



Bibliothèque technologique

Albert Turpain

La

Télégraphie sans Fil

2^e Edition

GAUTHIER-VILLARS, Éditeur

BIBLIOTHÈQUE TECHNOLOGIQUE.

LA

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

ET LES APPLICATIONS PRATIQUES

DES ONDES ÉLECTRIQUES.

LA

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

ET LES APPLICATIONS PRATIQUES

DES ONDES ÉLECTRIQUES.

TÉLÉGRAPHIE AVEC CONDUCTEUR.
TÉLÉPHONIE SANS FIL. — COMMANDE A DISTANCE.
PRÉVISION DES ORAGES.
COURANTS DE HAUTE FRÉQUENCE. — ÉCLAIRAGE.

PAR

ALBERT TURPAIN,

Professeur de Physique à la Faculté des Sciences
de l'Université de Poitiers.

DEUXIÈME ÉDITION.



PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

—
1908

Tous droits de traduction et de reproduction réservés.

PRÉFACE DE LA PREMIÈRE ÉDITION.

Bien que la découverte de Hertz date à peine de douze ans, les oscillations électriques n'ont pas seulement été l'objet de nombreuses et importantes recherches de laboratoire; elles ont également pénétré le domaine des applications pratiques.

Grâce à la découverte de la radioconduction par M. Branly et à l'heureuse application que sut en faire M. Marconi, la télégraphie sans fil est devenue autre chose qu'une curieuse expérience de physique. Les divers essais, couronnés de toutes parts d'un succès croissant, en ont fait une des solutions pratiques les plus complètes de l'intéressant problème des communications à petite distance.

Les ondes électriques semblent encore promettre des applications non moins heureuses à la télégraphie avec conducteur. Peut-être même n'est-il pas illusoire d'espérer qu'elles constitueront un jour un nouveau mode d'éclairage électrique.

Nous avons cru que la réunion de tout ce qui avait été tenté relativement à ces diverses applications pouvait présenter quelque utilité en marquant à quel point se trouvait chacune d'elles.

C'est la raison qui nous a engagé à écrire ce Livre.

Nous avons pensé qu'il était préférable de ne pas fatiguer dès l'abord le lecteur désireux de prendre connais-

sance de la production et de l'utilisation des ondes électriques, soit par une discussion très approfondie de certains phénomènes (en particulier de celui de la radio-conduction), soit par l'exposé détaillé de quelques dispositifs télégraphiques un peu compliqués.

Le corps même de l'Ouvrage ressortit donc plus à la vulgarisation qu'à la technique.

On trouvera peut-être que nous nous sommes étendu un peu trop sur ce qui touche à l'entretien d'un excitateur d'ondes électriques en activité et que nous avons donné une grande extension à la description des sources d'électricité et des interrupteurs. Ce Chapitre pourra même paraître d'autant plus chargé que nous n'avons rien réservé, le concernant, dans l'Appendice. La raison en est due à l'importance qui s'attache au choix d'un bon interrupteur et d'une excellente bobine pour obtenir la répétition des divers phénomènes décrits. L'obtention d'étincelles longues et fournies demande, en effet, un interrupteur de choix; l'intensité des effets obtenus dépend en outre des qualités de la bobine d'induction utilisée.

Ayant ainsi élagué toute théorie et toute description compliquée, nous n'aurions pas répondu au but que se propose la bibliothèque technologique. Si le lecteur curieux de connaître les moyens de production des oscillations électriques et les domaines qui utilisent leurs effets eût été en partie satisfait, celui qui désire pénétrer plus avant les dispositifs d'utilisation des ondes hertziennes eût été, par contre, trop déçu. C'est pourquoi nous avons cru devoir réunir dans un Appendice toutes les questions que nous avons considérées comme susceptibles de satisfaire la légitime curiosité du technicien :

descriptions détaillées des plus récents brevets, manières diverses d'envisager le fonctionnement des radioconducteurs, utilité et rôle des antennes en télégraphie sans fil, discussion des diverses solutions proposées au problème de la syntonisation, application des dispositifs de la télégraphie sans fil à la commande à distance, à la prévision des orages, etc.

Ainsi compris et tout imparfait qu'il soit, nous espérons que ce Livre comblera une lacune, en groupant ensemble tous les renseignements relatifs aux applications pratiques des ondes électriques.

Nous n'avons pas cru devoir traiter les applications médicales des oscillations électriques. Elles relèvent plus du thérapeute que du physicien.

Nous tenons à remercier M. Blondin de tous les renseignements utiles qu'il nous a communiqués et d'avoir bien voulu mettre à notre disposition les plus récents brevets concernant la télégraphie sans fil.

La Rochelle, août 1900.

PRÉFACE DE LA DEUXIÈME ÉDITION.

Depuis deux ans déjà, cette deuxième édition devrait être imprimée, si nous avons répondu à l'accueil qu'on a bien voulu faire à nos *Applications pratiques des ondes électriques*. Nous ne regrettons pas cependant de n'avoir pu trouver, jusqu'à ce jour, le loisir de mettre au point cette nouvelle édition. Cela nous a permis de mieux étudier et de situer d'une façon plus exacte les différentes questions que soulèvent les applications de plus en plus nombreuses des ondes hertziennes : télégraphie avec et sans conducteur, téléphonie sans fil, commande à distance, étude des orages, production des courants de haute fréquence, etc.

En particulier, en télégraphie sans fil, nous avons pu donner un exposé complet des déterminations des longueurs d'ondes et surtout de l'importante question de l'amortissement et du rôle que joue sa mesure dans la réalisation d'un accouplement. C'est seulement par la mesure aussi exacte que possible de ces grandeurs que l'on peut espérer réaliser les meilleurs effets sélectifs. Les récentes et si intéressantes expériences que vient de faire, ces derniers mois, la marine française (expériences dont nous donnons le détail et les résultats), n'ont dû d'être couronnées du succès tout à fait inespéré auquel elles ont conduit, qu'au soin avec lequel les accouplé-

ments étaient réalisés et mesurés en mettant en œuvre les procédés basés sur la courbe de résonance que M. Tissot a su rendre pratique. Avec une puissance inférieure à 8 chevaux, les dispositifs parfaitement réglés de notre flotte ont pu atteindre des portées que les postes dits *extra-puissants* de Poldhu et de Nauen ne couvrent que par la mise en marche de véritables usines dépendant 150 chevaux.

Nous n'avons pas cru, dans cette deuxième édition, conserver à l'Ouvrage un Appendice. Les premiers brevets ne présentent plus, aujourd'hui, aucun intérêt, et la floraison des brevets sur les ondes est si dense en même temps que si maigre en résultats pratiques, que leur dépouillement ne valait pas la peine qu'il eût coûté. Tout en conservant le plan général de l'Ouvrage, nous avons fait la plus large part à la télégraphie sans fil. Après une étude générale des ondes électriques, des modes de production et d'observation de ces phénomènes, nous présentons les principes de leur application à la télégraphie dite *sans fil*. Dans trois Chapitres, nous étudions alors successivement les détails des dispositifs de télégraphes sans fil, les questions d'amortissement et d'accouplement, qui nous conduisent naturellement à envisager l'important problème de la syntonie et les diverses solutions qui en ont été proposées. Nous n'avons pas cru inutile de consacrer tout un Chapitre à la discussion de cet important problème, dont nous avons exposé toutes les solutions, mais aussi toutes les données. Les progrès de la télégraphie sans fil et les essais de téléphonie sans fil terminent la partie relative aux applications des ondes à la télégraphie dite *sans fil*.

Nous exposons ensuite les applications des ondes à la

télégraphie avec conducteur. Nous regrettons d'être toujours le seul à avoir apporté une contribution à cette application que nous croyons devoir être plus féconde encore en résultats heureux que ne l'a été celle à la télégraphie sans conducteur.

La commande à distance et l'étude des orages, qui ont donné l'occasion de réaliser des dispositifs de mieux en mieux étudiés, forment la matière des Chapitres X et XI. Nous terminons enfin par l'exposé des procédés permettant de produire les courants de haute fréquence à partir des ondes électriques, et par celui des expériences, de pure curiosité encore par suite du rendement extrêmement défectueux, permettant de produire l'éclairage au moyen de courants de haute fréquence. Peut-être ces essais sont-ils le germe d'applications pratiques futures que sauront féconder d'heureux perfectionnements. Actuellement, cette application reste une curieuse expérience et n'a depuis dix ans fait aucun progrès.

Poitiers, décembre 1907.



LA

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

ET LES APPLICATIONS PRATIQUES

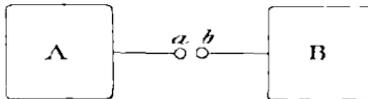
DES ONDES ÉLECTRIQUES.

CHAPITRE I.

PRODUCTION ET OBSERVATION DES ONDES ÉLECTRIQUES.

Expériences de Hertz. Ondes électriques. — Si l'on dispose à peu de distance l'un de l'autre deux conducteurs isolés, deux plaques A, B (*fig. 1*), armées de tiges munies de sphères *a*, *b*, et si l'on établit entre ces deux conducteurs une différence de potentiel électrique graduellement croissante, il

Fig. 1.



Excitateur d'ondes électriques.

arrive un moment où le condensateur formé par les deux conducteurs se décharge sur lui-même. On en est averti par la production d'une étincelle qui éclate entre les deux sphères de métal.

En choisissant convenablement les dimensions des conducteurs employés, la décharge électrique qui se produit ainsi entre ces deux conducteurs peut affecter un caractère tout particulier.

T.

1

Au lieu de décroître d'une manière graduelle depuis la valeur qu'elle a atteint jusqu'à une valeur nulle (la décharge étant alors complète), la différence de potentiel peut présenter des alternatives de décroissances et de croissances, et cela tant que dure la décharge, c'est-à-dire jusqu'à ce que la décharge électrique communiquée aux conducteurs se soit totalement dissipée.

On dit alors que la *décharge* du condensateur est *oscillante*.

Les deux conducteurs qui forment le condensateur de capacité C constituent dans leur ensemble une certaine résistance électrique R. Le circuit formé par ces deux conducteurs possède un certain coefficient d'induction propre L. La théorie indique que la décharge sera oscillante si l'on a

$$R^2 < \frac{4L}{C}.$$

La durée d'une période est donnée par la formule

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{R^2}{4L^2}}}.$$

Si le rapport $\frac{R}{L}$ est suffisamment petit, on peut négliger le second terme du radical par rapport au premier et la durée d'une période devient

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

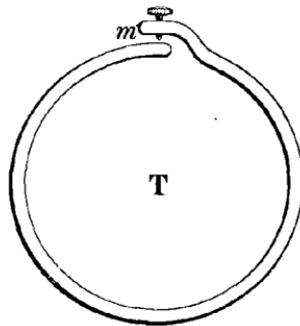
Hertz ⁽¹⁾, qui a imaginé le dispositif précédent, a montré qu'il suffit, pour entretenir d'une manière continue le condensateur dans l'état de *décharge oscillante*, de relier les deux conducteurs qui le constituent aux deux pôles d'une bobine de Ruhmkorff en activité. L'appareil est alors le siège d'oscillations électriques se propageant dans tout l'espace environnant; Hertz le nomme l'*excitateur des ondes électriques*.

⁽¹⁾ H. HERTZ, *Recherches sur les ondulations électriques* (Archives de Genève, 3^e période, t. XXI, 1889, p. 286).

Persuadé que l'excitateur est bien le siège d'oscillations électriques, Hertz a cherché à montrer la présence de ces nouvelles ondes, à démontrer la réalité de leur propagation.

A cet effet il prit comme appareil d'investigation un simple cerceau de métal (*fig. 2*) constituant un circuit conducteur

Fig. 2.



Résonateur de Hertz.

ouvert en un point. On peut aisément faire varier la grandeur de l'interruption grâce à une vis micrométrique dont se trouve munie l'une des extrémités de la tige métallique qui forme le cerceau.

Si l'on dispose ce circuit qui constitue le *résonateur* de Hertz au voisinage de l'excitateur, on constate qu'il se produit une étincelle à la partie interrompue du cerceau métallique, au micromètre *m*.

Cette étincelle dénote par sa présence la propagation d'une action électrique depuis l'excitateur qui la produit jusqu'au résonateur qui la décèle.

Par sa simplicité vraiment géniale le résonateur constitue sans nul doute l'invention la plus originale de toute l'œuvre expérimentale de Hertz. C'est pour avoir conçu ce cerceau de métal, comme moyen d'investigation du champ des ondes électriques, que Hertz occupe la première place parmi les expérimentateurs qui, continuant son œuvre, ont exploité le domaine qu'il leur a légué.

Ondes électriques stationnaires. — L'espace environnant un excitateur en activité, espace dans lequel un résonateur est susceptible de fonctionner, constitue ce que l'on nomme le *champ hertzien* créé par cet excitateur.

Si l'on dispose à une certaine distance devant l'excitateur un écran métallique et que l'on éloigne graduellement de l'excitateur un résonateur dont le plan est maintenu parallèle au plan de l'écran, on observe les phénomènes suivants : A une certaine distance de l'excitateur une étincelle se manifeste à l'interruption du résonateur. En éloignant le résonateur de l'excitateur, les étincelles deviennent de plus en plus rares et bientôt cessent complètement. Si l'on continue à éloigner le résonateur de l'excitateur, quelques étincelles ne tardent pas à reparaitre à son interruption, elles deviennent bientôt nombreuses et finissent par éclater d'une façon continue. Par un nouvel éloignement les étincelles disparaissent au micromètre du résonateur, pour reparaitre à nouveau, et ainsi de suite, tant qu'on éloigne le résonateur de l'excitateur, dans la portion de l'espace comprise entre l'excitateur et l'écran métallique.

En résumé, le résonateur, éloigné par degrés de l'excitateur, manifeste des alternatives de fonctionnement et d'extinction dans des régions fixes et bien déterminées.

On admet que le phénomène ainsi observé est dû à l'interférence des ondes électriques directement émises par l'excitateur et des ondes réfléchies sur l'écran métallique. Le résonateur, dans son déplacement, met en évidence les *ondes électriques stationnaires* déterminées entre l'excitateur et l'écran par cette interférence.

Lorsque les étincelles éclatent d'une façon continue au micromètre du résonateur, on dit que cet appareil se trouve placé dans une *section ventrale*.

Lorsque, par suite du déplacement, les étincelles cessent complètement au micromètre, on dit alors que le résonateur est arrivé dans une *section nodale*.

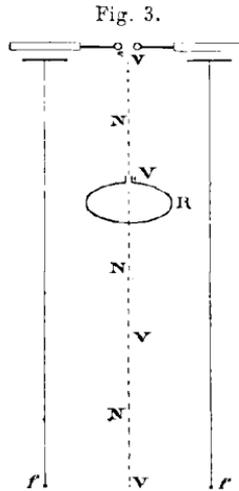
On constate aisément que la distance qui sépare une section ventrale de la section nodale suivante est constante, si bien que ces différentes sections ventrales et nodales s'étagent

entre l'excitateur et l'écran métallique et partagent leur distance en une suite de segments égaux.

On nomme *longueur d'onde* le double de la distance qui sépare deux sections ventrales ou deux sections nodales consécutives.

Ondes électriques le long des fils. — Au lieu de laisser les ondes électriques émises par l'excitateur se propager librement dans tout l'espace environnant, on peut concentrer le champ hertzien à l'aide de deux longs fils de cuivre parallèles tendus à partir de l'excitateur.

A cet effet on dispose parallèlement aux plaques de l'excitateur et à quelques centimètres de ces plaques deux plateaux métalliques auxquels sont réunis par une de leurs extrémités les deux fils conducteurs f, f , qui doivent concentrer le champ (*fig. 3*).



Ondes électriques le long des fils.

Dans ces conditions, un résonateur R dont le plan est maintenu perpendiculaire à la direction des fils et qui est graduellement éloigné de l'excitateur présente les mêmes phénomènes que lors de son déplacement entre l'excitateur et le plan d'un

écran métallique. On constate des alternatives de fonctionnement et d'extinction du micromètre dans des régions fixes séparées par un intervalle constant.

Comme dans le cas précédent, le résonateur met en évidence les ondes électriques stationnaires déterminées dans le champ hertzien par la réflexion des ondulations électriques à l'extrémité des deux fils conducteurs qui y sont tendus. Mais dans le cas actuel, par suite de la concentration due à la présence des fils, les phénomènes sont bien plus intenses que précédemment, et, en faisant usage de fils conducteurs suffisamment longs, on peut les observer à des distances de l'excitateur de beaucoup plus grandes que lorsque l'on se contente de produire des ondes stationnaires au moyen d'un écran métallique.

Résonance multiple. — MM. Sarasin et de la Rive ⁽¹⁾, qui ont répété les premiers les expériences de Hertz, en concentrant le champ à l'aide de deux fils parallèles, ont en outre montré que si, dans le même champ, on déplace plusieurs résonateurs de longueurs différentes, chaque résonateur partage la longueur totale des fils en un certain nombre de concamérations de longueur constante pour chacun des résonateurs, mais de longueur variable d'un résonateur à l'autre.

C'est ce phénomène qu'ils nomment phénomène de *résonance multiple*, et dont ils donnent l'interprétation suivante : Un même excitateur de Hertz émet tout un cortège d'ondulations électriques de longueurs d'ondes différentes, et chaque résonateur, déplacé dans le champ de l'excitateur, ne renforce que les ondulations correspondant à sa période propre et par suite ne décèle que ces ondulations à l'exclusion de toutes les autres.

M. Poincaré ⁽²⁾ et M. Bjerknæs ⁽³⁾ ont montré depuis, le premier, par des considérations théoriques, le second, au

⁽¹⁾ SARASIN ET DE LA RIVE, *Sur la résonance multiple des ondulations électriques* (*Archives de Genève*, 3^e période, t. XXIII, 1890, p. 113).

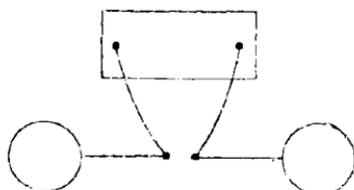
⁽²⁾ H. POINCARÉ, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, août 1890).

⁽³⁾ V. BJERKNÆS, *Ueber die Dämpfung schneller elektrischer Schwingungen* (*Wiedemann's Annalen*, t. XLIV, 1891, p. 74).

moyen de très soigneuses expériences, que ce fait de la résonance de plusieurs résonateurs de longueurs différentes dans le champ créé par un même excitateur peut s'expliquer par un effet d'amortissement. Toutefois il est à remarquer que, conformément aux résultats de l'étude expérimentale de Nils Strindberg ⁽¹⁾, reprise récemment par M. Décombe ⁽²⁾, on doit retrouver le phénomène de la résonance multiple tel que l'ont décrit MM. Sarasin et de la Rive, lorsqu'on emploie des résonateurs constitués par des tiges de métal de diamètre notable (supérieur à 2^{mm}).

Diverses formes d'excitateurs. — *Excitateurs de Hertz.* — L'excitateur employé tout d'abord par Hertz était constitué par deux sphères de zinc de 30^{cm} de diamètre, munies chacune, dans le prolongement d'un rayon, d'une tige de métal terminée par une boule de laiton parfaitement polie de 3^{cm} de diamètre. La longueur de chacune des tiges pouvait varier de 50^{cm} à 75^{cm}, si bien que la distance des sphères (*fig. 4*) variait entre 1^m et 1^m,50.

Fig. 4.



Excitateur de Hertz.

Hertz employa également des excitateurs à plaques carrées (*fig. 1*), en laiton, munies, sur l'un des côtés, d'une tige métallique terminée par une boule. Deux modèles de cet excitateur ont été utilisés par Hertz; dans l'un d'eux les plaques mesuraient 40^{cm} de côté, la distance des centres des plaques était d'environ 1^m; dans l'autre les plaques avaient 20^{cm} de côté.

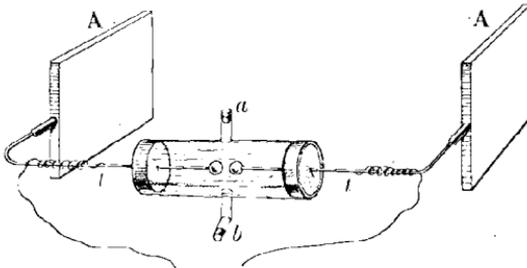
(1) NILS STRINDBERG, *Sur la résonance multiple des oscillations électriques* (*Archives de Genève*, 3^e période, t. XXXII, 1894, p. 129).

(2) DÉCOMBE, *Annales de Physique et de Chimie*, t. XV, 1899, p. 156.

Enfin Hertz a employé un excitateur constitué simplement par deux cylindres de laiton de 13^{cm} de longueur et de 3^{cm} de diamètre, dont les parties en regard étaient terminées par des sphères de 2^{cm} de rayon.

Perfectionnement de MM. Sarasin et de la Rive. — Avec ces différents excitateurs l'étincelle de décharge éclatait dans l'air entre les boules de laiton maintenues aussi parfaitement propres que possible. L'étincelle doit en effet éclater brusquement et dans un temps très court. Pour cela il faut que les deux conducteurs de l'excitateur soient à une distance convenable, que l'étincelle éclate entre deux boules, de préférence creuses, dont les surfaces soient bien polies. Si ces conditions ne sont pas remplies, l'étincelle est mauvaise et l'excitateur fonctionne mal. On reconnaît que les conditions voulues sont réalisées à l'aspect des étincelles et au son qu'elles produisent. Les étincelles doivent être d'un éclat blanc éblouissant et produire un bruit sec comparable à celui d'une explosion. Lorsque l'étincelle éclate dans l'air, les boules de décharge nécessitent

Fig. 5.



Perfectionnement de MM. Sarasin et de la Rive.

un nettoyage fréquent. MM. Sarasin et de la Rive, en faisant éclater l'étincelle dans l'huile de vaseline ou dans l'huile de pétrole, ont rendu l'excitateur bien plus puissant. Les nettoyages incessants ne sont plus nécessaires, les surfaces en regard ne s'oxydant plus; les étincelles gagnent donc en régularité. De plus, la présence de l'huile permet d'obtenir entre les boules pour une même distance un potentiel explosif plus

grand que dans l'air. L'excitateur peut être disposé comme le représente la figure 5; les tubulaires *a*, *b* permettent de remplir d'huile et d'évacuer aisément le manchon de verre.

Fig. 6.

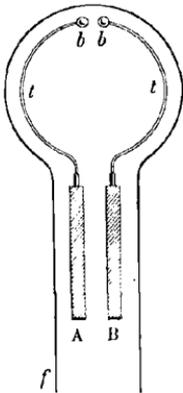
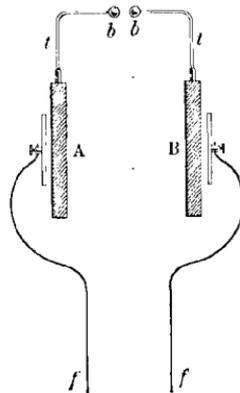


Fig. 7.



Excitateur de M. Blondlot. Mode électro-dynamique de concentration. Mode électrostatique de concentration du champ.

Excitateur de M. Blondlot. — L'excitateur de M. Blondlot ⁽¹⁾ diffère peu de l'excitateur à plaques de Hertz. Les deux plaques A, B qui forment capacité sont parallèles, au voisinage l'une de l'autre, et les tiges *t*, *t* qui les réunissent aux boules *b*, *b* (*fig. 6*) affectent la forme de demi-circonférences. Ce qui est différent c'est le mode suivant lequel le champ hertzien concentré par deux fils parallèles est emprunté à l'excitateur.

Au lieu de joindre chacun des fils à des plateaux métalliques voisins des plaques A, B, et qui leur sont parallèles, ce qui constitue le *mode* de concentration dénommé *électrostatique* (*fig. 7*), M. Blondlot réunit ensemble les deux fils. Ces fils forment une circonférence voisine des tiges circulaires *t*, *t* de l'excitateur (*fig. 6*) et qui n'en est séparée que par un tube de caoutchouc dans lequel les fils sont engainés, ce qui les

(¹) BLONDLOT, *Journal de Physique*, 2^e série, t. X, p. 549.

isole de l'excitateur. Ce mode de concentration du champ est dit *mode électrodynamique*.

Excitateur de M. Lodge. — Une variante de l'excitateur à sphères de Hertz a été réalisée par M. Lodge, qui supprime les tiges dont sont munies les sphères employées par Hertz. L'excitateur se réduit alors à deux sphères entre lesquelles éclate l'étincelle.

Excitateurs de M. Righi, de M. Lebedew, de M. Bose. -- Les différents excitateurs qui viennent d'être décrits ont des dimensions telles que les longueurs d'onde des oscillations électriques qu'ils excitent sont de l'ordre de grandeur du mètre. (Le grand excitateur de Hertz produit des oscillations dont la longueur d'onde atteint 6^m; le petit excitateur cylindrique produit des oscillations d'onde 10 fois plus rapides, c'est-à-dire dont la longueur d'onde mesure 60^{cm}.)

Dans le but de répéter à l'aide des oscillations électriques la plupart des expériences de l'Optique, les physiciens se sont ingénies à constituer des excitateurs émettant des ondes de longueur de plus en plus réduite. Comme il est démontré que la vitesse de propagation des oscillations électriques dans l'air et le long des fils métalliques est égale à la vitesse de la lumière dans le vide, pour obtenir des ondes électriques permettant de répéter les expériences de l'Optique, il faut faire en sorte que la période des oscillations fournies par les excitateurs se rapproche de la valeur admise pour la période des ondes lumineuses.

La formule de lord Kelvin indique pour la période T des oscillations électriques

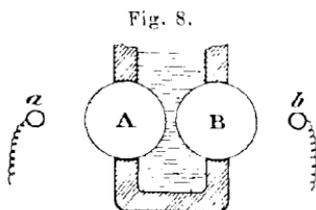
$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

On doit donc chercher à constituer le condensateur électrique qui constitue un excitateur, de manière qu'il présente une capacité aussi faible que possible.

Dans ce but M. Righi (1) constitue l'excitateur par deux

(1) A. RIGHI, *L'optique des oscillations électriques* (Archives de Genève, 4^e période, t. IV, 1897, p. 401).

