude de deux stations S_1 et S_2 , il suffit de connaître les heures locales de ces stations à une même époque.

Il suffit donc d'émettre un signal entendu au même instant aux stations S_1 et S_2 . Des observateurs lisent à cet instant les indications de leurs chronomètres.

Mais la lecture des chronomètres au moment de la réception du signal se fait avec une incertitude de $1/10^6$ de seconde à chaque station. Cette approximation serait tout à fait insuffisante. On tourne la difficulté par une méthode très élégante, qui consiste à noter l'heure aux deux stations S_1 et S_2 à des époques différentes E_1 et E_2 , mais telles qu'on connaisse exactement en secondes le temps écoulé entre E_1 et E_2 , l'origine à partir de laquelle on compte ces temps pouvant d'ailleurs être quelconque.

On résoudra ce problème en faisant exécuter n'importe où, à un pendule bien réglé, des battements de durée bien connue en secondes, très peu différente de la seconde, et tels qu'ils puissent être entendus en S_1 en même temps que les battements du chronomètre de S_1 et en S_2 en même temps que les battements du chronomètre de S_2 . Comme le pendule a une durée d'oscillation un peu différente de la seconde, il se produit des coïncidences en S_1 et d'autres coïncidences en S_2 comme dans la méthode de Borda.

Les battements du pendule se font par série. Après

les réglages, on attend le commencement d'une série et on compte les battements 1, 2, 3,

En S_1 l'observateur constate par exemple une coïncidence à l'époque E_1 marquée par le 37^e battement (¹⁸). Il lit l'heure de son chronomètre et trouve $13^h 20^m 16^s$.

En S_2 l'observateur constate par exemple une coïncidence à l'époque E_2 marquée par le 43^e battement. Il lit l'heure de son chronomètre et trouve $13^h 37^m 49^s$.

Donc, les heures locales sont $13^h 20^m 16^s$ et $13^h 37^m 49^s$ à des époques différant de 43-37 battements. Si chaque battement vaut par exemple $1^s + 1/100^e$, la différence des époques considérées est

$$6 \left(1^s + \frac{1}{100} \right).$$

Il est donc facile de savoir quelle était l'heure en S_2 quand elle était $13^h 20^m 16^s$ en S_1 à l'époque E_1 . Elle était en S_2

$$13^h 37^m 49^s - 6 \left(1^s + \frac{1}{100} \right) \text{ ou } 13^h 37^m 42^s,94.$$

On connaît par suite la différence des heures locales à une même époque, problème que l'on s'était posé, c'est la différence entre $13^h 37^m 42^s,94$ et $13^h 20^m 16^s$. Il faut, bien entendu, avoir étudié la marche des chronomètres, et il convient d'ajouter à la différence précédente la différence des états de ces instruments.

Quel est l'avantage de cette méthode ? C'est d'augmenter la précision de la mesure de la même manière que la méthode des coïncidences de Borda augmente la précision de la mesure de la durée d'oscillation d'un pendule. On peut, avec des battements de $1^s + 1/100^e$, obtenir l'approximation du $1/200^e$ de seconde.

C'est pourquoi l'on donne à cette méthode le nom

de *méthode des coïncidences*, bien qu'il s'agisse ici de coïncidences entre un pendule et deux chronomètres différents. Il est bien évident que le pendule peut être établi dans l'une des stations S_1 ou S_2 . Cette méthode fut appliquée pour la première fois, avec la télégraphie ordinaire, par MM. A. Claude et Driencourt, en 1906, entre Paris et Brest. Le Bureau des Longitudes décida plus tard d'expérimenter la méthode avec application de la télégraphie sans fil.

Réglage des chronomètres et des pendules par la méthode des coïncidences.

La méthode des coïncidences de Borda pour la comparaison des durées d'oscillation de deux pendules est décrite dans tous les ouvrages de physique élémentaire (1).

Si les pendules A et B primitivement en coïncidence repassent ensemble à la position d'équilibre après $n - 1$ oscillations de A et n oscillations de B, les durées d'oscillation T_A et T_B sont liées par la relation

$$T_B = T_A \left(\frac{n-1}{n} \right) = T_A \left(1 - \frac{1}{n} \right)$$

Borda, Vogel, Biot, Desfforges, ont appliqué la méthode des coïncidences en les observant par des méthodes optiques délicates.

On peut aussi se fonder sur l'acuité auditive pour percevoir l'instant auquel coïncident les battements de deux instruments d'horlogerie que l'on se propose de comparer, c'est-à-dire des bruits de très brève durée.

Comme précédemment, s'il s'écoule $n - 1$ intervalles de battements de A et n de B entre deux coïn-

(1) PELLAT, *Cours de physique*. Dupont, Paris; PELLAT et SAGERDOTE, *id.* Juven, Paris.

cidences, les intervalles de temps T_A et T_B compris entre deux battements de A et de B seront liés par la même relation que précédemment.

Nous supposons, pour simplifier, que $T_A = 1$ seconde. Portons sur une droite horizontale, à partir d'une origine quelconque, des longueurs proportionnelles aux temps écoulés. Notons les heures de passage des pendules A et B par la verticale ou les battements des instruments A et B et portons ces heures sur l'axe des coordonnées. Nous obtenons

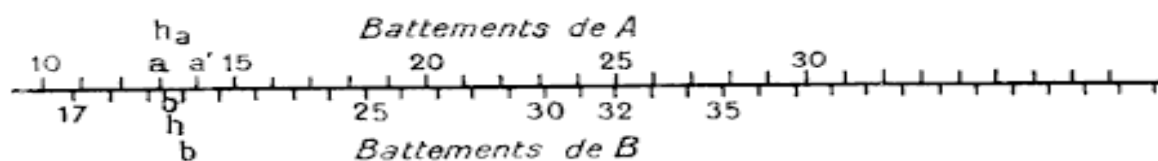


Fig. 49.

deux séries de points équidistants : la première série de points correspondant à A sera marquée par des traits verticaux au-dessus de l'axe ; la seconde série de points relatifs à B sera marquée par des traits verticaux au-dessous de l'axe des temps (fig. 49).

Il suffit de regarder la figure pour la rapprocher immédiatement de la représentation d'une règle munie de son vernier, n divisions du vernier B ayant la même longueur que $n - 1$ divisions de la règle A. On rapproche fréquemment dans les cours de physique cette méthode des coïncidences pour la mesure d'une durée d'oscillation, de la méthode du vernier pour la mesure précise d'une longueur.

Mais, en horlogerie, le problème qui se pose le plus souvent rappelle encore davantage l'usage du vernier. On veut obtenir la *comparaison* de deux instruments. Voici ce qu'il faut entendre par là ⁽²¹⁾ :

Soient deux instruments A et B à comparer.

Supposons d'abord qu'un battement de B se produise en b entre deux battements successifs a et a' de A.

On connaît l'heure du battement a , soit h_a . L'heure

marquée par l'instrument B en b est h_b . Entre ces deux battements a et b il s'est écoulé un temps représenté sur l'axe des coordonnées par la longueur ab ou la fraction de seconde e .

Donc, au moment où a lieu le battement b , l'heure de A est $h_a + e$. La comparaison est la différence $h_a + e - h_b$. Il faut donc déterminer e .

On ne peut se contenter d'évaluer cette fraction au jugé, pas plus que dans une mesure de longueur on n'évaluera une fraction de division en se fondant sur le sens de la vue. Pour obtenir de la précision, on continuera à suivre les battements de A et B jusqu'à ce qu'on observe une coïncidence comme on utilise les divisions du vernier entre son zéro et la coïncidence.

Sur la figure, c'est le battement b qui représente le zéro du vernier B, la coïncidence a lieu pour le p^{e} battement après p .

Si donc on connaît la fraction $\frac{1}{n}$ qui représente la différence entre les deux durées d'oscillations, il suffit de multiplier $\frac{1}{n}$ par p pour obtenir la fraction $e = \frac{p}{n}$.

On peut même s'affranchir de la différence e en faisant la comparaison des heures h'_a et h'_b des deux instruments au moment de la coïncidence observée. Il suffit pour cela de compter les battements de A et B séparément à partir d'heures connues. Si, par exemple, c'est le 25^e battement de A qui coïncide avec le 32^e de B, la comparaison, abstraction faite des heures et minutes, est

$$h'_a - h'_b = 25 \text{ battements de A} - 32 \text{ battements de B.}$$

Nous avons supposé jusqu'ici la coïncidence parfaite, alors qu'elle ne l'est pas en général. Deux battements consécutifs de B se trouvent compris entre deux battements consécutifs de A. En négligeant l'écart ou en admettant la coïncidence pour les

battements les plus rapprochés, on néglige un temps qui est, au plus, égal à la moitié de la différence des durées d'oscillations ou périodes des deux instruments ou $\frac{\text{durée d'oscillation de A}}{2n}$.

J'ai rappelé plus haut que, de même dans le vernier, en admettant la coïncidence comme parfaite, on s'expose à une erreur qui est au plus égale à la moitié de l'excès d'une division de la règle sur une division du vernier ou $\frac{1 \text{ division}}{2n}$.

Donc, si la comparaison des instruments ne permet d'atteindre directement que le $1/10^{\text{e}}$ de seconde, on peut atteindre le $1/200^{\text{e}}$ par la méthode des coïncidences pour deux pendules dont les périodes diffèrent de $1/200^{\text{e}}$.

Ce sont MM. A. Claude et L. Driencourt qui ont étendu considérablement les applications de la méthode des coïncidences en substituant le sens de l'ouïe à celui de la vue. Voici comment ils conseillent d'opérer :

Si l'on s'est proposé de faire la comparaison de deux instruments à une heure déterminée à l'avance h_0 , on continue à écouter les battements après l'heure h_0 . On entend alors le battement de B qui suit celui de A s'en rapprocher peu à peu, coïncider presque avec lui, le dépasser ensuite pour s'en écarter de plus en plus. Il est facile, avec un peu d'habitude, de noter ou une coïncidence parfaite, ou encore d'apprécier les heures h'_a et h'_b des battements qui se rapprochent le plus de la coïncidence.

MM. A. Claude et L. Driencourt font sur l'approximation de la mesure les remarques suivantes ⁽²²⁾ :

« Avec deux instruments donnés, on ne dispose pas de n . Les pendules et chronomètres sont ordinairement réglés soit sur le temps moyen, soit sur le temps sidéral ; les premiers battent la seconde, les autres la demi-seconde ou, plus rarement, les

$4/10^{\text{es}}$. Dans ces conditions, c'est en comparant deux chronomètres battant les $4/10^{\text{es}}$ et réglés, l'un sur le temps sidéral, l'autre sur le temps moyen, qu'on obtiendra le maximum de précision par la méthode des coïncidences ; si la coïncidence a été bien observée, l'erreur commise dans la comparaison sera inférieure à $\frac{0^{\text{s}},4}{2 \times 366,5}$ ou environ $\frac{1^{\text{s}}}{1,821}$.

« C'est déjà une très haute précision. Mais il semble possible d'aller beaucoup plus loin encore, car il est assez facile de régler l'un des chronomètres, le sidéral par exemple, de façon qu'il n'avance que d'une seconde par heure sur le chronomètre temps moyen, et alors ce n'est plus à $1/1.800^{\text{e}}$, mais à $1/18.000^{\text{e}}$ qu'une coïncidence bien appréciée donnera la comparaison.

« Pratiquement, la précision que l'on peut atteindre se trouve rapidement limitée comme avec le vernier. Dès que n devient un peu grand, l'observation de la coïncidence devient difficile et en partie illusoire. Le bruit qui constitue le battement, produit par le choc d'une dent de la roue d'échappement sur le repos, a, surtout dans les pendules, une durée qui n'est nullement négligeable. Cette durée plus ou moins longue se traduit graphiquement par une épaisseur plus ou moins grande des traits qui représentent les battements, et l'on sait que, dans le vernier, le principal obstacle à l'augmentation du nombre des divisions réside dans l'épaisseur qu'on est obligé de donner aux traits pour les rendre plus visibles et qui fait que, si elles sont trop nombreuses, plusieurs divisions consécutives paraissent coïncider. Il se passe pour les battements un fait entièrement analogue.

« Beaucoup d'autres causes influent sur la précision de l'appréciation d'une coïncidence. Si l'un des instruments bat plus fort que l'autre, les battements les plus faibles sont couverts par les autres dès un peu

avant la coïncidence et jusques assez longtemps après : c'est un effet de contraste....

« On peut souvent remédier à cette différence d'intensité des battements en rapprochant l'oreille de l'instrument qui bat le moins fort ; mais comme on écoute généralement A surtout avec l'oreille gauche, par exemple, et B surtout avec l'oreille droite, il est difficile de bien égaliser par ce moyen les intensités des battements perçus.

« Pour donner toute la précision dont elle est susceptible, la méthode des coïncidences exige que les battements des deux instruments satisfassent aux trois conditions d'être très brefs, secs et de même intensité apparente. Suivant que ces conditions seront plus ou moins bien remplies, on pourra augmenter plus ou moins le nombre n sans accroître en même temps l'incertitude sur le battement de la coïncidence. Dans les instruments actuels, ces qualités ne sont pas réalisées à un assez haut degré pour qu'il y ait intérêt à dépasser la valeur $n = 366,5$, qui correspond à l'avance du temps sidéral sur le temps moyen, même si T_A est égal à 1 seconde ; on est encore loin, en effet, d'atteindre, dans les comparaisons directes à l'oreille, l'approximation de $\frac{1^s}{732}$ que comportent ces chiffres ; celle de $\frac{1^s}{200}$ est déjà exceptionnelle et, en général, on ne peut guère répondre de plus de $\frac{1^s}{100}$.

« Nous avons supposé jusqu'ici les instruments à comparer A et B placés côte à côte, et nous avons admis implicitement que l'inégalité de durée des intervalles de leurs battements était suffisamment faible pour l'application de la méthode. Si A et B sont trop écartés pour être comparés directement, il faut avoir recours à un chronomètre qu'on compare successivement à A, à B, et à A de manière à

pouvoir déduire la comparaison (pour l'heure) de A de celle de B. C'est également de cette manière qu'on opère lorsque les deux instruments sont réglés sur le même temps ; s'ils sont en temps moyen par exemple, on prend comme intermédiaire un compteur sidéral dont l'avance est toujours suffisamment faible, comme nous venons de le voir. Dans les observations chronométriques, on se sert ordinairement d'un compteur vernier à 1/2 seconde, auquel on donne une avance de 1 seconde en 120 secondes environ, ce qui permet d'avoir une coïncidence toutes les minutes. »

Si donc on a quelque part un pendule oscillant en $1^s \pm \frac{1}{100}$ et si on peut l'entendre à distance, on pourra, grâce à ces battements :

1^o Déterminer la différence des longitudes en deux stations quelconques S_1 S_2 ;

2^o Appliquer à des pendules quelconques la méthode auditive des coïncidences ;

3^o Faire la comparaison de chronomètres par la méthode indiquée ci-dessus.

Application de la télégraphie sans fil à la méthode des coïncidences.

Le moyen le plus commode pour entendre à distance et simultanément dans un grand nombre de stations les battements du pendule de réglage est de se servir de la télégraphie sans fil.

Principe. — Une station d'émission radiotélégraphique est installée au point où sont exécutées les oscillations du pendule de $1^s \pm \frac{1}{100}$. Ce point peut, comme on l'a vu plus haut, être confondu avec une des stations S_1 et S_2 . Actuellement, ce point n'est autre que la station militaire de la Tour Eiffel.

A chaque battement elle émet une étincelle qui est écoutée à distance.

On peut, par exemple, convenir que chaque soir, entre le 1^{er} avril et le 15 juin, à des époques de l'année où les parasites ne sont pas encore gênants, le programme suivant sera exécuté à la Tour Eiffel.

Exemple de programme.

- 21^h 15. — Envoi d'une série d'appels (•—•—•—) pendant une minute pour le réglage des récepteurs.
 21^h 16 à 21^h 17. — Silence.
 21^h 17 à 21^h 19. — Envoi d'une série de battements pour le réglage de l'émission.
 21^h 19 à 21^h 20. — Silence.
 21^h 20 à 21^h 26. — Envoi de la première série de battements.
 21^h 26 à 21^h 27. — Silence.
 21^h 27 à 21^h 33. — Envoi de la deuxième série de battements.
 21^h 33 à 21^h 34. — Silence.
 21^h 34 à 21^h 40. — Envoi de la troisième série de battements.
 21^h 40. — Fin de transmission.

Réception. — En chacune des stations S_1 , S_2 , on installe une antenne et un récepteur de télégraphie sans fil avec téléphone. En dérivation, sur les bornes de celui-ci, se trouve le secondaire d'une petite bobine d'induction dont la résistance est convenablement choisie. Le primaire de cette bobine est fermé sur une pile, un microphone et un rhéostat. Le microphone est posé sur le chronomètre qui servira aux lectures et dont la marche et l'état sur l'heure du lieu ont été déterminés avec la plus grande exactitude possible par les observations astronomiques. L'observateur entend les tics-tacs de son chronomètre. Quand il entendra les battements d'émission, il cherchera l'instant des coïncidences.

Émission. — Voici maintenant comment M. le commandant Ferrié décrit l'installation du pendule au poste d'émission ⁽¹⁸⁾.