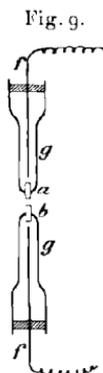
sphères de 4^{cm} de diamètre, baignant en partie dans l'huile afin de conserver aux oscillations produites une intensité suffisante. Ces sphères (fig. 8) sont excitées à l'aide de deux sphères



Excitateur de M. Rigli.

plus petites *a*, *b* reliées à la source d'électricité qui entretient l'excitateur (machine statique ou bobine d'induction). Des trois étincelles qui éclatent entre les sphères *a*, A, B, *b*, celle située entre A et B doit seule présenter le caractère oscillatoire. A cet effet la distance entre A et B est de 1^{mm} seulement, alors que la distance entre *a* et A, entre B et *b*, est de 2^{cm}.

A l'aide de cet excitateur M. Rigli obtient des oscillations dont la longueur d'onde n'excède pas 10^{cm}. En faisant usage



Excitateur de M. Lebedew.

de sphères A et B de 0^{cm},8 de diamètre la longueur d'onde n'est que de 2^{cm},5.

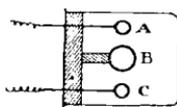
Enfin M. Lebedew d'une part, M. Bose d'autre part, sont

arrivés à réaliser des excitateurs produisant des oscillations dont la longueur d'onde n'atteint pas plus de 6^{mm} .

L'excitateur de M. Lebedew (*fig. 9*) est formé de deux cylindres de platine *a*, *b*, de 1^{mm} ,3 de longueur et de 0^{mm} ,5 de diamètre soudés dans des tubes de verre *g*, *g*. Ces cylindres sont excités par deux fils *f*, *f* en communication avec les bornes d'une bobine d'induction par l'intermédiaire d'un condensateur. Cet excitateur est placé sur la ligne focale d'un petit miroir cylindrique de 6^{mm} de longueur focale. Le miroir et l'excitateur sont immergés dans du pétrole.

L'excitateur de M. Bose est un excitateur à trois sphères de platine A, B, C (*fig. 10*), dont la sphère centrale a 0^{cm} ,78 de

Fig. 10.



Excitateur de M. Bose.

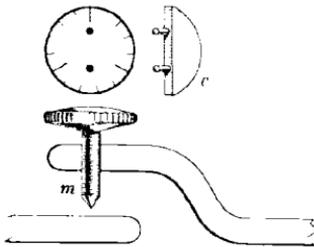
diamètre et est isolée. Les deux sphères A et C communiquent avec la source d'électricité. Les étincelles éclatent dans l'air. Pour que les surfaces en regard des sphères ne s'altèrent pas, l'interrupteur de la bobine d'induction est commandé à la main. De cette façon, au lieu de produire une suite ininterrompue d'étincelles, on donne naissance à une série d'étincelles d'intensité décroissante qui, sans user les sphères, produit des oscillations. Celles-ci, malgré leur faible intensité, agissent sur le résonateur grâce à la grande sensibilité de cet appareil.

Divers modes d'observation de la résonance électrique. — *Résonateur de Hertz.* — Le résonateur de Hertz est, ainsi qu'il a été dit plus haut, simplement constitué par un cerceau (*fig. 2*) ou par un rectangle de métal présentant une interruption en un point. L'une des extrémités de la tige qui forme le résonateur est arrondie et polie; l'autre extrémité porte une vis micrométrique dont la pointe peut venir butter contre l'extrémité arrondie. Une graduation pratiquée sur la tête de la vis permet

d'apprécier l'intervalle micrométrique. La vis peut être manœuvrée à l'aide d'une clef d'ébonite *c* (*fig. 11* et *12*).

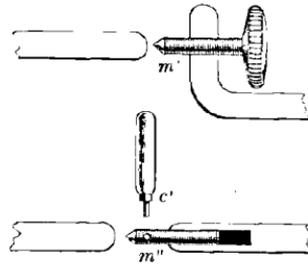
On peut disposer le micromètre de telle sorte que l'étincelle éclate normalement à la circonférence du résonateur (*fig. 11*),

Fig. 11.



Micromètre normal.

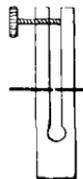
Fig. 12.



Micromètre tangent.

ou de manière qu'elle éclate dans la direction tangente à la circonférence du résonateur (*fig. 12*). Pour atténuer la perturbation apportée par la vis micrométrique, on peut disposer la vis *m''* dans l'axe même de la tige du résonateur. On peut même supprimer complètement la vis; il suffit d'insérer les deux extrémités de la tige du résonateur, dont l'une est limée en pointe, en face l'une de l'autre, à chacune des branches d'une pince en bois. En écartant les deux branches de la pince au

Fig. 13.



Micromètre de M. Gutton.

moyen d'une vis (*fig. 13*), on peut faire varier l'intervalle micrométrique. Cette disposition, imaginée par M. Gutton, présente sur les micromètres précédents l'avantage de n'attacher au résonateur aucune vis, aucun conducteur.

Résonateur de M. Blondlot. — Le résonateur employé par M. Blondlot est formé de deux plateaux métalliques parallèles réalisant un condensateur plan A, B dont les armatures sont réunies par un rectangle de fils conducteurs *a, b, c, d* (fig. 14).

Fig. 14.



Résonateur de M. Blondlot.

Le micromètre à étincelle est fixé sur le bord des deux plateaux.

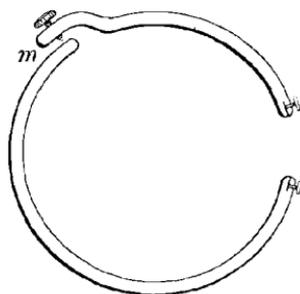
Cette forme donnée au résonateur permet de calculer facilement le coefficient de self-induction du circuit rectangulaire *a, b, c, d*, d'une part, et la capacité du conducteur plan A, B d'autre part. On peut négliger la self-induction des plateaux et la capacité du fil. Capacité et self-induction se trouvent ainsi localisées dans l'une des parties de l'appareil à l'exclusion de l'autre. En appliquant à ce résonateur la formule de lord Kelvin, M. Blondlot calcule avec une assez grande approximation la valeur de la période des oscillations qui l'excitent. Cet appareil est disposé entre les deux fils de concentration du champ hertzien qui contournent le rectangle du résonateur en demeurant parallèles à ses côtés.

Emploi de l'électromètre. — Pour manifester la résonance électrique et déterminer la situation respective des sections nodales et ventrales d'un champ hertzien, on peut, au lieu d'observer les étincelles qui se produisent au micromètre, relier, comme l'a fait M. Bjerkness, les deux extrémités du résonateur à un électromètre à quadrants. Les pôles du micromètre sont alors suffisamment éloignés pour qu'il ne se produise pas d'étincelles.

L'électromètre employé est un électromètre à quadrants qui ne porte que deux paires de quadrants opposés; les deux autres paires ont été supprimées. L'aiguille de l'électromètre est isolée et chaque paire de quadrants est respectivement mise en communication avec l'une des extrémités du résonateur. L'angle d'écart de l'aiguille est minimum lorsque le résonateur est situé dans une section nodale, maximum lorsqu'il est dans une section ventrale.

Résonateur à coupure; emploi du téléphone. — Si l'on pratique dans un résonateur filiforme de Hertz une coupure de quelques centimètres, indépendamment de celle offerte par le micromètre, le résonateur ainsi coupé (*fig. 15*) fonctionne

Fig. 15.



Résonateur à coupure.

avec la même facilité que s'il était complet ⁽¹⁾. Au lieu d'observer les étincelles qui se produisent au micromètre d'un résonateur à coupure, on peut introduire dans la coupure le circuit d'une pile contenant un téléphone; au moment où le résonateur vibre, l'étincelle qui se produit au micromètre ferme le circuit de la pile dans le téléphone et impressionne celui-ci. On peut supprimer la pile auxiliaire et se contenter de fermer

⁽¹⁾ A. TURPAIN, *Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 4 avril 1895.

le circuit d'un résonateur coupé par un bon téléphone. Les oscillations électriques se chargent alors elles-mêmes d'entretenir le téléphone.

Au lieu de faire appel au sens de la vue pour constater le passage successif du résonateur aux sections nodales et ventrales, on s'adresse donc ici à l'oreille et l'on manifeste à l'ouïe le passage du résonateur dans ces différentes sections, si bien que ce n'est plus une métaphore de dire qu'un résonateur de Hertz résonne ou qu'il reste muet, mais que c'est bien l'expression d'une réalité. Par ce moyen, en effet, on peut faire entendre à tout un auditoire les oscillations hertziennes.

Ce n'est pas, à proprement parler, la manifestation électrique des étincelles du résonateur qui actionne le téléphone, mais ce sont ces étincelles qui commandent l'entretien du téléphone par une pile auxiliaire, si bien que les interruptions successives du courant de la pile dans le téléphone modulent à l'oreille, sous forme de bruits interrompus, les oscillations électriques du milieu que les aspects de l'étincelle peignent aux yeux. Et si l'on s'astreint à regarder le micromètre du résonateur coupé en même temps qu'on écoute le téléphone, on peut dire qu'on voit en même temps qu'on l'entend la manifestation des oscillations hertziennes.

Ce mode d'investigation par l'ouïe constitue non seulement un moyen d'étude bien plus commode que celui par la vue, mais réalise également un mode bien plus délicat, bien plus susceptible par suite de donner aux mesures une grande précision. L'oreille, en effet, pour peu qu'elle soit éduquée, sait apprécier la gamme des intensités avec une distinction des nuances autrement délicate que n'arrive à le faire l'œil. Et alors qu'à la vue on ne saurait affirmer si une étincelle est plus lumineuse à un endroit qu'à un autre, le téléphone, par le bruit qu'il transmet à l'oreille, permet à celle-ci de trancher sûrement la question.

Emploi du galvanomètre. - Au lieu d'employer un téléphone, on peut encore fermer le circuit d'un résonateur à coupure par une pile reliée à un galvanomètre. On réalise ainsi un moyen commode d'observation de la résonance élec-

trique. Il est nécessaire, dans ce cas, de faire choix d'un galvanomètre apériodique très sensible.

Emploi des tubes à gaz raréfié. — Des tubes à gaz raréfié (tubes de Geissler), munis ou non d'électrodes, disposés dans le champ hertzien s'illuminent. On peut utiliser ce phénomène pour déterminer les sections ventrales et nodales du champ, ainsi que l'a montré M. Zehnder ⁽¹⁾, puis M. Lecher ⁽²⁾.

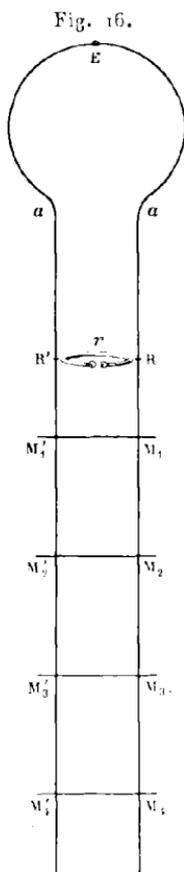
Détermination des concamérations par la méthode du pont. — Lorsque le champ est concentré par deux fils métalliques parallèles, on peut déterminer les sections nodales et ventrales sans déplacer le résonateur ou l'appareil (tube à gaz raréfié), qu'on emploie comme résonateur. On jette un pont conducteur mobile sur les deux fils et l'on déplace lentement ce pont depuis l'extrémité des fils la plus éloignée du résonateur jusqu'au voisinage du résonateur. On note les positions de ce pont qui font apparaître au micromètre du résonateur l'étincelle maxima ou l'étincelle minima. Ces positions correspondent aux ventres ou aux nœuds du champ. Cette méthode du pont a été indiquée par M. Blondlot. On démontre que la distance de deux positions successives du pont qui donnent au résonateur des étincelles maxima est égale à la distance de deux positions successives du résonateur déplacé dans le champ, pour lesquelles on obtient des étincelles maxima, c'est-à-dire à la demi-longueur d'onde des oscillations qui excitent le résonateur.

Considérons en effet une perturbation partie de E : elle parcourt le chemin $ER = a$ (*fig.* 16), agit sur le résonateur, puis parcourt le chemin $RM_1M_1'R' = l$ et produit alors un deuxième effet sur le résonateur. Par raison de symétrie, l'action de cette perturbation à son passage en R sur le résonateur est identique à l'action qu'elle y produit à son passage en R'.

(1) L. ZEHNDER, *Wiedemann's Annalen*, t. XLVII, n° 9, p. 77.

(2) E. LECHER, *Eine Studie über elektrische Resonanzerscheinungen* (*Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften*, 24 avril 1890).

Suivons cette perturbation : elle parcourt R'ER, agit une troisième fois sur le résonateur, etc. En définitive, la perturbation



Méthode du pont.

agit sur le résonateur après avoir parcouru des chemins exprimés par

a	$a + l$
$3a + l$	$3a + 2l$
$5a + 2l$	$5a + 3l$
.....

Considérons, en second lieu, la perturbation qui se propage en sens contraire à partir de E; elle actionne le résonateur après avoir parcouru les chemins

	a
$a + l$	$3a + l$
$3a + 2l$	$5a + 2l$
$5a + 3l$	$7a + 4l$
.....

Si le résonateur reste fixe et que le pont se déplace, a demeure invariable alors que l varie. Les actions sur le résonateur s'ajouteront lorsqu'on aura

$$l = 2k \frac{\lambda}{2}.$$

Si $M_1M'_1$ et $M_2M'_2$ sont deux positions successives du pont pour lesquelles le résonateur donne des étincelles de longueur maxima au micromètre, on a :

$$RM_1M'_1R' = 2k \frac{\lambda}{2},$$

$$RM_2M'_2R' = 2(k + 1) \frac{\lambda}{2},$$

donc

$$M_1M_2 + M'_1M'_2 = \lambda,$$

et comme

$$M_1M_2 = M'_1M'_2,$$

$$M_1M_2 = \frac{\lambda}{2}.$$

Ainsi donc, la distance qui sépare deux positions successives du pont produisant des étincelles de longueur maxima au résonateur est égale à la distance qui sépare deux ventres successifs que ce même résonateur décelerait par déplacement direct.

Tubes radio-conducteurs ou cohéreurs. -- *Cohéreur de M. Branly.* — En 1890, M. Branly (1) signala la propriété suivante des décharges oscillantes. Si l'on dispose dans le circuit d'une pile une colonne de grenaille ou de limaille métallique, la résistance de la limaille métallique est très élevée. Le courant qui peut traverser cette limaille est des plus faibles et se chiffre par quelques milliampères. Mais vient-on à produire au voisinage de la limaille des ondes électriques par la mise en activité d'un excitateur, on constate aussitôt que la résistance du tube contenant la colonne de limaille s'abaisse brusquement et peut tomber de la valeur de plusieurs mégohms à la valeur de quelques ohms. Le courant qui parcourt le circuit atteint par suite une valeur notable, valeur qu'il conserve alors même que l'excitateur, dont la mise en action a ainsi abaissé la résistance du tube, cesse de fonctionner. La résistance du tube à limaille conserve assez longtemps la faible valeur qu'elle a acquise sous l'influence des ondes électriques. Des vibrations élastiques communiquées au tube lui font peu à peu reprendre sa résistance primitive; un choc brusque ramène instantanément la résistance de la limaille à sa valeur primitive.

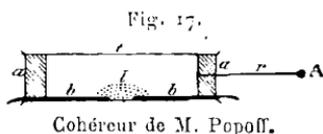
M. Branly constitue les tubes à limaille, qu'il nomme *radio-conducteurs*, par un petit tube en ébonite, fermé par deux petits pistons métalliques servant à intercaler l'appareil dans le circuit d'une pile et entre lesquels est plus ou moins pressée la limaille métallique qui forme une couche de quelques millimètres.

Cohéreur de M. Lodge. — M. Lodge, qui a repris les expériences de M. Branly, s'est servi de cette propriété curieuse des tubes à limaille qu'il nomme *cohéreurs* pour constater la présence d'ondes électriques. A cet effet, il a intercalé dans le circuit un appareil susceptible d'indiquer immédiatement

(1) A propos des tubes radio-conducteurs ou cohéreurs, nous engageons le lecteur à consulter le très intéressant Mémoire de M. Branly : *Les radio-conducteurs (Rapports présentés au Congrès international de Physique, Paris, 1900, t. II, p. 325)*.

l'augmentation brusque d'intensité que déterminent les ondes. Il a utilisé le trembleur d'une sonnerie et a fait servir les chocs du marteau à ramener le tube à limaille dans son état primitif, à le *décohérer*. M. Lodge ferme à la lampe le tube cohéreur après y avoir fait le vide.

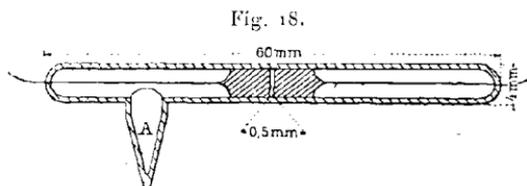
Cohéreur de M. Popoff. — M. Popoff a également utilisé le tube à limaille de M. Branly. Deux bandes de platine *b, b* (fig. 17), collées à la suite l'une de l'autre, à une distance de



quelques millimètres, sur la surface intérieure d'un tube de verre *t*, servent à amener le courant. Le tube, de 1^{cm} de diamètre environ, est fermé par deux bouchons *a, a*, et rempli de limaille de fer de grosseur moyenne. Il est fixé horizontalement par une extrémité à un fragment de ressort de montre *r* très flexible. Sous l'action des ondes électriques, la résistance du tube tombe de 10000 à 750 ohms.

Cohéreur de M. Marconi. — M. Marconi a donné au cohéreur une sensibilité de beaucoup supérieure à celle que possèdent les tubes de M. Branly, de M. Lodge ou de M. Popoff.

Le tube de M. Marconi, qui mesure de 3^{mm} à 4^{mm} de diamètre (fig. 18), contient deux pistons en argent séparés par



un intervalle de 0^{mm},5, intervalle rempli par de la limaille d'argent et de nickel dans la proportion de 96 parties de nickel

pour 4 parties d'argent. On y ajoute quelques traces de mercure. Cette limaille, de moyenne grosseur, mais pas trop fine, n'est pas serrée entre les armatures du cohéreur. On achève la construction du tube en y faisant le vide et le fermant à la lampe.

Cohéreur régénérable de M. Blondel (1). — M. Blondel, qui a fait du cohéreur une étude expérimentale systématique, a montré que le tube de M. Marconi devait sa grande sensibilité à la quantité extrêmement petite de limaille employée, au choix particulier de cette limaille et à des précautions minutieuses de fabrication.

Il est nécessaire d'employer des limailles de métaux légèrement oxydables. Les limailles des métaux inoxydables à l'air : argent, or, platine, laissent toujours passer le courant.

M. Tissot a employé avec succès de la limaille d'argent en ayant soin de la sulfurer préalablement.

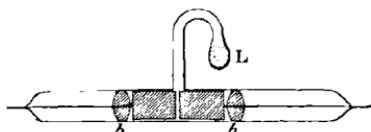
M. Blondel a indiqué deux perfectionnements aux cohéreurs de M. Marconi. Le premier consiste à employer, au lieu de mélanges de limailles, des alliages formés d'un métal oxydable et d'un métal inoxydable dont on peut doser la proportion de façon à réaliser pour l'alliage le degré d'oxydabilité le plus commode. Les alliages d'argent avec le nickel ou le cuivre donnent de bons résultats (monnaie de nickel suisse ou américaine, monnaie d'argent russe). En réduisant beaucoup la proportion du métal oxydable, on obtient des alliages qui ne s'oxydent qu'en les chauffant. On est alors maître de l'oxydation et on peut l'amener au degré voulu sans crainte de la voir varier sous l'action de l'air à froid.

Le second perfectionnement apporté par M. Blondel permet, tout en employant des tubes à air raréfié et fermés à la lampe, de régler la quantité de limaille introduite entre les armatures du cohéreur, ainsi que la proportion de limaille oxydée. Les tubes de M. Blondel portent, soudé à angle droit et en leur milieu, un second tube formant réservoir de limaille L (*fig.* 19)

(1) BLONDEL, Association française pour l'avancement des Sciences (*Congrès de Nantes*, 1898).

et permettant de régénérer la limaille quand elle a été fatiguée par un usage prolongé. On ramène alors la limaille dans le réservoir, on la mélange avec la limaille mise en réserve,

Fig. 19.



Cohéreur régénérable de M. Blondel.

puis on la remet en place. Pour éviter la fuite des limailles fines entre les armatures, qui, vu leur nature (platine), n'épousent pas parfaitement la forme du tube, on flanque chaque armature d'un tampon d'amalgame de dentiste *b, b* qui, introduit à l'état pâteux, se moule sur le verre et se solidifie au bout de peu de temps.

Grâce à ces divers perfectionnements, tout en conservant et même en augmentant la sensibilité du cohéreur employé par M. Marconi, on rend possible le réglage de l'appareil et on en augmente considérablement la durée. De là le nom de *cohéreur régénérable*, donné par M. Blondel à ce dispositif.

Cohéreur autodécohérent à charbon de M. Tommasina. — M. Thomas Tommasina ⁽¹⁾ a construit un nouveau cohéreur à poudre de charbon. La poudre de charbon utilisée est celle qui est employée dans les microphones des stations suisses. Elle est contenue entre deux lames de mica, dans un petit trou cylindrique creusé dans une plaque d'ébonite. Deux fils métalliques, de préférence en maillechort, traversent la plaque d'ébonite dans la direction de deux génératrices diamétralement opposées et constituent les deux pôles du cohéreur.

La plaque d'ébonite a la forme d'un rectangle de 15^{mm} sur 12^{mm} de côté, emprunté à une feuille d'ébonite de 2^{mm},5

⁽¹⁾ TH. TOMMASINA. *Archives de Genève*, 4^e période, t. IX, 15 mai 1900; *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 904, 1900.

d'épaisseur. Une ouverture circulaire de 2^{mm} de diamètre est pratiquée dans la partie centrale. Les fils de maillechort de 0^{mm},2 de diamètre sont recouverts de soie, sauf la partie passant dans le trou, qui est dénudée et polie. Ils sont serrés en boucle, parallèlement au plus grand côté du rectangle.

La poudre de charbon doit être bien desséchée.

D'après M. Tommasina, ce nouveau cohéreur jouit de la propriété précieuse que l'adhérence des grains de charbon disparaît immédiatement après l'action des ondes électriques, sans l'intervention d'aucune action mécanique. Ce cohéreur autodécohérent jouit d'une sensibilité égale à celle des meilleurs cohéreurs à limaille métallique.

Cohéreur à cohérence magnétique de M. Tissot. — Le cohéreur employé par M. Tissot est un cohéreur à limailles de métaux magnétiques (fer ou nickel). Le vide est fait dans le tube cohéreur et, pour éviter l'oxydation des électrodes ou des limailles, on y enferme quelques fragments de carbure de calcium.

La modification apportée par M. Tissot pour augmenter la sensibilité du cohéreur consiste à le placer dans un champ magnétique dont les lignes de forces sont parallèles à l'axe du tube. Ce champ peut être produit soit par un aimant permanent, soit mieux par une bobine entourant le tube du cohéreur.

On constate qu'il est possible d'écarter notablement les électrodes du tube sans cesser d'obtenir un cohéreur sensible. L'écart, qui varie dans le dispositif ordinaire de 0^{mm},5 à 1^{mm}, peut, avec le dispositif de M. Tissot, être amené à 6^{mm} et 8^{mm}. La limaille est tamisée de manière à passer dans un tamis de 80 à 100 mailles par pouce et à ne pas passer dans un tamis de 120 mailles par pouce. La quantité de limaille à introduire est très faible (environ le quart de l'espace libre).

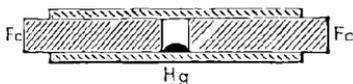
La décohérence par le choc reste facile lorsque le champ n'est pas trop intense.

En supprimant le champ magnétique de cohérence, le tube est ramené à sa résistance primitive par une simple trépidation, si bien qu'en produisant le champ magnétique auxiliaire à l'aide d'un électro-aimant commandé par un relais qui, ac-

tionné, supprime le champ, ou obtient un cohéreur très sensible dont le frappeur peut être supprimé.

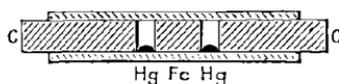
Cohéreur de M. Castelli. — Ce cohéreur est constitué par des électrodes de fer ou de carbone entre lesquelles on interpose une ou plusieurs gouttes de mercure. Ce cohéreur présente une extrême sensibilité et se décohere spontanément. C'est un cohéreur à décohération spontanée. Les figures 20 et 21

Fig. 20.



Cohéreur de M. Castelli à une goutte de mercure.

Fig. 21.



Cohéreur de M. Castelli à deux gouttes de mercure.

représentent deux types de ce cohéreur, à une et à deux gouttes de mercure. Le diamètre de chaque goutte varie entre 1^{mm},5 et 3^{mm}. Une goutte de diamètre inférieur à 1^{mm},5 donne un tube peu sensible; une goutte de diamètre supérieur à 3^{mm} influe sur la netteté de la décohération.

La distance entre les électrodes a une très grande importance pour la netteté de la réception. Pour un tube dont la goutte de mercure offre un diamètre compris dans les limites indiquées ci-dessus, le réglage s'obtient en inclinant le tube d'environ 35° à 40° sur l'horizon. Le diamètre du tube doit être proportionné à la goutte de mercure utilisée. Un tube de 5^{mm} à 8^{mm} de diamètre extérieur et de 3^{mm} environ de diamètre intérieur convient parfaitement. Le tube de verre doit être bien calibré et les surfaces planes des électrodes normales à l'axe du tube. L'absence de toutes ces conditions change complètement la qualité du cohéreur.

Les électrodes de fer ou d'acier doivent être débarrassées de tout oxyde et bien polies. La brunissure augmente beaucoup la sensibilité.

La décohération spontanée est d'autant plus nette que le mercure est plus pur, que la goutte de mercure est plus petite et que l'intérieur du tube est plus sec et moins poli. L'état

hygrométrique a une influence sensible et nuisible sur les tubes qui ne sont pas hermétiquement clos.

La tension critique de cohération (valeur limite de la différence de potentiel que peut supporter un cohéreur sans devenir conducteur) est comprise, pour un tube bien établi et bien réglé, entre 1 et 1,5 volt.