Le groupement des appareils d'émission et des relais est semblable à celui de la figure 47 (signaux horaires), mais il n'y a pas lieu de considérer les lignes souterraines puisque l'horloge de l'Observatoire est, ici, remplacée par un dispositif établi par M. A. Claude lui-même à la Tour Eiffel (fig. 47).

« Un pendule L' , à période réglable aux environs d'une seconde au moyen d'un poids mobile n' , est suspendu en c' , il est muni des organes nécessaires pour son entretien électrique d'après les principes donnés et appliqués par MM. G. Lippmann et A. Guillet ⁽²³⁾.

« A cet effet, le pendule porte deux aimants A' qui, pendant les mouvements du pendule, passent de part et d'autre d'une bobine carrée B' . La tige du pendule porte, de plus, deux pièces métalliques t_1 et t_2 , cette dernière étant isolée de la tige, tandis que la première lui est reliée électriquement. De part et d'autre sont disposés quatre cercles en fils d'argent, a' , b' , c' , d' , formant ressort doux, qu'on peut rapprocher ou écarter au moyen de vis micrométriques fixées sur le support de l'ensemble par des tiges, 1, 2, 3, 4.

« A chaque oscillation complète du pendule, la tige t_1 vient rencontrer le cercle flexible c' , — le cercle d' a été placé symétriquement pour conserver l'isochronisme des oscillations, — et fermer un circuit électrique comprenant une pile q' , une résistance de réglage R' et les primaires de deux petits transformateurs J' et I' . Le secondaire de I' est fermé sur la bobine B' , celui de J' est fermé sur les bobines Z' d'un relais. Le contact de celui-ci peut fermer un circuit contenant une pile q' et un compteur électrique H' . Quand la tige t_1 du pendule vient fermer le circuit, l'extra-courant de fermeture induit dans les secondaires de I' et J' des courants. Celui de I' par-

courant B' agit sur les aimants A et leur donne une impulsion. Celui de J' , parcourant les bobines du relais, produit un contact en S' , et le compteur de temps avance d'une division. Quand le pendule revient en arrière, au moment où t_1 quitte le contact de c' , il se produit un extra-courant de rupture qui induit encore dans les secondaires de I' et J' , des courants, mais de sens contraire de ceux qui avaient été produits au moment de la fermeture du circuit. L'action de la bobine B' sur les aimants A' sera donc de sens contraire de l'action produite au passage précédent, et une nouvelle impulsion sera donnée au pendule, puisqu'il se déplace en sens contraire (¹). Le compteur, d'autre part, avance encore d'une division.

« La tige t_2 ferme, à chaque demi-oscillation, le circuit du relais R , et tous les organes de transmission fonctionnent comme dans le cas des signaux horaires. La durée de fermeture du circuit par t_2 étant convenablement réduite à l'aide des vis micrométriques de 1 et 2, et tous les organes bien réglés, on obtient facilement qu'il ne se produise qu'une étincelle à chaque passage du pendule par la verticale ; on peut faciliter l'obtention d'une seule étincelle en réglant les organes du circuit d'alimentation, et en particulier la self G , de manière à raréfier autant que possible les étincelles. Il est nécessaire de faire ce réglage avec soin pour faciliter l'observation des coïncidences à la réception. Cette observation serait, en effet, moins facile et surtout moins précise, si les signaux comportaient plus d'une étincelle. On pouvait craindre que, le courant employé pour l'alimentation des appareils d'émission étant à quarante-deux périodes, il n'y ait entre les intervalles des étincelles une différence variable pouvant atteindre $1/84^e$ de seconde (une demi-période), l'étincelle ne jaillissant qu'après plusieurs périodes du courant, puisque les appareils utilisent les phénomènes de

résonance. L'expérience a montré qu'il n'en était rien et que les étincelles uniques qui forment chacun des signaux étaient séparées par des intervalles de temps exactement égaux.

« Il importe aussi de régler avec beaucoup de soin la position des deux cercles a' et b' , de manière que les intervalles de temps qui séparent les deux étincelles consécutives correspondant à l'aller et au retour du pendule soient bien égaux, sans quoi il résulterait des erreurs dans l'observation des coïncidences.

« Pour éviter d'avoir à faire ce réglage assez délicat, M. A. Claude a établi un nouveau modèle de pendule battant la demi-seconde, mais n'agissant sur les divers organes qu'à chaque oscillation complète; il est ainsi beaucoup plus facile d'obtenir de bons réglages.

« Pour faciliter le numérotage des points hertziens ainsi transmis, on peut employer plusieurs méthodes; la plus simple consiste à supprimer une émission sur soixante, c'est-à-dire à couper un des circuits, de manière à éviter le jaillissement des étincelles à 60, 120, etc.

« Les observateurs retrouveront aisément le numéro correspondant à une coïncidence, car ils ne peuvent pas faire une erreur de 60.

« Pour la réception de ces signaux hertziens, on emploiera, comme pour les signaux horaires, un type quelconque de récepteur simplifié, suivant que la distance à laquelle devront être faites les observations sera moins ou plus considérable et que l'on aura à se protéger ou non contre les troubles émis par des émissions étrangères.

« Les premiers essais de la méthode furent faits tout d'abord en 1909, entre la Tour Eiffel et l'observatoire de Montsouris, puis entre ce dernier et l'observatoire de Paris.

« Enfin, en juillet dernier, une série spéciale d'ex-

périences fut entreprise entre Montsouris et Brest pour comparer les résultats obtenus en faisant usage de la télégraphie sans fil d'une part, et d'une ligne téléphonique directe d'autre part, suivant le procédé employé par MM. A. Claude et Driencourt en 1906. Les observateurs à Paris (Montsouris) étaient MM. A. Claude et Driencourt, à Brest, MM. les lieutenants de vaisseau Tissot et Perret.

« Ces expériences permirent de constater que la précision obtenue était sensiblement la même dans les deux cas, et de l'ordre de $1/100^{\text{e}}$ de seconde de temps, ce qui est largement suffisant. Ces résultats montrent que les erreurs auxquelles on doit s'attendre et qui sont dues à la propagation et aux inerties mécaniques et électriques des divers appareils sont pratiquement négligeables.

« De nouvelles expériences ont été entreprises par le bureau des longitudes entre Paris et Bizerte. Elles ont été d'autant plus concluantes, que la détermination des différences de longitude a été faite par deux séries distinctes d'opérations dans lesquelles les observations astronomiques ont été effectuées au moyen d'astrolabes à prismes portatifs ou au moyen de lunettes méridiennes de précision.

« On projette surtout d'appliquer cette méthode, qui permet d'opérer simultanément dans un nombre quelconque de points, pour effectuer des opérations géodésiques à l'intérieur de l'Afrique, au moyen des stations fixes de la côte d'Algérie, de Tombouctou, Dakar, etc., et de postes portatifs emportés par les explorateurs.

« Peut-être sera-t-il possible plus tard non seulement d'effectuer les opérations géodésiques de l'ancien continent, mais de les relier, à travers l'Atlantique, à celles du nouveau continent (1). »

(1) *Journal de Physique*, loc. cit.

CHAPITRE XI

INFLUENCES DIVERSES SUR L'INTENSITÉ DE LA RÉCEPTION

La propagation des ondes hertziennes servant en télégraphie sans fil est grandement influencée par des circonstances diverses.

1° Il semble dès maintenant établi que les conditions météorologiques influent nettement. Mais il n'est actuellement possible d'énoncer aucune loi ; la question est encore en ce moment à l'étude. Il nous est arrivé, sans aucune cause apparente, d'entendre certains jours des stations éloignées qui ne sont pas perçues en général (1).

Tous les photographes ont observé que les clichés obtenus après la pluie présentent toujours plus de netteté et tout le monde sait que les lointains deviennent tout à fait visibles et semblent tout rapprochés quand, aussitôt après la pluie, la limpidité de l'atmosphère est rendue parfaite par la disparition des poussières.

Nous avons observé fréquemment un fait du même genre pour les ondes hertziennes : après des pluies abondantes, des bourrasques même, la réception devient intense. Il est fort probable que, dans ces conditions, il n'existe plus dans l'atmosphère ni poussières, ni particules électrisées (auxquelles on donne le nom d'ions) qui doivent avoir une influence importante sur la propagation des ondes.

(1) La Conférence de l'heure vient de décider d'organiser des expériences d'ensemble sur ces curieuses influences (23 octobre 1912).

La pluie, la neige ne sont pas gênantes. Il semble que la brume soit favorable. Mais la grande sécheresse de l'été nuit à la réception. C'est ainsi qu'en été, la station de Norddeich, si aisément perçue à Nancy pendant les autres saisons, n'est plus compréhensible qu'avec quelques difficultés.

On a vu déjà l'importance que joue le sol. La propagation, conformément à la théorie de M. Blondel, est facilitée à la surface de la mer. Il n'y a donc rien d'étonnant à ce que l'état du sol ait une influence importante.

Les orages, les bourrasques, le vent gênent la réception. Le vent déplace des masses nuageuses chargées d'électricité qui modifient constamment le potentiel de l'antenne.

2° Un des faits qui semblent actuellement le mieux établis, est la différence des intensités de réception le jour et la nuit.

Voici, à titre d'exemple, les résultats obtenus à Nancy à l'aide du thermogalvanomètre de Duddel, le jeudi 4 avril 1912, pour des signaux de la Tour Eiffel de dix secondes de durée, séparés par des intervalles de dix secondes :

Heures	Déviatiou en millimètres
6	38
8	36
10	41
12	45
14	48
16	44
18	45
20	la communication n'a pas été perçue nettement.
22	63
24	69

La réception a donc varié de près de 50 % entre 6 heures du matin et minuit.

On remarquera d'ailleurs un minimum après le lever du soleil et un autre après son coucher. Ces

minimums varient avec la saison et les circonstances précédemment étudiées.

Il semble donc que le soleil agit d'une façon encore inconnue sur la propagation. Peut-être s'agit-il d'une ionisation de l'atmosphère par le rayonnement solaire, phénomène qui n'est pas forcément instantané et doit, par conséquent, se présenter avec un décalage dépendant de circonstances multiples. Cette influence doit d'ailleurs être faible pour des antennes au niveau du sol.

3° Nous avons pensé qu'il serait intéressant de profiter de l'éclipse du 17 avril 1912 pour essayer de reconnaître la part du soleil dans les variations diverses observées jusqu'alors.

M. le commandant Ferrié, à qui nous avons fait part de notre projet, a bien voulu s'y associer, et le Bureau des Longitudes a communiqué une circulaire aux observatoires et aux physiciens sur l'emploi de la télégraphie sans fil dans les travaux projetés par le Bureau des Longitudes à l'occasion de cette éclipse de soleil.

1° Afin de permettre à tous les opérateurs d'employer la même heure pour leurs observations, la station radiotélégraphique de la Tour Eiffel enverra des signaux horaires non seulement à 10^h 45 comme à l'ordinaire, mais à 8^h 45, 12^h 45, 14^h 45 ;

2° La question de l'influence de la lumière solaire sur la propagation des ondes hertziennes présente un grand intérêt au point de vue scientifique. On a déjà constaté bien souvent que cette propagation se faisait beaucoup mieux la nuit que le jour, avec cependant quelques anomalies, notamment aux moments du lever et du coucher du soleil.

Il sera donc utile de profiter de l'éclipse du 17 avril pour tâcher d'apporter une contribution à l'étude de ces phénomènes.

La station de la Tour Eiffel transmettra dans ce but des signaux spéciaux avant, pendant et après

l'éclipse, et ceux-ci seront observés avec soin, dans un certain nombre de stations réceptrices, à petite et à grande distance. Quelques-unes des stations rapprochées feront des mesures aussi précises que possible de l'énergie reçue à chaque émission au moyen de bolomètres ou thermogalvanomètres, tandis que les autres se borneront à apprécier l'intensité de la réception sur un même détecteur bien constant et choisi avec soin, par exemple en shuntant les téléphones au moyen d'une résistance variable et en notant pour chaque émission la valeur de la résistance correspondant à l'extinction du son. Les opérateurs pourront d'ailleurs employer tout autre procédé à leur convenance, sauf à le décrire en détail dans leur compte rendu et à donner au moins une classification par intensité des signaux reçus aux différentes heures.

Les signaux émis ont été les suivants : des séries de traits analogues aux traits horaires d'une durée totale de deux minutes et composées de traits de dix secondes espacés de dix secondes également furent émises tous les quarts d'heure de 11 heures à 14 heures.

De plus, pendant la durée de l'éclipse, c'est-à-dire de 11^h45 à 12^h45, les mêmes séries furent émises toutes les cinq minutes.

En résumé, les heures d'émission des séries de deux minutes furent les suivantes : 8^h40, 10^h40, 11 heures, 11^h15, 11^h30, 11^h45, 11^h50, 11^h55, 12 heures, 12^h5, 12^h10, 12^h15, 12^h20, 12^h25, 12^h30, 12^h35, 12^h40, 13 heures, 13^h15, 13^h30, 13^h45, 14 heures, 14^h40.

Études préliminaires. — Des études préliminaires commencées le 4 mars, auxquelles prirent part surtout, avec M. le commandant Ferrié, MM. Meslin, professeur à l'Université de Montpellier, et Rothé, à l'Université de Nancy, permirent de choisir parmi toutes les émissions de la Tour Eiffel celle qui con-

viendrait le mieux, de choisir aussi la nature, la durée des signaux et la méthode de réception.

Pour faire des mesures au thermogalvanomètre, il faut que l'échauffement du fil prenne l'état stationnaire ; il fut bientôt reconnu que la durée des signaux devait atteindre dix secondes et que ceux-ci ne devaient pas se succéder trop rapidement.

La méthode du téléphone shunté, qui n'a pas encore été décrite, consiste dans l'emploi d'une résistance aux bornes du téléphone. Pour une valeur convenable de cette résistance, on cesse d'entendre le son, et cette valeur est d'autant plus petite que l'intensité de la réception est plus grande.

Il faut prendre quelques précautions indispensables : ne jamais toucher aucun des points du circuit, ce qui établit des contacts avec le sol ; prendre le téléphone dans un support fixe isolant et en approcher l'oreille sans le tenir à la main ; manipuler les fiches de la boîte de résistance par leur manche isolant.

A cette méthode conviendraient mieux des envois continus de signaux, lecture d'un journal ou envois d'appel, etc.... Les silences séparant les traits de 10 secondes sont plutôt gênants. Il n'était pas possible de faire le jour de l'éclipse des émissions de cette nature, si l'on voulait utiliser aussi des détecteurs thermiques.

On pouvait également employer le galvanomètre balistique (1) ; mais alors il fallait des signaux courts. Les meilleurs sont des tops uniques formés d'une seule étincelle de décharge, comme ceux des battements de pendules. Mais, pour permettre le retour du galvanomètre au zéro, ces tops ne doivent se succéder qu'à de rares intervalles.

On a vu combien le phénomène de dépolarisation du détecteur était compliqué. Des tops uniques, ou

(1) Voir p. 71.

des tops répétés comme ceux de traits de 10 secondes, ne produisent pas des effets proportionnels au nombre des tops.

La méthode du galvanomètre balistique ne donne pas des résultats conformes à ceux des détecteurs thermiques. Utilisée pour des traits de longue durée, elle ne donne que des indications générales sur l'intensité de la réception.

La méthode du téléphone est aussi très compliquée au point de vue théorique. *Ses indications ne permettent que de classer les signaux dans un ordre déterminé.*

Néanmoins, plusieurs expérimentateurs ont pu, grâce à leur habileté, tirer de ces deux méthodes des résultats fort instructifs.

Des expériences faites ce jour-là, il faut excepter toutes celles qui n'ont pas été poursuivies depuis le début 8^h 40 jusqu'à la fin 14^h 40 ; car nous avons vu déjà que l'influence des radiations solaires au lever et au coucher du soleil ne se faisait sentir qu'avec un décalage important.

De là l'assertion de quelques physiciens, qui n'ont observé aucun effet appréciable pour n'avoir suivi la marche du phénomène que pendant les minutes qui ont précédé et suivi le maximum de phase.

Méthode du thermogalvanomètre. — Les lundi 15, mardi 16, mercredi 17 à 10^h 40, des transmissions identiques à celles de l'éclipse furent faites pour permettre des vérifications. On trouva à Nancy au thermogalvanomètre les déviations 35 à 36 millimètres, comme le jour de l'éclipse à la même heure. Voici les observations du 17 avril :

Heures	Déviati on moyenne	Heures	Déviati on moyenne
8 40	41	11 30	43,5
10 40	36	11 45	42
11	45	11 50	44
11 15	44,5	11 55	41,5

Heures	Déviatiou moyenne	Heures	Déviatiou moyenne
12	41,5	12 40	45
12 05	43	13	37
12 10	43	13 15	37,5
12 15	43	13 30	41
12 20	44	13 45	42
12 25	44	14	44
12 30	45	14 40	41
12 35	45		

Cinq ou six lectures ont été faites pour la détermination de chacun de ces nombres. La moyenne indiquée ne diffère en général que d'une unité des nombres qui s'en écartent le plus. Rarement l'écart atteint deux unités.

Dans tous les essais préliminaires et dans les mesures définitives, il a été tenu compte des données météorologiques à Paris et à Nancy. Le jour de l'éclipse, le ciel est resté absolument bleu pendant toute la durée du phénomène. Un seul nuage s'est formé devant le soleil entre 11^h 20 et 11^h 25.

Des professeurs, préparateurs et étudiants de l'Institut de physique ont observé simultanément les variations de température, pression, état hygrométrique, vent, magnétisme, radiation solaire, intensité de la lumière, etc. (1).

L'abaissement de température a atteint 2°5. Il n'y a pas eu de dépôt appréciable de rosée. La pression enregistrée par le baromètre de gravité Richard (20^{mm} par millimètre de mercure) a fourni une courbe qui ne se distinguait en rien de celle des jours précédents et suivants. Mais le vent, qui soufflait du sud-est, a varié notablement; on a enregistré à 11^h 30 des coups de vent de 6 mètres à la seconde, qui sont

(1) MM. Marsal, chargé du cours de météorologie; Meyer, chef des travaux; Grégoire de Bollemont, Guéritot, Bénad, préparateurs; Michels et Garnier, pharmaciens; Bourcier, Bouchon, Contal, Desevaux, Dorlodot des Essarts, Etienne, Gérard, Lemoine, Haillouy, Pontonnier, Voyer, étudiants en physique.

allés en décroissant jusqu'à 12^h 50 pour croître de nouveau jusqu'à la valeur 3^m 50 vers 13^h 30.

L'aspect des courbes ci-dessous (fig. 50) montre

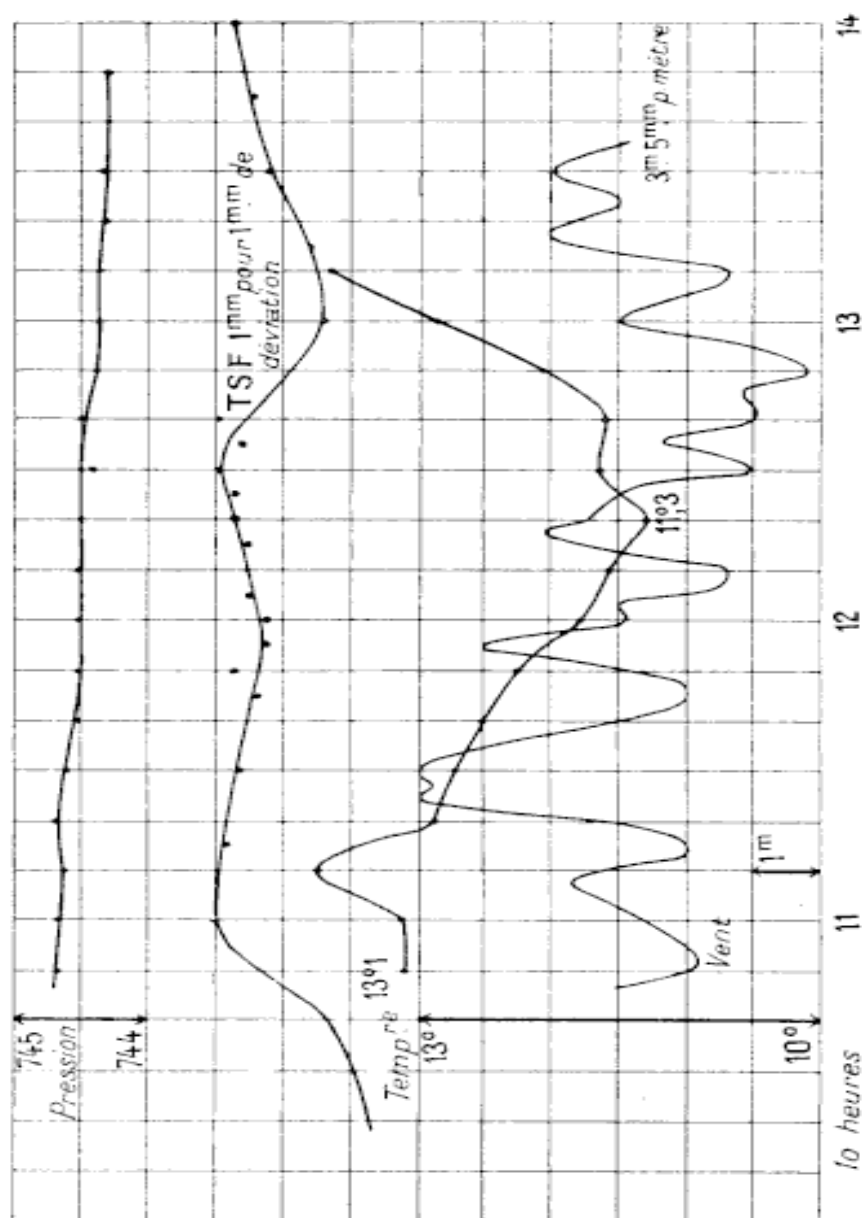


Fig. 50.

une corrélation entre l'éclipse, l'abaissement de température, les coups de vent qui en résultent et aussi l'intensité de réception des signaux FL⁽²⁶⁾. Il y a eu pendant l'éclipse une augmentation dans l'inten-

sité de la réception. Des recherches ultérieures montreront si on doit l'attribuer aux radiations solaires elles-mêmes ou bien aux effets secondaires de l'éclipse sur toutes les circonstances qui modifient la propagation des ondes.

Méthode du téléphone shunté. — Cette méthode a été utilisée dans de nombreuses stations (Montpellier⁽²⁶⁾, Besançon, postes de la Marine, etc.). La plupart des observateurs ont constaté un maximum d'audition un peu après l'éclipse, plusieurs un minimum un peu avant.

Méthode du galvanomètre balistique. — M. Albert Turpain⁽²⁵⁾, professeur à la Faculté des sciences de Poitiers, a employé avec succès la méthode du galvanomètre balistique. Les postes de réception étaient Maucroix (Université de Poitiers), Saint-Benoît (Vienne), Poitiers (Faculté des sciences), château de Saumur (Maine-et-Loire).

Toutes les mesures faites dans les trois stations le jour de l'éclipse ont été résumées dans des courbes⁽²⁵⁾. Ces courbes révèlent d'une manière indéniable l'influence très nette de l'éclipse sur la propagation des ondes.

D'après la courbe de Saumur, le maximum de l'effet coïnciderait, à quelques minutes près, avec le maximum de phase.

Les courbes relatives à Poitiers et à Saint-Benoît indiquent un maximum de réception à peu près 30 minutes après le maximum de phase.

Conclusion. — L'effet de l'éclipse paraît certain ; la discordance apparente des résultats provient de ce que les méthodes employées *ne mesurent pas toutes les mêmes quantités* et que, d'autre part, les circonstances locales ont eu une influence certaine.

Comme ces méthodes seront toutes fréquemment employées dans la suite, il serait bon d'en faire une étude systématique au point de vue de la comparaison des résultats (1).

(1) Cette étude est commencée au laboratoire de physique de Nancy (station de télégraphie sans fil et d'aérodynamique).

CHAPITRE XII

APPLICATIONS A LA MÉTÉOROLOGIE

Le problème de la prévision du temps à courte échéance est un de ceux qui intéressent le plus l'agriculture et, depuis plusieurs mois déjà, le ministère de l'Agriculture, sous l'impulsion de M. Fernand David, alors rapporteur du budget, s'est préoccupé de la création en France d'un service rapide de prévision. Depuis 1908, dans ses rapports annuels au Conseil général, l'auteur de cet ouvrage a constamment insisté sur l'importance qu'il y aurait, pour les Commissions météorologiques départementales, à utiliser la télégraphie sans fil. Dans une conférence à la Société industrielle de l'Est, le 15 mai 1911, il demandait qu'après les signaux horaires, la Tour Eiffel fût en mesure d'envoyer un bulletin météorologique indiquant la situation atmosphérique générale et les prévisions du Bureau central de Paris.

Dépêche maritime. — Depuis le 15 juillet 1911, le poste de la Tour Eiffel envoie, après les signaux horaires de 10^h 45, une dépêche appelée *dépêche maritime*, et dont l'utilité est surtout grande pour les navires et les ports.

Ce télégramme donne la pression atmosphérique, la direction et la force du vent, 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, C, H, S). Après chaque initiale on émet un point, puis une série de chiffres.

Les deux premiers chiffres de chaque groupe indiquent en millimètres la valeur de la pression atmosphérique, en sous-entendant les centaines (700). Les deux chiffres suivants donnent la direction, le cinquième la force du vent et le sixième l'état de la mer.

Cette dernière indication n'est pas donnée dans les groupes correspondant à Reykiavik et à Saint-Pierre-et-Miquelon. Toute observation qui manque est remplacée par la lettre X.

La traduction des chiffres en langage ordinaire est donnée par les tableaux ci-après :

DIRECTION du vent	FORCE DU VENT	VITESSE à la seconde	ÉTAT de la mer
02 N. NE.	0 Calme.	0 à 1 ⁰⁰	0 Calme.
04 NE.	1 Presque calme.	1 à 2	1 Très belle.
06 E. NE.	2 Très faible, légère brise.	2 à 4	2 Belle.
08 E.	3 Faible, petite brise.	4 à 6	3 Peu agitée.
10 E. SE.	4 Modéré, jolie brise.	6 à 8	4 Agitée.
12 SE.	5 Assez fort, bonne brise.	8 à 10	5 Houleuse.
14 S. SE.	6 Fort, bon frais.	10 à 12	6 Très houleuse.
16 S.	7 Très fort, grand frais.	12 à 14	7 Grosse.
18 S. SO.	8 Violent coup de vent.	14 à 16	8 Très grosse.
20 S. O.	9 Tempête.	plus de 16	9 Furieuse.
22 O. SO.			
24 O.			
26 O. NO.			
28 NO.			
30 N. NO.			
32 N.			

A la suite de ces six groupes, on donne, en langage ordinaire, quelques indications sur la situation générale de l'atmosphère en Europe, et notamment

sur la position des centres de hautes et de basses pressions.

Les signaux horaires sont séparés de la dépêche par un ou deux traits, un ou deux appels, puis les lettres B C M annonçant qu'elle émane du bureau central météorologique et un trait —.

Nous donnons, à titre d'exemple, à la page 146, la dépêche qui a été expédiée le lundi 11 novembre 1912.

Dépêche parisienne. — Au cours de l'hiver suivant des dépêches furent envoyées au champ d'aviation de Reims (RS de FL) vers 3 heures de l'après-midi ou 15 heures. Elles furent en même temps utiles aux pilotes des dirigeables, en particulier à ceux de l'*Adjudant-Vincenot* de Toul.

M. le commandant Ferrié, à qui l'on doit de si nombreux progrès accomplis, tant dans la télégraphie elle-même que dans ses applications, a généralisé l'émission de ce télégramme, et depuis le mois de janvier dernier, trois dépêches sont émises à 8 heures, 10^h 55 (après le passage des signaux horaires et du télégramme météorologique du B C M), 15 heures. Les renseignements indiqués correspondent aux heures suivantes : 7^h 30, 10^h 30, 14^h 30.

Ces radiotélégrammes ne sont pas émis les dimanches et fêtes. Ils ont la forme suivante :

« Tous de FL. Voici renseignements météorologiques. (Cette formule de début est généralement omise.)

Paris vent X mètres . $\left\{ \begin{array}{l} \text{Croît.} \\ \text{Décroît.} \\ \text{Stationnaire.} \end{array} \right.$

(C'est la vitesse au sommet de la tour Eiffel en mètres par seconde.)

Direction XX (d'après les conventions) . . $\left\{ \begin{array}{l} \text{Croît.} \\ \text{Décroît.} \\ \text{Stationnaire.} \end{array} \right.$

(Par croît ou décroît on entend que le sens de la rotation est vers le nord ou vers le sud.)

Communiqué par la Faculté des sciences de Nancy, le 11 novembre 1912, 10^h 45

RADIOTÉLÉGRAMME DU POSTE DE TÉLÉGRAPHIE SANS FIL DE LA TOUR EIFFEL

Stations	Pression	Direction du vent	Intensité du vent	État de la mer
REYKJAVIK (Islande)	XX	XX	XX	XX
VALENTIA (Irlande)	761	N. O.	Très fort, 12 à 14.	Grosse.
OUËSSANT (France)	756	N. O.	Très fort, 12 à 14.	Très grosse.
LA COROGNE (Espagne)	770	N. O.	Faible, 4 à 6.	Houleuse.
HORTA (Açores)	770	N. E.	Moderé, 6 à 8.	Peu agitée.
SAINT-PIERRE ET MIQUELON (Amérique)	760	Ouest.	Moderé, 6 à 8.	XX

DEPÊCHE GÉNÉRALE

Profonde dépression mer du Nord ; mauvais temps ouest Europe.

TEMPS A PARIS

Vent, 13 mètres ; croît.
 Direction, ouest ; croît.
 Pression, 748 ; décroît.
 État du ciel, nuageux.

Pression XXX millimètres (trois chiffres) . $\left\{ \begin{array}{l} \text{Croît.} \\ \text{Décroît.} \\ \text{Stationnaire.} \end{array} \right.$

(C'est la pression barométrique au bureau central météorologique).

Ciel $\left\{ \begin{array}{l} \text{découvert. . .} \\ \text{nuageux . . .} \\ \text{couvert. . .} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \text{Soleil.} \\ \text{Temps brumeux.} \\ \text{Brouillard.} \\ \text{Pluie fine.} \\ \text{Pluie violente.} \\ \text{Neige.} \end{array} \right.$

Le signe de fin de transmission **•—•—•** termine cet envoi.

Exemple :

Paris, vent 10 mètres, croît.
Direction nord, stationnaire.
Pression, 760, croît.
Ciel couvert.

Le 5 novembre, à 10^h 45.

A la revision, on indique seulement les premières lettres de vent, direction, pression, et les mots croît, décroît, stationnaire, sont remplacés par deux *c*, deux *d* ou deux *s*.

Dépêche de la station allemande de Norddeich. — Tous les jours à midi, la station allemande de Norddeich envoie, en langage clair, une dépêche assez détaillée indiquant la pression à la station de Norddeich ou KND, dans les centres de basses et de hautes pressions ; la direction du vent dans la mer du Nord, la Manche, la Baltique et donnant aussi aux navigateurs des renseignements particuliers sur les dangers à courir dans telle ou telle station. Dans ce dernier cas, les dépêches sont répétées deux ou trois fois. En général, au contraire, les télégrammes ne sont émis qu'une fois.

Dépêches entre Alger et les Saintes-Maries-de-la-Mer. — Il est utile pour la prévision du temps de connaître la formation des dépressions secondaires dans la Méditerranée. A ce point de vue, les renseignements échangés entre le poste des Saintes-Maries-de-la-Mer (U S M) et celui de Fort-de-l'Eau (U F O) près d'Alger, sont particulièrement intéressants.

Il y a ainsi six échanges de dépêches par intervalle de vingt-quatre heures aux heures suivantes : 1 heure, 5 heures, 9 heures, 13 heures, 17 heures, 21 heures. U S M parle la première et envoie en clair la dépêche précédée de (U F O, de U S M). Fort-de-l'Eau répond ensuite (1).

Tous ces renseignements, recueillis instantanément, permettent pour la première fois de faire, avec quelque chance de succès, une prévision du temps. Récemment à Nancy, pendant les fêtes des 7 et 8 avril, les radiotélégrammes envoyés spécialement par M. le commandant Ferrié, malgré les fêtes de Pâques, ont été particulièrement précieux et ont permis de prévoir assez heureusement les modifications atmosphériques. Le lundi 8 avril, malgré un ciel d'un bleu pur à Nancy, l'on pouvait s'attendre à une tempête dans l'après-midi et il eût été bon d'avancer de quelques heures les vols des aviateurs.

Avertissements aux aviateurs. — La télégraphie sans fil doit venir en aide à l'aviation. Pour montrer l'importance des services qu'elle peut rendre actuellement à la navigation aérienne, je rappellerai l'utilisation qui a été faite en Allemagne des méthodes d'un de nos compatriotes, M. Durand-Gréville, vice-président de la Société astronomique de France. Pendant l'été de 1909, il y eut, à Francfort-sur-le-

(1) A Nancy, avec l'antenne actuelle, les Saintes-Maries ne sont entendues que la nuit. La réception est gênée fréquemment par les perturbations atmosphériques.

Mein, une exposition d'aéronautique où plusieurs épreuves furent disputées. M. Link, directeur de l'Institut de physique, chargea une cinquantaine de personnes, dans un rayon de 150 kilomètres, de lui signaler l'heure exacte du passage de grains ou d'orages au-dessus d'eux. Il pouvait en déduire l'heure de passage d'une ligne de grains au-dessus de Francfort, et avancer ou retarder le départ des aéronautes. On rapporte que l'arrivée de trente-sept orages fut connue plus d'une heure à l'avance ⁽²⁷⁾.

On conçoit ainsi l'importance des services que la télégraphie sans fil pourrait rendre aux aviateurs.

La Faculté des sciences a créé, à Nancy, une station de renseignements qui a déjà fonctionné pendant les campagnes du dirigeable *Adjudant-Vincenot*. Cette station a été honorée d'une subvention de M. Guist'hau, ministre de l'Instruction publique, lors de sa visite du 23 avril dernier.