Au bout d'un temps assez court, un bon tube perd ses qualités par suite de l'oxydation des électrodes et du mercure. On obtient une décohération très nette en mélangeant à la goutte de mercure de la poudre de charbon très finement pulvérisée provenant d'un filament de lampe à incandescence. La pellicule que cette poudre forme à la surface du mercure lui donne la couleur du graphite. Cette addition de la poudre de carbone accroît notablement la durée d'un cohéreur.

Cohéreur de M. J. Fenyi. — Ce cohéreur se compose simplement de deux aiguilles d'acier disposées en croix. On règle la pression du contact ainsi formé en chargeant plus ou moins l'aiguille supérieure.

Un semblable dispositif présente une constance remarquable alliée à une grande sensibilité. M. Fenyi a observé que quatre contacts ainsi constitués et disposés en parallèle constituent un cohéreur fonctionnant comme un seul contact. Le potentiel de la pile qui y est associée ne doit pas dépasser 0,25 volt pour que le fonctionnement soit précis. Au contraire, les quatre contacts disposés en série admettent une pile qui peut atteindre 1 volt. Avec six contacts, une pile Leclanché donnant 1,5 volt peut être employée. On peut donc, en disposant en série un assez grand nombre de semblables contacts, placer directement dans le circuit du cohéreur ainsi formé une sonnerie ou un récepteur Morse.

Détecteur d'ondes de M. Blondel. — M. Blondel ⁽¹⁾ a utilisé pour déceler les ondes électriques un tube de Geissler dont les électrodes présentent à l'intérieur de larges surfaces,

(¹) BLONDEL, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 21 mai 1900.

très rapprochées, arrivant presque au contact. Ce tube est inséré ainsi qu'un téléphone dans le circuit d'une pile auxiliaire. Le courant de la pile doit être insuffisant à rompre, seul, la résistance du tube à vide, mais il se montre capable d'entretenir le téléphone si des ondes électriques viennent à être reçues par les électrodes du tube de Geissler.

D'après M. Blondel ⁽¹⁾ ce dispositif, qu'il appelle *détecteur d'ondes*, peut être employé pour déceler des ondes à de faibles distances; il manque de sensibilité, comparé aux cohéreurs, pour de grandes distances.

Anticohéreurs autodécohérables. — M. Neugschwender ⁽²⁾ et M. Aschkinass ⁽³⁾ ont fait connaître presque simultanément l'effet des ondes électriques sur les contacts humides.

On sépare par un trait de 2^{mm} à 3^{mm} de largeur la couche conductrice qui recouvre une glace argentée. Le miroir ainsi rayé est introduit, avec un galvanomètre, dans le circuit d'une pile auxiliaire de manière à ce que chacune des deux plages conductrices soit en relation avec un des pôles de la pile. Dans ces conditions, si l'on produit, par le souffle ou de toute autre manière, le dépôt d'une couche de rosée sur la portion rayée de la glace, on constate une déviation du galvanomètre. Cette déviation cesse et l'aiguille se tient au zéro, si l'on produit une émission d'ondes électriques au voisinage de la glace. Dès que les ondes cessent d'être émises, le galvanomètre dévie à nouveau. La résistance du miroir rayé qui est de 50 ohms environ, à l'état normal, monte à 80 ou 9000 ohms sous l'influence des ondes.

Ce dispositif, à l'encontre des cohéreurs, laisse donc passer le courant de la pile auxiliaire tant qu'il n'est soumis à aucune action de la part des ondes électriques. Il cesse d'être conducteur dès qu'il est frappé par des ondes. Cette manière de se

⁽¹⁾ *Congrès international d'Électricité*. Rapport de MM. BLONDEL et FERRÉ sur la télégraphie sans fil (*Éclairage électrique*, t. XXIV, 29 septembre 1900).

⁽²⁾ NEUGSCHWENDER, *Wiedemann's Annalen*, t. LXVIII, p. 92.

⁽³⁾ ASCHKINASS, *Wiedemann's Annalen*, t. LXVII, 1899, p. 842.

comporter, qui est exactement l'inverse de celle qu'on observe avec les cohéreurs, a fait donner à ce dispositif le nom d'*anticohéreur*.

On constate que les oscillations électriques se montrent seules capables d'actionner un anticohéreur. Ni les vibrations mécaniques, ni une élévation modérée de température n'ont d'influence sur un anticohéreur.

D'une manière générale on obtient un anticohéreur autodécohérable quand on remplace le diélectrique d'un cohéreur ordinaire ou autodécohérable par un électrolyte.

On peut, en somme, ranger ces divers cohéreurs en trois catégories :

1° Les cohéreurs ordinaires à diminution de résistance qui ne deviennent résistants que sous l'action d'un choc.

2° Les cohéreurs autodécohérables à diminution de résistance et qui reprennent spontanément leur résistance première.

3° Les anticohéreurs ou cohéreurs négatifs qui, sous l'action des ondes électriques, voient leur résistance s'accroître au lieu de diminuer.

De nombreux essais de théorie ont été faits pour expliquer le phénomène de la cohération. Pour M. Branly, la cohération serait due à une conductibilité temporaire de l'isolant. M. Lodge l'attribue à la production entre les particules conductrices de très petites étincelles à la faveur desquelles ces particules se soudent l'une à l'autre au moyen de ponts conducteurs. Enfin, M. Ferrié assimile deux grains de limaille consécutifs et la lamelle diélectrique qu'ils comprennent à un condensateur susceptible de supporter sans *crever* une certaine différence de potentiel. C'est la valeur limite de cette différence de potentiel qu'on désigne sous le nom de tension critique de cohération. M. Ferrié admet que la différence de potentiel nécessaire pour crever le diélectrique dépend à la fois du diélectrique et du métal.

La première hypothèse est assez naturelle. La seconde mérite de ne pas être acceptée sans discussion.

Si l'on suppose, en effet, que la limaille employée est très propre, sans couche d'oxyde, sans nuage de sulfure (ce qui est

le cas des radio-conducteurs les moins sensibles), on ne voit pas en quoi la nature du conducteur peut influer sur la différence de potentiel que peut supporter sans crever le condensateur. Si, au contraire, on tient compte de la couche superficielle d'oxyde ou de sulfure, peu ou point conductrice, qui, dans tout bon cohéreur, recouvre inévitablement (ne serait-ce qu'après quelque temps d'usage) chaque grain de limaille, il nous semble que c'est de la nature et de l'épaisseur de cette couche que doit dépendre la valeur limite de la différence de potentiel que peut supporter, sans crever, chaque condensateur formé par deux grains consécutifs de limaille.

Aucune des nombreuses théories proposées pour expliquer la décohération n'est satisfaisante. Chacune d'elles s'applique à un groupe de cohéreurs à l'exclusion de tous les autres.

M. Blanc ⁽¹⁾ a pensé avec raison que pour pouvoir choisir, il était nécessaire d'augmenter le nombre des faits connus. Il s'est proposé récemment de faire une étude expérimentale aussi complète que possible du phénomène de cohération en se plaçant toujours dans les conditions les plus simples possible. Il s'est proposé l'étude d'un contact unique entre deux surfaces métalliques bien déterminées, contact que l'on cohérait dans des conditions bien connues.

Il semble d'ailleurs qu'il faut mettre à part les anticohéreurs. Bien des expériences montrent que le phénomène qu'ils présentent est plutôt dû à une action secondaire (transformation chimique, rupture ou autre) qu'à une cohération changée de signe. Aussi le seul phénomène important à étudier est la diminution de résistance consécutive à la cohération.

Les résultats expérimentaux obtenus par M. Blanc au cours de la très consciencieuse et très complète étude qu'il a fait de la cohération l'ont conduit, par la comparaison des faits avec les divers essais de théorie antérieurs, à adopter une explication nouvelle. La cohération consisterait en une diffusion des couches de passages des deux conducteurs métalliques, produisant une sorte de soudure et faisant disparaître toute hété-

(¹) A. BLANC, *Résistance au contact. Cohération* (Thèse de la Faculté des Sciences de Paris, 27 juin 1905).

régénéité entre les couches profondes d'un métal et celles de l'autre.

Détecteurs d'ondes. — Un grand nombre de cohéreurs ont été imaginés; nous ne nous attarderons pas à les décrire, ayant présenté les principaux. Les cohéreurs sont en effet de plus en plus abandonnés en télégraphie sans fil; leur inconstance et l'insécurité de leur fonctionnement leur font préférer d'autres détecteurs d'ondes qui tout en présentant leur sensibilité sont moins inconstants, et par suite d'une valeur pratique supérieure.

DÉTECTEUR MAGNÉTIQUE. — Ce détecteur a été imaginé en 1896 par M. Rutherford (¹). Il utilise le phénomène suivant observé par Lord Rayleigh et étudié par M. Rutherford et par miss Brooks (²). Un morceau d'acier aimanté soumis à l'action des ondes électriques subit une désaimantation partielle. On reconnaît en attaquant graduellement l'acier par l'acide azotique l'existence de deux couches aimantées en sens inverse et superposées. Cet effet des ondes est d'autant plus notable que les ondes sont plus amorties. Il résulte des études de M. Tissot que l'effet des ondes sur l'aimantation est en rapport avec l'intensité maxima.

Un grand nombre de dispositifs ont été imaginés pour utiliser ce phénomène à déceler les ondes électriques. Nous décrivons les principaux.

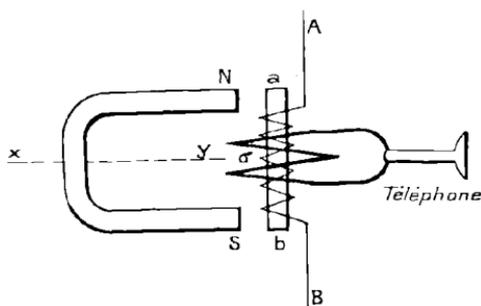
Dispositif Wilson. — C'est un appareil analogue à celui de Rutherford. Un aimant en fer à cheval NS (*fig.* 22) est animé d'un mouvement de rotation autour d'un axe xy . Au voisinage des pôles se trouve un faisceau de fils d'acier ab qui sert de support à deux enroulements, l'un AB soumis à l'action des ondes électriques, l'autre σ relié à un téléphone. Lorsque des ondes électriques parcourent l'enroulement AB, l'aimantation du faisceau subit des variations qui provoquent un bruit très net dans le téléphone.

(¹) RUTHERFORD, *Philosophical Transactions*, t. 139, 1897 et 1901.

(²) MISS BROOKS, *Philosophical Magazine*, 1897.

Des dispositifs répondant à ce schéma général ont été réalisés successivement par MM. Wilson (1897), Marconi (1902) et Tissot (1903).

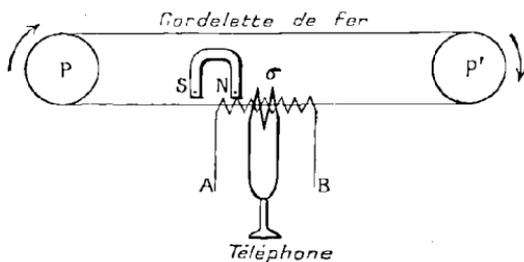
Fig. 22.



Principe du détecteur magnétique.

Dispositif Marconi. — Le dispositif auquel s'est arrêté M. Marconi, et qui est encore à l'heure actuelle employé dans les stations de la Wireless C^o, répond au schéma de la figure 23.

Fig. 23.



Détecteur magnétique. Dispositif de M. Marconi.

Le noyau magnétique est formé par un faisceau de fils de fer fins réunis de manière à former une sorte de cordon sans fin qui se trouve entraîné d'un mouvement uniforme au moyen des deux poulies PP' sur la gorge desquelles le cordon est maintenu. Ce cordon suit l'axe d'un tube de verre sur lequel se trouvent les deux enroulements AB et SS'. Un aimant puissant en fer à cheval est disposé en NS.

Cette variante du dispositif a été inspirée par la remarque que le bruit produit par les ondes dans le téléphone est beaucoup plus intense lorsque l'aimantation du noyau croît que lorsqu'elle décroît. Cela ressort nettement d'une étude du détecteur magnétique faite par M. Tissot, étude qui montre que c'est l'hystérésis qui intervient dans le phénomène.

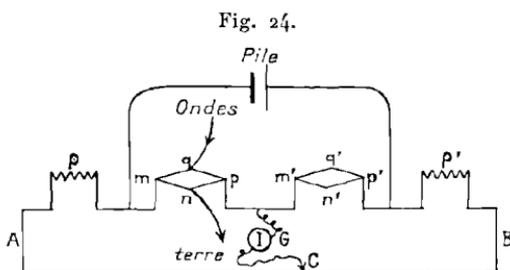
DÉTECTEURS THERMIQUES. — Le principe sur lequel sont basés les dispositifs thermiques est la possibilité d'amener à une température élevée un fil métallique pourvu qu'il soit de diamètre extrêmement faible, de l'ordre de 10^{μ} à 20^{μ} . Grâce à l'augmentation de résistance que présentent les métaux lorsqu'ils s'échauffent, on met en évidence les variations des températures produites par les ondes, par le son que les variations corrélatives de résistances produisent dans un téléphone disposé en série avec une pile locale dans le circuit du détecteur.

Dispositif Fessenden. — L'emploi du détecteur thermique sous cette forme simple a été préconisé par M. Fessenden qui réalise le fil mince en soudant à un support de verre une petite boucle faite d'un fil à la Wollaston qu'on débarrasse de sa couche d'argent par immersion dans sa couche azotique. On obtient ainsi un conducteur de $0^{\text{mm}},0015$ de diamètre qu'on enferme dans une double enveloppe vide pour obvier au rayonnement.

Dispositifs bolométriques. — On accroît notablement la sensibilité du détecteur thermique en constituant à son aide un bolomètre. Cet emploi du bolomètre pour l'étude des ondes électriques a été préconisé par M. Rubens (1891). M. Tissot a construit des dispositifs bolométriques établis avec le plus grand soin, et qui lui ont permis de faire une étude approfondie des conditions de résonance des dispositifs récepteurs de télégraphie sans fil.

Dispositif Tissot. — Voici le schéma de l'un des montages adoptés par M. Tissot. Deux branches bolométriques formées de fils de platine pur de 10^{μ} à 12^{μ} de diamètre, disposées en

losanges $mnpq$, $m'n'p'q'$ (fig. 24), sont insérées dans un pont Wheatstone à corde AB. Les résistances de ces deux losanges sont extrêmement voisines (elles ne diffèrent pas de plus



Dispositif bolométrique de M. Tissot.

de 0^o,05). On associe aux deux branches bolométriques deux résistances ρ , ρ' respectivement égales, faites d'un fil de maillechort. Enfin l'équilibre définitif du pont est assuré par le déplacement du curseur C sur le fil du pont.

Les deux résistances ρ et ρ' sont placées dans une même cuve remplie de pétrole. L'isolement thermique des branches bolométriques est assuré en les enfermant dans un vase de Dewar.

Les ondes électriques agissent sur le pont en échauffant la branche bolométrique $mnpq$. Le déséquilibre du pont se traduit alors par une déviation de l'aiguille du galvanomètre G.

En se servant d'un galvanomètre Broca-Carpentier, la sensibilité du dispositif est telle qu'un courant d'une intensité efficace de 100 microampères donne une déviation de 10 divisions.

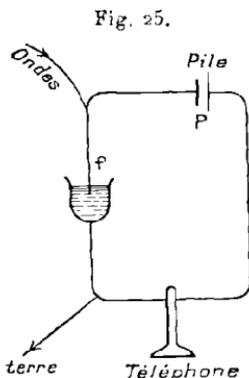
Malgré sa très grande sensibilité, le bolomètre ainsi constitué serait, d'après M. Tissot, d'un emploi trop délicat pour se plier aux exigences pratiques de la télégraphie sans fil en service courant.

Dans tous les détecteurs thermiques l'effet enregistré est proportionnel au carré de l'intensité efficace.

DÉTECTEURS ÉLECTROLYTIQUES. — Le phénomène utilisé est celui que présente l'interrupteur Wehnelt lorsqu'on y envoie un courant alternatif. L'interrupteur laisse passer une alternance

à l'exclusion de l'autre. En 1900, M. Ferrié remarqua qu'un semblable contact se montre capable de déceler les ondes électriques.

Si l'on dispose en série, dans un même circuit, une pile P (fig. 25), un contact électrolytique analogue à l'interrupteur



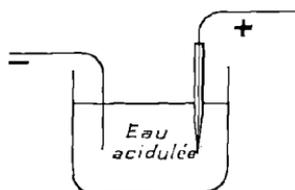
Principe du détecteur électrolytique de M. Ferrié.

Wehnelt, formé d'une pointe de platine *f* plongeant dans de l'eau acidulée, et un téléphone, on constate que chaque fois qu'un train d'ondes atteint le dispositif, un bruit est perçu dans le téléphone. M. Ferrié utilisa même ce procédé, en 1901, pour recevoir des ondes électriques et parvint à les transmettre à 7^{km}. Toutefois, le procédé ne lui parut que d'une sensibilité médiocre et il ne chercha pas à le perfectionner.

Dispositif Schlœmich. — C'est M. Schlœmich qui, en 1903, a montré qu'un semblable détecteur est susceptible de présenter une très grande sensibilité. Depuis, l'usage du détecteur électrolytique s'est beaucoup généralisé en télégraphie sans fil. Il faut employer comme électrode positive du détecteur une très mince pointe de platine. On soude un mince fil de platine dans un tube capillaire en verre, puis on étire le tout après échauffement. On obtient ainsi une très fine pointe de platine qui dépasse très peu la surface extrême du verre fondu. L'électrode ainsi constituée (fig. 26) est plongée dans

une solution conductrice (eau acidulée par SO^2H^2), ainsi qu'un fil ou une lame de platine qui forme l'électrode négative.

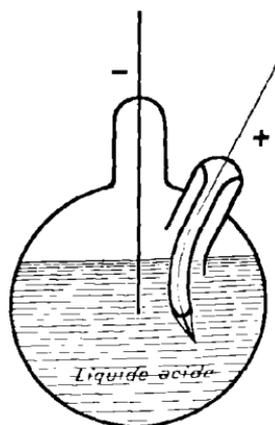
Fig. 26.



Détecteur électrolytique. Dispositif de M. Schlämich.

Pour éviter l'évaporation du liquide, on soude aujourd'hui les deux électrodes ainsi formées dans une ampoule de verre contenant le liquide acide (fig. 27).

Fig. 27.



Détecteur électrolytique. Dispositif actuel.

La comparaison du détecteur électrolytique et du détecteur bolométrique a montré à M. Tissot, au cours d'une étude récente, que les indications des deux instruments demeurent rigoureusement proportionnelles. On en déduit que l'effet enregistré par le détecteur électrolytique est proportionnel au carré de l'intensité efficace.

SENSIBILITÉ COMPARÉE DES DIVERS DÉTECTEURS D'ONDES. — D'après les déterminations faites par M. Fessenden, les puissances respectivement nécessitées pour la mise en action des divers détecteurs d'ondes seraient les suivantes (exprimées en micro-watts- μw) :

Cohéreur à limailles.....	de	μw	à	μw
» Castelli à gouttes de mercure..	»	0,4	à	0,1
Détecteur thermique.....	»	0,22		
» magnétique.....	»	0,08		
» électrolytique.....	»	0,01		
				0,007

D'autre part M. Tissot indique comme puissance susceptible d'être décelée sous forme d'ondes par ses dispositifs bolométriques :

Détecteur bolométrique..... de $0\mu w,4$ à $0\mu w,127$

Toutefois, il faut remarquer que le détecteur bolométrique, comme tout détecteur thermique, intègre les effets qu'il reçoit. Il suffit donc d'accroître le nombre des trains d'ondes émis par seconde pour accroître en proportion l'effet enregistré. Le cohéreur et le détecteur magnétique qui sont sensibles à l'amplitude des oscillations reçues, ne sont en rien affectés par l'accroissement du nombre de trains d'ondes par seconde. Le détecteur électrolytique, qu'une étude comparative de M. Tissot a montré sensible à l'effet thermique, doit accroître l'effet enregistré avec le nombre de trains d'ondes par seconde.

Les nombres ci-dessus, donnés par M. Fessenden, semblent indiquer des sensibilités exagérées, surtout en ce qui concerne le détecteur thermique. Il est peu probable que M. Fessenden soit parvenu à réaliser des détecteurs thermiques 16 fois plus sensibles que les dispositifs bolométriques de M. Tissot.



CHAPITRE II.

ENTRETIEN D'UN EXCITATEUR EN ACTIVITÉ.
SOURCES D'ÉLECTRICITÉ. — MACHINES ÉLECTRIQUES.
BOBINES D'INDUCTION ET INTERRUPTEURS.

On peut entretenir en activité un exciteur d'ondes électriques soit à l'aide d'une machine électrique, soit à l'aide d'une bobine d'induction.

L'emploi d'une machine électrique nécessite un moteur qui entretienne la rotation des plateaux de la machine. Par contre, il dispense de l'usage d'une batterie de piles ou d'accumulateurs que le fonctionnement des bobines d'induction réclame. Lorsqu'on ne dispose pas du courant d'un secteur de distribution, il peut être avantageux d'employer une machine électrique.

On consacrera ce Chapitre à la description des récents perfectionnements apportés aux machines électriques et aux bobines d'induction. L'emploi de ces appareils se généralisant de jour en jour, on s'est préoccupé d'en augmenter la puissance et d'en rendre l'usage de plus en plus commode.

MACHINES ÉLECTRIQUES.

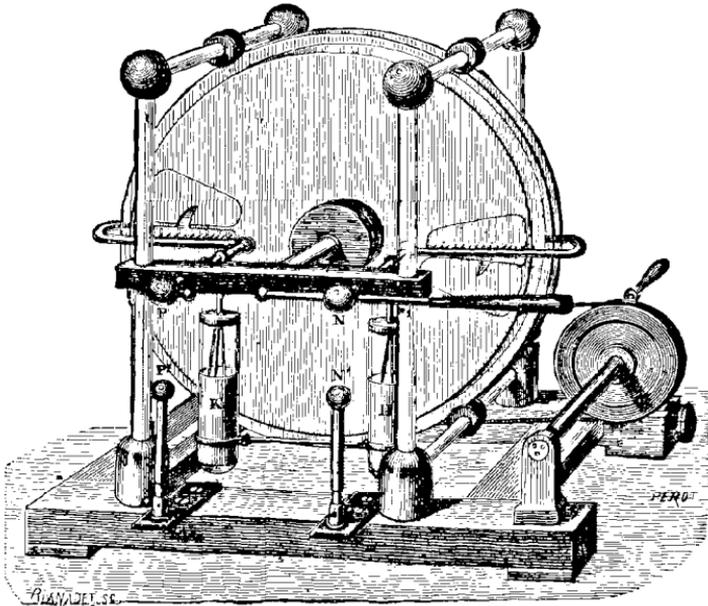
Les machines électriques les plus employées actuellement dans les laboratoires sont les machines à influence; pour leur puissance de plus en plus grande et pour leur volume, à égalité d'effet, plus réduit que celui des machines à frottement, elles sont préférées à ces dernières.

Nous rappellerons la disposition générale de la machine de Holtz, puis nous décrirons les machines plus récentes de

M. Wimshurst, de M. Voss, et les perfectionnements que M. Bonetti et M. Pidgeon ont fait subir à la machine de M. Wimshurst.

Machine de Holtz. — Cette machine (*fig. 28*) consiste en un plateau de verre animé d'un mouvement de rotation autour

Fig. 28.



Machine de Holtz.

d'un axe perpendiculaire à son plan. Des peignes sont disposés aux extrémités d'un même diamètre et communiquent avec deux tiges mobiles pouvant se rapprocher qui constituent les pôles de la machine.

Vis-à-vis des peignes et de l'autre côté du plateau mobile se trouvent deux inducteurs constitués par des feuilles de papier munies de pointes dirigées vers les parties du disque de verre mobile qui se rapprochent d'elles. Ces inducteurs sont sup-

portés par un plateau de verre fixe muni d'échancrures sur le bord desquelles sont fixées les feuilles de papier qui les constituent.

L'une de ces bandes de papier reçoit une électrisation négative qui lui est communiquée par le contact d'une lame d'ébène préalablement frottée avec une étoffe de laine. Cette électrisation négative détermine l'électrisation positive de l'une des faces du plateau, puis l'électrisation positive de la deuxième bande de papier. L'influence des deux inducteurs sur les peignes qui se trouvent situés en face détermine l'électrisation en sens contraire de chaque peigne. Le jeu de la machine a pour effet d'augmenter l'électrisation des tiges en communication avec les peignes. Si l'on sépare ces deux tiges qui forment les pôles de la machine et qui, pendant qu'on amorce la machine, ont dû être amenées au contact, des étincelles éclatent entre les deux pôles.

Si la machine est ainsi disposée, l'électrisation des deux conducteurs ne peut dépasser une certaine limite. Dès que ces conducteurs sont séparés, leur influence réciproque diminue et le jeu de la machine est surtout entretenu par l'influence directe des armatures sur les peignes. Si la déperdition des armatures de papier est assez forte, il arrive alors que la machine cesse de fonctionner. Pour combattre cet inconvénient, on ajoute à la machine un second conducteur diamétral muni de peignes et non interrompu qu'on dispose incliné de 30° environ sur le diamètre des peignes principaux.

Ce conducteur maintient l'électrisation contraire des deux moitiés du plateau mobile pendant que la machine fonctionne.

Les étincelles fournies par une machine de Holtz ainsi constituée sont assez grêles. On obtient des étincelles fortes et nourries en munissant chaque conducteur polaire de condensateurs formés par deux bouteilles de Leyde dont les armatures internes sont respectivement mises en relation avec chacun des conducteurs et dont les armatures externes communiquent entre elles.

On augmente la puissance de l'appareil en le constituant par deux plateaux mobiles, entre lesquels se trouvent alors disposés deux plateaux fixes supportant chacun les inducteurs

des plateaux mobiles. On réalise ainsi deux machines placées côte à côte, mues par le même axe et dont les effets s'ajoutent.

Machine de M. Wimshurst. — La machine de Holtz présente l'inconvénient d'obliger à un amorçage préalable des inducteurs de papier. Si les conditions sont défavorables, quand l'atmosphère est humide, la machine se désamorce assez facilement, et la mise en marche nécessite un échauffage préalable de la machine.

La machine à influence que M. Wimshurst a imaginée joint à la qualité déjà réalisée par la machine Holtz de fournir un grand débit, celle de ne pas nécessiter d'amorçage préalable. Cette machine est auto-excitatrice, elle peut fonctionner par tous les temps et ne présente pas l'inconvénient de s'inverser ou de se désamorcer pendant la marche.

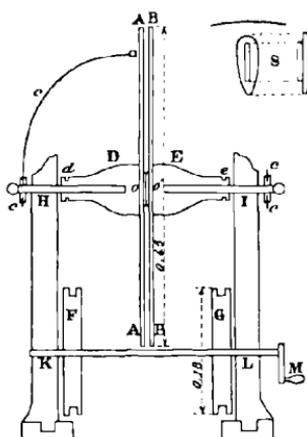
Elle se compose essentiellement de deux plateaux tournant en sens inverse l'un de l'autre et portant un certain nombre de secteurs métalliques formés de papier d'étain. Sur ces secteurs frottent deux paires de balais portés à l'extrémité de conducteurs diamétraux dirigés perpendiculairement l'un sur l'autre. Ces conducteurs communiquent entre eux et avec le sol. Suivant un diamètre horizontal sont disposées deux paires de peignes entre lesquels passent les plateaux et qui communiquent avec les deux pôles de la machine. Ces pôles sont mis en communication avec les armatures intérieures de deux bouteilles de Leyde dont les armatures extérieures sont reliées entre elles.

Nous empruntons la description détaillée suivante des divers organes de la machine et de sa construction à l'Ouvrage de M. Gray (*Les machines électriques à influence*, traduction de M. G. Péliissier, 1892), dont les indications permettent de construire à peu de frais une semblable machine.

« La coupe de la machine est représentée par la figure 29. Le bâti se compose d'un cadre rectangulaire en acajou de 0^m,45 sur 0^m,50. Les poulies F, G fixées à un axe KL sont supportées par les montants KH, LI. Elles permettent à l'aide de courroies s'engageant sur les gorges *d, e* des manchons D, E de faire tourner ces manchons et les plateaux qu'ils suppor-

tent en sens contraire l'un de l'autre. La disposition indiquée sur la figure permet de ne pas percer le centre des plateaux ;

Fig. 29.



Coupe de la machine de M. Wimshurst.

ceux-ci sont en verre à vitre ordinaire, bien uniforme d'épaisseur et le plus blanc possible ; ils ont 0^m,45 de diamètre et sont soigneusement vernis à la gomme laque sur les deux côtés. Pour fixer les plateaux sur les manchons, on colle exactement au centre de chaque plateau une rondelle de fort papier d'emballage du même diamètre que le manchon ⁽¹⁾.

» On laisse sécher à la lumière du soleil pendant une heure ou deux, puis on colle les manchons sur le papier.

» Les manchons sont percés à leur extrémité la plus étroite, exactement à leur centre, d'un trou rond qui va presque jus-

(¹) On emploie pour cela la composition suivante :

Farine	2 cuillerées.
Eau	100 ^g
Bichromate de potassium.....	7 ^g

La farine et l'eau sont d'abord mélangées et le mélange chauffé jusqu'à l'ébullition. On le verse alors en tournant sur le bichromate qu'on a réduit en poudre. Cette composition doit être conservée dans l'obscurité.

qu'à l'autre bout ; dans ce trou, on introduit à frottement dur un tube de cuivre poli dont le diamètre intérieur correspond exactement au diamètre extérieur de l'axe en acier.

» Pour que cette disposition donne de bons résultats, il faut que les trous H, I soient parfaitement en ligne droite avec les axes dans le prolongement l'un de l'autre ; ces derniers doivent être maintenus par des vis qui traversent le bois et dont les pointes les pressent fortement.

» Les conducteurs diamétraux sont placés sur le prolongement extérieur des tiges d'acier qu'on termine, pour le coup d'œil, par des boules de cuivre.

» Les secteurs ont la forme représentée en S ; il est bon de placer en leur milieu un renflement sur lequel frottent les balais, pour éviter la métallisation des plateaux. On les colle avec le vernis à la gomme laque.

» Pour que les disques de verre ne viennent pas frotter l'un contre l'autre, on colle au centre de leur face intérieure des rondelles O, O' en ébonite, de 1^{mm} d'épaisseur environ. »

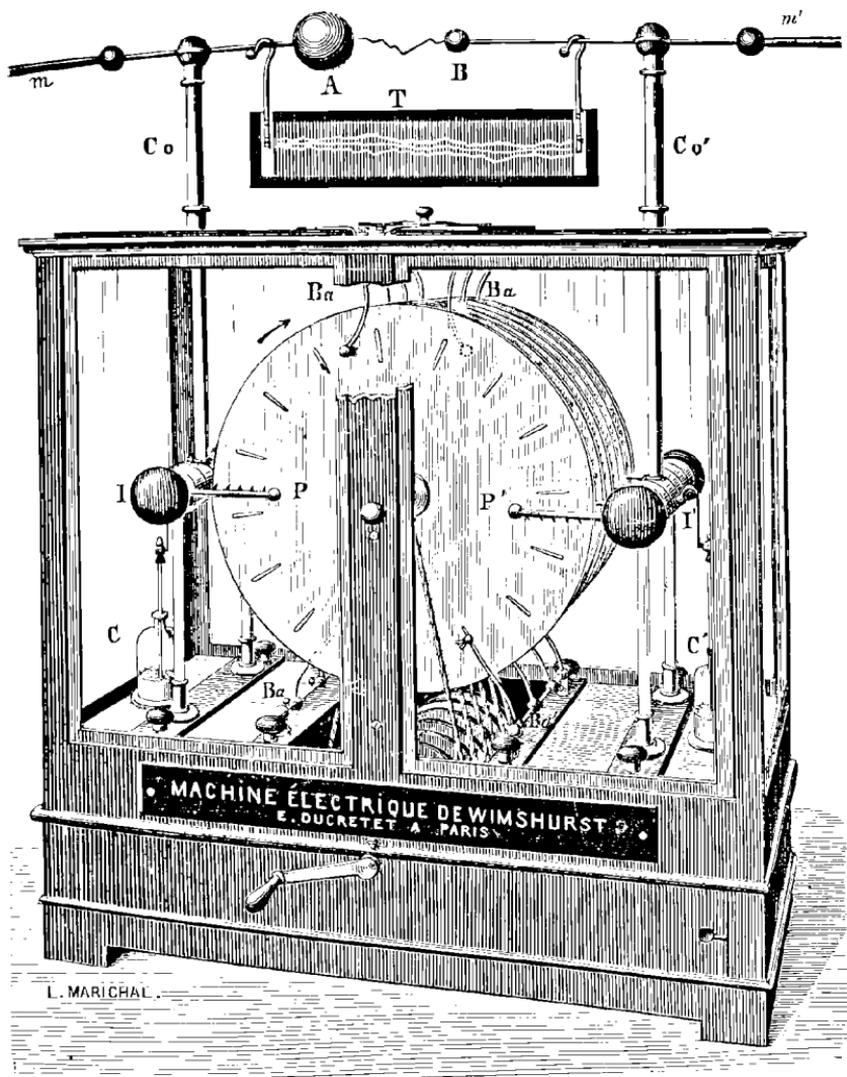
Au lieu de construire la machine de M. Wimshurst avec des plateaux de verre on peut se servir de plateaux d'ébonite. Cette matière se déformant avec le temps et sa surface subissant des modifications chimiques qui la rendent conductrice, il est préférable d'employer des plateaux de verre. Par contre les plateaux de verre, d'un certain diamètre sont fragiles et les machines qui en sont pourvues ne peuvent être animées d'une grande vitesse de rotation, vitesse qu'il est nécessaire de réaliser lorsqu'on veut produire un grand débit. Dans ce cas les machines à plateaux d'ébonite doivent être préférées.

M. Ducretet a construit divers modèles de machines de M. Wimshurst qui fournissent une longueur d'étincelles égale environ à la longueur du rayon des plateaux.

Une machine de 8 plateaux de 70^{cm} de diamètre montés sur le même axe et portant chacun 16 secteurs, donne pour chaque tour de la manivelle six étincelles de 20^{cm} de longueur ; on peut avec des condensateurs convenables obtenir des étincelles de 25^{cm} et 30^{cm}.

Une machine de douze plateaux peut donner des étincelles de 35^{cm}.

Fig. 30.

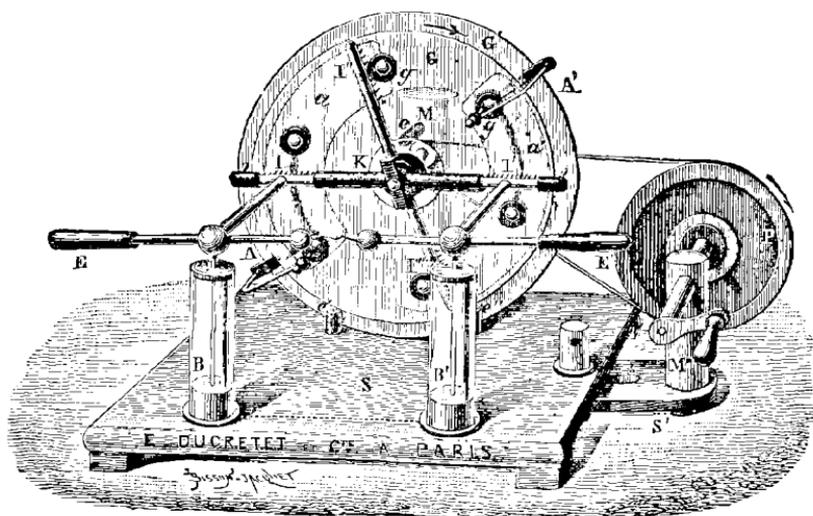


Machine de Wimshurst à douze plateaux.

Dans ces grands modèles les conducteurs diamétraux ou porte-balais sont en deux parties et fixés moitié en bas, moitié en haut de la machine sur des planchettes, comme l'indique la figure 30.

Machine de Voss. — Voss a apporté un perfectionnement notable à la machine de Holtz en la rendant capable de s'amorcer elle-même.

Fig. 31.



Machine de Voss.

On peut caractériser la machine de Voss en disant qu'elle est constituée par la réunion d'une machine de Holtz et d'une machine de Wimshurst.

Les deux inducteurs de papier de la machine de Holtz sont électrisés à l'aide d'une disposition qui leur fait jouer le rôle des deux pôles d'une machine de Wimshurst, c'est-à-dire que la dissymétrie électrique qui existe entre ces deux conducteurs est accrue par une disposition identique à celle qui permet d'accroître cette divergence dans la machine de Wimshurst. Des balais métalliques (*fig. 31*) placés aux extrémités

d'un diamètre conducteur frottent contre une pastille métallique qui joue le rôle des bandes d'étain de la machine de Wimshurst; cette pastille communique alors son électrisation aux bandes de papier.

Machine de M. Bonetti. — La machine de M. Bonetti (1) est une modification de celle de M. Wimshurst. Le perfectionnement consiste à supprimer les secteurs métalliques et à adjoindre deux nouveaux balais frotteurs. Dans ces conditions le débit se trouve considérablement augmenté, dans le rapport de 3 à 1 environ.

Par contre il est nécessaire d'amorcer la machine de M. Bonetti. Pour cela il suffit de placer le doigt en un point quelconque vers la circonférence de l'un des plateaux extérieurs. Pour renverser la polarité il suffit de placer le doigt au même endroit sur le plateau opposé.

Machine de M. W.-R. Pidgeon. — M. Pidgeon (1) s'est proposé de rendre la capacité de chaque secteur de la machine de M. Wimshurst aussi grande que possible au moment de la charge et aussi petite que possible au moment de la décharge, de manière que la quantité d'électricité déplacée par chaque secteur fût aussi grande que possible.

Dans la machine de M. Pidgeon les secteurs sont à surface, nombreux et isolés les uns des autres de façon à empêcher toute grande perte d'électricité d'un secteur à l'autre.

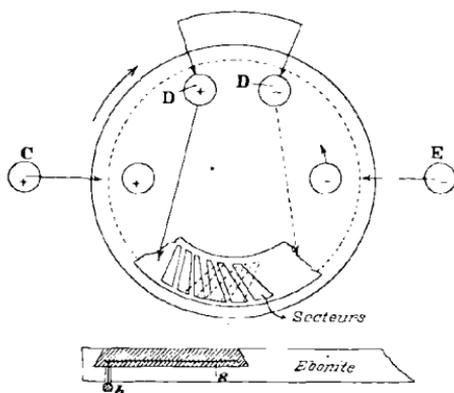
Afin de réaliser ces desiderata, les disques de la machine sont en ébonite de 1^{cm},6 d'épaisseur avec un retrait en profondeur de 1^{cm} sur 13^{cm},7, ainsi que l'indique la figure 32. Il y a sur chaque disque 32 secteurs en laiton mince portant de courtes tiges auxquelles sont vissées de petites boules de laiton qui servent de collecteurs. Les secteurs *s* occupent le fond du retrait, les tiges traversent l'ébonite et les boules *b* sont vissées par derrière. Le retrait est rempli à chaud d'un mélange à parties égales de paraffine et de résine, égalisé au

(1) BONETTI, *Société internationale des Électriciens*, 7 février 1894.

(1) PIDGEON, *Philosophical Magazine*, février 1894.

tour après refroidissement. Les secteurs se trouvent ainsi entièrement noyés dans l'isolant; la seule partie par où la charge puisse passer d'un secteur à l'autre est la boule de laiton.

Fig. 32.



Machine de M. W.-R. Pidgeon.

Afin de diminuer cette perte possible, les secteurs font un certain angle avec le rayon du disque de façon que le secteur d'un disque dépasse graduellement celui de l'autre disque, et avec un mouvement angulaire quatre fois moins rapide que si les secteurs étaient disposés radialement.

Pendant qu'un secteur est en entier dans un champ d'induction, le suivant y est aux trois quarts, le troisième à moitié et le suivant au quart, de façon que la différence de potentiel entre les boules voisines est réduite au quart de la valeur qu'elle aurait si les secteurs étaient disposés radialement. Cet arrangement angulaire des secteurs nécessite un déplacement correspondant des balais pour que le contact ait lieu au moment convenable.

Pour accroître la capacité de chaque secteur au moment où il reçoit sa charge, deux inducteurs fixes sont placés vis-à-vis des disques aux points où les secteurs sont mis en communication avec la terre. Ces inducteurs sont formés de feuilles d'étain noyées dans la cire et supportées par une lame d'ébo-

nite. La charge de chacun lui est communiquée par une pointe traversant un tube d'ébonite et placée vis-à-vis des boules d'un des plateaux en un point où le potentiel est de signe et de valeur convenables. Chaque secteur au moment où il communique avec le sol est ainsi placé entre deux inducteurs pareillement chargés, par suite sa capacité se trouve augmentée et il est susceptible de recevoir une bien plus grande charge d'électricité que si les inducteurs fixes n'existaient pas.

La présence de ces inducteurs fixes a un effet très notable sur le débit de la machine. C'est ainsi que, toutes choses égales d'ailleurs, une même bouteille de Leyde chargée avec la machine munie de ses inducteurs fixes donne 54 étincelles, alors qu'elle n'en donne plus que 19 si la machine est privée de ses inducteurs. Le débit se trouve donc triplé par l'emploi des inducteurs.

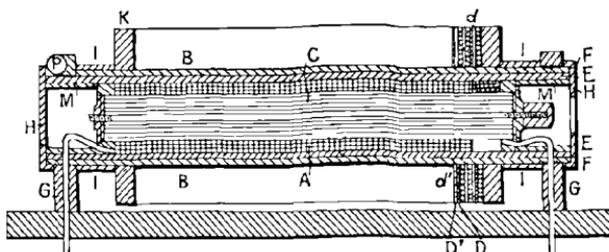
BOBINES D'INDUCTION.

Sans nous arrêter à la description de la bobine Ruhmkorff que l'on trouvera dans tous les traités de Physique, nous nous bornerons à indiquer les divers perfectionnements apportés à cet appareil tant dans le but de le rendre plus puissant que dans celui d'en rendre la construction moins coûteuse.

Bobine d'induction de M. A. Apps. — Dans les bobines de Ruhmkorff ordinaires, le cylindre isolant qui sépare les enroulements primaire et secondaire ainsi que les disques séparant les divers tronçons de l'enroulement secondaire dans les bobines cloisonnées, se trouvent soumis à des efforts mécaniques considérables de la part de ces enroulements quand les fils se dilatent ou se contractent sous l'influence des variations de température. La résistance d'isolement des diélectriques se trouvant considérablement diminuée par la traction et la compression, il peut donc résulter de ce mode de construction des bobines une diminution importante de l'isolement des circuits. De plus ce mode de construction ne permet pas de remplacer le cylindre ou un disque isolant détérioré sans dérouler presque entièrement la bobine.

M. A. Apps s'est proposé de remédier à ces deux inconvénients. Le circuit primaire A (*fig. 33*) est enroulé sur une

Fig. 33.



Bobine d'induction de M. A. Apps.

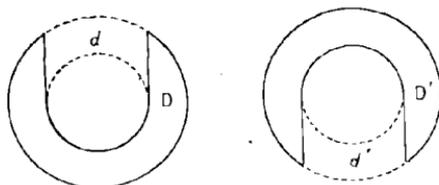
monture cylindrique dans laquelle se trouve maintenu, par deux disques latéraux et un bouton central, un faisceau C de tiges de fer. Le circuit secondaire B est enroulé sur une monture cylindrique F, très résistante, supportant sans déformation, les efforts mécaniques résultant des dilatations et contractions du circuit secondaire. Cette monture est fixée dans deux anneaux soutenus par les supports G. Deux viroles I servent à maintenir l'enroulement secondaire dans une position fixe par rapport à la monture. A l'intérieur de cette monture se trouve le cylindre E assurant l'isolement des circuits primaire et secondaire; il est préservé des efforts mécaniques par la monture. L'enroulement primaire est maintenu dans une position fixe à l'intérieur de F au moyen de deux petits tubes M et de deux bouchons à vis H.

Les cloisons isolantes séparant les divers tronçons du circuit secondaire de la bobine qui est cloisonnée sont soustraites aux efforts mécaniques d'une manière analogue. De chaque côté de ces cloisons et séparées de celles-ci par des ressorts ou des cales en substance élastique, se trouvent d'autres rondelles qui supportent seules les efforts.

Pour pouvoir facilement remplacer les cloisons, M. Apps les forme de deux anneaux D, D' munis d'échancrures *d*, *d'* (*fig. 34*); ces anneaux sont placés de manière que l'échancrure de l'un corresponde à la partie pleine de l'autre.

L'enroulement primaire et le cylindre isolant E peuvent être également retirés avec facilité; il suffit de dévisser les bouchons H, de tirer les extrémités du fil hors des canaux des supports G et de faire glisser la bobine A et le cylindre isolant.

Fig. 34.



Cloisons de la bobine d'induction de M. A. Apps.

On peut d'ailleurs fendre le cylindre longitudinalement de façon à permettre de le retirer sans toucher aux extrémités du fil primaire qui passent dans la fente du cylindre; mais alors il faut, pour assurer l'isolement, employer deux cylindres semblables et, après les avoir insérés, les faire tourner l'un par rapport à l'autre de façon que les deux fentes ne se trouvent plus en regard.

M. Apps a construit ainsi un modèle de bobine qui donne des étincelles de 105^{cm} de longueur et dont l'induit contient 450^{kg} de fil conducteur.

Système de cloisonnement du circuit secondaire de M. A. Davis. — Le système de cloisonnement du circuit induit que revendique M. A. Davis ⁽¹⁾ est applicable aux bobines de Ruhmkorff ainsi qu'aux transformateurs à haut potentiel.

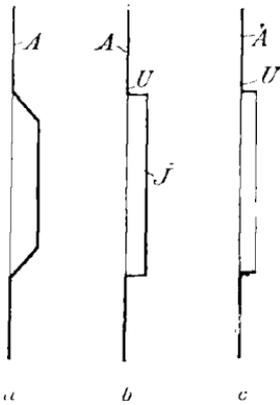
Les figures 35 à 39 représentent le mode de construction des bobines élémentaires dont l'ensemble constitue le circuit induit.

Au moyen d'un coin en acier porté à une température suffisamment élevée on déforme un disque d'ébonite de manière à lui donner la section représentée figure 35a. Un second coin lui

(¹) A. DAVIS, brevet anglais, n° 8391, du 9 avril 1898, accepté le 25 février 1899.

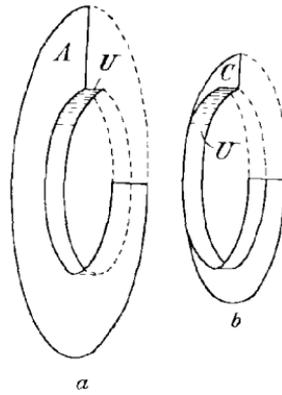
donne la forme indiquée figure 35 *b*. Un emporte-pièce détache ensuite (*fig. 35 c*) la partie centrale *J*. On obtient ainsi la cloi-

Fig. 35.



Cloisonnement de M. A. Davis.

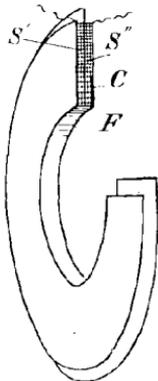
Fig. 36.



Cloison de M. A. Davis.

son isolante *A* (*fig. 36 a*). De la même manière on prépare des cloisons de diamètre extérieur plus faible (*fig. 36 b*) mais dont

Fig. 37.



Montage d'une bobine élémentaire.

Fig. 38.



Cloison intermédiaire.

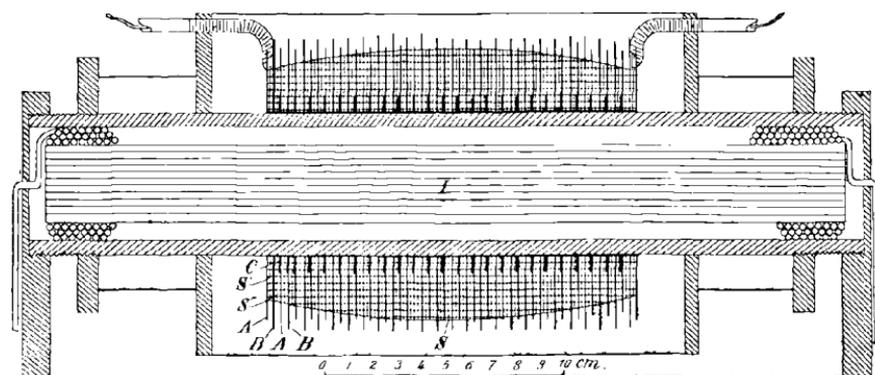
Fig. 39.



Cloison obtenue d'une seule pièce.

l'ouverture centrale a un diamètre suffisant pour que la cloison C puisse s'emboîter sur A comme le représente la figure 37. Une cloison B (fig. 38) est interposée, dans le montage, entre A et C. Pour effectuer le montage on glisse la cloison C sur le cylindre isolant qui sépare la bobine primaire du circuit secondaire, on applique contre cette cloison C la bobine S' (fig. 37) dont le fil enroulé en sens inverse de S'' est soudé à ce dernier en F, puis enfin la cloison isolante A. On peut d'ailleurs construire l'enveloppe isolante de chaque couple de bobines élémentaires d'une seule pièce comme le représente la figure 39, mais la construction est alors un peu plus délicate car les bobines élémentaires ne peuvent être enroulées à l'avance; elles doivent être enroulées sur l'enveloppe, et pendant que l'on procède à l'enroulement de la première, S'', on réserve la place de l'autre bobine au moyen d'un mandrin que l'on enlève pour effectuer, en sens inverse, l'enroulement S'.

Fig. 40.



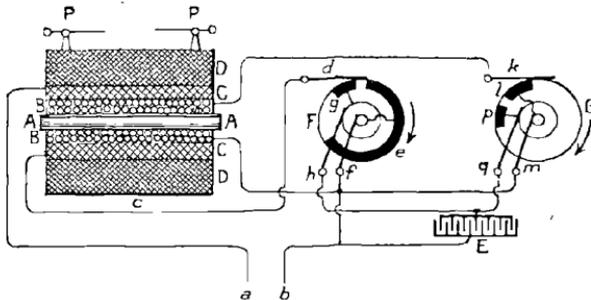
Bobine d'induction de M. A. Davis.

La figure 40 donne la coupe d'une bobine d'induction construite suivant le système de M. A. Davis. On remarquera que le diamètre des bobines plates élémentaires va en diminuant depuis le milieu jusqu'aux extrémités.

Bobine d'induction de M. Elihu Thomson. — M. Elihu

Thomson ⁽¹⁾ a imaginé un type de bobine d'induction qui peut être alimentée par le courant à 110 ou 220 volts que distribuent les stations centrales, sans qu'on soit obligé de placer en série avec le primaire une résistance, souvent assez élevée. La présence de cette résistance qui a pour effet de diminuer l'intensité du courant occasionne une perte notable d'énergie.

Fig. 41.



Bobine d'induction de M. Elihu Thomson.

La bobine d'induction, qui peut ainsi être directement branchée sur un réseau de distribution, possède trois enroulements. Une première bobine B (*fig. 41*) en gros fil joue le rôle de la bobine primaire des appareils ordinaires. Une seconde bobine C à fil plus fin sépare ce premier enroulement du dernier D qui est constitué à la manière des secondaires des bobines usuelles par un fil très fin et très long.

Ces enroulements sont connectés de la manière suivante avec les balais de deux commutateurs tournants qui sont montés sur un même axe. Afin de permettre une lecture plus facile, la figure représente ces deux commutateurs placés côte à côte.

L'une des extrémités de la bobine C est reliée à la borne *a* de la distribution d'électricité; l'autre, par l'intermédiaire du fil *c*, au balai *d* frottant sur le premier commutateur tournant.

(¹) ELIHU THOMSON, *The Electrical Engineer* (New York), t. XXIV, p. 77, 29 juillet 1897.