Il est bien évident que l'on n'empêchera jamais un jeune aviateur résolu de se lancer témérairement au-devant de dangers dont il ne connaît pas la nature. Il n'y a qu'un moyen de le rendre plus prudent, c'est de lui apprendre qu'il y a des dangers contre lesquels il ne peut rien ; *et, s'il faut absolument qu'il parte*, de lui dire comment il peut réduire au minimum les chances d'accident. Voici les conseils que donne M. Durand-Gréville :

Les dangers se présentent dans des bandes étroites, longues souvent de plus de 1.000 kilomètres, qu'il a appelées rubans de grains. Elles sont orientées grossièrement nord-sud et se déplacent de l'ouest à l'est parallèlement à elles-mêmes. Elles sont le siège de vents très forts, légèrement inclinés, qui, par le contact avec le sol, produisent de violents remous. Si un ruban est signalé, s'il est encore loin, et que le but du voyage soit à l'est, l'aviateur peut partir. Si le but n'est pas à l'est, il vaut mieux attendre que le ruban de grain soit passé ⁽²⁷⁾.

Si l'aviateur doit forcément rencontrer le ruban, il rencontrera des remous au contact du sol. Il lui faudra donc « prendre de la hauteur ». Le vent de grain est toujours très violent, mais il est régulier à des altitudes élevées. Il faudra encore tenir compte du fait que le vent ne souffle pas horizontalement, mais descend légèrement vers la terre dans la direction du sud-est. A la sortie du ruban de grain, les remous cessent et l'aviateur peut atterrir sans danger.

Ce court exposé des théories de M. Durand-Gréville indique suffisamment, je ne dirai pas l'utilité, mais la *nécessité* des radiotélégrammes.

Ce n'est pas seulement une station de réception, mais une station d'émission qui devrait exister au moins dans un certain nombre de centres, par exemple entre Paris et Nancy, pour jalonner la route de la frontière Paris, Reims, Bar-le-Duc, Nancy où sont installés des hangars et des stations d'observations météorologiques. Il semble facile d'en faire des stations de renseignements pour les avions analogues à celle que nous créons actuellement à Nancy.

Avertissements agricoles. — D'autre part, on s'occupe activement maintenant au ministère de l'Agriculture de la création du service de prévision du temps.

Au nom de la Commission instituée par arrêté ministériel du 10 avril 1911 en vue de l'examen des questions se rapportant à l'organisation d'un service général de météorologie agricole, M. Pierre Rey, directeur de la station de météorologie agricole de Montpellier, a présenté à M. le ministre de l'Agriculture un rapport indiquant comment a été conçu le plan d'organisation du service de la météorologie agricole.

Ce service comprendrait :

1° Un comité directeur assisté d'un service technique ;

2° Des stations régionales de météorologie agricole ;

3° Des stations d'avertissements agricoles ;

4° Des postes météorologiques agricoles.

Les stations régionales de météorologie agricole seraient, autant que possible, rattachées à un centre scientifique (Faculté des sciences, observatoires, École nationale d'agriculture, etc.).

Chaque matin, le bureau central enverrait directement aux diverses stations régionales un télégramme contenant les renseignements sur la situation générale de l'atmosphère, ainsi que son avis sur le temps probable.

En cas d'urgence et pendant l'après-midi, le bureau central météorologique adresserait à ces mêmes stations un télégramme supplémentaire.

Les stations régionales interpréteraient ces données et transmettraient immédiatement aux stations d'avertissements agricoles les renseignements les intéressants.

Avantages de la télégraphie sans fil dans l'organisation nouvelle. — A mon avis, les télégrammes à heure fixe du bureau central devraient être envoyés par la Tour Eiffel qui n'aurait, en somme, qu'à étendre, compléter les transmissions de 8 heures et 15 heures.

Mais, en outre, chaque station régionale devra posséder un poste de transmission, grâce auquel, immédiatement après la dépêche FL, elle enverra aux stations agricoles de sa circonscription un télégramme supplémentaire indiquant les corrections locales apportées aux prévisions.

On conçoit quelles pertes de temps seraient ainsi évitées. On ne peut objecter les frais occasionnés par cette installation : on a vu dans un chapitre précédent que le poste de réception simple revient à quelques francs. La commune la plus pauvre peut en

faire l'acquisition. D'autre part, les centres scientifiques où seront créées les stations régionales sont outillés pour l'émission. On a vu que la Faculté des sciences de Nancy en avait fait l'expérience, avec l'autorisation du ministère des Postes, à l'occasion du meeting de Pâques.

On ne peut objecter non plus l'existence du monopole des Postes. Il suffirait d'une entente entre les ministères des Postes et de l'Agriculture. L'envoi des dépêches pourrait être fait sous le contrôle des Postes, et même donner lieu à une redevance annuelle.

Il est bien évident que ces émissions n'empêcheraient pas des communications avec fil ou par téléphone avec les petites stations en cas d'urgence à des heures indéterminées. M. le président de la Société des viticulteurs lorrains a bien voulu m'entretenir déjà de l'intérêt qu'il y aurait pour la protection contre le mildew à avertir rapidement les viticulteurs, lorsque les conditions de température sont favorables à l'éclosion. Il semble que cela pourrait être fait par un radiotélégramme de bonne heure au lever du jour. La station régionale pourrait se charger de ce service.

Par ces quelques exemples, on voit dans quel sens il est nécessaire que la météorologie se développe aujourd'hui. Après avoir fait surtout de la statistique, mieux armés maintenant, grâce aux méthodes modernes, les observateurs doivent s'attacher résolument à la prévision et transformer peu à peu les stations d'observations simples en stations d'avertissements. C'est surtout grâce à la télégraphie sans fil que cette réforme pourra être accomplie.

CHAPITRE XIII

LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL ET L'AÉRONAUTIQUE

La réception à bord. — On a vu dans le chapitre précédent l'intérêt qu'il y aurait pour les aéroplanes et les dirigeables à être renseignés, en cours de route, par la télégraphie sans fil, sur l'état de l'atmosphère. Il suffit pour cela que les avions et les aéronefs soient munis de postes de réception.

Mais il est bien évident qu'on ne peut mettre le circuit de réception en relation avec le sol. Il faut donc, à la place de sol, employer un *contrepois*. Ce sera la nacelle ou la masse de l'aéroplane, toutes les parties métalliques étant convenablement connectées. Dans les dirigeables, l'antenne est un fil d'acier qui peut être plus ou moins déroulé pour obtenir l'accord désiré ; ce fil est tendu à son extrémité par un poids de 2 kilos.

Dans les aéroplanes, l'antenne est un fil de cuivre siliceux tendu par un poids de 200 ou 300 grammes. Isolée à l'intérieur de la nacelle, l'antenne se déroule nue hors d'une ouverture placée sous l'hélice. De cette manière, elle n'a, malgré son poids, d'ailleurs peu important, que peu d'effet sur l'équilibre de l'aéroplane, et il est facile de contrebalancer son action par un gauchissement convenable des ailes. Pendant le vol, l'antenne s'incline et fait avec l'horizon un angle de 45° environ.

Tant sur les dirigeables que sur les aéroplanes, une pince coupante maniée à l'aide d'un manche isolant (utile dans le cas où l'antenne sert à l'émission) permet de rompre le fil, dans le cas où il s'accrocherait ou deviendrait gênant. Les appareils portatifs que nous avons décrits étant très peu encombrants, l'installation à bord de postes de réception n'offre donc aucun inconvénient.

Mais la réception présente néanmoins des difficultés sur lesquelles il est utile d'appeler l'attention. Le bruit du moteur rend l'audition difficile : il faut appliquer les écouteurs sous le casque de l'aviateur et faire des émissions musicales qui sont beaucoup mieux perçues à bord que les émissions à étincelles crépitantes.

Une autre difficulté provient de ce que les ondes électriques se transmettent beaucoup moins facilement en hauteur du sol vers l'aéronat. M. Blondel a montré théoriquement que les ondes se propagent surtout à la surface du sol et que l'énergie recueillie diminue beaucoup à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère. M. le commandant Ferrié a vérifié ce fait, tout au moins qualitativement, en 1901, au cours d'ascensions en ballon libre.

Il sera donc nécessaire que les stations d'avertissements régionales soient munies d'appareils puissants d'émissions musicales, si l'on veut qu'elles puissent être utiles à l'aéronautique.

L'émission à bord. — Par contre, les émissions faites à bord sont entendues très aisément à terre et par des stations éloignées. Cela tient sans doute à ce que l'absence de sol fait que l'oscillateur constitue dans ce cas un véritable oscillateur de Hertz suspendu, complet et symétrique, tandis que, dans les postes terrestres, une moitié de l'oscillateur est, comme on l'a vu, remplacée par le sol ou, si l'on veut, par son image électrique par rapport au sol.

Les ondes se propagent à partir de l'oscillateur aérien en tous sens sans rencontrer d'obstacles.

Celles qu'émet l'oscillateur terrestre ont tendance à suivre le sol et, dès lors, se trouvent gênées par les nombreux obstacles qu'elles rencontrent.

Aux manœuvres de Picardie de 1910, des télégrammes du *Clément-Bayard* furent reçus à la Tour Eiffel à une distance de 110 kilomètres, et pourtant l'énergie utilisée à bord ne dépassait pas 50 watts et les antennes des deux postes avaient des périodes propres très différentes ⁽²⁸⁾.

Émission à bord des dirigeables. — Depuis, tous les dirigeables sont munis de postes d'émission. La source électrique est un alternateur actionné par le moteur même du dirigeable à l'aide d'un embrayage convenable. Le courant alternatif fourni est à 1.000 périodes sous 250 volts. Le montage est en dérivation avec résonnateur Oudin, condensateur de 0^{microf} 003 et éclateur semblable à ceux de la Tour Eiffel, l'étincelle éclatant entre un plateau et une pointe ou un tube parcouru par un courant d'air ⁽²⁹⁾.

Mais les émissions de télégraphie sans fil à bord des dirigeables ne peuvent pas être faites sans quelques appréhensions. Le ballon est éminemment inflammable par suite de la présence d'hydrogène. Or, que faut-il pour que l'hydrogène s'enflamme dans l'air ? Il n'est pas nécessaire que le mélange soit mis au contact d'une flamme ou d'une étincelle proprement dite. Il suffit qu'il s'y produise des effluves invisibles comme ceux qui partent des extrémités des conducteurs métalliques soumis aux hautes tensions. Or quand l'éclateur fonctionne, toutes les pièces métalliques du ballon sont le siège d'oscillations électriques et des ondes stationnaires y prennent naissance. Supposons que des ventres de tension se forment aux extrémités : des effluves en partiront. Les extrémités de deux conducteurs voisins sont à

des potentiels différents et des étincelles peuvent éclater entre elles à distance.

Il y a donc là un danger réel en raison des quantités d'hydrogène qui s'échappent des soupapes et aussi qui, malheureusement, *traversent toujours l'enveloppe par osmose* ⁽²⁸⁾.

Précautions à prendre. — Comment peut-on parer à ces différents dangers ?

1° On cherche à diminuer les effluves en augmentant la fréquence des étincelles à l'éclateur. C'est pourquoi il est utile d'employer les émissions à étincelles musicales en aéronautique, aussi bien pour l'émission à bord qu'à terre.

2° On évite tous les conducteurs au voisinage du ballon même. La nacelle est suspendue par des cordes isolantes et ce n'est qu'à 2 mètres environ à partir de l'enveloppe que les câbles d'acier les prolongent.

3° Toutes les parties de l'appareil où des étincelles éclatent, éclateurs, collecteurs et balais de l'alterneur, sont placées sous des écrans en toile métallique qui empêchent, comme dans la lampe de Davy, les explosions intérieures de communiquer à l'extérieur.

4° Comme dans l'installation des paratonnerres des maisons, tous les conducteurs sont réunis entre eux par des fils de cuivre soudés, afin d'assurer un contact parfait.

M. le commandant Ferrié ⁽³⁰⁾ appelle encore l'attention sur les dangers que fait courir au ballon l'électricité atmosphérique et conseille de ne pas développer l'antenne lorsque le ballon traverse des nuages. En effet, supposons-le entre deux couches de nuages. L'antenne prend le potentiel du nuage inférieur et, par suite, un éclair peut jaillir entre son extrémité supérieure et le nuage supérieur, alors que directement il ne pourrait y avoir de décharge entre les deux couches. Et, même si aucun éclair ne jaillit,

les effluves qui se produisent forcément dans ce cas, sont aussi dangereuses que celles qui proviennent de l'oscillateur hertzien.

Émission à bord des aéroplanes. — Dès 1910, on se préoccupa d'installer sur les aéroplanes des appareils d'émission.

Le capitaine Brenot, de l'établissement central de télégraphie militaire, tenta des expériences sur un monoplan Blériot à deux places, piloté par le lieutenant Acquaviva. Une chute malheureuse, dont les courageux officiers sortirent indemnes, mit fin aux expériences en brisant tous les instruments.

Au printemps de l'année suivante, les essais furent repris par le même auteur à bord d'un biplan Henri Farman, piloté par le lieutenant Ménard et actionné par un moteur Gnome de 50 chevaux.

L'énergie électrique est fournie par une magnéto tournant à 3.000 tours, construite spécialement dans ce but, et qui peut être embrayée à volonté par l'officier observateur placé derrière le pilote. Cette machine, d'un poids de 12 kilos, s'emploie en excitation directe de l'antenne. Les premières expériences faites entre Villacoublay et Longjumeau permirent de constater que les signaux étaient reçus avec beaucoup d'intensité à la Tour Eiffel et dans des petites stations à antennes réduites à 20 kilomètres de distance.

Mais l'embrayage de la magnéto, à cause de sa rapide rotation, fut vite hors de service.

De nouvelles expériences furent entreprises sur l'aérodrome de Saint-Cyr, entre Gallardon, à 60 kilomètres de Paris, et Rambouillet, l'aéroplane évoluant à 500 mètres d'altitude. Bien que l'énergie mise en jeu n'atteignît pas la moitié de l'énergie disponible, des télégrammes envoyés au ministre de la Guerre furent parfaitement reçus par la Tour Eiffel et d'autres postes.

Ces expériences furent faites dans les conditions normales des vols militaires. Le biplan portait son équipement complet de marche, pour 3^h 30 d'essence et d'huile, ainsi que les divers accessoires de télégraphie sans fil, portant le poids de l'équipement électrique à 21 kilos. Le moteur de l'appareil avait ainsi à transporter une charge de plus de 240 kilos, à traîner une antenne qui, déroulée, avait 120 mètres de long et enfin, à actionner la magnéto qui le ralentissait environ de 10 tours par minute.

Sur des aéroplanes non construits pour ces installations, le pilote et l'observateur sont horriblement gênés ; ils se trouvent, en outre, exposés constamment à recevoir des commotions dangereuses par suite de faux mouvements ou par l'action brusque d'un remous. C'est ainsi qu'un faux mouvement du capitaine Brenot lui fit subir une décharge qui aurait pu être des plus graves et dont il porte encore les traces (31).

De nouvelles expériences du capitaine Brenot viennent d'être faites tout récemment et ont donné entière satisfaction à leur auteur.

Le détail des résultats n'en a pas encore été publié.

CHAPITRE XIV

LES ORAGES

La prévision des orages et leur annonce au public à courte échéance sont les problèmes qui intéressent le plus les agriculteurs et qui devraient faire actuellement l'objet des préoccupations des diverses Commissions départementales.

C'est à M. Albert Turpain ⁽³²⁾, professeur à la Faculté des sciences de Poitiers, que l'on doit les premières recherches sur l'utilisation des antennes et les dispositifs de T. S. F. pour la prévision des orages. Dès le début de la télégraphie, il a eu le mérite de voir l'application qui pouvait en être faite au profit de l'agriculture.

Actuellement, des installations existent dans quelques centres universitaires (par exemple Lyon, Nancy).

A Nancy en particulier, depuis plusieurs mois, le Conseil général a secondé les efforts de la Commission, qui espère pouvoir y créer une véritable station d'avertissements.

Emploi du cohéreur. — Le tube de Branly ayant été le premier détecteur utilisé en télégraphie, il était naturel de s'adresser à lui pour la création des appareils enregistreurs d'orages. Le cohéreur est placé dans un circuit formé d'une pile et d'un frappeur. L'une des électrodes du cohéreur communique avec une antenne, qui est tout simplement ici un long

fil métallique isolé dressé verticalement. L'autre extrémité du cohéreur est reliée à la terre.

On sait que, lorsque des ondes électriques frappent l'antenne, la résistance du cohéreur diminue, et le courant de la pile traverse l'électro-aimant.

Une plume fixée à l'extrémité de l'armature inscrit les décharges sur un cylindre ordinaire d'enregistreur. En même temps, un levier à l'extrémité de l'armature sert de marteau frappeur pour la décohération.

Ce dispositif est suffisant si un observateur surveille les inscriptions au cylindre, mais il peut être transformé aisément en avertisseur. Il suffit, pour cela, d'intercaler dans le circuit du cohéreur un relais qui actionne d'une part le frappeur, et d'autre part, lorsque l'intensité du courant est assez grande, un relais polarisé qui ferme définitivement le circuit d'une sonnette électrique. Celle-ci sonnera donc jusqu'à ce qu'un agent entende l'avertissement et vienne relever le contact du relais polarisé.