Ce commutateur F porte deux bagues sur lesquelles frottent les deux balais h et f ; sa périphérie est munie de deux secteurs métalliques g et e reliés respectivement aux deux bagues. Dans la position du commutateur, indiquée sur la figure, le courant suit le chemin $a C d e f b$; en continuant à tourner, il interrompt le courant dans la bobine C et un courant induit de faible force électromotrice, mais de grande intensité, prend naissance dans la bobine à gros fil B dont les extrémités, reliées aux balais k et m du second commutateur G sont alors mises en court-circuit par le mouvement même de ce commutateur. Ce courant ne tarde pas à être rompu et il en résulte des courants induits de grande force électromotrice dans la bobine secondaire D. Pour diminuer les étincelles de rupture des courants et rendre cette rupture plus rapide, on emploie un condensateur E dont une armature est reliée d'une manière permanente à la borne b du réseau de distribution et dont l'autre armature se trouve mise en communication, aux moments opportuns, avec les bobines C ou B au moyen des balais h et g des commutateurs tournants.

Si cette disposition permet d'utiliser sans pertes énormes le courant distribué par les stations centrales, elle augmente, dans une certaine mesure, le coût de construction tant par suite de l'augmentation de poids des fils employés (trois enroulements au lieu de deux) qu'à cause de la main-d'œuvre nécessaire pour ces trois enroulements.

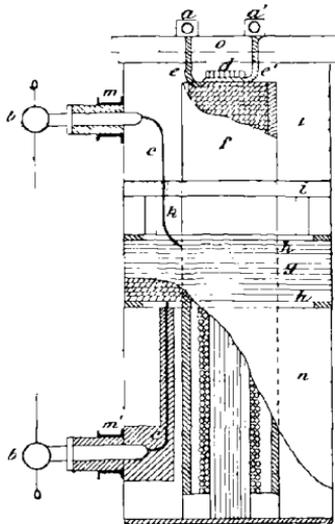
Transformateur à haute tension de MM. Wydts et de Rochefort (1). — Non seulement les bobines d'induction ordinaires présentent, ainsi que les types modifiés que nous venons de décrire, l'inconvénient d'un coût élevé, mais le rendement atteint est assez faible (20 pour 100 environ des watts fournis). MM. Wydts et O. de Rochefort-Lucay ont construit un transformateur à haute tension, de bien meilleur rendement et qui joint à l'avantage de n'employer qu'une quantité assez restreinte de fil fin pour la construction de l'induit, celui d'utiliser un

(1) WYDTS et DE ROCHEFORT, *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, novembre 1897.

isolant dont l'état physique ne varie pas sensiblement par l'usage.

Comme le font remarquer MM. Wydts et de Rochefort, aux hautes tensions qui se produisent dans les bobines d'induction, les isolants solides sont facilement traversés par des effluves qui modifiant l'isolant deviennent avec le temps de plus en plus importants. Quant aux isolants liquides ils doivent également être rejetés, les courants qui se produisent dans le liquide entre les pôles extrêmes leur enlevant en grande partie leur efficacité. Aussi les constructeurs ont fait choix d'un isolant

Fig. 42.



Transformateur à haute tension de MM. Wydts et de Rochefort.

pâteux (dissolution de paraffine dans du pétrole chaud) qui offre un état physique convenable. Un semblable isolant est lentement décomposé par les actions électriques qui se produisent dans sa masse et il se dépose du carbone pulvérulent. Grâce à la disposition donnée à leur appareil, MM. Wydts et de Rochefort ont évité le dépôt du carbone.

L'inducteur est composé comme dans la bobine de Ruhmkorff

d'un noyau de fer doux d (*fig. 42*) autour duquel s'enroule une double couche de gros fil de cuivre e, e' qui aboutit aux deux bornes a et a' servant à établir le courant primaire. Un tube isolant f entoure le faisceau inducteur.

L'induit est composé d'une seule bobine g contenant 600^s de fil fin de cuivre de 0^{mm},16 de diamètre. Cette bobine est placée dans la région médiane de l'inducteur; elle repose sur deux tubes de verre h soutenus par un bloc de bois i muni de deux tasseaux, repose sur la bobine induite au moyen de deux tubes de verre h, h .

Au lieu d'une seule bobine induite on peut en employer deux placées côte à côte parallèlement et connectées en tension.

Ces bobines enroulées suivant le procédé ordinaire sont ensuite immergées 24 heures dans une dissolution chaude de paraffine dans le pétrole. Après refroidissement dans le bain elles sont mises en place.

Les deux extrémités de l'induit sont reliées aux deux boules b, b' placées dans les bouchons des deux tubulures m et m' du vase de verre dans lequel le tout est placé verticalement.

Le transformateur ainsi construit (une seule bobine induite) donne de 20^{cm} à 22^{cm} d'étincelles avec 6 volts et 3 ampères, soit 20 watts environ. L'induit de la bobine de Ruhmkorff, donnant la même longueur d'étincelles, serait composé de 50 à 60 galettes ou bobines plates accouplées en tension et séparées par des cloisons solides isolantes. Le poids du fil de l'induit serait de 5^{kg} à 6^{kg}. Le nombre de watts employé, 120 environ.

Un transformateur plus puissant donne 50^{cm} d'étincelle avec 12 volts et 6 ampères.

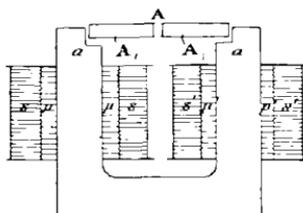
Transformateur unipolaire ⁽¹⁾. — Les transformateurs à un seul enroulement et à deux ou plusieurs enroulements montés en quantité présentent une propriété particulière : entre le sol et le pôle du circuit secondaire correspondant au

(1) WYDTS et DE ROCHEFORT, *Société française de Physique*, 6 mai 1898.

point de départ de l'enroulement le plus voisin du circuit primaire, on obtient une étincelle environ dix fois plus courte que celle que l'on obtient entre le sol et l'autre pôle du circuit secondaire. MM. Wydts et de Rochefort donnent au premier pôle du secondaire le nom de *pôle de petite tension* et au second pôle le nom de *pôle de haute tension*. En reliant le pôle de petite tension à la terre, on constate que la tension au pôle de haute tension augmente, et l'étincelle qui jaillit entre ces deux pôles paraît gagner en intensité. Le transformateur dont le pôle de petite tension est mis en relation avec le sol est dit *unipolaire*.

Transformateur de M. Klingelfuss ⁽¹⁾. — Une des causes du faible rendement des bobines de Ruhmkorff est due à la forme de l'armature de fer doux sur laquelle s'enroule la bobine inductrice. Les extrémités de cette armature restent assez éloignées l'une de l'autre (de toute la longueur de la bobine). Il y a avantage à les rapprocher le plus possible. Le noyau de fer du transformateur à haute tension construit par M. Klingelfuss a la forme d'un fer à cheval (*fig. 43*) et peut être complète-

Fig. 43.



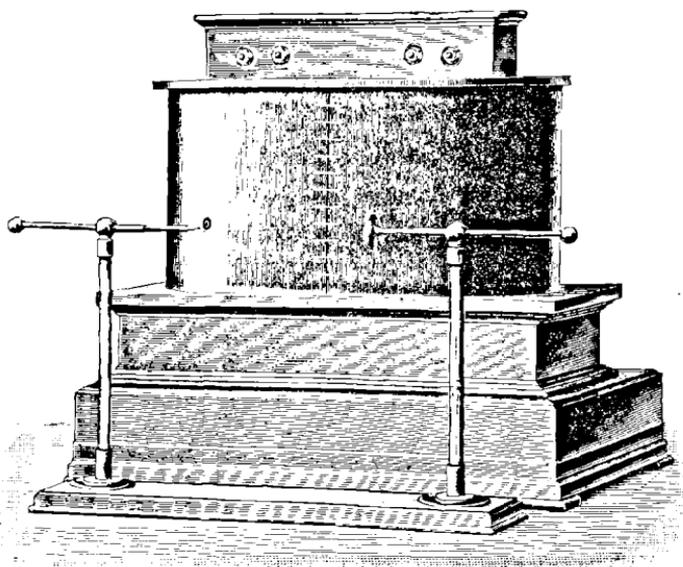
Coupe du transformateur de M. Klingelfuss.

ment fermé par une armature A qui prend place entre les deux branches *a, a*. Au lieu d'une traverse faite d'un seul morceau, les branches *a, a* peuvent être réunies par une armature A₁ A₂, fendue verticalement en son milieu et présentant entre ces deux parties un intervalle de quelques millimètres. Le noyau entier

(¹) H. VEILLON, *Archives de Genève*, octobre 1898.

et les traverses sont formés de lamelles de fer doux séparées par du papier. Deux paires de bobines primaire p , p' et secondaire s , s' sont disposées sur les deux branches verticales du noyau, les secondaires entourant les primaires. En dehors de la forme du fer doux, ce qui distingue l'appareil de M. Klingelfuss (*fig. 44*) des bobines ordinaires, c'est l'enroulement du

Fig. 44.



Transformateur de M. Klingelfuss.

fil secondaire qui, par un procédé de fabrication dont l'inventeur garde le secret, est combiné de manière à écarter les spires les unes des autres en raison de leur différence de potentiel.

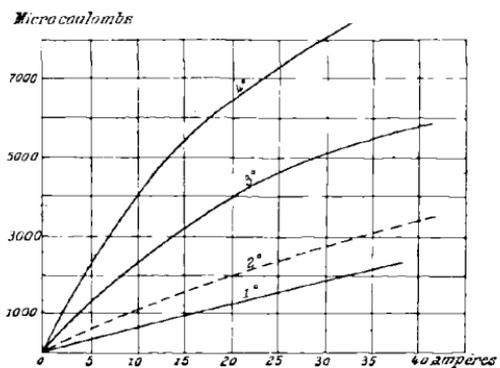
Les deux paires de bobines peuvent être utilisées en les disposant en série ou en les reliant en quantité.

Le nombre des spires de l'inducteur et de l'induit est de beaucoup inférieur au nombre de spires que présente une bobine Ruhmkorff pouvant fournir la même longueur d'étincelles.

Alors que le primaire d'une bobine construite par M. Carpentier et mesurant $0^m,62$ de longueur sur $0^m,22$ de diamètre contient 322 spires, le primaire de l'appareil de M. Klingelfuss a 112 spires seulement. Au lieu de 153000 spires induites, il n'y a que 18000 spires induites. Dans cet appareil le fil induit a $0^m^m,2$ de diamètre au lieu de $0^m^m,16$. Les sections sont donc dans le rapport de 10 à 6. La résistance du circuit induit est de 8000 ohms au lieu de 50000 ohms qu'elle présente dans la bobine de Ruhmkorff.

Les quatre courbes de la figure 45 permettent de comparer

Fig. 45.



Courbes résumant l'étude comparative d'un transformateur Klingelfuss et d'une bobine Ruhmkorff.

les quantités d'électricité induites par un courant variant de 5 à 45 ampères : 1° dans une bobine de Ruhmkorff; 2° dans le transformateur Klingelfuss dont les deux primaires sont reliés en quantité et qui n'est pas muni de l'armature A; 3° dans le même appareil muni de l'armature A; 4° enfin dans ce transformateur muni de son armature mobile et dont les primaires sont reliés en série.

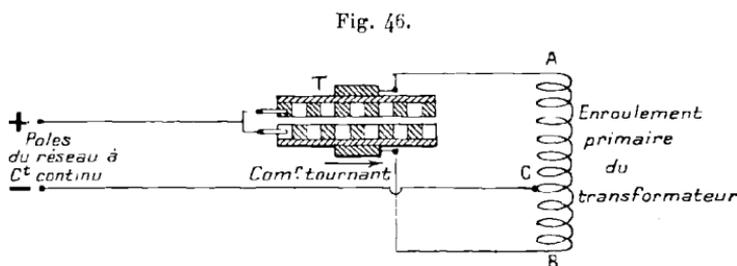
On voit par ces courbes, qui résultent d'une étude comparative faite par M. Veillon, que la quantité d'électricité induite est environ trois fois plus grande lorsque le transformateur est muni de son armature mobile A que lorsqu'il en est démuné. Elle est six fois plus grande dans le transformateur muni de

l'armature que celle induite dans la bobine construite par M. Carpentier.

Quant à la tension en circuit ouvert elle est à peu près la même avec les deux appareils. La longueur des étincelles atteint 42^{cm} à 43^{cm} . Mais les étincelles fournies par le transformateur Klingelfuss ont à longueur égale une auréole beaucoup plus grande que celles de la bobine de Ruhmkorff.

A 25^{cm} on sépare encore par le souffle l'auréole qui s'écarte sous forme de véritables flammes, chose que l'on ne réalise plus guère avec la bobine de Ruhmkorff au delà de 7^{cm} à 8^{cm} .

Dispositif de M. Grisson. — Pour se débarrasser de certains inconvénients que présentent les interruptions du courant dans les bobines d'induction et pouvoir alimenter pendant ces appareils en courant continu, certains postes de télégraphie sans fil, en particulier en Allemagne, utilisent le dispositif suivant préconisé par M. Grisson (*fig. 46*).



Dispositif Grisson pour alimenter une bobine d'induction en courant continu sans interrupteur.

Le primaire du transformateur ou bobine d'induction porte trois prises A, B, C : une à chaque extrémité de l'enroulement A, B, la troisième C réunie au milieu de l'enroulement. Un commutateur tournant T, qu'on actionne au moyen d'une petite dynamo branchée sur le réseau, distribue tout d'abord le courant dans la moitié de l'enroulement primaire (enroulement AC, position représentée par la figure), puis un instant après dans l'enroulement BC. Le courant passe donc successivement par le jeu du commutateur dans chaque moitié de

l'enroulement primaire et en sens inverse. Comme tout l'enroulement primaire a le même noyau de fer, le courant aimante en sens contraire du précédent ce noyau lorsqu'il change d'enroulement. Il s'ensuit que quand le courant commence en ABC l'aimantation qu'il développe dans le noyau produit en BC une force contre-électromotrice qui s'oppose au courant qui y circule encore. Le courant s'annule donc rapidement dans cet enroulement BC qui reste ouvert alors qu'il atteint sa valeur maximum dans AC.

Emploi du courant alternatif. Transformateurs pour courants alternatifs. — Si l'on se borne encore aujourd'hui à l'usage de bobines d'induction pour les stations de télégraphie sans fil de faible portée on utilise, de plus en plus et d'une façon exclusive pour les stations à longue portée, des transformateurs de courants alternatifs.

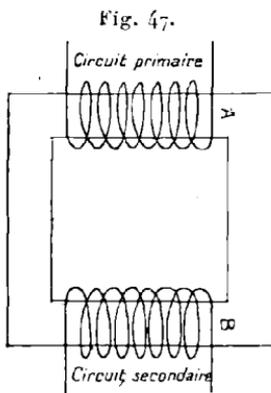


Schéma du transformateur de M. Gaiffe à fuites magnétiques.

Les transformateurs pour courants alternatifs utilisés à la production d'ondes électriques se rapportent à deux types : 1° les transformateurs à circuit magnétique fermé et sans fuites magnétiques; 2° les transformateurs à circuit magnétique ouvert ou fermé et avec fuites magnétiques.

A l'isolement près qui doit être prévu pour une tension égale à trois fois celle résultant du coefficient de transforma-

tion, la construction des transformateurs sans fuite magnétique ne diffère pas de celle des transformateurs industriels ordinaires. En général le primaire est divisé en sections que l'on peut mettre successivement en circuit ce qui permet de varier le coefficient de transformation. Par mesure de sécurité, ou pour ceux qui doivent en manipulant produire les ondes, on ne dépasse pas 250 volts comme tension primaire. La tension secondaire ne dépasse pas 25000 volts.

Comme transformateurs avec fuites magnétiques on utilise les bobines d'induction ordinaires. M. Gaiffe préconise récemment pour la télégraphie sans fil un transformateur à fuites magnétiques (*fig. 47*) caractérisé par ce fait que le primaire et le secondaire sont bobinés sur des positions différentes du circuit magnétique d'ailleurs fermé.

Génératrice de M. Villard spéciale à la télégraphie sans fil. — Le but que s'est proposé M. Villard est de réaliser une génératrice pouvant dépenser brusquement une puissance considérable, ces dépenses brusques ne se reproduisant qu'un petit nombre de fois (20 à 25) par seconde.

Fig. 48.

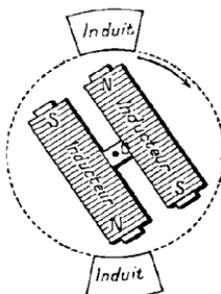
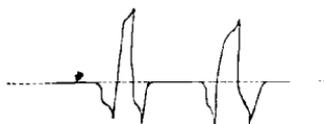


Schéma de la génératrice de M. Villard pour la télégraphie sans fil.

L'induit est extérieur et fixe, il porte deux bobines diamétralement opposées et situées dans deux secteurs de faible étendue angulaire (*fig. 48*) L'inducteur tourne à l'intérieur de l'induit et comporte 4 pôles alternés deux à deux très voisins; il figure ainsi à peu près la lettre H. Pendant près

d'un demi-tour ces pôles ne passent devant aucune bobine. Toute la puissance est dépensée pendant une faible fraction de tour et dépasse alors beaucoup celle d'un alternateur ordinaire de même puissance moyenne. Pendant la fraction de tour utile, l'arrivée du premier pôle inducteur, la substitution du second pôle de sens inverse au premier, enfin le départ de ce second pôle produit une variation de force électromotrice dont les valeurs maxima sont successivement $+E$, $-2E$, $+E$, puis tout phénomène électrique cesse jusqu'au passage suivant de l'inducteur devant les bobines induites. La courbe oscillographique des tensions (*fig. 49*) indique bien ces variations.

Fig. 49.



Courbe oscillographique des tensions de la génératrice de M. Villard.

Il résulte des mesures faites que la tension maximum est égale à trois fois la tension efficace. Les essais ont montré qu'à égalité de puissance les résultats, surtout en excitation indirecte, sont très supérieurs à ceux que donne une bobine d'induction.

INTERRUPTEURS.

On utilise aujourd'hui deux genres différents d'interrupteurs, l'interrupteur de Foucault, dont on trouvera la description dans tous les Traités de Physique, et l'interrupteur genre Wehnelt.

L'interrupteur de Foucault que l'emploi des puissantes bobines d'induction nécessite présente l'inconvénient d'être un peu lent. Les perfectionnements que l'on a fait subir à cet appareil ont eu principalement pour but de le rendre plus rapide.

Les interrupteurs du genre Wehnelt joignent à l'avantage d'être rapides celui de ne pas nécessiter, comme l'interrupteur

de Foucault, de fréquents nettoyages. D'autre part, on ne peut régler à volonté la *fréquence* (nombre d'interruptions à la seconde) des interrupteurs du genre Wehnelt alors qu'il est aisé d'effectuer ce réglage avec les interrupteurs du genre Foucault. Aussi les interrupteurs du genre Wehnelt (interrupteurs électrolytiques) ne sont pas employés en télégraphie sans fil.

INTERRUPTEURS DU GENRE FOUCAULT.

Nous rangerons dans ce genre non seulement les interrupteurs qui utilisent le mouvement alternatif d'une tige oscillante, que ce mouvement soit obtenu par un trembleur, avec ou sans l'aide d'un électro-aimant, ou qu'il soit produit à l'aide d'un moteur rotatif, mais encore tous les interrupteurs qui exigent la mise en mouvement d'un dispositif mécanique avec ou sans production d'un jet de mercure.

a. Interrupteurs à trembleur.

Interrupteur de MM. Wydts et de Rochefort (1). — Cet interrupteur présente les dispositions générales de l'interrupteur de Foucault.

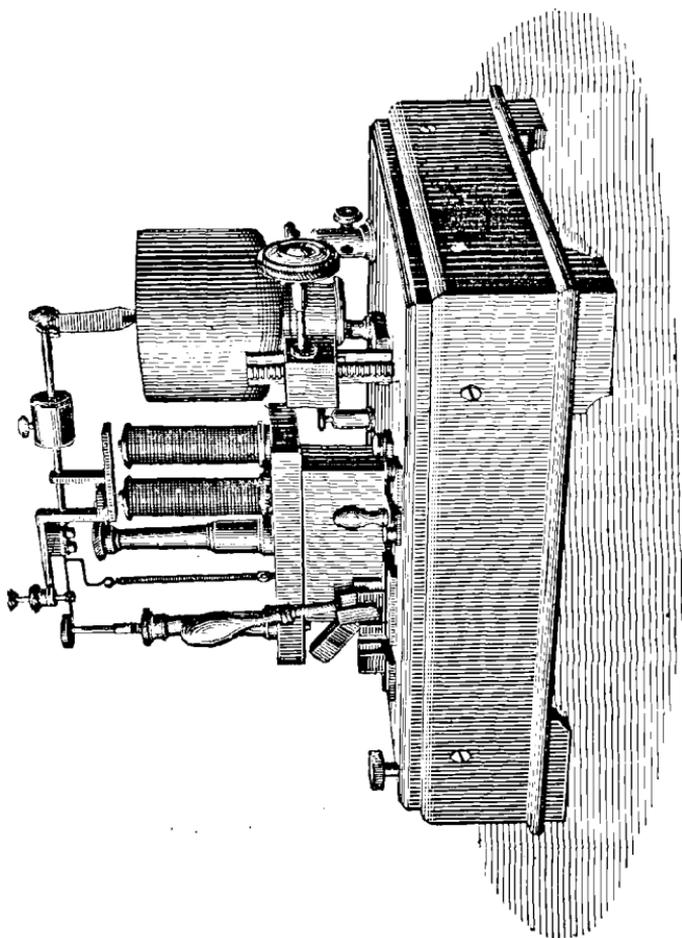
Un électro-aimant communique un mouvement de trembleur à une tige qui plonge dans un godet de mercure. Les interruptions de courant dans le circuit comprenant l'électro-aimant sont obtenues à l'aide de deux contacts de platine que le mouvement même de la tige amènent à se toucher, puis à s'écarter l'un de l'autre (*fig. 50*).

Le perfectionnement apporté à l'interrupteur de Foucault réside dans la liaison existant entre la tige verticale qui plonge dans le mercure et la tige horizontale portant l'armature de fer doux par l'attraction de laquelle l'électro-aimant communique un mouvement de va-et-vient au système des deux tiges. Au lieu d'être invariablement fixées l'une à l'autre comme

(1) WYDTS et DE ROCHEFORT, *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, décembre 1898.

dans l'interrupteur Foucault, ces deux tiges sont reliées à l'aide d'un ressort très flexible formé de minces feuilles de clinquant.

Fig. 50.



Interrupteur à trembleur de M.M. Wydt et de Rochefort.

La tige plongeant dans le mercure est de plus légèrement aplatie. Grâce à cette liaison, le mouvement de la tige dans le mercure est un mouvement vertical, et la tige est guidée par le liquide lui-même, ce qui empêche les projections.

Cet interrupteur permet d'obtenir des interruptions très rapides, comparables à celles que donne un diapason, alors que la tige interruptrice effectue à chaque allée et venue une course dépassant 1^{cm},5.

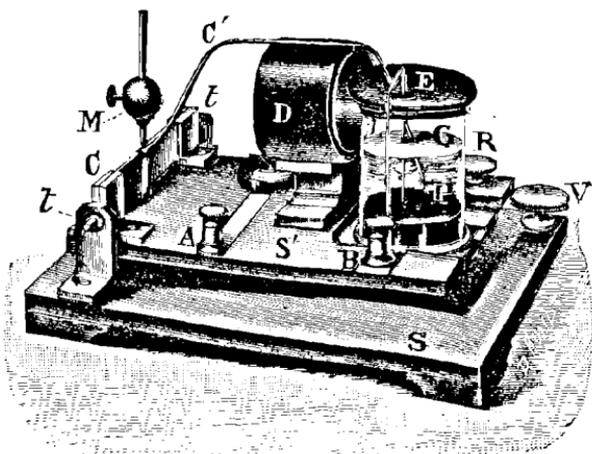
On peut faire varier l'amplitude des vibrations en agissant sur un bouton à vis solidaire d'un des contacts en platine servant à l'interruption.

Pour faire varier la durée de la vibration et par suite la fréquence de l'interrupteur, on déplace un poids sur une tige ronde fixée au-dessus de l'armature. En enlevant cette masse, les vibrations deviennent extrêmement rapides, elles atteignent les nombres de 100 et 150 à la seconde.

L'interrupteur ne dépense pour sa marche, d'après MM. Wydts et de Rochefort, que 1,8 watt (0,3 ampère et 6 volts).

Interrupteur électromagnétique de M. P. Villard (1). — Le

Fig. 51.



Interrupteur électromagnétique de M. P. Villard.

mouvement de cet interrupteur est produit par l'action d'un aimant permanent sur le courant à interrompre.

(1) P. VILLARD, *Société française de Physique*, 4 novembre 1898.

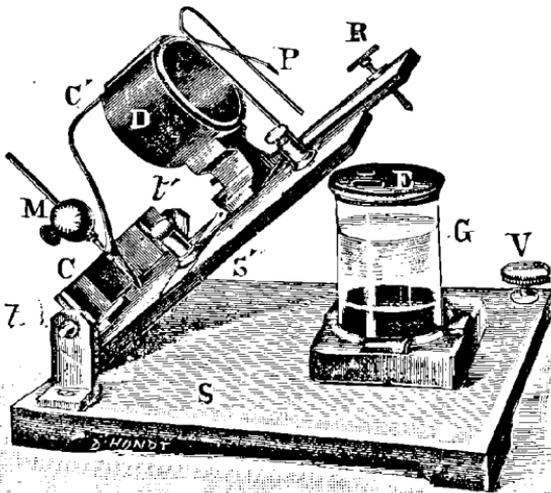
Une tige en cuivre *C'* (*fig. 51*) est fixée à une lame élastique *C* formant ressort de torsion et sous l'action de laquelle elle peut vibrer. Cette tige porte une pointe de nickel *P* qui plonge à chaque vibration dans le mercure d'un godet *G* et produit ainsi les interruptions périodiques du courant.

Un aimant permanent *D* est orienté de manière à ce que le champ magnétique qu'il produit tende à soulever la tige dès que le contact avec le mercure établit le courant.

Il s'ensuit qu'à chaque vibration la tige mobile reçoit une impulsion qui entretient son mouvement avec une amplitude suffisante.

On peut d'ailleurs faire varier la fréquence des interrup-

Fig. 52.



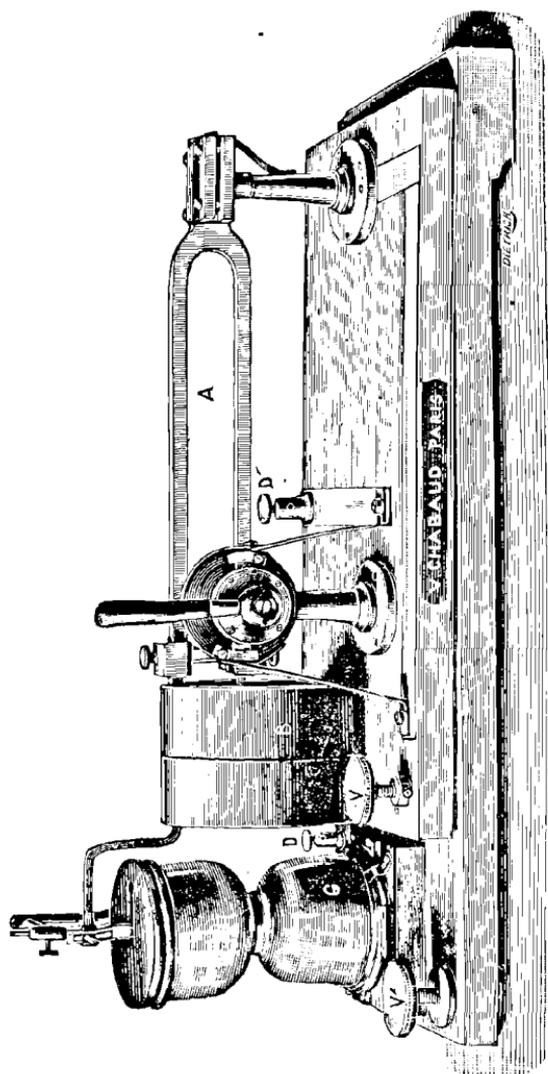
Interrupteur de M. P. Villard relevé pour le nettoyage du godet *G*.

tions à l'aide d'une masse additionnelle *M* convenablement disposée.

Ce modèle d'interrupteur est destiné à donner 20 interruptions environ par seconde, L'aimant et la tige vibrante sont

portés par une planchette articulée à charnière (fig. 52) sur

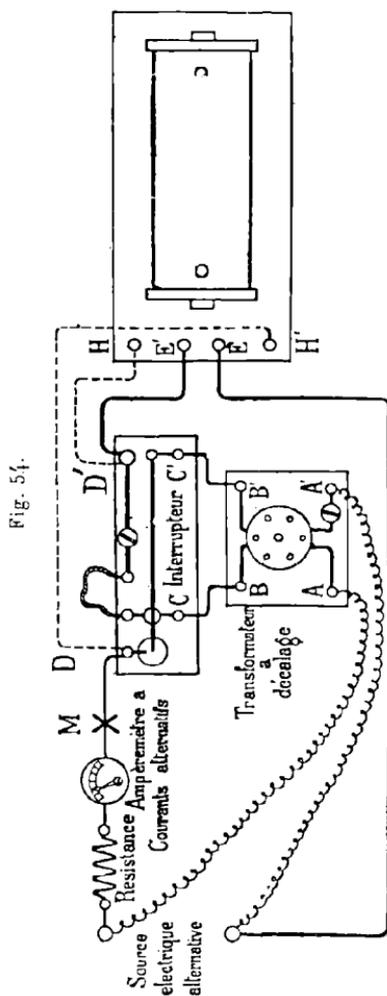
Fig. 53.



Interrupteur électromagnétique à diapason de M. P. Villard.

le socle ; on peut ainsi sortir le godet à mercure sans changer le réglage,

Cet interrupteur fonctionne régulièrement avec des courants d'intensités très différentes et alors même que la bobine



Disposition de l'interrupteur électromagnétique à diapason, de M. P. Villard, sur un circuit à courants alternatifs.

qu'il dessert n'est entretenue que par un seul accumulateur (2 volts). A la grande simplicité de construction qu'il présente

s'ajoute l'avantage de ne pas exiger l'emploi d'une batterie auxiliaire ou d'un courant dérivé.

L'énergie dépensée pour l'entretien de l'interrupteur est très faible. La self-induction que sa présence introduit dans le circuit peut être considérée comme nulle.

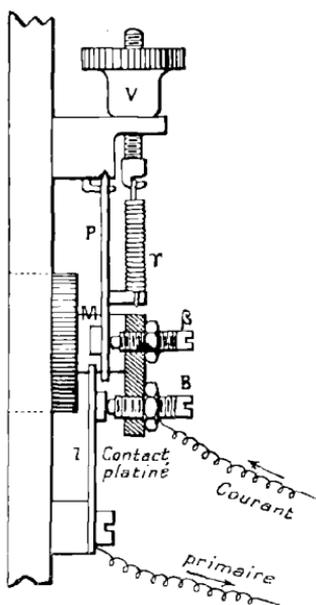
Un autre modèle est disposé pour des oscillations plus rapides : 40 à 45 par seconde. La lame vibrante est remplacée par un diapason (*fig. 53*). La manette qui est en avant sert à la fois à fermer le circuit et à mettre le diapason en mouvement, il suffit de la faire tourner de 180° pour faire les deux opérations, une clef venant, dans ce mouvement, écarter les branches du diapason. Des masses, mobiles le long des branches, permettent une faible variation de la fréquence.

Le même appareil, très légèrement modifié, peut servir pour actionner les bobines à l'aide du courant alternatif, ce qui peut être utile dans les villes où ce courant est seul distribué. Le diapason ordinairement employé, 40 à 45 vibrations doubles par seconde, convient pour un grand nombre de réseaux.

Si dans l'appareil de la figure 53 on envoie un courant alternatif, et si le diapason est en synchronisme avec ce courant, il est évident que pendant une phase la tige tendra à plonger dans le mercure, tandis que pendant l'autre elle tendra à en sortir; il n'y aura donc qu'une seule rupture par période. Mais comme il faut que la bobine ne soit parcourue que par du courant de même sens, il faut produire l'excitation du diapason par un courant spécial, pris sur le même réseau, tandis que le courant de la bobine passe d'un godet auxiliaire au godet où se fait la rupture, sans traverser l'aimant. L'installation, représentée schématiquement par la figure 54, est ainsi faite : une dérivation prise sur le réseau alimente un petit transformateur dont le secondaire est relié à l'interrupteur; le courant transformé parcourt toujours la partie du diapason qui traverse l'aimant, mais comme le courant est décalé par rapport au courant primaire, il est possible de régler les choses pour que la fermeture, qui se fait entre le godet D et le godet auxiliaire, se produise au début de la phase utile, tandis que la rupture se produit au maximum de cette phase.

Rupteur atonique de M. Carpentier. — C'est un interrupteur à marteau, mais ce n'est pas la lame attirée par le noyau qui coupe le circuit primaire. Cet organe OM (*fig. 55*) vient frap-

Fig. 55.



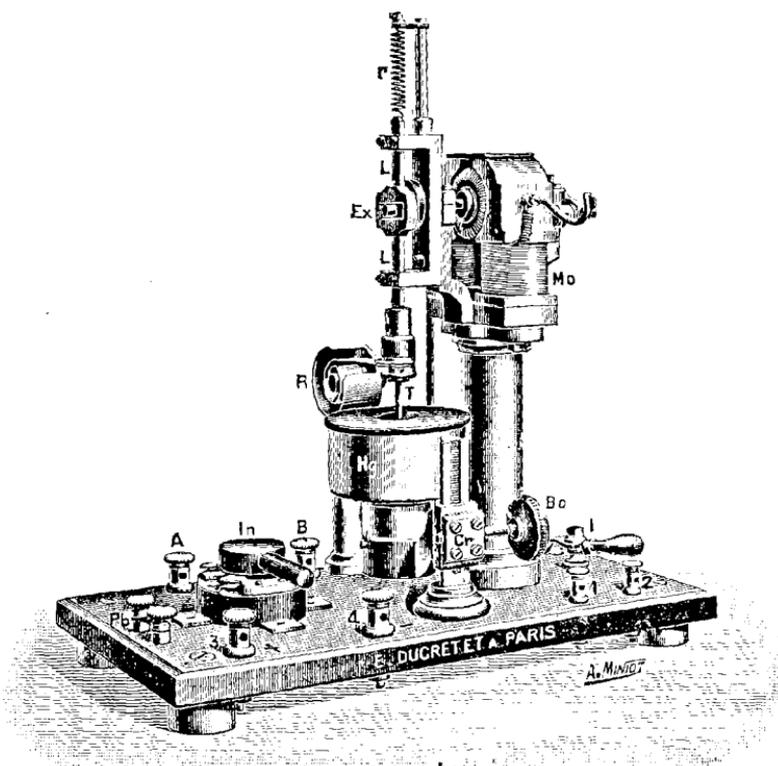
Rupteur atonique de M. Carpentier.

per, vers le milieu de sa course et alors qu'il a atteint sa plus grande vitesse, la lame *l* qui, appuyée sur le butoir *B* par un contact platiné, assure la continuité du circuit primaire et permet la rupture lorsque *l* se sépare de *B*. Un ressort *r* ramène le marteau *M* à sa position de repos dès qu'il cesse d'être attiré par le noyau. On obtient ainsi une rupture très brusque. Le réglage du butoir β qui limite la course du marteau, celui du ressort *r* par la vis *v* et, enfin, celui du contact platiné sont aisés et restent constants.

b. Interrupteurs rotatifs.

Interrupteur de MM. Ducretet et Lejeune ⁽¹⁾. --- Cet interrupteur (*fig. 56*) est plus rapide que celui de Foucault; de

Fig. 56.



Interrupteur de MM. Ducretet et Lejeune.

plus, le dispositif adopté pour communiquer un mouvement de va-et-vient à la tige interruptrice ne provoque plus, comme dans l'interrupteur de Foucault, la projection des liquides

(¹) DUCRETET et LEJEUNE, *Comptes rendus*, t. CXXIV, 14 juin 1897, p. 1342.

(mercure et alcool) contenus dans les godets. Ces projections sont dues au mouvement oblique de la tige interruptrice. Dans le modèle construit par MM. Ducretet et Lejeune, le godet a une forme étroite à la partie inférieure qui reçoit le mercure, ce qui évite les mouvements latéraux du liquide.

Au-dessus du mercure, dans la partie large du godet, on met de l'alcool (ou mieux de l'huile de pétrole) jusqu'à 0^{cm},02 environ du bord supérieur sur lequel appuie un couvercle métallique percé d'un orifice laissant passer la tige *tT* (*fig.* 56). Cette tige a un mouvement rectiligne alternatif; elle ne fouette pas le mercure, guidée qu'elle se trouve par deux potences solidement assujetties au bâti de l'appareil. On évite ainsi les projections du mercure. Les mouvements de va-et-vient lui sont donnés par un petit moteur électrique *M*. Cette tige est équilibrée; on peut donc lui donner une très grande vitesse, variable dans des limites très étendues par le jeu d'un rhéostat intercalé sur le circuit du moteur.

A la vitesse de 5 tours par seconde, le moteur *M* absorbe 2 volts et 0,6 ampère, soit 1,2 watt. Pour obtenir 18 tours par seconde, on doit dépasser 4 watts (4 volts et 1 ampère). Si l'on veut atteindre 22 tours par seconde, il faut utiliser 6 volts et 1,3 ampère (7,8 watts).

Le godet à mercure, dont la hauteur est aisément réglable au moyen d'une crémaillère, est assujéti dans une monture à baïonnette, ce qui permet de le séparer facilement du reste de l'appareil pour procéder à son nettoyage.

Interrupteur de M. Hofmeister (1). — Cet interrupteur est constitué par deux cuves à mercure contiguës. Dans l'une plonge un disque de cuivre, dans l'autre tourne une étoile à trois branches. Le disque et l'étoile sont montés sur le même axe, animé d'un mouvement de rotation à l'aide d'un petit moteur. Les pointes de l'étoile sont en platine; en plongeant dans le mercure et émergeant alternativement de la cuve, elles produisent les interruptions du courant qui pénètre par l'une des cuves et sort par l'autre.

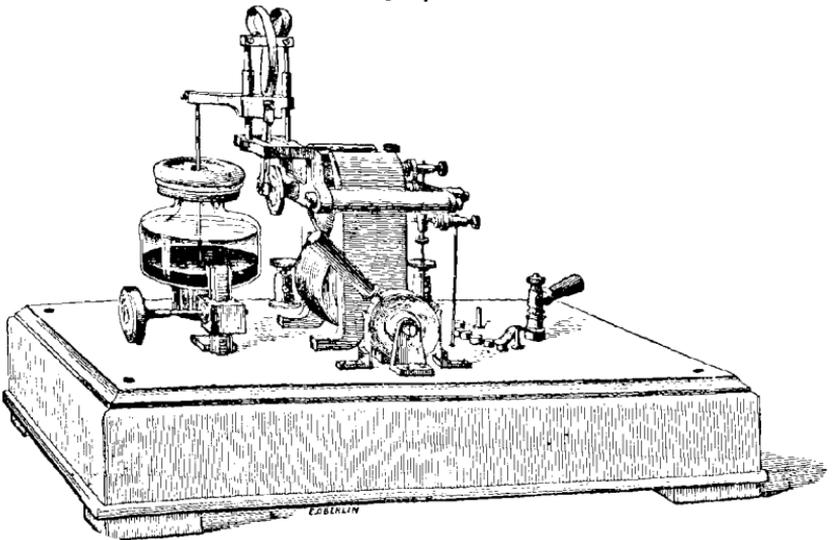
(1) HOFMEISTER, *Wiedemann's Annalen*, t. LXII, 1897, p. 379.

Perfectionnement de M. Hauswaldt (1). — Pour éviter les projections du mercure qui se produisent lorsque le mouvement de rotation de l'étoile est très rapide. M. Hauswaldt coude les bras de l'étoile en sens contraire de celui du mouvement, et les termine par des couteaux à deux tranchants en argent à arête large.

Au lieu d'eau, il place au-dessus du mercure de la seconde cuve de l'huile blanche de vaseline.

Interrupteur de MM. Wydts et de Rochefort. — MM. Wydts et de Rochefort ont aussi réalisé un interrupteur rotatif (fig. 57). Une tige de cuivre rouge est fixée à l'extrémité d'un

Fig. 57.



Interrupteur rotatif de MM. Wydts et de Rochefort.

support en aluminium qui coulisse sur deux glissières en acier. Ce support est animé d'un mouvement de va-et-vient à

(1) HAUSWALDT, *Wiedemann's Annalen*, t. LXV, mars 1898.

l'aide d'un moteur électrique auquel il est relié par une bielle et une manivelle.

La tige de cuivre plonge dans un godet contenant du mercure recouvert d'alcool ou d'huile de pétrole. La distance du godet à la tige est réglable en marche.

Ce modèle d'interrupteur dépense 4,8 watts (6 volts et 0,8 ampère).

Interrupteur de M. le Dr Guilloz (1). — L'extrémité de l'axe d'une petite dynamo porte un disque de cuivre isolé de l'axe par un cylindre d'ébonite qui lui est concentrique. Un balai sert de prise de courant en frottant sur un anneau de cuivre brasé concentriquement sur le disque du côté de la dynamo.

L'autre face du disque porte une tige coudée, sorte de vilebrequin, dont l'extrémité tourne dans un pivot fixe. Les sommets de cette tige coudée, projetés sur le disque, déterminent les sommets d'un polygone régulier centré sur l'axe de la dynamo. Ces sommets servent de têtes à des bielles de cuivre articulées dont la dernière vient, quand elle est au bas de sa course, plonger dans du mercure servant de seconde prise au courant et recouvert d'une couche d'eau. Les tiges tricotent donc avec la même différence de phase.

En donnant un grand rayon au bras du vilebrequin, ce qui est mécaniquement facile, on arrive à restreindre la durée du contact.

Un interrupteur à trois tiges, dont la course maximum est de 5^{cm}, donne 100 interruptions par seconde, la dynamo tournant à 2000 tours à la minute. La durée de contact peut être réduite à moins de $\frac{1}{750}$ de seconde.

L'autre extrémité de l'axe de la dynamo peut porter le même système décalé à 60°, ce qui double le nombre des interruptions.

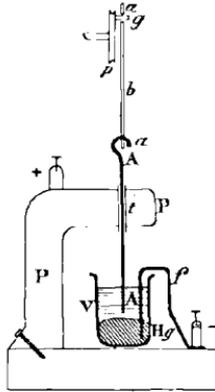
Interrupteur de M. Lacroix. — Cet interrupteur présente l'avantage très appréciable d'être des plus faciles à construire.

(1) GUILLOZ, *Société française de Physique*, 2 décembre 1898.

Un petit moteur rotatif, électrique ou autre, doit assurer le fonctionnement.

Il se compose essentiellement d'un fil de cuivre A (*fig. 58*)

Fig 58.



Interrupteur de M. Lacroix.

de 1^{mm} à $1^{\text{mm}},5$ de diamètre et de 6^{cm} à 8^{cm} de longueur, qui glisse à frottement doux dans un petit tube t de même métal sur une longueur de 4^{cm} environ. Ce tube est solidement fixé à une pièce métallique coudée P qui fait corps avec l'appareil et qui constitue l'un des pôles de l'interrupteur. Le fil, terminé à la partie supérieure par une boucle, est accroché à l'extrémité inférieure d'une bielle b formée d'une lamelle de bois de 5^{cm} à 6^{cm} de longueur, 10^{mm} à 12^{mm} de largeur et 3^{mm} d'épaisseur. Cette bielle de bois b , dont le dessin figure la section longitudinale, est percée d'un second trou a , dans lequel pénètre une goupille g fixée sur le bord d'une poulie p , parallèlement à l'axe de cette poulie. La poulie est fixée à l'extrémité de l'axe du moteur employé et son axe coïncide avec celui du moteur.

Un godet de verre ou de porcelaine V de 80^{cm^3} à 100^{cm^3} de contenance contient du mercure et une couche d'alcool ou d'huile de pétrole. Un conducteur fixe f qui plonge jusqu'au fond du godet constitue le second pôle de l'interrupteur.

Le fonctionnement de l'appareil est fort simple. Le mouvement de rotation de la poulie p imprime, par l'intermédiaire de la bielle très légère mais rigide b , un mouvement alternatif de va-et-vient au fil A qui, grâce au tube-guide t et à la très faible masse de la partie mobile, se meut sans éprouver de vibrations latérales et, par suite, sans provoquer de projections de mercure. Le vase V peut d'ailleurs être fermé par un bouchon laissant passer le fil A .

Il y a avantage à relier le pôle positif de la source utilisée au fil A et le pôle négatif au mercure du vase V . La surface du mercure reste ainsi bien plus longtemps propre. Le fil A , constamment amalgamé, se nettoie automatiquement par le fonctionnement même de l'interrupteur en frottant à l'intérieur du guide t . Le contact entre le fil mobile et le tube de cuivre est d'ailleurs excellent grâce à l'étendue des surfaces de contact.

Pour régler l'interrupteur, on peut faire varier la hauteur du godet au moyen de calles, ou bien encore on peut éloigner plus ou moins la goupille g de l'axe de rotation de la poulie p , grâce à une série de trous s'étageant le long d'un rayon de cette poulie. On fait ainsi varier l'amplitude des oscillations de la bielle et, par suite, celles des allées et venues du fil A .

On peut enfin agir sur la fréquence des interruptions en communiquant à la poulie des vitesses de rotation différentes, ce qui est facile, si l'on dispose d'un moteur électrique, par le jeu convenable d'un rhéostat approprié.

Perfectionnement de M. le Dr Bergonié. — M. le Dr Bergonié qui a fait connaître ⁽¹⁾ cet interrupteur lui a apporté quelques perfectionnements de détails qui en font un appareil de durée.

Le fil A , au lieu d'être terminé par un simple crochet, porte une petite pince a , dont la section suivant l'axe du fil est représentée dans la figure 59, et à l'intérieur de laquelle s'introduit à frottement doux une lamelle d'os ou de corne formant la bielle b . La bielle est assujettie dans la pince au

(1) BERGONIÉ, *Archives d'Électricité médicale*, n° 86, 15 février 1900.

moyen d'une vis v . L'ensemble du fil A et de la bielle, qui constitue la partie mobile de l'interrupteur, représente une masse ne dépassant pas 5^g; si bien qu'aux plus grandes vitesses

Fig. 59.



Bielle de l'interrupteur de M. Lacroix.

imprimées au moteur les vibrations de l'interrupteur sont à peine sensibles, surtout si l'on utilise un moteur tournant sans jeu d'axe. L'interrupteur fonctionne alors très silencieusement.

De plus, le godet V, métallique, est supporté par une tige filetée, ce qui permet de l'élever ou de l'abaisser à la façon des godets de l'interrupteur de Foucault. Une vis de pression maintient le godet à la hauteur convenable. Un couvercle d'ébonite, percé d'un orifice central, ferme le godet.

L'interrupteur de M. Lacroix a pu être utilisé pendant plus d'une année par M. le Dr Bergonié pour la production des rayons Röntgen sans être sujet à aucun dérangement.

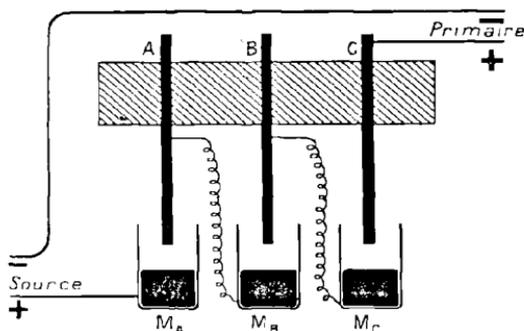
Interrupteur rapide de M. Turpain. — De la rapidité avec laquelle se produit la rupture du primaire d'une bobine d'induction dépend la longueur d'étincelle qu'on peut obtenir, toutes choses égales d'ailleurs, entre les pôles de l'induit. Si l'interruption est assez rapide, on peut même supprimer avec avantage le condensateur de la bobine. C'est ainsi que lord Rayleigh, en coupant le fil du circuit secondaire avec une balle de fusil, a pu supprimer le condensateur et obtenir alors

une étincelle d'induction notablement plus longue que par une interruption ordinaire.

Nous avons pu obtenir des résultats semblables en utilisant la rupture produite à l'aide d'un interrupteur ordinaire. On peut, en combinant convenablement les organes mécaniques d'un interrupteur, arriver à réduire autant qu'on le désire la durée de la rupture.

Considérons trois tiges d'interrupteur A, B, C (*fig. 60*),

Fig 60.



Principe de l'interrupteur rapide de M. Turpain.

plongeant dans trois godets de mercure M_A , M_B , M_C , et reliées entre elles en série (M_A au pôle + de la source, A à M_B , B à M_C , C au primaire de la bobine relié d'autre part au pôle - de la source). Dans ces conditions, si les trois tiges sortent du mercure en même temps, l'arc qui s'établirait pour une différence de potentiel et une intensité données entre une seule tige et son mercure se scinde en trois arcs contemporains présentant chacun une même longueur moindre que celle d'un arc unique. Les tiges étant animées d'un mouvement de vitesse donnée, la durée de l'interruption sera moindre dans le cas de trois tiges reliées en série que dans le cas où l'interruption ne se produit qu'entre une seule tige et son mercure.

Dans la pratique, il est commode de remplacer l'interrupteur à tige par un interrupteur à balais et à contacts tournants. On peut avec avantage employer le cuivre sur cuivre, ou le

charbon sur cuivre, le tout plongeant dans l'huile de vaseline ou dans le pétrole. Il y aurait également avantage, au point de vue des phénomènes de self-induction, à scinder le primaire en autant de tronçons qu'on emploie d'interrupteurs-série et à placer une interruption entre chaque tronçon.

Soient n le nombre d'interruptions-série ainsi réalisé, l_n la longueur maxima de la suite des n arcs qui s'établissent dans l'isolant baignant l'interrupteur, ω la vitesse angulaire de l'interrupteur rotatif, r le rayon du tambour sur lequel les balais interrupteurs frottent, le temps t que dure l'interruption est

$$t = \frac{l_n}{nr\omega}.$$

Pour une valeur donnée du potentiel aux bornes du secondaire, et, par suite, de l'intensité du courant secondaire, $\frac{l_n}{n}$ a une valeur donnée. La durée d'interruption est d'autant plus courte que r et ω sont plus grands.

Pour le cuivre et le charbon dans le pétrole et pour $I = 15$ ampères, $l_n = 6^{\text{mm}}$ (pour $n = 6$). Si $r = 5^{\text{cm}}$, $\omega = 5\pi$,

$$t = \frac{1}{785} \text{ de seconde.}$$

En mettant en œuvre un interrupteur rotatif à six contacts-série tournant à cette vitesse, nous avons pu obtenir, sans condensateur, une étincelle de 18^{cm} entre les pôles d'une bobine qui, utilisée dans les mêmes conditions avec un interrupteur ordinaire et avec condensateur, ne donnait que 12^{cm} à 14^{cm} d'étincelles.

c. Interrupteurs à jet de mercure.

Interrupteur de M. Webster (1). — Une disposition également facile à réaliser est celle indiquée par M. Webster.

A l'aide d'un flacon contenant du mercure et muni à sa base d'une ouverture appropriée, on produit un jet parabolique de

(1) WEBSTER, *American Journal of Science*, t. III, mai 1897.

ce liquide au sein d'une masse d'eau froide constamment renouvelée.

Une pointe métallique portée par un diapason, ou bien encore une étoile métallique montée sur l'axe d'un moteur vient toucher le jet de métal et produire ainsi les interruptions d'un courant qui, traversant le mercure, sort par le diapason ou l'axe du moteur.

On peut, à l'aide de ce dispositif fort simple, interrompre un courant de 20 ampères 50 à 100 fois par seconde. Il est d'ailleurs facile de régler à volonté le régime de cet interrupteur.