Dès 1902, un poste de ce genre fut établi au domaine de Pavie, à Saint-Émilion (Gironde). Le 19 juin 1902, les observateurs purent prévoir, alors que le ciel était serein, sans un nuage à l'horizon, dès 11^h 30 du matin, un orage dont le premier coup de tonnerre ne se fit entendre qu'à 1 heure du soir et qui éclatait sur Pavie à 4 heures de l'après-midi. L'orage avait donc été prévu quatre heures et demie avant son arrivée.

L'inconstance du cohéreur à limaille le fit remplacer bientôt par un appareil d'un nouveau genre à petit nombre de contacts. M. Fenyi avait substitué aux contacts mal définis entre grains de limaille des contacts entre aiguilles à coudre en croix. M. Turpain utilise sept de ces aiguilles croisées de manière à réaliser six contacts en série, trois aiguilles sont posées sur les quatre autres et sont munies à leurs extrémités de petites masses de cuivre nu au moyen

desquelles on peut graduer la pression. De petits boutons fixés à la planchette qui supporte le tout empêchent le déplacement des aiguilles, tout en les laissant mobiles. La maison Richard, de Paris, a construit, sur les indications de M. Turpain, un baromètre inscripteur combiné à l'avertisseur d'orages ou inscripteur de décharges.

Sur une planchette, les sept aiguilles à coudre en croix forment six contacts en série disposés entre l'antenne et la prise de terre. Le circuit d'une pile contient le cohéreur à aiguilles et un frappeur en série. Le levier de ce dernier est prolongé par une plume qui inscrit les décharges sur le cylindre enregistreur de la pression barométrique. On emploie trois cylindres différents interchangeableables (une semaine, un jour, une heure). En temps ordinaire, c'est le cylindre hebdomadaire qui fonctionne. A l'approche d'un orage, on le remplace par le cylindre journalier ou horaire.

Comme il faut environ $0^v 25$ par contact pour la décchération, une pile Leclanché suffit au bon fonctionnement.

Les dispositifs qui viennent d'être décrits ne peuvent qu'indiquer l'existence des décharges atmosphériques. Mais il est facile d'avoir des renseignements quantitatifs sur l'état de cohération des aiguilles. On place dans le circuit du cohéreur et de l'inscripteur un milliampèremètre enregistreur (de 0 à 100 milliampères, de 3^e de résistance). Les postes de la Faculté des Sciences de Poitiers et de La Rochelle sont munis de ces instruments.

Précautions à prendre. — Quelques précautions sont indispensables :

1° Il faut d'abord soustraire l'enregistreur à l'influence nuisible des vibrations mécaniques ;

2° Pour le soustraire à l'influence des ondes électriques voisines, on entoure tout l'appareil d'un écran

en papier d'étain et l'on constitue la partie inférieure de l'antenne par un fil sous plomb communiquant avec la cage de papier d'étain ;

3° S'il existe au voisinage des stations puissantes de télégraphie sans fil, il faut aussi faire le départ entre les ondes qu'elles émettent et les ondes atmosphériques. Tel est le cas du poste de la Nation, à Paris, dont les antennes reçoivent les ondes puissantes de la Tour Eiffel. Les signaux de la Tour (traits analogues aux traits horaires), fournissent un courant de 0 microamp 5 l'après-midi et le soir, de 1 microampère le matin, au lever du soleil. Or, la décohération ne se produit que pour 40 microampères. Il n'est pas possible de confondre les signaux horaires et les décharges atmosphériques ;

4° Pour éviter la rouille et assurer la constance des contacts, on les dessèche en plaçant dans l'enceinte une nacelle contenant du chlorure de calcium CaCl_2 .

Emploi du détecteur électrolytique. — Le détecteur électrolytique a détrôné le cohéreur pour les études atmosphériques, comme pour la télégraphie sans fil. Au Congrès pour l'avancement des sciences de Lille (1909), M. Jegou émit l'idée qu'il serait possible de remplacer le cohéreur par le détecteur électrolytique. M. Jegou lui-même, M. Turpain et, plus tard, M. Flajolet, ont en effet enregistré les orages à l'aide de ce détecteur, en employant le dispositif que nous avons décrit déjà, le galvanomètre balistique. Dans le circuit comprenant le détecteur et la force électromotrice, on installe un galvanomètre ; les bornes du détecteur communiquent en outre avec l'antenne et le sol. L'inconvénient est qu'il faut inscrire les déviations du galvanomètre par la photographie et, par suite, opérer en chambre noire. On ne peut donc connaître les inscriptions qu'après développement. Il est vrai qu'il est toujours

possible, comme le fait remarquer M. Jegou, de laisser un téléphone dans le circuit, ce qui permet d'écouter les décharges pendant que les inscriptions se font et, par conséquent, d'être renseigné déjà sur l'approche du météore ⁽³³⁾.

Des études spéciales ont été entreprises à Lyon par M. Flajolet ⁽³⁴⁾ sous la direction de M. André.

Le poste de télégraphie sans fil de Lyon est monté en dérivation avec détecteur électrolytique du commandant Ferrié et résonateur omnibus (Voir p. 57).

L'antenne horizontale est constituée par quatre fils de cuivre (2 millimètres) de 85 mètres chacun, tendus à 15 mètres au-dessus du sol, orientée du nord au sud, avec son maximum de sensibilité vers le sud.

Le détecteur Ferrié communiquait avec un relais Claude très sensible, qui fermait soit le circuit d'une sonnerie d'avertissement, soit celui d'un chronographe. Ce dispositif a permis l'enregistrement de phénomènes orageux très éloignés parmi lesquels je citerai ceux du 18 octobre 1911 et du 8 février 1912 (nord de l'Espagne et Portugal).

Pour éviter, d'une part, la polarisation des piles qu'il est nécessaire de laisser en circuit fermé sur le détecteur électrolytique, d'autre part, la détérioration des électrodes sous l'action des courants intenses provenant des décharges atmosphériques voisines, M. Flajolet a substitué au détecteur Ferrié le détecteur à contacts solides *sulfure de plomb-cuivre* (Voir p. 76). Il a pu ainsi enregistrer le violent orage qui a sévi le 19 février 1912 sur le département du Gard à 200 kilomètres de Lyon. Le relais fut actionné sans force électromotrice auxiliaire.

Néanmoins, en général, les courants ne sont pas assez intenses pour actionner un relais et l'auteur a dû également, comme les expérimentateurs précédents, substituer au relais un galvanomètre dont les

déviation sont inscrites par la méthode photographique.

Pour les orages se produisant à moins de 200 kilomètres, la sensibilité est réglée de telle façon qu'un microampère corresponde sur la feuille d'enregistrement à 6 millimètres; pour les orages éloignés un microampère est amené à donner une déviation de 50 millimètres.

Dans la nuit, les courants résultant d'une transmission de la Tour Eiffel donnent avec la première sensibilité 2 millimètres de déviation environ, et avec la seconde 10 à 15 millimètres.

Dans la nuit du 4 au 5 mars dernier, un cyclone parcourut la région de Caen et Beauvais à 460 kilomètres de Lyon. Les premiers parasites orageux (sensibilité de 6 millimètres) apparaissent vers 17^h 50, assez faibles (2 millimètres); à partir de 20 heures, la fréquence augmente et l'intensité augmente également. A 21^h 50, on donne au galvanomètre sa sensibilité maxima, 50 millimètres par microampère; les parasites deviennent très forts.

A 0^h 30, moment de leur maximum, leur élongation est de 63 millimètres, correspondant à un courant de 1 microamp 2, et se conserve sensiblement jusqu'à 2^h 40. Les parasites décroissent et cessent à 4^h 10.

De ce qui précède, il résulte que toute manifestation orageuse intense sera enregistrée dès qu'elle ne sera plus distante que de 500 kilomètres; c'est-à-dire, étant donnée la vitesse moyenne de translation des dépressions orageuses, vingt-quatre heures avant qu'elle ait pu y arriver.

Emploi de détecteurs thermiques. — On peut substituer au galvanomètre un thermogalvanomètre à sensibilités variables.

Avec la résistance de 96^Ω qui nous a servi dans les recherches décrites précédemment dans ce vo-

lume, les parasites correspondant aux orages d'Allemagne du 27 juillet nous ont donné environ 80 millimètres de déviation.

M. Turpain a également combiné des dispositifs bolométriques d'observations d'orages ; la description de ces intéressants appareils sortirait du cadre de cet ouvrage, car ils ne sont susceptibles d'être utilisés que par des observatoires munis d'un personnel habitué aux mesures physiques délicates.

Au contraire, tous les dispositifs qui ont été décrits ici conviennent aux petites stations et peuvent être montés avec les ressources ordinaires d'un petit laboratoire de physique.

CHAPITRE XV

LA LECTURE DES RADIOTÉLÉGRAMMES

Bien des personnes se laissent rebuter à tort par les petites difficultés que présente au début la lecture des radiotélégrammes. Grâce à certaines remarques, dont la plupart m'ont été suggérées par des praticiens, on peut en quelques jours lire couramment les dépêches d'Eiffel et de Norddeich.

Les premières surtout sont particulièrement lisibles. Grâce à la complaisance de M. le commandant Ferrié, désireux qu'elles puissent être utilisées par les établissements scientifiques, qui ne possèdent pas en général de radiotélégraphiste de métier, la dépêche de 10^h 45 est émise très lentement et relue complètement. Les dépêches de 8 heures et de 15 heures sont émises sur un rythme plus rapide.

1^o On s'exercera d'abord à reconnaître les traits des points, puis à comprendre les signaux généraux suivants très faciles à saisir :

Point	
Appels et virgule.	. — . — . —
Signal d'attaque	— . — . —
Trait de séparation.	— . . . —
Attente	. — . . .
Compris.	. . . — .
Erreur	
Appels de marine allemande	. . . —
Invitation à transmettre. 1 ^o	. — — . — — . . (p z).
— — — — — 2 ^o	— — . (b r).
Fin de transmission . . .	. — . — .

Les autres signes de ponctuation ne sont pour ainsi dire pas employés dans les radiotélégrammes météorologiques qui nous intéressent surtout ici. Ils pourraient pourtant le devenir dans le cas où le service décrit dans un chapitre précédent entrerait en fonctionnement.

Alinéa	. — . — . . . (a l)
Virgule	. — . — . — .
Point-virgule	— . — . — .
Deux-points	— — —
Point d'interrogation	. . — — . . .
Point d'exclamation	— — — . . — —
Apostrophe	. — — — — .
Trait d'union	— —
Barre de division	— — — — —
Souligné	. . — — . —
Guillemet	. —
Parenthèse	— . — — . —
Croix, fin	 — — — .

Les chiffres sont représentés par les signaux suivants :

1.	. — — — —	6.	—
2.	. . — — —	7.	— — — . .
3.	. . . — —	8.	— — — — .
4.	 —	9.	— — — — .
5.			

Le zéro correspond à — — — — —, mais souvent on remplace ces cinq traits consécutifs par un seul trait un peu long.

Les chiffres se retiennent très aisément et on fera bien de s'exercer d'abord à écouter les chiffres de la dépêche maritime.

3° Les lettres sont plus difficiles à reconnaître :

a	. —	e	.
b	—	f	. . — . .
c	— . — . .	g	— — . .
d	—	h	

Un seul point et des traits.

Le point le premier			Le point en dernier	
<i>a</i>	• —			— • <i>n</i>
<i>w</i>	• — —			— — • <i>g</i>
<i>j</i>	• — — —			— — — • <i>ô</i>
<i>i</i>	• — — — —			— — — — • <i>9</i>

Deux points et deux traits à la suite :

Les points en avant			Les points en arrière	
<i>û</i>	• • — —		— — • •	<i>z</i>

Les lettres suivantes sont formées par des combinaisons de traits et de points :

q est symétrique de *y*, *c* de *ä*; *f* de *l*.

<i>q</i>	— — • —		— • — —	<i>y</i>
<i>c</i>	— • — •		• — • —	<i>ä</i>
<i>f</i>	• • — •		• — • •	<i>l</i>

Les lettres restantes sont, à elles-mêmes leurs symétriques *k r e ñ p x*. Exemple :

<i>k</i>	— • —		— • —	<i>k</i>
----------	-------	--	-------	----------

Pour se les rappeler, on les groupe deux à deux de telle manière que les points de l'une sont remplacés par des traits chez l'autre et réciproquement.

<i>k</i>	— • —		— • —	<i>r</i>
<i>e</i>	• • — •		— — • —	<i>ñ</i>
<i>p</i>	• — — •		— • — •	<i>x</i>

On peut encore s'exercer à retrouver les lettres en cherchant, étant donnée une lettre, quelle est celle où, comme dans le dernier groupe, les points sont remplacés par des traits et réciproquement.

CHAPITRE XVI

AUTORISATIONS POUR L'INSTALLATION DES POSTES RÉCEPTEURS

Le 3 novembre 1906, une convention radiotélégraphique, conclue à Berlin, a réglé le régime international d'exploitation de la télégraphie sans fil.

L'article 19 de la convention dit :

« 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. »

Chaque pays a donc réglé l'exécution de la convention comme il l'a entendu et le régime législatif de la T. S. F. n'est pas identique dans tous les pays (1).

En France, il est interdit à tout particulier d'installer une antenne de télégraphie sans fil sans une autorisation en règle.

Depuis que la Tour Eiffel émet des signaux horaires, l'autorisation a été accordée très libéralement aux établissements scientifiques, aux observatoires,

(1) Une intéressante étude sur le régime législatif en Belgique a été publiée par M. L. VANDEVYVER, avocat à la Cour d'appel de Gand, *A propos de télégraphie sans fil*. Gand, Rousseeuw-Arys, rue Savaen, 28.

aux horlogers, etc. Il a suffi aux pétitionnaires de justifier l'intérêt scientifique ou industriel de leur installation.

Toute personne désirant recevoir les signaux horaires doit adresser une demande au directeur des Postes de la ville qu'elle habite. Celui-ci la transmet au ministère des Postes où elle est examinée par la commission interministérielle de télégraphie sans fil.

Quand l'autorisation est accordée, le pétitionnaire doit se soumettre au règlement suivant.

ARTICLE 1

Installations radiotélégraphiques. — L'installation radiotélégraphique sera soumise à l'approbation préalable de l'Administration des Postes et des Télégraphes.

Sauf exception autorisée par l'Administration des Postes et des Télégraphes, il ne pourra être employé, dans la constitution des postes, que des appareils construits en France et des matériaux fournis par des constructeurs ou manufacturiers ayant leurs usines en France.

Le pétitionnaire devra fournir à bref délai, à l'Administration, au cours du fonctionnement de son poste, tous les renseignements qui lui seront demandés.

Installations. Entretien des postes. — Les postes seront installés et entretenus par les soins et aux frais du pétitionnaire.

Les appareils seront placés dans un local fermant à clef et inaccessible à toute personne étrangère au service du pétitionnaire.

Toutes les modifications qui seront apportées ultérieurement aux installations devront être notifiées à l'Administration des Postes et Télégraphes.

ARTICLE 2

Utilisation du poste. — Les postes de réception des signaux horaires ne pourront être utilisés que pour la réception des signaux horaires transmis par le poste de la Tour Eiffel. Toute transmission de signaux sera formellement interdite.

ARTICLE 3

Secret des correspondances. — Le contenu des télégrammes transmis par la télégraphie sans fil qui seraient perçus par les postes de réception des signaux horaires ne devra être divulgué à qui que ce soit, en dehors des fonctionnaires désignés par l'Administration ou des officiers de police judiciaire compétents.

Il ne devra être fait aucun usage de ces télégrammes.

ARTICLE 4

Contrôle. — L'Administration des Postes et des Télégraphes se réserve d'exercer sur les postes autorisés un contrôle permanent ou temporaire, à son gré, et de la façon qui lui semblera la plus convenable. Les frais de toute nature auxquels ce contrôle pourrait donner lieu seront remboursés par le pétitionnaire.

Ce contrôle pourra être exercé dès le moment où commencera l'édification des postes.

Les agents de l'Administration des Postes et des Télégraphes auront le droit de pénétrer à toute heure dans les locaux où sont installés les appareils pour exercer toutes les opérations de contrôle jugées nécessaires.

ARTICLE 5

Irresponsabilité de l'État. — L'État ne sera soumis à aucune responsabilité à raison des difficultés qui pourraient surgir entre le pétitionnaire et les particuliers, sociétés ou compagnies à qui l'autorisation d'exploiter des postes de télégraphie sans fil aurait été accordée, ou, en général, avec qui que ce soit et pour quelque cause que ce soit.

ARTICLE 6

Caractère de l'autorisation. Révocation. — Les autorisations d'installer des postes de télégraphie sans fil destinés à la réception des signaux horaires ne sont accordées qu'à titre essentiellement précaire et révocable.

Elles ne comportent aucun privilège et ne sauraient faire obstacle à ce que des autorisations de même nature fussent accordées ultérieurement à qui que ce soit.

Aucun poste de télégraphie sans fil autorisé ne peut être cédé sans le consentement exprès et par écrit de l'Administration des Postes et Télégraphes.

Celle-ci pourra, à toute époque et pour quelque cause que ce soit, suspendre ou révoquer les autorisations accordées par elle sans qu'elle soit tenue de payer une indemnité quelconque ou de faire connaître les motifs de sa décision.