Interrupteur de M. Max Lévy ⁽¹⁾. — Un vase cylindrique en verre ou en ébonite (*fig. 61*) contient une couche assez épaisse de mercure (de 5^{cm} à 6^{cm}), au-dessus de laquelle se trouve une couche d'alcool ou d'huile de pétrole. Un couvercle en ébonite *b* est solidement maintenu sur le vase au moyen d'une vis à écrou *p*. Ce couvercle est percé en son centre d'une ouverture qui laisse passer une tige creuse d'ébonite *aa*, disposée suivant l'axe du vase et portant à l'extrémité supérieure une poulie *c* qui permet de communiquer à la tige un mouvement de rotation autour de son axe au moyen d'un moteur électrique ou autre non représenté sur la figure.

L'extrémité de la tige *a* qui plonge dans le vase est munie d'une petite pompe rotative enfermée dans une boîte de fer *d*. Pendant le mouvement, cette pompe élève le mercure de *d* en *f*, de telle sorte que le liquide conducteur s'échappe par le tube effilé *f* et produit au sein du liquide isolant un jet parabolique de mercure qui tombe au fond du vase.

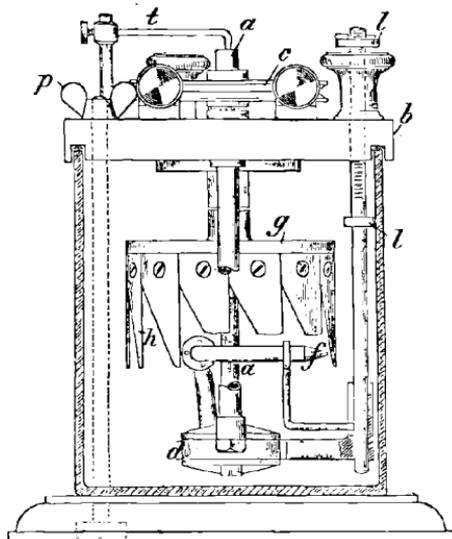
Au milieu de la tige *a* se trouve fixé un disque métallique *g* sur lequel sont vissées douze ou vingt-quatre lames conductrices *h* qui, pendant le mouvement de la tige *a*, sont entraînées avec elles et viennent couper le jet de mercure qui s'échappe de l'ajutage fixe *f*. Le disque *g* communique par un fil conducteur *t* intérieur à la tige creuse *a* avec l'une des

(¹) MAX LÉVY, *Die Elektrizität*, t. IX, 13 janvier 1900, p. 10.

bornes de l'appareil. Ce disque constitue l'un des pôles de l'interrupteur.

L'autre pôle, constitué par le mercure du fond, est relié à la seconde borne par la tige métallique *l*.

Fig. 61.



Interrupteur à jet de mercure de M. Max Lévy.

Le fonctionnement de l'interrupteur se comprend aisément. Chaque fois qu'une des lames *h* vient en contact avec le jet de mercure, le courant traverse l'interrupteur. Il se produit une interruption pendant le temps qui s'écoule entre deux contacts successifs des lames *h* et du jet de mercure.

L'appareil est construit de manière à permettre de changer facilement le disque *g*, qui porte les lames *h*, et de lui substituer un autre disque portant des lames plus ou moins nombreuses ou de formes différentes.

En faisant varier la vitesse de rotation de la poulie, ou bien encore en variant le nombre des lames *h*, on peut augmenter ou diminuer la fréquence des interruptions.

En modifiant la forme des lames qui viennent couper le jet

T.

G

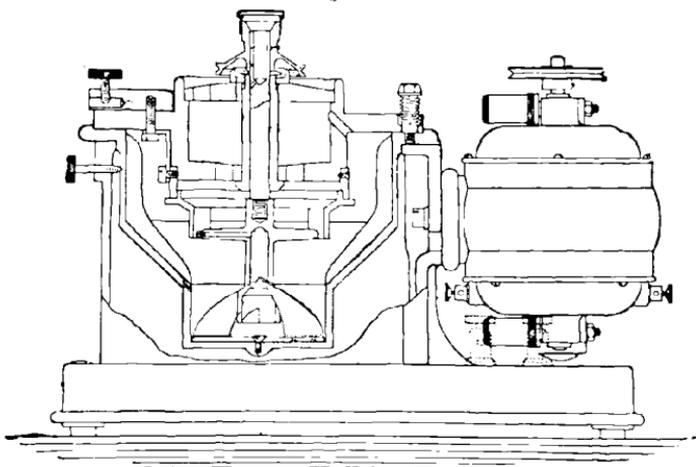
de mercure, de manière que la partie de ces lames sur laquelle frappe le mercure soit plus ou moins large, on peut faire varier le rapport des durées d'ouverture et de fermeture du circuit électrique que commande l'interrupteur.

Le moteur qui actionne l'interrupteur peut lui imprimer une vitesse angulaire de 5 à 17 tours par seconde, ce qui permet, en utilisant un disque de 24 lames, d'obtenir des fréquences d'interruptions variant entre 120 et 400 par seconde.

Suivant M. Max Lévy, les étincelles obtenues à l'aide d'une bobine d'induction desservie par cet interrupteur sont bien plus longues, toutes choses égales d'ailleurs, qu'avec l'interrupteur de Foucault.

Interrupteur de l'A. E. G. — Dans cet appareil (*fig. 62*),

Fig. 62.



Interrupteur de l'A. E. G.

une petite turbine, dont l'axe est vertical, pompe le mercure contenu dans une cuve en fonte. Le mercure monte, dans l'arbre creux de la turbine, jusqu'à un disque horizontal où il rencontre un ajutage; il sort de là, projeté par la force centrifuge, sous forme d'un jet fin et rigide. Ce filet de mercure rencontre en tournant les dents d'un anneau de fonte sus-

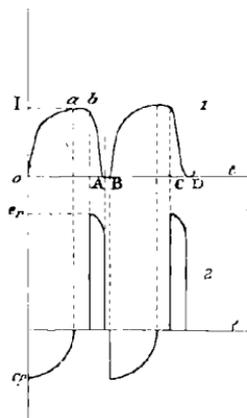
pendu dans la cuve et isolé électriquement de celle-ci. Quand le filet de mercure tombe sur une des dents, le circuit est fermé; il est ouvert quand le filet tombe dans l'intervalle de deux dents consécutives. Les interruptions sont très franches, de même que le contact s'établit bien. La fréquence des interruptions peut être augmentée facilement : il suffit de remplacer la couronne dentée par une autre ayant un plus grand nombre de dents. La turbine est actionnée par un petit moteur électrique qu'on voit sur le côté, ou par une manivelle tournée à la main. Il y a lieu de remarquer que cet interrupteur ne fonctionne pas à une faible fréquence, la turbine ne s'amorçant pas au-dessous d'une certaine vitesse. La cuve est naturellement remplie d'un liquide isolant; celui qui paraît préférable dans cet appareil, c'est l'alcool. Cet interrupteur pulvérise fortement le mercure, mais l'inconvénient est assez faible, puisque la turbine puise toujours le mercure homogène au fond de la cuve. Les deux ailettes hélicoïdales qu'on voit sur la figure au bas de l'axe, ont pour but d'empêcher la masse de mercure de prendre un mouvement de rotation continue qui désamorcerait la turbine. Une conséquence évidente du principe de cet interrupteur, c'est que l'arrêt, accidentel ou volontaire, de la turbine, coupe immédiatement le circuit; cette particularité permet de supprimer le rhéostat qu'on met généralement sur le circuit de la bobine pour éviter l'élévation anormale de l'intensité en cas d'arrêt.

REMARQUES. — Lorsqu'on utilise un des interrupteurs que nous venons de passer en revue pour faire fonctionner une bobine d'induction, les forces électromotrices induites lors du passage et lors de l'interruption du courant primaire ne sont pas égales en valeur absolue.

La courbe 1 de la figure 63 indique les valeurs successives que prend en fonction du temps l'intensité du courant inducteur dans le circuit primaire par le jeu même de l'interrupteur. Chaque accession du courant dans le circuit inducteur dure un intervalle de temps τ représenté par OA, BC, Pendant chacun de ces intervalles de temps, l'intensité du courant croît rapidement jusqu'à sa valeur maxima I. L'inten-

sité conserve cette valeur pendant le temps que dure le contact des deux conducteurs qui produisent l'interruption, puis elle décroît rapidement au moment de l'interruption. Ces trois phases qui se succèdent pendant l'intervalle de temps \mathcal{C} sont

Fig. 63.



Courbes représentatives de l'intensité du courant inducteur et des forces électromotrices induites dans le circuit secondaire par le jeu d'un interrupteur ordinaire à trembleur.

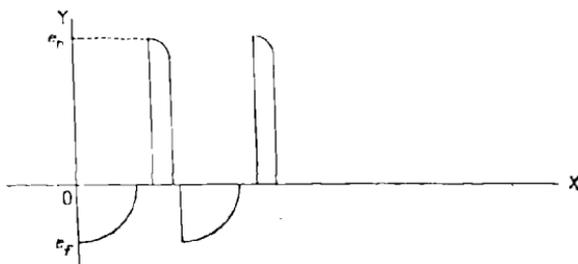
respectivement représentées par Oa , ab , bA . Chaque interruption du courant se produit pendant un intervalle de temps \mathcal{C} représenté par AB , CD , ...

Si, au moyen de cette courbe, on construit celle des forces électromotrices induites dans le circuit secondaire en fonction du temps, on obtient la courbe 2 de la figure 63, dans laquelle e_f désigne la force électromotrice induite à la fermeture du circuit primaire et e_r celle induite lors de la rupture du même circuit. Ainsi que l'indique cette seconde courbe (fig. 64), la différence entre ces deux forces électromotrices induites est, dans la plupart des cas, considérable ($e_f = 2,5 e_r$). Cette différence n'est pas sans présenter des inconvénients nombreux pour les usages des bobines d'induction.

M. V. Crémieu s'est proposé d'obvier à ces inconvénients par l'emploi de l'interrupteur que nous allons décrire et que,

par suite même du but qu'il atteint, nous avons cru devoir mettre à part dans la description faite ci-dessus des divers interrupteurs du genre Foucault.

Fig. 64.



Courbe représentative des forces électromotrices induites dans le circuit secondaire par le jeu d'un interrupteur ordinaire à trembleur.

Interrupteur-inverseur de M. V. Crémieu ⁽¹⁾. — L'interrupteur imaginé par M. Crémieu présente l'avantage de changer après chaque interruption le sens du courant envoyé dans le circuit primaire de la bobine d'induction.

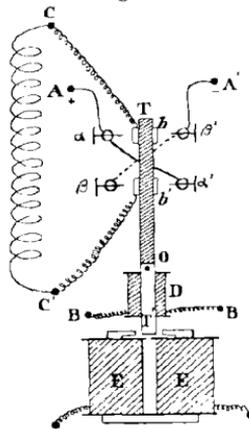
La partie essentielle de l'interrupteur comprend une tige T en matière isolante (ébonite), mobile autour d'un axe O perpendiculaire au plan de la figure 65. Cette tige porte deux bagues b, b' en platine, qui y sont fixées et viennent rencontrer, lorsque la tige oscille autour de O, soit les deux butoirs α , β , soit les deux butoirs α' , β' . Ces butoirs sont reliés deux à deux, en croix, de manière que les butoirs α et α' communiquent entre eux et par la borne A avec le pôle positif de la source d'électricité employée; β et β' sont reliés tous deux au pôle négatif de cette source par la borne A'. Les bagues b, b' sont d'ailleurs mises en relation par des fils souples avec les bornes C, C' entre lesquelles on introduit le circuit primaire de la bobine d'induction.

Quant à la mise en mouvement de la tige T, elle est réalisée d'une manière fort ingénieuse. Un électro-aimant EE est par-

(¹) V. CRÉMIEU, *Société française de Physique*, 4 février 1908.

couru par un courant alternatif. Entre les pôles de cet électro-aimant peut se déplacer une tige T' en fer, qui fait corps avec la tige isolante T et la prolonge. Une polarité magnétique

Fig. 65.



Interrupteur de M. Crémieu.

déterminée est donnée à l'extrémité T' au moyen d'une petite bobine D dont le fil est parcouru par un courant continu. Quand le courant alternatif parcourt E, E , la tige T' prend, ainsi que la tige T qui en est solidaire, un mouvement de vibration autour de l'axe O , mouvement dont la période est égale à celle du courant alternatif.

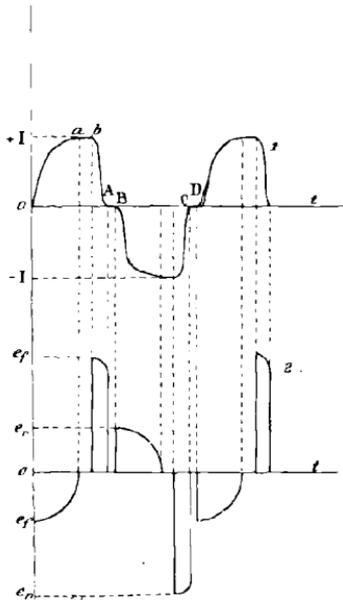
Lorsque la tige isolante T' porte les bagues b, b' sur les butoirs α et β , le courant de la source employée suit le chemin $A\alpha bCC'b'\beta A'$; le circuit primaire inséré entre C et C' est donc parcouru par le courant dans le sens allant de C vers C' .

Lorsque, au contact suivant, la tige T' porte les bagues b, b' sur les butoirs α' et β' , le courant de la source suit le chemin $A\alpha'b'C'b\beta'A'$ et, par suite, le courant parcourt le circuit primaire dans le sens allant de C' vers C , c'est-à-dire dans un sens contraire au précédent.

On voit alors que l'intensité du courant envoyé dans le circuit primaire, ainsi que les forces électromotrices induites dans le circuit secondaire, seront représentées en fonction du

temps par les courbes 1 et 2 de la figure 66. Les forces électromotrices induites de sens inverses vont être la somme de deux

Fig. 66.



Courbes représentatives de l'intensité du courant inducteur et des forces électromotrices induites dans le circuit secondaire par le jeu de l'interrupteur de M. Crémieu.

quantités toujours les mêmes et de mêmes signes; elles seront donc égales en valeur absolue.

Lorsqu'on utilise des courants intenses, il est bon de disposer l'interrupteur au sein d'un liquide isolant.

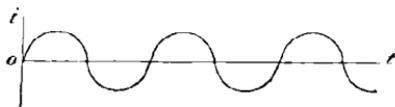
En définitive, on peut dire que l'interrupteur fonctionnerait un interrupteur de Foucault au commutateur-inverseur duquel on imprimerait une rotation d'un demi-tour pendant le temps de chaque interruption.

Si l'on utilise, comme source d'électricité, une distribution à courants alternatifs, dont une dérivation excite l'électro-aimant EE, en reliant les deux bornes C, C' aux deux pôles du

courant alternatif (représenté par la courbe de la figure 67), on recueille entre les bornes A, A', un courant alternatif redressé (représenté par la courbe de la figure 68).

Dans ce cas, il faut éviter que les ruptures successives se produisent au moment où la force électromotrice périodique

Fig. 67.



Courbe représentative de l'intensité d'un courant alternatif.

atteint sa valeur maximum. M. V. Crémieu a imaginé une disposition très simple permettant de produire ces ruptures au moment même où cette force électromotrice est nulle.

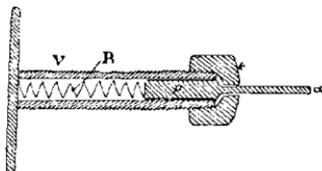
Fig. 68.



Courbe représentative de l'intensité du courant alternatif redressé obtenu par l'emploi de l'interrupteur de M. Crémieu.

Les butoirs α , α' , β , β' sont constitués chacun par une vis V (fig. 69), filetée sur la surface extérieure d'un tube creux, à l'intérieur duquel peut se mouvoir, à frottement doux, un petit

Fig. 69.



Détails d'un butoir de contact de l'interrupteur de M. Crémieu.

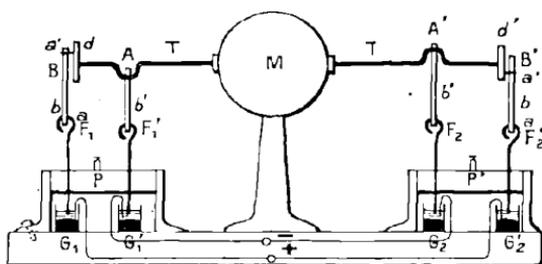
piston p auquel est soudée la pointe de platine α formant le butoir. Un ressort à boudin très doux R, logé dans le tube,

appuie le piston p contre l'écrou e qui le maintient dans le tube.

Lorsque la tige T' est au repos, au milieu de l'espace compris entre les pièces polaires de l'électro-aimant EE , on règle les vis V de manière que les quatre butoirs $\alpha, \beta, \alpha', \beta'$ viennent toucher sans pression les bagues b, b' . Dès que la tige TT' oscille, les bagues se portent alternativement à droite et à gauche, repoussant α et β en quittant α' et β' , puis repoussant α' et β' en quittant α et β , et ainsi de suite. Comme la tige TT' passe par sa position de repos au moment même où la force électromotrice du courant alternatif qui excite EE est nulle et que les ruptures ont lieu à cet instant, on voit qu'il n'y aura entre les bagues et les butoirs que des étincelles pratiquement très faibles.

Interrupteur-inverseur de M. Turpain. — Nous avons été amené, au cours de nos recherches sur les oscillations électriques, à faire usage d'un interrupteur-inverseur analogue à celui de M. Crémieu, et la manière très simple dont nous l'avons réalisé, à la portée de tout expérimentateur un peu

Fig. 70.



Interrupteur-inverseur de M. Turpain.

habile et le moindrement outillé, nous engage à en publier la description. Nous devons dire, d'ailleurs, que cette construction nous a été inspirée par la description de l'interrupteur de M. Lacroix (*voir* p. 75).

Un petit moteur électrique M (*fig.* 70) imprime à une tige

cylindrique TT un mouvement de rotation autour de son axe. Cette tige porte à ses extrémités BB' ainsi qu'aux régions AA' , où elle est coudée quatre fois à angle droit, quatre petites broches faites d'un fil de cuivre F_1, F'_1, F_2, F'_2 , qui sont guidées par des trous d'un diamètre un peu supérieur, percés dans des pièces de fer PP' solidement assujetties et dans lesquelles elles sont introduites.

Les broches F_1, F'_2 correspondant aux extrémités BB' de la tige T , sont reliées à cette tige par une petite bielle faite d'une mince lame de bois b , fixée en a à la broche et en a' à un excentrique porté par un disque d .

Les broches F'_1, F_2 correspondant aux régions AA' sont également liées à la tige T par de petites bielles b' faites de matière isolante.

Les choses sont disposées de manière que les deux tiges F_1, F_2 se trouvent au point le plus haut de leur course lorsque les deux tiges F'_1, F'_2 sont au point le plus bas et *vice versa*.

Ces tiges plongent dans quatre godets G_1, G'_1, G_2, G'_2 contenant du mercure recouvert d'huile de pétrole. Les godets G_1, G'_2 sont reliés entre eux et à la borne $+$; les godets G'_1, G_2 sont reliés entre eux et à la borne $-$. La pièce de fer P supporte une borne P ; la pièce de fer P' supporte une borne P' .

On relie la borne $+$ au pôle positif de la source d'électricité et la borne $-$ au pôle négatif. L'une des extrémités de l'inducteur de la bobine est reliée à la borne P , la seconde extrémité de l'inducteur est reliée à la borne P' .

Les contacts étant ainsi assurés, il est facile de voir que, lorsque l'interrupteur fonctionnera par le jeu du moteur M , le courant de la source sera successivement envoyé dans l'inducteur dans un sens, puis dans l'autre après chaque interruption successive.

M . de Rochefort a bien voulu nous établir un modèle de l'interrupteur-inverseur que nous venons de décrire, en le faisant profiter de l'avantage que possèdent les interrupteurs Rochefort d'être muni d'une tige mobile qui se guide d'elle-même au sein du mercure dans lequel elle plonge.

Très ingénieusement, il est parvenu à construire un sem-

blable interrupteur en n'employant qu'un seul godet à mercure au lieu de quatre, c'est-à-dire une seule tige mobile. Cette simplification est d'autant plus importante qu'elle présente le grand avantage de ne nécessiter, pour l'entretien de la bobine d'induction, qu'un seul condensateur au lieu de deux que nécessitait l'interrupteur à quatre tiges. M. de Rochefort arrive à n'employer qu'une seule tige en construisant un appareil qui n'est autre qu'un interrupteur Foucault, au commutateur-inverseur duquel on fait subir une rotation de 180° entre chaque interruption. L'axe du moteur qui entretient en vibration la tige de l'interrupteur porte la partie mobile du commutateur-inverseur dont sont, en général, munis les interrupteurs du genre Foucault, de telle sorte que, entre chaque plongée de la tige dans le mercure, les connexions de l'appareil avec les pôles de la source sont interverties et le résultat désiré est obtenu : le courant qui parcourt l'inducteur de la bobine d'induction change de sens après chaque interruption.

INTERRUPTEURS DU GENRE WEHNELT.

Tous les interrupteurs que nous venons de décrire présentent, comme l'interrupteur de Foucault, l'inconvénient de nécessiter un nettoyage fréquent. Sous l'influence de l'étincelle de rupture, le mercure et l'huile ou l'alcool qui le couvrent forment ensemble une sorte de magma qui empêche bientôt l'interrupteur de fonctionner.

L'empâtement de la tige interruptrice se produit d'autant plus rapidement que le courant employé est plus intense.

L'entretien pendant longtemps d'une bobine d'induction avec un courant dépassant 15 ampères devient donc assez pénible.

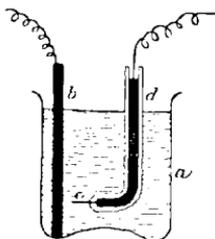
Interrupteur de M. Wehnelt (1). — M. Wehnelt a imaginé un interrupteur dont le succès doit être rapporté tant à la

(1) WEHNELT, *Wiedemann's Annalen*, t. LVIII, 1899, p. 233.

grande simplicité de construction qu'il présente qu'à la commodité de son usage.

Il se compose de deux électrodes qui plongent dans un vase *a* contenant de l'eau acidulée au $\frac{1}{10}$ par l'acide sulfurique (fig. 71). L'une des électrodes *b* présente une grande surface;

Fig. 71.



Interrupteur de M. Wehnelt.

on la constitue par une large lame de plomb. L'autre électrode doit, au contraire, présenter la plus petite surface possible; on la forme d'un fil de platine *c* soudé à l'extrémité d'un tube de verre *d* rempli de mercure. L'électrode de large surface doit être reliée au pôle négatif de la source d'électricité utilisée; l'électrode filiforme, au pôle positif.

Dans ces conditions, et si la source utilisée présente un voltage assez élevé (50 volts au minimum), une série d'interruptions rapides se produit au voisinage du fil de platine, au sein du liquide.

Le nombre des interruptions par seconde varie avec la longueur et le diamètre du fil de platine employé, et aussi avec la nature du liquide dans lequel plongent les électrodes. Il égale en moyenne 500 à 600 et peut atteindre 800.

En employant comme liquide une dissolution de 10 parties de bichromate de potassium et 10 parties d'acide sulfurique dans 100 parties d'eau, on réalise un interrupteur fonctionnant avec une très grande régularité.

En général, on fixe le fil de platine à l'extrémité d'un tube de verre auquel il est soudé et qui plonge dans le liquide employé. Le tube est rempli de mercure par l'intermédiaire

duquel l'interrupteur est intercalé dans le circuit du primaire de la bobine actionnée.

Cette disposition offre un inconvénient. Pour que l'interrupteur fonctionne régulièrement, il est nécessaire que le fil de platine ne soit pas trop long; il ne doit pas excéder 1^{mm},5. Si le fil de platine est trop long, l'électrolyse se produit et l'interrupteur ne fonctionne pas, ou bien encore si le fil est un peu fin et le courant employé intense, le fil rougit, le liquide se caléfie autour du fil et le courant cesse de passer. Par contre, lorsque le fil de platine est assez court, le dégagement de chaleur que le passage du courant produit provoque au bout de peu de temps la rupture d'un tube de verre dans la région même occupée par la soudure. On peut retarder la rupture en protégeant la soudure par une couche de mastic Golaz, mais le mastic est à la longue attaqué par le liquide acide.

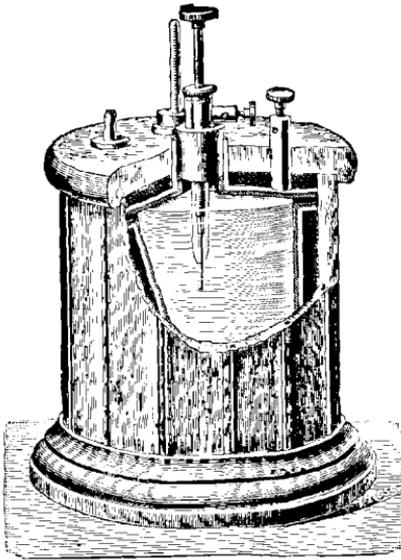
Dispositifs divers de l'électrode active. — On voit donc qu'il y a avantage à pouvoir faire varier la longueur du fil de platine qui constitue l'électrode active de l'interrupteur de M. Wehnelt. A cet effet, un certain nombre de dispositifs ont été imaginés. Nous décrivons celui réalisé par M. Carpentier.

Dispositif de M. Carpentier. — L'électrode active est supportée par le couvercle du vase de l'interrupteur (*fig. 72*); elle est rendue réglable par le mouvement d'une vis en plomb à laquelle est soudé le fil de platine. Cette vis est entourée d'un tube de verre qui laisse passer, à frottement doux, par un petit trou le fil de platine. La figure 73 représente cette électrode active, l'anode.