À la première réquisition de l'Administration des Postes et des Télégraphes, le pétitionnaire devra immédiatement mettre son poste hors d'état de fonctionnement.

Un délai d'un mois pourra être accordé pour la suppression des postes visés dans le présent arrêté.

Si ce délai était dépassé, l'Administration des Postes et des Télégraphes pourrait faire procéder à cette opération aux frais du pétitionnaire.

ARTICLE 7

Lois et règlements à intervenir. — Le pétitionnaire devra se soumettre à toutes les dispositions d'actes législatifs, réglementaires et administratifs à intervenir en matière d'échange de signaux par ondulations électriques ou d'établissement de postes de télégraphie sans fil.

Paris, 22 juin 1911.

Signé : CHAUMET.

Utilité des autorisations. — Il est extrêmement prudent de la part du Gouvernement de la République Française de prendre les plus grandes précautions pour connaître les postes de réception de quelque importance établis en France, et cela en raison des graves intérêts en jeu, tant au point de vue de la défense nationale que du monopole des postes et télégraphes.

Mais d'autre part, dans un chapitre précédent, j'ai montré l'intérêt considérable qu'il y aurait pour l'agriculture, de créer un certain nombre de postes régionaux d'émission, et de placer des postes de réception dans toutes les communes agricoles qui en feraient la demande.

Tout en se conformant aux articles du règlement

ci-dessus on pourrait, à mon avis, arriver à ce résultat, en adoptant une façon de faire que j'ai indiquée déjà dans un article précédent.

Dans chaque département, le président de la commission météorologique serait chargé de l'organisation des postes de réception. Il en contrôlerait l'installation et délivrerait à chacun des intéressés une self convenable, dûment poinçonnée par l'Administration des Postes et accordée sur la source à entendre, pour une antenne déterminée, par exemple un fil simple de 25 mètres.

De tels postes permettraient la réception des télégrammes météorologiques sans permettre de suivre les exercices militaires ou d'écouter des stations destinées à des échanges de correspondances.

Après avoir accordé libéralement les autorisations pour ces petits postes, le Gouvernement pourrait se montrer d'autant plus sévère pour les installations clandestines susceptibles de nuire à la sûreté de la défense nationale ou au secret des correspondances. Si facile que soit la réception des signaux F L, si simples que soient les dispositifs employés, les Français doivent s'habituer à respecter la loi sur la télégraphie sans fil comme toutes les autres lois du pays.

APPENDICE

Pour exécuter, en connaissance de cause, les différents montages qui ont été décrits dans la première partie de cet ouvrage, il est bon de pouvoir déterminer les valeurs des principales grandeurs qui interviennent, c'est-à-dire des résistances, selfs, capacités, forces électromotrices.

Je vais indiquer ci-dessous les moyens les plus simples d'effectuer ces mesures avec un matériel très réduit, le plus souvent avec les appareils mêmes qui servent à la réception des ondes hertziennes (1).

I. — Mesure des résistances.

Principe. Théorème des points correspondants. — On sait que l'unité de résistance est l'ohm. L'étalon est constitué par une colonne de mercure de $106^{\text{cm}}3$ de long et de 1 millimètre de section à 0°C .

Considérons un circuit bifurqué ACB, ADB (fig. 51). Désignons par r_1 , r_2 , r_3 , r_4 les résistances AC, AD, CB, DB ; supposons que C et D soient des points correspondants, c'est-à-dire qu'ils aient le même potentiel, le fil CD ne sera parcouru par aucun courant ; les branches AC et CB seront parcourues par des courants de même intensité i , les branches AD et DB

(1) Ces manipulations font partie des travaux pratiques de télégraphie sans fil exécutés par les élèves des cours d'aérodynamique de la Faculté des Sciences de Nancy.

par des courants de même intensité i' . On sait qu'en appelant V_a , V_b , V_c , V_d les potentiels en A, B, C, D, on a les relations

$$\begin{array}{ll} (1) & V_c - V_a = r_1 i \\ (2) & V_b - V_c = r_3 i' \\ (3) & V_d - V_a = r_2 i' \\ (4) & V_b - V_d = r_4 i' \end{array}$$

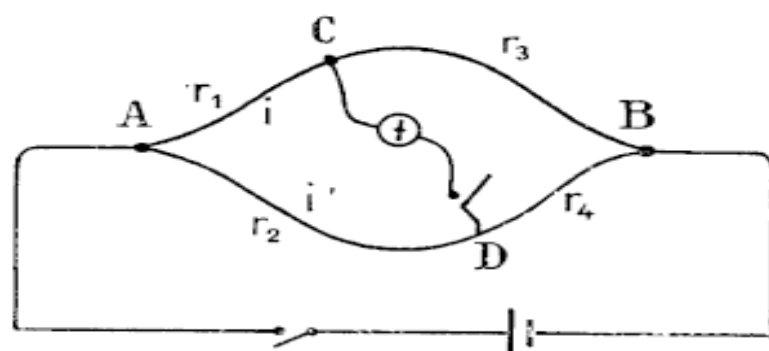


Fig. 51.

Si l'on remarque que $V_c = V_d$, on tire des égalités (1) et (3)

$$r_1 i = r_2 i' \quad \text{ou} \quad \frac{r_1}{r_2} = \frac{i'}{i}$$

De (2) et de (4) on tire

$$r_3 i = r_4 i' \quad \text{ou} \quad \frac{r_3}{r_4} = \frac{i'}{i},$$

il vient par suite

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4}.$$

Le courant bifurqué est fourni par une pile Daniell (cuivre, zinc pur amalgamé, solutions de sulfate de cuivre et de sulfate de zinc de densité 1,1) ou encore un accumulateur.

Emploi d'un galvanomètre ou d'un téléphone. — Pour constater que les points C et D sont bien des points correspondants, on peut intercaler entre eux un appareil qui indique le passage d'un courant électrique et qui devra rester inactif quand

le réglage sera atteint. Tout galvanomètre ou galvanoscope, même de modèle très ancien, peut convenir lorsqu'on emploie un courant continu fourni par des piles. Il fonctionne comme *appareil de zéro*, c'est-à-dire qu'il reste au zéro quand C et D sont des points correspondants.

Mais on peut aussi utiliser comme appareil de zéro un des téléphones mêmes servant à la réception. Le téléphone vibre pour des courants de l'ordre du millionième d'ampère et, par suite, offre une sensibilité très grande. L'inconvénient est qu'il faut alors employer des courants interrompus. L'artifice le plus simple consiste à placer, dans le circuit principal de la pile, un interrupteur formé par une lime à grains moyens en communication avec un des fils et sur laquelle on fait passer rapidement l'extrémité du second fil.

On peut aussi intercaler dans le circuit de la pile un vibreur interrompant périodiquement et rapidement le courant. Un électro-aimant de sonnette peut suffire, à condition que les vibrations de la lame soient assez rapides. La maison Ducretet fabrique un vibreur spécial pour le réglage des antennes, qui convient parfaitement.

Enfin, on peut encore produire les courants par une petite bobine médicale ou le transformateur de M. Jegou (voir page 68) en mettant dans le circuit primaire à 1 ohm, le vibreur précédent.

Méthode du pont à corde. — Soit à comparer d'abord deux résistances à peu près de même ordre ; on peut alors employer un dispositif extrêmement simple, celui du pont à corde. On tend, sur une planche, un fil de manganine bien calibré ayant partout la même section, alliage facile à trouver dans le commerce, de 1 mètre de long et de 1 millimètre de diamètre. On le fixe au-dessus d'un mètre du commerce divisé en centimètres. Les extrémités de ce fil

sont les points A et B (fig. 52). Un contact mobile constitue le point D. En dérivation sur le fil, entre les points A et B, on installe les deux résistances à comparer, dont le point d'attache est le point C. C et D sont réunis aux bornes de l'appareil de zéro, A et B aux pôles d'une pile.

Soit x la résistance à mesurer en fonction d'une

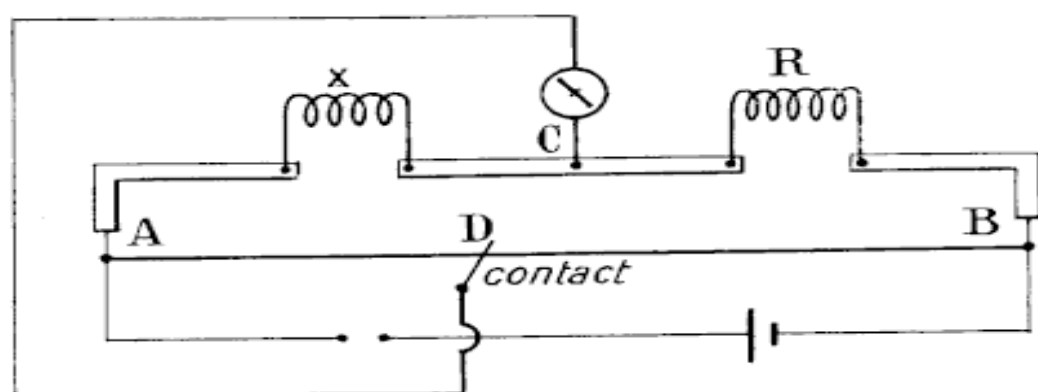


Fig. 52.

résistance connue R , le point C est déterminé. On cherche, par tâtonnements, le point D correspondant de C. Au moment où tout courant cesse de passer dans le galvanomètre, on a la relation $\frac{x}{r_2} = \frac{R}{r_1}$.

Les résistances r_2 et r_1 sont proportionnelles aux longueurs l_1 et l_2 comprises en AD et DB : $\frac{x}{R} = \frac{l_1}{l_2}$.

La méthode présente le maximum de sensibilité quand x et R ont des valeurs voisines. Alors D se trouve au voisinage du milieu du fil. Il est donc bon d'avoir à sa disposition une boîte de résistances étalonnées.

Boîte de résistances. — Il est facile d'en constituer une, si l'on n'en a pas à sa disposition. On se procure du fil d'alliage gardant à peu près la même résistance quand la température varie, du constantan ou encore du maillechort ou de la manganine. Le

diamètre sera 0^{mm}25. On commence par faire déterminer la longueur exacte correspondant à 1 ohm. On soude alors de grosses tiges de cuivre aux deux extrémités pour établir les contacts sans résistance appréciable dans de grosses bornes ou des godets à mercure, et, après avoir replié le fil sur lui-même, on l'enroule sur une petite bobine. En prenant des longueurs multiples de la précédente, on constitue ainsi des bobines étalons, deux de 2 ohms, une de 5 ohms, une de 10 ohms, deux de 20 ohms, une de 50 ohms, une de 100 ohms, deux de 200 ohms, une de 500 ohms, etc. On pourra, pour les grandes résistances, prendre aussi du fil plus fin.

Il est bien évident qu'il suffit d'avoir à sa disposition un seul étalon de 1 ohm pour arriver, de proche en proche, à ajuster toutes les résistances précédentes, car la première bobine faite et l'étalon donnent une résistance de 2 ohms et ainsi de suite.

Pont de Wheatstone. — Le théorème des points correspondants peut être appliqué autrement dans le pont de Wheatstone. Cette fois, on se donne à l'avance deux résistances, r_1 , r_2 , dans le rapport 1, 10, 100, ou 1, $1/10^e$, $1/100^e$.

La résistance à mesurer x remplace la résistance r_3 .

Le point C est donc donné. On cherche alors quelle résistance R il faut introduire à la place de r_4 pour que le point D soit le correspondant de C.

$$\text{On a donc} \quad x = R \cdot \frac{r_1}{r_2}.$$

Comme $\frac{r_1}{r_2}$ peut prendre les différentes valeurs ci-dessus, on voit que la valeur x cherchée pourra être égale à la valeur lue sur R, être dix ou cent fois plus grande, ou encore n'être que la dixième ou la centième partie.

Si donc R peut varier de 1 ohm à 11.110 comme

cela a lieu dans la plupart des boîtes du commerce, on pourra mesurer des résistances comprises entre $1/100^e$ d'ohm et 10^6 ohms environ.

Approximations. — En général, on n'obtient pas le repos de l'appareil de zéro pour une valeur R de la boîte de comparaison. En introduisant $R - p$ ohms on a un écart dans un sens, $R + q$, un écart en sens inverse. La résistance cherchée est donc comprise

$$\text{entre} \quad (R - p) \frac{r_1}{r_2} \quad \text{et} \quad (R + q) \frac{r_1}{r_2}$$

$$(R - p) \frac{r_1}{r_2} < x < (R + q) \frac{r_1}{r_2}$$

et l'erreur commise dans l'évaluation de x est certainement

$$< \frac{p + q}{2} \cdot \frac{r_1}{r_2}.$$

L'erreur relative est $< \frac{p + q}{2R}$.

L'erreur sera la plus petite possible quand

$$p = q = 1^{\Omega}$$

et quand $\frac{r_1}{r_2} = \frac{1}{100}$. Elle est alors de $1/200^e$. Elle ne peut être atteinte que si l'on peut utiliser le rapport $\frac{r_1}{r_2} = \frac{1}{100}$, c'est-à-dire si x est inférieur à 111 ohms et la valeur de x s'obtient alors avec deux décimales. Si x est inférieur à 1.110 ohms, on peut l'obtenir avec une décimale.

L'erreur relative minima est de $1/10.000^e$ environ pour un galvanomètre sensible ; on ne dépasse pas le $1/1.000^e$ avec un téléphone.

Remarque importante. — Pour se placer dans les meilleures conditions possibles au point de vue de la sensibilité, il faut donner aux quatre bras du pont des valeurs aussi voisines que possible. On choisira parmi les bobines 10, 100, 1.000 des branches

de comparaison, celles qui, tout en donnant le rapport $\frac{r_1}{r_2}$ convenable, sont les plus voisines de la résistance à mesurer.

Manipulation. — On installe un premier interrupteur dans le circuit de la pile, un second dans le circuit CD du galvanomètre. Il faut toujours fermer d'abord le circuit de la pile et, ensuite seulement, celui du galvanomètre et ne les laisser fermés que pendant la durée d'une expérience. Si l'on faisait l'inverse, on obtiendrait fréquemment une déviation due à des courants de self-induction. On commence par interrompre le circuit de R, ce qui revient à faire la résistance infinie. On note le sens de la déviation de l'appareil de zéro, puis on met R en court circuit, ce qui revient à faire $R = 0$. On observe une déviation en sens inverse. On sait désormais quel est le sens de la déviation pour lequel la résistance est trop faible ou trop grande, et l'on commence les mesures en opérant systématiquement comme on a l'habitude de le faire dans une pesée.

Appareil du commerce. — Le dispositif le

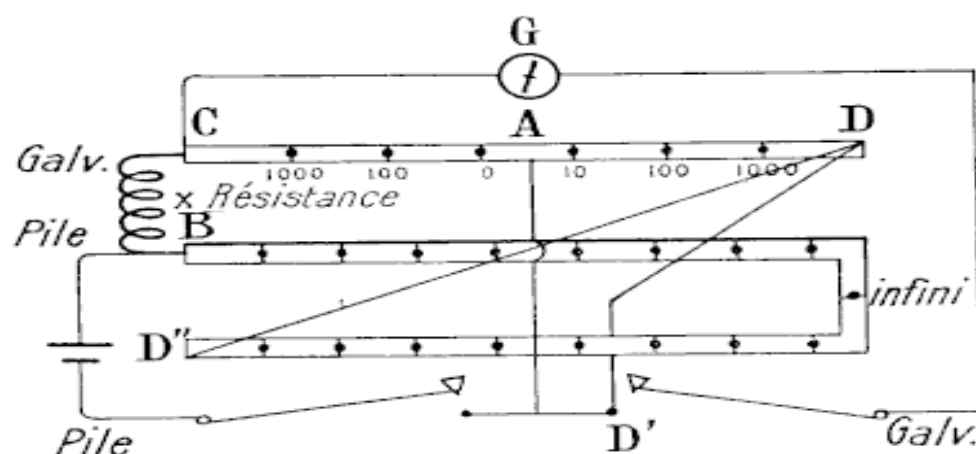


Fig. 53.

plus commode porte le nom de boîte à pont (fig. 53). Entre des touches métalliques de résistances négli-

geables, isolées à l'ébonite, sont intercalées des bobines de résistances sans self. Sur la figure, on a inscrit les mêmes lettres A, B, C, D que sur le schéma, et l'on a indiqué les mots *Galv.*, *Pile* qui figurent aussi sur la boîte. Les connexions AD' et DD' sont marquées extérieurement en blanc sur la boîte. La connexion DD'' qui existe n'est pas marquée en général.

Entre les touches, on introduit des fiches qui doivent être *très propres*, nettoyées au papier de soie, jamais à l'émeri, et bien enfoncées, puisqu'elles sont destinées à mettre les bobines en court circuit.

Toutes les connexions doivent être faites en fil gros et court, et bien serré sous les bornes, afin de n'introduire aucune résistance supplémentaire.

Manipulation. — On débouche en r_1 et r_2 , que l'on appelle souvent les branches de proportion, des résistances égales et on fait varier ensuite la résistance R après avoir cherché, comme il a été dit précédemment, les sens de déviation correspondant à des résistances trop faibles ou trop grandes. R varie de 1 ohm à 11.110. Les branches de proportion sont formées par des résistances de 10, 100 et 1.000 ohms, ce qui permet de donner à $\frac{r_1}{r_2}$ toutes les valeurs indiquées ci-dessus.

II. — Mesure des forces électromotrices.

L'unité est le volt qui est à peu près la force électromotrice d'un élément Volta.

Méthode d'opposition. — On se sert du pont à corde précédemment décrit (pourvu que l'on puisse produire, au moyen de piles ou d'un accumulateur, une intensité de 1 ampère dans le fil). On prend un fil de 1 mètre de long et de 0^{mm} 25 de diamètre.

Entre les points A et D (fig. 54), il existe alors une différence de potentiel d'autant plus grande que le contact est établi plus loin du point A. En dérivation, aux points A et D du circuit, on établit un circuit auxiliaire comprenant un galvanomètre servant d'instrument de zéro et une pile étalon, par exemple un Daniell (1^{vo}8). On attache le pôle positif de cet étalon au point A, par où entre le courant dans AD. On déplace ensuite le point D jusqu'à ce que le galvanomètre reste au zéro.

Si l'on désigne par e la force électromotrice de l'étalon, par i l'intensité du courant circulant en AD,

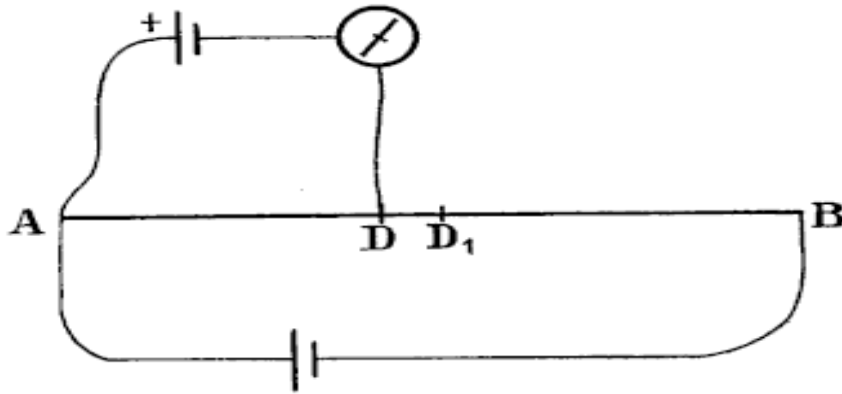


Fig. 54.

par r_1 la résistance de ce circuit, la différence de potentiel entre les points A et D est $r_1 i$, et l'on a

$$r_1 i = e.$$

On remplace alors l'étalon par la pile dont on veut déterminer la force électromotrice x . Pour ramener le galvanomètre au zéro, il faut déplacer le contact mobile, et la résistance entre les points A et D_1 devient r_2 . L'intensité i est toujours la même, car le circuit total formé par le fil AB et l'accumulateur P reste invariable, et l'on a

$$r_2 i = x$$

d'où
$$x = e \frac{r_2}{r_1},$$

le rapport des résistances $\frac{r_2}{r_1} = \frac{l_2}{l_1}$, rapport des longueurs AD et AD₁.

Méthode de M. Bouty. — Au lieu d'employer un fil comme potentiomètre à variations continues, on peut utiliser deux boîtes de résistances identiques en série.

On fait varier les résistances de chaque boîte *en maintenant la somme constante*. Au moment où l'équilibre du galvanomètre est atteint, l'intensité dans ces boîtes en série est toujours la même, puisque la résistance totale demeure constante.

Pour opérer commodément, on amène la boîte 1 à la résistance maxima, par exemple 11.110 ohms, et la boîte 2 à la résistance 0, puis on diminue la première en augmentant la seconde de quantités égales. On établit donc en 2 les résistances qu'on enlève en 1, et la résistance totale des deux boîtes demeure constante.

III. — Mesure des selfs.

L'unité employée est le *Henry*. Il existe dans les laboratoires des étalons de Henry.

Comparaison des selfs. Méthode d'Anderson. — Il est d'abord nécessaire de connaître la résistance x de la bobine à étudier.

Pour cela, on monte un pont de Wheatstone, en mettant x en AC (fig. 55), une résistance connue R en BC, et dans les branches de comparaison AD, DB, deux résistances r_2 et r_4 qui seront, par exemple, les branches de comparaison d'une boîte à pont (bobines de 10, 100, 1.000 ohms). On mesure la résistance x et l'on a

$$x = R \frac{r_2}{r_4}. \quad (1)$$

On substitue alors à la pile qui fournissait du courant continu dans la diagonale AB du pont, un vibreur, par exemple, le vibreur Ducretet (voir p. 179), qui fournit des courants fréquemment interrompus. Au galvanomètre, on substitue, dans la diagonale CD, un téléphone avec une résistance variable r en série aboutissant au point D.

Enfin, la seconde extrémité de cette résistance est mise en relation avec l'une des bornes d'un condensateur q , dont l'autre borne est reliée à B.

On remarque que le condensateur q et la résistance r ne gênent en rien la mesure de la résistance x

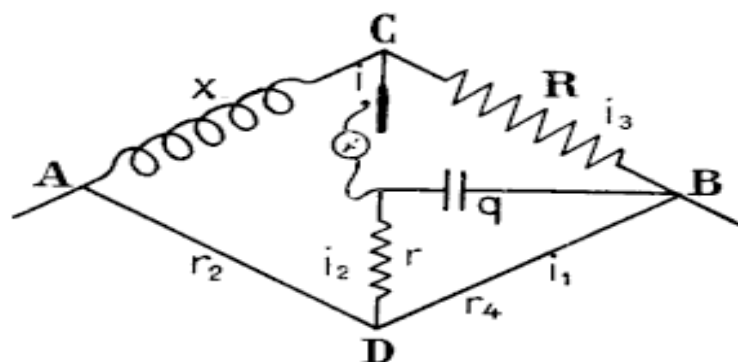


Fig. 55.

par le pont de Wheatstone. On peut donc établir à l'avance le montage comme l'indique la figure 55. Un commutateur I permet de substituer rapidement le galvanomètre au téléphone. Un autre permet de remplacer le courant continu de la pile par les courants vibrés dans le circuit extérieur.

Soient les trois branches du circuit aboutissant en B, BD, BF, BC, et soient au même instant t , i_1 , i_2 , i_3 , les valeurs des intensités.

Pendant un temps dt , le condensateur reçoit la charge $i_2 dt$. Au temps t , sa charge est $\int_0^t i_2 dt$ et la différence du potentiel entre les armatures est

$$V = \frac{1}{Q} \int_0^t i_2 dt. \quad (1)$$

On a d'ailleurs $V + ri = r_4 i_1$ d'une manière générale. Mais en agissant sur r , on peut arriver à ce qu'aucun son ne soit plus perçu au téléphone.

C'est qu'alors aucun courant n'y passe et les courants variables qui chargent le condensateur traversent r avec la même intensité i_2 , d'où

$$V + ri_2 = r_4 i_1 \quad \text{ou} \quad \frac{1}{Q} \int i_2 dt + ri_2 = r_4 i_1 \quad (2)$$

D'autre part, le téléphone restant silencieux, les points C et F sont au même potentiel, ce qui conduit à la relation

$$Ri_3 = \frac{1}{Q} \int i_2 dt \quad (3)$$

Enfin, puisqu'il ne passe rien dans CF, l'intensité en x est i_3 , et l'intensité en r_2 est $i_1 + i_2$.

Écrivons que les différences de potentiel entre les points A et C d'une part, A et F d'autre part sont les mêmes. Nous obtenons

$$r_2 (i_1 + i_2) + ri_2 = xi_3 + \text{force électromotrice de self.}$$

En désignant par L le coefficient de self de la bobine x

$$r_2 (i_1 + i_2) + ri_2 = xi_3 + L \frac{di_3}{dt} \quad (4)$$

En différenciant les deux membres de (3)

$$R \frac{di_3}{dt} = \frac{1}{Q} i_2$$

$$\text{d'autre part} \quad i_3 = \frac{1}{RQ} \int i_2 dt$$

d'où, en tirant de (2) la valeur de i_1 en fonction de i_2

$$(r + r_2) i_2 + \frac{r_2}{r_4 Q} \int i_2 dt + \frac{r_2 r}{r_4} i_2 = \frac{x}{RQ} \int i_2 dt + \frac{L}{RQ} i_2$$

Mais d'après (1), les coefficients de $\int i_2 dt$ sont égaux. En égalant les coefficients de i_2 , on est conduit à la relation simple

$$L = RQ \left[r + r_2 + r \frac{r_2}{r_4} \right].$$

Remarque. — Il est bon d'utiliser un condensateur de 1 microfarad, divisé en $0^{\text{microf}} 5$, $0^{\text{microf}} 2$, $0^{\text{microf}} 1$, ce qui permet de faire varier la capacité par dixièmes de microfarads.

Exemple numérique. — Pour une bobine de $7^{\text{a}} 2$ on trouve

$$Q = 0^{\text{microf}} 5 \quad r_2 = 10 \quad r_4 = 100 \quad R = 72 \quad r = 184$$

et le coefficient $L = 0^{\text{h}} 00764$.

IV. — Mesure des très petites selfs.

M. Meslin a indiqué une méthode ⁽³⁶⁾ très simple pour la mesure des très petites selfs.

On utilise un des montages ordinairement employés pour la réception, en intercalant dans le circuit de l'antenne ou du détecteur une self-induction réglable et préalablement étalonnée une fois pour toutes, afin d'établir la résonance pour des ondes hertziennes de longueur d'onde déterminée, par exemple celles de la Tour Eiffel.

On introduit ensuite, dans le circuit de l'antenne, la self à mesurer de l'ordre du $1/10.000^{\text{e}}$ ou $1/100.000^{\text{e}}$ de Henry, et l'on fait varier la self réglable ou la longueur de l'antenne réceptrice pour ramener le réglage. Il sera bon d'employer une antenne rectiligne dont on fera varier la longueur ; la méthode présentera alors le critérium du maximum théorique de simplicité, puisqu'elle réduit à la mesure d'une longueur la détermination d'une quantité qui a précisément les dimensions d'une longueur, tandis que toutes les autres méthodes exigent la connaissance d'une période et d'une résistance TR , ou d'une capacité et d'une résistance CR^2 , ou d'une capacité et d'un temps $\frac{T^2}{C}$, connaissance qui exige des opérations superflues.

On emploiera les ondes qui ont une longueur

d'onde bien définie et dont la résonance s'obtient avec la plus grande acuité.

J'utilise également cette méthode avec le montage simple à un seul circuit d'oscillations que j'ai décrit page 77.

V. — Mesure des capacités.

L'unité est le *farad*. C'est la capacité d'un condensateur qui, chargé à la différence de potentiel de 1 volt, prend une charge de 1 *coulomb*, unité de quantité d'électricité. Le farad est très grand. Une sphère égale au globe terrestre n'aurait qu'une capacité de 700 microfarads. Aussi, prend-on habituellement, pour terme de comparaison, le *microfarad*. C'est à peu près la capacité d'un condensateur à lame de verre de 1 millimètre d'épaisseur et ayant une surface de 30 mètres carrés.

Emploi des courants alternatifs. — Pour mesurer les capacités utilisées en télégraphie sans fil, on renoncera à toutes les méthodes électrostatiques.

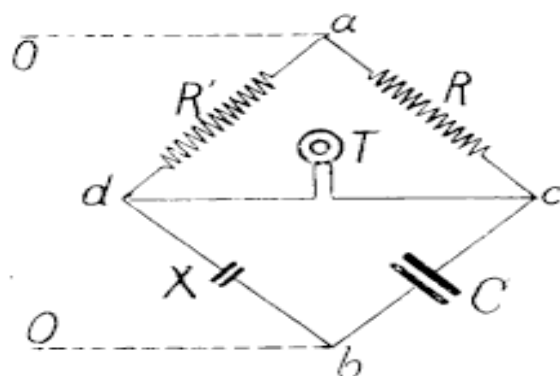


Fig. 56.

ques. On les mesurera à l'aide des courants alternatifs. Par exemple, on prendra comme source le secondaire d'un petit transformateur genre Jegou, en mettant dans le primaire le vibreur Ducretet.

Les courants arrivent aux points *a* et *b* (fig. 56) du pont de Wheatstone ; dans l'autre diagonale, on installe un téléphone. Dans les branches *ac* et *ad*, sont des résistances variables *R* et *R'*. Dans les branches *db* et *cb*, on place les deux capacités à comparer *X* et *C*.

Ayant donné à *R* une certaine valeur, on fait varier *R'* jusqu'à ce que le téléphone reste silencieux. A ce moment, on a

$$X = C. \frac{R}{R'}.$$

En effet, on a toujours, quel que soit le temps, en appelant *i*₁ et *i*₂ les intensités dans les branches *acb* et *adb*

$$Ri_1 = R'i_2.$$

D'autre part, à tout instant, le rapport des intensités *i*₁ et *i*₂ est égal à celui des charges de deux condensateurs, et l'on sait qu'à potentiel égal les charges sont proportionnelles aux capacités. Or, si le téléphone est silencieux, les potentiels sont les mêmes en *c* et *d* ; les condensateurs sont chargés à la même différence de potentiel et l'on a bien

$$\frac{\int i_1 dt}{\int i_2 dt} = \frac{C}{X} = \frac{i_1}{i_2}$$

d'où
$$\frac{X}{C} = \frac{R}{R'}.$$

La méthode est extrêmement simple en principe, mais elle nécessite des précautions nombreuses au point de vue de l'isolement. Il ne faut toucher les fiches de la boîte de résistance que par les boutons isolants ; il ne faut pas prendre le téléphone dans la main. Il est commode de l'installer à poste fixe dans un support et d'en approcher l'oreille.

La capacité connue *C* sera une fraction variable de microfarad, selon le condensateur à mesurer.

VI. — Mesure des longueurs d'onde.

Mesure de la longueur d'onde d'une antenne de réception. — La méthode la plus simple et la plus exacte, préconisée par M. Ferrié, consiste à exciter l'antenne avec une toute petite étincelle d'une bobine d'induction minuscule. Dans le circuit de l'antenne elle-même, on ne met qu'un excitateur

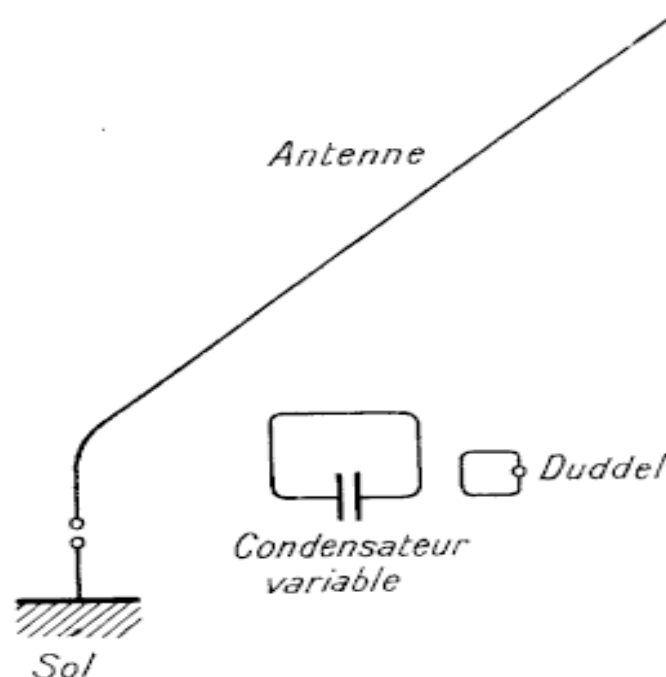


Fig. 57.

à boules (fig. 57) dont l'une communique avec l'antenne, l'autre avec le sol.

A quelque distance, on installe un circuit de mesure, qui comprendra une self étalon et un condensateur variable d'une façon continue. On fera varier cette capacité jusqu'à ce qu'on obtienne la résonance avec l'antenne. Pour constater que cette résonance est atteinte, on établit un troisième circuit, à proximité du précédent, et contenant un appareil de me-

sure. On obtiendra une grande sensibilité en utilisant un galvanomètre de Duddel.

Afin d'éviter les réactions des circuits les uns sur les autres, on éloignera autant que possible le circuit étalon de l'antenne. Grâce à la sensibilité du Duddel, on peut opérer à de grandes distances.

Quand la résonance est atteinte, on mesure la self et la capacité par les méthodes au téléphone que nous avons décrites et l'on en déduit la période de résonance

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

d'où $\lambda = 3 \cdot 10^8 \cdot 2\pi \sqrt{CL}$ en mètres,

C et L étant évalués dans le système pratique.

Constitution des selfs. — Il est commode de constituer la self par un fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre, tendu sur un cadre rectangulaire de 2 mètres de côté, lorsqu'il s'agit de mesurer des longueurs d'onde de l'ordre de 200 mètres. La capacité devra être de l'ordre du $1/1.000^e$ de microfarad au moins. Pour les longueurs d'onde plus grandes, on augmentera la capacité. Pour les petites longueurs d'onde de l'ordre de 50 mètres, on se contentera d'un cadre de 0^m 75 de côté et du condensateur variable C_3 (Voir p. 88).

Valeur des selfs étalons. — Il est intéressant de connaître les valeurs des selfs étalons utilisées, valeurs qui pourront d'ailleurs être vérifiées par des mesures directes.

Si l'on désigne par C le côté du carré, r le rayon du fil, on a

$$L = 8C \left[\log \operatorname{nep} \frac{C}{r} - 0,25 \right]$$

formule d'un emploi commode.

Le galvanomètre de Duddel donne des déviations assez irrégulières dues aux variations de l'étincelle,

mais dès qu'on s'approche de la résonance, l'équipage mobile est chassé brusquement, si bien que la méthode est susceptible d'une très belle précision.

Méthode du fil de comparaison. — Si l'on disposait d'une place suffisante, on pourrait substituer à l'antenne complexe étudiée un fil unique rectiligne, et chercher la longueur qu'il faut lui donner pour obtenir les mêmes résonances, à l'émission ou à la réception, qu'avec l'antenne complexe. Cela pourrait être fait, en particulier, dans les stations aérologiques par l'usage des cerfs-volants ou des drachen-ballons qui permettent de dresser le fil en hauteur.

Mesure des longueurs d'onde à la réception. — Nous avons vu, à propos des postes de réception par induction, le moyen d'obtenir, au moins approximativement, la longueur des ondes reçues. La méthode est identique à la précédente, avec cette différence qu'au lieu d'employer le Duddel, on met un détecteur et un téléphone dans le troisième circuit. Les cadres des selfs étalons sont remplacés alors par des bobines de transformateurs de réception dont les selfs valent quelques millièmes de Henry.

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES A CONSULTER ET ABRÉVIATIONS

- Ann. Soc. mét.* — Annuaire de la Société météorologique de France, Paris.
- Bull. adm. Inst. publique.* — Bulletin administratif du ministère de l'Instruction publique.
- Bull. Ass. Cluses.* — Bulletin de l'Association amicale des Anciens Élèves de l'École nationale d'horlogerie de Cluses (Haute-Savoie).
- Bull. Conf. off. réserve.* — Bulletin des Conférences de l'École d'instruction des officiers de réserve et de l'armée territoriale de la 20^e région. Berger-Levrault, Nancy.
- Bull. Un. Phys.* — Bulletin de l'Union des Physiciens, Paris.
- C. R. Acad. Sciences.* — Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, Paris.
- C. R. Ass. franç.* — Comptes rendus de l'Association française pour l'Avancement des Sciences, Paris.
- Journ. de Phys.* — Journal de Physique théorique et appliquée, 4 séries. 5^e série publiée par la Société française de Physique. Paris.
- Nat.* — La Nature. Masson, Paris.
- Obs. Paris. Instructions.* — Observatoire de Paris. Instructions pour l'envoi de l'heure par la radiotélégraphie, par F. BOQUET. Imprimerie Nationale, Paris, 1911.
- Rev. gén. Sciences.* — Revue générale des Sciences pures et appliquées. Armand Colin, Paris.
- Soc. Ind. Est.* — Société industrielle de l'Est, fondée en 1883. Bulletin mensuel. Nancy.

- Soc. Ind. Est.* — Bulletin mensuel n° 50 : La Télégraphie sans fil et ses applications, par C. GURTON, professeur à la Faculté des Sciences de Nancy. 1907.
- Bulletin mensuel n° 93 : L'état actuel de la Télégraphie sans fil ; ses applications scientifiques, par E. ROTHÉ, professeur à la Faculté des Sciences de Nancy. 1911.
- Tech. mod.* — La Technique moderne. Dunod et Pinat, Paris.
- Temps.* — Journal « Le Temps », Paris.
- Thèse.* — Contribution à l'étude de la Polarisation des Électrodes. Thèse de doctorat. Gauthier-Villars, Paris. 1904.
- T. S. F. et O. E.* — La Télégraphie sans fil et les Ondes électriques, par J. BOULANGER et G. FERRIÉ. 7^e édition. Berger-Levrault, Nancy. 1909.

CITATIONS

- (1) CHAUMIÉ, ministre de l'Instruction publique (Discours *Bull. adm. Inst. publique*, 1902, n° 1531, p. 360).
- (2) G. BIGOURDAN et A. ANGOT, « Sur l'application de la Télégraphie sans fil à l'amélioration des avertissements météorologiques » (*C. R. Acad. Sciences*, t. CXLVI, p. 885).
- (3) A. ANGOT, « Sur l'application à la prévision du temps » (*C. R. Acad. Sciences*, t. CXLVI, p. 948).
- (4) *T. S. F. et O. E.*, p. 51.
- (5) *Bull. Ass. Cluses*, 12^e année, mars 1912, p. 144.
- (6) *Nat.*, 15 juin 1912.
- (7) *T. S. F. et O. E.*, p. 67.
- (8) *Journ. de Phys.*, 5^e série, t. I, p. 372. — *Nat.*, 1911, p. 340.
- (9) *Bull. Ass. Cluses*, 12^e année, mars 1912, p. 143.
- (10) Thèse, p. 110 à 127.
- (11) JÉGOU, « Réception d'un signal horaire hertzien de la Tour Eiffel » (*C. R. Acad. Sciences*, t. CLI, 1910, p. 1042).
- (12) Lieutenant de vaisseau TISSOT, « Les progrès récents de la Télégraphie sans fil » (*Tech. mod.*, Supplément au t. III, janvier 1911, p. VII).

- (13) LEMOINE, *Bull. Un. Phys.*, juin 1912, p. 198.
- (14) FLAJOLET, « Contribution à l'application de la Télégraphie sans fil à l'étude des orages » (*C. R. Acad. Sciences*, t. CLIV, p. 730).
- (15) ROTHÉ, « Sur la réception des radiotélégrammes avec antennes réduites » (*C. R. Acad. Sciences*, t. CLIV, 1912, p. 193).
- (16) *Tech. mod.*, Supplément au t. III, janvier 1911, p. VIII, *loc. cit.*
- (17) *Obs. Paris. Instructions.*
- (18) FERRIÉ, « Sur quelques nouvelles applications de la Télégraphie sans fil » (*Journ. de Phys.*, 5^e série, t. I, mars 1911, p. 178).
- (19) *Bull. Ass. Cluses*, 10^e année, n^o 11, nov. 1910, p. 271.
- (20) A. TURPAIN, « Inscription graphique des signaux de l'heure émis par la Tour Eiffel » (*Journ. de Phys.*, 5^e série, t. II, p. 104).
- (21) A. CLAUDE, G. FERRIÉ et L. DRIENCOURT, « Emploi de la Télégraphie sans fil pour la détermination des longitudes » (*Rev. gén. Sciences*, t. XXII, 1911, p. 518).
- (22) *Id.*, *ibid.*, p. 521.
- (23) G. LIPPMANN, « Sur l'entretien du Pendule sans perturbations » (*C. R. Acad. Sciences*, 13 janvier 1896, et *Journ. de Phys.*, 3^e série, t. V, 1896, p. 429).
- (24) E. ROTHÉ, « Sur l'influence possible des Radiations solaires sur la propagation des ondes hertziennes » (*C. R. Acad. Sciences*, t. CLIV, p. 1454).
- (25) « L'Éclipse de soleil du 17 avril 1912 » (*Société astronomique de France*, juillet 1912).
- (26) A. TURPAIN, « Influence de l'Éclipse de soleil du 17 avril 1912 sur la propagation des ondes électriques » (*C. R. Acad. Sciences*, t. CLIV, p. 1457).
- (27) *Temps*, 30 décembre 1910, et Supplément, 20 janvier 1911.
- (28) FERRIÉ, « Sur quelques nouvelles applications de la Télégraphie sans fil » (*Journ. de Phys.*, 5^e série, t. I, mars 1911, p. 187).
- (29) Capitaine GRIMAUD, *Bull. Conf. off. réserve*, 5^e année, 1912, n^o 5.

- (30) FERRIÉ, « Sur quelques nouvelles applications de la Télégraphie sans fil » (*Journ. de Phys.*, 5^e série, t. I, mars 1911, p. 188).
- (31) Capitaine GRIMAUD, *Bull. Conf. off. réserve*, p. 327.
- (32) A. TURPAIN, « Communication à la Société de Physique, 2 juin 1911 » (*Journ. de Phys.*, 5^e série, t. I, p. 1005 ; *C. R. Ass. franç.*, Congrès de Lille, 1909, p. 375).
- (33) Ass. française. *Comptes rendus de la 39^e session*. Toulouse, 1910, p. 199.
- (34) FLAJOLET, « Contribution à l'application de la Télégraphie sans fil à l'étude des orages » (*C. R. Acad. Sciences*, t. CLIV, 1912, p. 729).
- (35) ROTHÉ, *Ann. Soc. mét.*, janvier-février 1912.
- (36) MESLIN, « Application de la Télégraphie sans fil à la mesure des coefficients de self-induction » (*C. R. Acad. Sciences*, t. CLIV, p. 275).
- (37) BIGOURDAN, La Conférence internationale de l'heure (*C. R. Acad. Sciences*, t. CLV, p. 867).



TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION	v
CHAPITRE I. — Les oscillations électriques . . .	1
— II. — Les phénomènes de résonance . .	16
— III. — Le tube de Branly	27
— IV. — Principe de la télégraphie sans fil. Antenne.	33
— V. — Production des oscillations. Postes d'émission.	42
— VI. — Principe des appareils de réception	55
— VII. — Construction de divers postes de réception	77
— VIII. — Réception avec plusieurs antennes.	95
— IX. — Les signaux horaires	97
— X. — Détermination des longitudes . .	119
— XI. — Influences diverses sur l'intensité de la réception.	133
— XII. — Applications à la météorologie. .	143
— XIII. — La télégraphie sans fil et l'aéro- nautique	153
— XIV. — Les orages	159
— XV. — La lecture des radiotélégrammes.	166
— XVI. — Autorisations pour l'installation des postes récepteurs.	171
APPENDICE	177
BIBLIOGRAPHIE	195



LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS, 5-7, rue des Beaux-Arts — rue des Glacis, 18, NANCY

- Armées modernes et Flottes aériennes**, par J. CHALLÉAT, chef d'escadron d'artillerie, Direction de Vincennes. 1911. Un volume in-8, avec 19 figures, broché 1 fr. 50
- L'Aviation aux Armées et aux Colonies, et autres questions militaires actuelles**, par le général H. FREY, ancien commandant en chef de corps expéditionnaire. 1911. Un volume in-8, broché 3 fr. 50
- L'Aviation d'Artillerie. Résumé d'une conférence faite par le capitaine CHARET au Cercle militaire de Paris, à la Réunion des officiers de réserve d'artillerie.** 1912. Brochure in-8. 50 c.
- Balistique d'Aéroplane. Le Problème de l'Aéro-Cible**, par P. CHARBONNIER, ingénieur en chef de l'artillerie navale, président de la Commission de Gâvres. 1912. Brochure in-8, avec 8 figures. 1 fr.
- Les Cerfs-Volants observatoires**, par C. ROMAIN, chef d'escadron d'artillerie. 1912. Brochure in-8, avec 12 figures 75 c.
- Cerfs-Volants militaires**, par J.-Th. SACONNEY, capitaine du génie. 1909. Un volume in-8 de 100 pages, avec 37 figures, broché. 2 fr. 50
- Le Vol ramé et les formes de l'aile**, par le commandant L. TROUVENY. Mémoire reçu par l'Académie des Sciences le 5 avril 1909. In-8, 35 pages, avec 17 figures dans le texte, broché 1 fr. 25
- Essai sur l'utilisation du Dirigeable et de l'Aéroplane en campagne**, par le commandant BESSEYRE DES HORTS. 1910. Grand in-8, broché . . . 1 fr.
- Flottes aériennes en France et en Allemagne. Aéroplanes et Ballons de guerre. Lois de l'aéro-dynamique. Le dirigeable rationnel. Torpilles aériennes**, par Émile BERRUBÉ. 1910. Brochure in-4, avec 15 figures 2 fr.
- Les Ballons dirigeables. Théorie. Applications**, par E. GIRARD et A. DE ROUVILLE, élèves ingénieurs des Ponts et Chaussées, officiers de réserve du génie. 2^e édition, augmentée des annexes : *Le ballon Lebaudy* — *Le ballon Patrie*, par le commandant VOYER. Nouveau tirage. 1909. Un volume in-8 de 386 pages, avec 174 figures, broché 5 fr.
- La Conquête de l'Air. Le Problème de la locomotion aérienne. Le Ballon dirigeable**, par le capitaine breveté L. SAZERAC DE FORGE. Avec préface de l'ingénieur H. JULLIOT, créateur du *Lebaudy* et du *Patrie*. 2^e édition, entièrement refondue et mise à jour. 1910. Un volume grand in-8 de 825 pages, avec 269 instantanés, figures et portraits, broché 12 fr. 50
Élégamment relié en percaline gaufrée, plaques spéciales, tête rouge. 15 fr.
- Essai sur la Navigation aérienne. Aérostation, Aviation**, par E. LAPOINTE, enseigne de vaisseau. 1896. Un volume in-8, broché. 3 fr. 50
- Les Premières Expériences aérostatiques faites en Lorraine, 1783-1788**, par Pierre BOYÉ, président de la Société d'archéologie lorraine et du Musée historique lorrain, membre non résident du Comité des travaux historiques et scientifiques, avocat à la Cour d'appel de Nancy. 1909. Brochure in-8 de 48 pages, avec 3 planches. 2 fr. 50
- Mes Premières Impressions d'Aviateur (juin 1911)**, par le lieutenant BAGUE. Brochure in-12. 1 fr.
- Nice-Gorgone en Aéroplane (5 mars 1911)**, par le même. Brochure in-12, avec un portrait et une carte. 1 fr.
- De la Restitution du plan au moyen de la téléphotographie en ballon**, par L. PEZET, capitaine du génie. 1907. In-8 de 80 pages, avec 37 figures, broché. 2 fr.

LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS, 5-7, rue des Beaux-Arts — rue des Glacis, 18, NANCY

C. ADER

L'AVIATION MILITAIRE

Edition nouvelle et complète. 1911. Un vol. in-8 de 382 pages, avec 55 figures et 2 planches hors texte, broché . . . 4 fr.

AVIONNERIE MILITAIRE

Pointage aérien. Instruments de mesures pour avions torpilleurs. Le catachros. Le vélosolmètre. L'altimètre. Tableaux du guide de visée. Un vol. in-8, avec 31 fig., broché . . . 3 fr.

Dictionnaire-Manuel de l'Aéronautique militaire. 1912. Un volume in-8 étroit de 220 pages, avec 22 figures, broché. 1 fr. 75

L'Aviation. Ses Débuts. Son Développement. *De crête à crête. De ville à ville. Du continent à continent,* par le capitaine F. FERNER (DE RUE). Nouvelle édition. 1910. Un volume in-8, avec 117 figures et 2 portraits, broché. . . 5 fr.

Pour la Sécurité des Aviateurs. *Les métamorphoses du coefficient K,* par F. ROUX, architecte honoraire du Gouvernement, membre de la Société française de Navigation aérienne. 1911. Un volume in-12, broché. 1 fr.

Les Aéroplanes. *Leur erreur. Leurs dangers,* par le même. 1910. Un volume in-12, broché. 1 fr.

L'Aviation enseignée par la Structure, d'après le Salon de 1912. Suivi d'une *Note sur le mouvement perpétuel,* par le même. 1913. Un volume in-12, broché. 3 fr.

Les Hélices aériennes. *Théorie et calcul de leurs dimensions principales,* par Ch. HANCOQ, ingénieur-répétiteur du Cours de physique industrielle à l'Université de Liège. 1913. Un volume grand in-8, avec 41 figures et 2 planches. 5 fr.

Les Moteurs d'Aviation, par C. MARTINOT-LAGARDE, capitaine du génie à l'établissement central du matériel aéronautique militaire Chalais-Meudon. 1911. Un volume in-8 de 116 pages, avec 69 figures, broché. 2 fr. 50

Le Moteur à explosion, par le même. 1912. Un volume in-8 de 305 pages, avec 157 figures, broché. 5 fr.

L'Aviation militaire. *Son utilité démontrée à l'aide de quelques faits de guerre.* Conférence faite à la Sorbonne par le capitaine BELLENGER, aviateur militaire. 1912. Brochure grand in-8, avec 4 cartes. 50 c.

L'Homme s'envole. *Le passé, le présent et l'avenir de l'Aviation,* par le capitaine breveté L. SAZERAC DE FORGE. Avec un *Supplément 1910.* Volume in-8 de 101 pages, avec 42 figures, broché. 1 fr. 25

Théorie élémentaire des Aéroplanes. *Leur anatomie. Leur avenir militaire,* par le lieutenant ESCUDIER. 1911. Broch. in-8 de 72 pages, avec 28 fig. . . 2 fr.

Aérostation et Aviation, par CLÉMENTEL, vice-président de la Chambre des Députés, rapporteur du budget de la Guerre pour 1910. In-8, broché. . . 1 fr.

Aérostation et Aviation. Extrait du Rapport fait au nom de la Commission du budget chargée d'examiner le projet de loi portant fixation du budget général de l'exercice 1911 (Ministère de la Guerre), par M. CLÉMENTEL, député. In-8, broché 1 fr.