Lorsqu'on dispose d'un faible voltage (15 à 20 volts environ), l'interrupteur de M. Wehnelt fonctionne mieux lorsque le liquide est à une température élevée. Aussi M. Carpentier, pour permettre l'usage de l'interrupteur avec une source de faible voltage, rend-il commode l'élévation de température du liquide qui baigne le fil de platine. Afin d'éviter le refroidissement du liquide, le vase de plomb formant cathode est entouré d'une enveloppe en feutre et d'une seconde enveloppe en

bois. Pour mettre en marche l'appareil, on remplit le vase d'eau acidulée chauffée vers 90°, ou bien encore on chauffe le liquide en faisant tout d'abord fonctionner l'interrupteur avec une source de 100 à 120 volts et un courant de 12 à 15 ampères.

Fig. 72.



Interrupteur Wehnelt.
Modèle de M. Carpentier.

Fig. 73.



Électrode active
de l'interrupteur Wehnelt.
Dispositif de M. Carpentier.

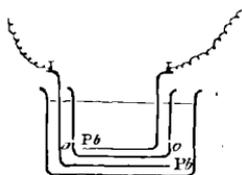
Au bout de quelques minutes, la température est assez élevée pour que l'interrupteur fonctionne à bas voltage. Cette température se maintient ensuite par le jeu même de l'appareil.

Formes diverses de l'interrupteur de Wehnelt — Les divers dispositifs que nous venons d'indiquer ayant pour but de remplacer la soudure du fil de platine au tube de verre, font pour la plupart, perdre à l'interrupteur de Wehnelt un de ses principaux avantages, qui consiste dans la simplicité de sa construction.

Interrupteur de M. Simon ⁽¹⁾, de *M. Caldwell* ⁽²⁾. — M. Caldwell et M. Simon ont imaginé, presque simultanément, une variante de l'interrupteur de M. Wehnelt qui, sans en compliquer la construction, lui assure une durée presque illimitée.

Au lieu d'employer une électrode filiforme et une électrode à large surface, on prend deux électrodes à large surface, deux lames de plomb par exemple. Deux vases d'inégales grandeurs sont placés l'un dans l'autre et contiennent chacun une des lames de plomb. Ils sont remplis d'eau acidulée au $\frac{1}{10}$ par l'acide sulfurique. Le vase intérieur (*fig. 74*) communique

Fig. 74.



Interrupteur Wehnelt à orifices.

avec le vase extérieur par un ou plusieurs orifices *o, o*, obtenus en perçant dans la paroi de petits trous de moins de 1^{mm},5 de diamètre.

C'est au voisinage immédiat de ces orifices que les interruptions se produisent.

M. Simon emploie une cuve de verre (*fig. 75*) partagée en deux compartiments par une cloison dans l'épaisseur de laquelle sont pratiqués les orifices.

On peut encore prendre une cuve en plomb (*fig. 76*) qui forme l'une des électrodes; l'autre électrode, constituée par une lame de plomb, est contenue dans un tube à essai percé d'un trou de 0^{mm},5 à 1^{mm} de diamètre et plongeant dans la cuve.

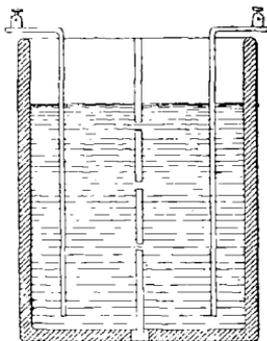
M. Wehnelt utilise une cuve de verre *A* (*fig. 77*) dans laquelle plonge une électrode à large surface *D* et un tube à

⁽¹⁾ SIMON, *Wiedemann's Annalen*, t. LXVIII, 8 août 1899, p. 860.

⁽²⁾ CALDWELL, *The Electrical Review*, t. XLIV, mai 1899, p. 837.

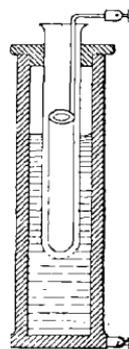
glucose B percé latéralement d'un trou et renfermant la seconde électrode à large surface C.

Fig. 75.



Interrupteur à orifices
de M. Simon.

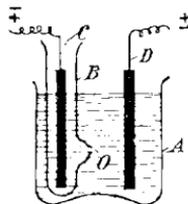
Fig. 76.



Interrupteur à orifices
à vase extérieur formant électrode.

M. Caldwell constitue l'interrupteur par un tube à glucose B (*fig. 78*) dont le fond est percé d'un trou E de 3^{mm} de diamètre.

Fig. 77.



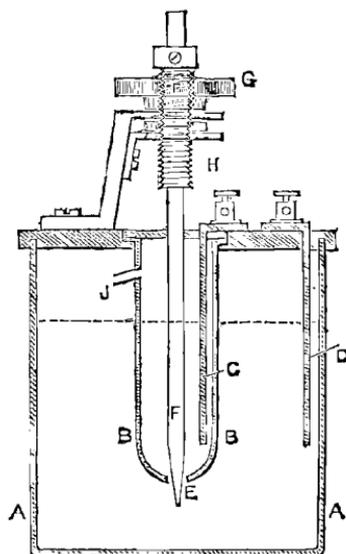
Interrupteur à orifices de M. Wehnelt.

Ce tube contient une lame de plomb C disposée à l'intérieur d'un vase A qui reçoit la seconde électrode D. Une tige de verre conique F peut être graduellement enfoncée dans le trou du tube à glucose. On peut ainsi à volonté faire varier, par la manœuvre du bouton G qui commande la vis H, la grandeur de l'orifice qui met en communication les deux vases.

On peut encore plus simplement disposer à l'intérieur l'un

de l'autre deux cristallisoirs d'inégales grandeurs contenant chacun une des lames de plomb et dont le plus petit est percé d'un certain nombre de trous.

Fig. 78.



Interrupteur à orifices de M. Caldwell.

En pratiquant plusieurs orifices dans la paroi du vase intérieur, on augmente ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, l'intensité du courant qui traverse l'interrupteur.

L'intensité du courant croît pour un même nombre d'orifices avec le diamètre de ces orifices. Ce diamètre doit être inférieur à 2^{mm} pour que l'interrupteur fonctionne.

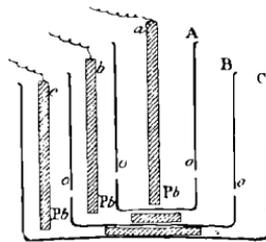
Il y a avantage à constituer un interrupteur par le plus grand nombre possible d'orifices du plus petit diamètre possible. A l'usage, en effet, les trous augmentent peu à peu de diamètre.

On peut graduer l'interrupteur en le constituant par toute une série de tubes à essais percés chacun d'un trou et disposés en couronne dans le même vase. En introduisant suc-

cessivement dans le circuit chacun des tubes, on augmente, à volonté, le nombre d'orifices de l'interrupteur et, toutes choses égales d'ailleurs, l'intensité du courant envoyé dans la bobine d'induction. L'usage de tubes à essais ne convient, toutefois, que pour de faibles intensités de courant ne dépassant pas 6 à 8 ampères.

On peut encore constituer un interrupteur susceptible de fonctionner avec des différences de potentiel variables ⁽¹⁾. On dispose pour cela à l'intérieur les uns des autres trois vases A, B, C (*fig. 79*), de grandeurs différentes, dont les deux plus petits sont percés de trous et qui contiennent chacun une électrode formée par une lame de plomb. Si le plus petit vase A est percé de trois trous et le vase moyen B de six trous, on peut indifféremment faire fonctionner cet interrupteur avec 50, 120 et 240 volts, sans autre résistance introduite dans

Fig. 79.



Interrupteur à orifices à trois électrodes fonctionnant avec des différences de potentiel variables.

le circuit que celle de la bobine actionnée.

Avec 50 volts, on fonctionne en employant l'électrode intérieure *a* et l'électrode médiane *b*; avec 120 volts, on utilise l'électrode médiane *b* et l'électrode extérieure *c*; avec 240 volts, on oblige le courant à traverser les deux vases intérieurs en prenant comme pôles de l'interrupteur l'électrode intérieure *a* et l'électrode extérieure *c*.

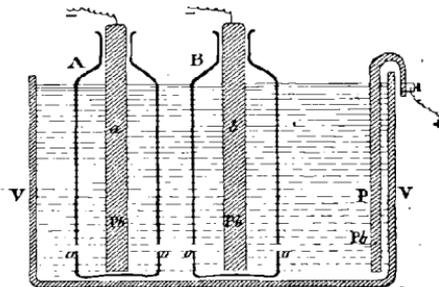
(¹) A. TURPAIN, *Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 25 janvier 1900.

En opérant de cette manière, malgré la variété des chutes de potentiel employées, l'intensité du courant utilisé ne dépasse pas 10 à 12 ampères.

Lorsqu'on utilise des courants très intenses il y a avantage à augmenter la masse de liquide employée afin que l'échauffement produit par le fonctionnement de l'interrupteur soit assez faible. Au lieu de cristallisoirs on peut employer deux seaux de verre rentrant l'un dans l'autre.

Un dispositif commode à réaliser et qui constitue un interrupteur durable consiste à disposer à l'intérieur d'un bac d'accumulateur en verre V une série de trois ou quatre flacons à col étroit (de 750^{cm} à 1 litre de capacité) percés chacun de deux ou trois trous au voisinage du fond. Chacun des flacons A, B, ... (fig. 80) contient une électrode *a*, *b*, ... formée d'une lame de plomb. L'une des parois du bac est également recouverte d'une lame de plomb P qui constitue le pôle fixe de l'interrupteur.

Fig. 80.



Interrupteur à orifices à grande masse liquide.

Le bac est rempli d'eau acidulée au dixième.

Si l'on a ainsi réuni dans le même bac plusieurs flacons ayant servi d'interrupteurs pendant plus ou moins longtemps, comme les trous dont ils sont munis se sont plus ou moins agrandis par l'usage, on dispose en réalité d'une série d'interrupteurs réunis dans le même vase et exigeant pour fonctionner des intensités de courant variables de l'un à l'autre.

On prendra donc pour second pôle de l'interrupteur l'une des lames *a*, *b*, *c*, ... suivant l'intensité du courant que l'on

désire utiliser. On peut même réunir deux ou plusieurs des lames intérieures aux flacons pour constituer le second pôle de l'appareil.

La grande masse de liquide que contient le bac (10^l à 15^l) empêche que la température de l'interrupteur s'élève d'une manière notable malgré un fonctionnement de l'appareil de longue durée.

On obtient une très grande régularité en employant comme liquide une dissolution de sulfate de cuivre; on peut alors constituer les deux électrodes par deux lames de cuivre. Il est nécessaire d'aciduler la solution par l'acide sulfurique pour diminuer la résistance du liquide.

Fonctionnement de l'interrupteur de Wehnelt. — L'interrupteur de Wehnelt ne fonctionne d'une manière convenable que si la source d'électricité employée présente une différence de potentiel notable (50 à 60 volts au minimum). Il peut très commodément être employé lorsqu'on dispose du courant d'un secteur de distribution qui présente une différence de potentiel de 110 ou 120 volts en général.

Comme on l'a vu précédemment, il peut encore fonctionner avec une source d'électricité de faible voltage, mais il faut alors élever la température du liquide acide qui baigne les électrodes.

Les très nombreuses études de l'interrupteur de Wehnelt qui ont suivi son apparition montrent que l'interruption ne doit pas être attribuée au phénomène de l'électrolyse. On recueille en effet, pendant le fonctionnement, au voisinage de l'électrode filiforme active (au voisinage des trous, dans le type d'interrupteur Simon-Caldwell), un mélange de gaz hydrogène et oxygène.

Dans l'interrupteur de Wehnelt à électrode filiforme, on recueille au voisinage du fil de l'oxygène tant qu'il y a électrolyse et que l'interrupteur ne fonctionne pas. Dès que l'interrupteur fonctionne, c'est un mélange détonant d'oxygène et d'hydrogène qui se dégage au voisinage du fil.

Dans l'interrupteur de Wehnelt à orifices, avant le fonctionnement aucun dégagement gazeux n'a lieu au voisinage des

trous; l'anode dégage de l'oxygène, la cathode de l'hydrogène. Dès que l'interrupteur fonctionne, on recueille au voisinage des orifices, qui deviennent lumineux, un mélange détonant.

Si l'on étudie un interrupteur à orifices dont les électrodes sont constituées par des lames de cuivre et dont le liquide est une dissolution de sulfate de cuivre, on recueille pendant le fonctionnement, au voisinage des trous, un mélange détonant. De même un interrupteur de Wehnelt à fil de cuivre et à sulfate de cuivre donne lieu, pendant son fonctionnement, au dégagement d'un mélange détonant d'hydrogène et d'oxygène au voisinage du fil de cuivre. Dans les deux sortes d'interrupteurs, avant qu'on ait atteint l'intensité convenant au fonctionnement, il se produit un transport de cuivre d'une électrode à l'autre. Ces observations mettent donc bien hors de doute le fait que l'électrolyse ne joue aucun rôle dans le fonctionnement de l'interrupteur de Wehnelt à fil ou à orifices.

M. Rothé ⁽¹⁾ a montré que, lorsqu'on augmente graduellement l'intensité du courant qui traverse l'interrupteur, on constate trois régimes successifs.

Un premier régime, pendant lequel l'électrolyse a lieu et qui persiste depuis de faibles intensités (3 à 4 ampères) jusqu'à 11,5 ampères. L'appareil ne peut dans ces conditions fonctionner comme interrupteur.

Si l'on cherche à augmenter l'intensité du courant, par une diminution de la résistance du circuit, l'intensité tombe subitement de 11,5 ampères à 2,5 ampères. Ce second régime, à faible intensité, est variable; l'aiguille de l'ampèremètre indique des variations d'intensité. Une fois ce régime atteint, on peut augmenter ou diminuer considérablement la résistance sans qu'il soit modifié.

Il n'est donc pas indifférent de fermer le circuit directement sur une grande résistance ou de le fermer sur une résistance très faible que l'on augmente ensuite pendant que le courant circule.

L'étude du dégagement gazeux pendant ce second régime

(¹) E. ROTHÉ, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 30 octobre 1899.

montre que ce sont les variations de la gaine de gaz qui produisent les variations de l'intensité du courant, mais elles sont trop faibles et trop lentes pour que l'anode de platine constitue un interrupteur de courant.

Dans ce cas, ainsi que l'a montré M. Pellat ⁽¹⁾ dans l'étude qu'il a faite de l'interrupteur de Wehnelt, on peut, grâce à la stabilité de ce régime, introduire sans le modifier une self-induction dans le circuit (le primaire d'une bobine d'induction, par exemple), et l'on ne constate aux bornes de l'induit aucune étincelle appréciable.

Si, au contraire, la self-induction est placée dans le circuit avant la fermeture du courant, l'intensité moyenne du régime variable qui s'établit peut atteindre une intensité très notable qui dans les expériences de M. Pellat ⁽²⁾ a atteint jusqu'à 30 ampères environ. C'est ce troisième régime à grande intensité moyenne qui constitue le régime normal d'interruption.

Irrégularités des interruptions. — MM. R. Federico et P. Baccei ⁽³⁾ ont étudié par une méthode des plus ingénieuses les durées successives des interruptions et des établissements du courant dans un circuit comprenant un interrupteur de Wehnelt. Ils ont utilisé pour cette étude le phénomène de la polarisation rotatoire magnétique.

Cet interrupteur est constitué par un tube de verre C (*fig.* 81) de 2^{cm} de diamètre, muni à ses deux extrémités de garniture en laiton. La monture supérieure T porte l'électrode active, fil de platine F de 0^{mm},2 de diamètre, et de 15^{mm} de longueur. La monture inférieure supporte une lame de plomb enroulée en spirale et présentant une surface de 10^{cm}².

Le même circuit comprend l'enroulement primaire d'une bobine d'induction pouvant donner 15^{mm} d'étincelle, un solénoïde S (*fig.* 82) formé de plusieurs couches de gros fil de

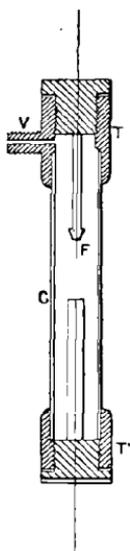
⁽¹⁾ H. PELLAT, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 27 mars 1899.

⁽²⁾ *Id.*, 20 mars 1899.

⁽³⁾ R. FEDERICO et P. BACCETI, *Rendiconti della Reale Accademia dei Lincei*, t. VIII, 17 décembre 1899, p. 347

cuiivre enroulé sur un tube de verre CC et l'interrupteur à étudier.

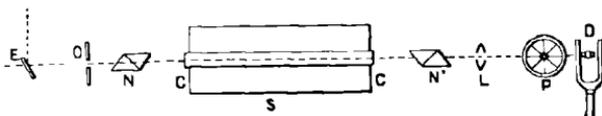
Fig. 81.



Dispositif d'interrupteur Wehnelt de MM. Federico et Baccei.

Le tube de verre CC qui sert de support au solénoïde S est rempli de sulfure de carbone. Un faisceau lumineux envoyé

Fig. 82.



Dispositif de MM. Federico et Baccei pour étudier les irrégularités des interruptions de l'interrupteur Wehnelt.

par un héliostat E est dirigé suivant l'axe du tube CC et traverse ainsi le sulfure de carbone placé entre deux nicols N, N'. Ce faisceau lumineux est concentré par la lentille L sur un rouleau de pellicule photographique P, mis en mouvement

par un moteur électrique qui communique au rouleau une vitesse angulaire de 40 tours par seconde.

Les nicols étant à l'extinction, aucune impression lumineuse n'est produite sur la pellicule photographique si aucun courant ne parcourt le solénoïde S. Dès que l'interrupteur fonctionne, un courant périodiquement interrompu traverse le solénoïde; il s'ensuit un passage périodique de la lumière à travers les nicols qui produit une impression périodique de la pellicule photographique. Au développement, la pellicule offre une série de traces noires correspondant au passage du courant dans le circuit, alternant avec des régions dégradées correspondant aux interruptions du courant.

Il est donc facile par l'observation de la pellicule développée d'évaluer les intervalles de temps qu'ont duré les interruptions successives.

On constate que, jusqu'au moment de l'interruption, l'intensité du courant reste sensiblement constante, puis elle décroît rapidement sans s'annuler complètement. La durée des interruptions est assez constante. Au contraire l'intervalle de temps séparant deux interruptions est très variable. En moyenne, le temps pendant lequel le courant est interrompu est $\frac{1}{6}$ de celui qui s'écoule entre deux interruptions successives.

MM. R. Federico et P. Baccei ont étudié l'influence du magnétisme sur le fonctionnement de l'interrupteur. Ils ont fait agir un champ de 12000 unités C.G.S. et n'ont pas constaté de changement appréciable dans la fréquence des interruptions, mais le fonctionnement de l'interrupteur est plus irrégulier dans ce cas que si l'appareil est soustrait à l'action du champ.

L'influence de la nature du liquide employé comme électrolyte a également été étudié par cette méthode. On a comparé à la dissolution d'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$ une dissolution de bichromate de potassium et d'acide sulfurique renfermant 10^{es} de chacune des substances dans 100^{es} d'eau.

Comme le montre le Tableau suivant, la fréquence des interruptions est plus grande avec la dissolution de bichromate de potassium qu'avec l'eau acidulée, pour une même intensité de courant et une même force électromotrice.

	Solution de bichromate.		Solution acidulée.	
Différence de potentiel aux bornes de l'interrupteur.....	38 volts	59 volts	34 volts	47 volts
Intensité du courant...	5 amp.	5,3 amp.	5,3 amp.	6 amp.
Fréquence par seconde.	820	940	580	620

On constate également que, pendant le fonctionnement de l'interrupteur, l'agitation du liquide bichromaté est très faible; la solution reste limpide et le dégagement gazeux se montre régulier. L'échauffement du liquide est moins rapide qu'en employant l'acide sulfurique seul. Pour ces diverses raisons la solution de bichromate de potassium doit être préférée à la dissolution d'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$.

M. E. Ruhmer ⁽¹⁾ a comparé au point de vue des irrégularités des interruptions l'interrupteur de Wehnelt à fil de platine et l'interrupteur à orifices. Il a constaté que ce dernier présentait, toutes choses égales d'ailleurs, bien moins d'irrégularités que l'interrupteur à fil de platine.

Ainsi M. Ruhmer a relevé pour l'interrupteur de Wehnelt 17 lacunes sur 109 interruptions, soit 16 pour 100, tandis qu'un interrupteur de M. Simon ne donnait que 5 lacunes sur 58 interruptions, soit 9 pour 100.

Comparaison des interrupteurs du genre Foucault et du genre Wehnelt. — On peut comparer ⁽²⁾ les deux genres d'interrupteurs en prenant comme terme de comparaison l'intensité des phénomènes lumineux obtenus entre les pôles d'une même bobine d'induction desservie successivement par des interrupteurs différents. On détermine, par exemple, quel est pour chaque interrupteur et pour chaque forme d'interrupteur le maximum de longueur d'étincelle et le maximum de longueur d'étincelle en forme de chenille qu'on peut obtenir en

⁽¹⁾ E. RUHMER, *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, 26 avril 1900, p 331.

⁽²⁾ A. TURPAIN, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 12 février 1900.

faisant varier l'intensité du courant envoyé dans le primaire de la bobine.

La détermination de la limite (aigrette-étincelle) permet d'apprécier la puissance, celle de la seconde limite (étincelle-chenille) permet d'apprécier la rapidité. La constance de ces longueurs limites indique la régularité.

Le Tableau suivant donne quelques résultats d'une étude comparative de l'interrupteur de Foucault et d'interrupteurs de Wehnelt à fil et à orifices. Les plus grandes vitesses communiquées à l'interrupteur de Foucault ne permettent pas d'obtenir toujours l'étincelle-chenille; il se produit plus souvent, lorsqu'on réduit la distance explosive, une étincelle entourée de flammes.

Interrupteur Foucault.

Intensité du courant.	Limites de la longueur entre		
	aigrette et étincelle.	étincelle et flamme.	étincelle et chenille.
amp	cm	cm	cm
7	20	7	»
13,50	36,5	15,5	13
20	41	25	»

Interrupteur Wehnelt à fil.

Intensité du courant.	Dimensions du fil.		Limites de la longueur entre	
	Diamètre.	Longueur.	aigrette et étincelle.	étincelle et chenille.
amp	mm	mm	cm	cm
7,25	0,7	5,25	17 à 20	4 à 6
6,50	1,2	1,50	19,5	14

Interrupteur Wehnelt à orifices.

Intensité du courant.	Nombre d'orifices.	Limites de la longueur entre	
		aigrette et étincelle.	étincelle et chenille.
amp		cm	cm
3,50	1	23	7
5,50	3	29,5	15
7	4	31,5	23

En définitive, au point de vue de la *durée* et de l'*économie*, l'interrupteur de Wehnelt à orifices doit être préféré à l'interrupteur à fil de platine.

Ces deux sortes d'interrupteurs sont préférables à l'interrupteur de Foucault, tant au point de vue de la *durée* qu'à ceux de la *commodité* et de la *rapidité*.

Quant à la *régularité* et à la *puissance*, l'interrupteur de Foucault, dans les limites de vitesse entre lesquelles il fonctionne, ne le cède pas aux interrupteurs du genre Wehnelt. Il est même plus régulier que ces derniers, et, si l'on fait usage de certains types d'interrupteurs du genre Foucault bien construits, on obtient des effets aussi puissants qu'avec les interrupteurs du genre Wehnelt, et l'on réalise une très notable *économie*. En outre, les interrupteurs du genre Foucault permettent de faire varier à volonté la *fréquence* des interruptions. Aussi sont-ils exclusivement utilisés, du moins en télégraphie sans fil, dans les dispositifs de production des ondes électriques.

CHAPITRE III.

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA TÉLÉGRAPHIE. TÉLÉGRAPHIE SANS FIL.

HISTORIQUE ET PRINCIPE. PREMIER DISPOSITIF.

L'emploi des ondes électriques pour résoudre l'intéressant problème de la télégraphie sans conducteur a été suivi, au cours des diverses expériences entreprises par M. Marconi, d'un tel succès que l'on peut considérer cette première application des ondes électriques comme définitivement sortie de la période des essais.

Avant d'exposer d'abord dans ses lignes principales, puis dans ses détails, le dispositif employé par M. Marconi, nous rappellerons un des dispositifs simples de télégraphie ordinaire, le télégraphe Morse, et nous indiquerons les essais de télégraphie électrique sans fil qui ont précédé les expériences de M. Marconi.

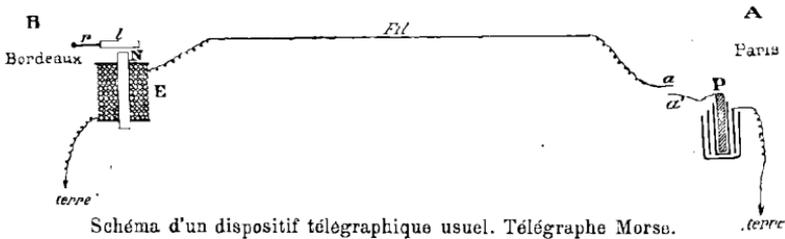
Télégraphe de Morse. — Dans toute télégraphie électrique à conducteur, l'appareil essentiel est un électro-aimant.

La télégraphie électrique usuelle est une application des propriétés de l'électro-aimant. On sait qu'un électro-aimant est constitué par une tige de fer doux autour de laquelle est enroulé un fil conducteur isolé. Si on lance un courant électrique dans le fil de la bobine ainsi formée, le noyau de fer doux acquiert les propriétés d'un aimant ; il devient capable d'attirer le fer. Dès que le courant cesse de parcourir les spires de la bobine, le noyau de fer doux perd ses propriétés magnétiques.

Le télégraphe Morse, le plus simple de tous les télégraphes usuels, comprend comme organes essentiels de transmission

une pile électrique et un dispositif (manipulateur) permettant, en rapprochant les deux fils a , a' , de fermer le circuit de la pile P (fig. 83). Comme organe essentiel de réception il com-

Fig. 83.



prend un électro-aimant E en face des pôles duquel est disposée une lame de fer, mobile, qu'un ressort antagoniste r maintient à une certaine distance du pôle N de l'électro-aimant. On se dispense de tendre un second fil conducteur entre l'appareil de réception et la pile en reliant à la terre d'une part le pôle négatif de la pile, d'autre part l'extrémité libre du fil de l'électro-aimant.

Chaque fois que les fils a et a' seront amenés au contact l'un de l'autre le courant électrique traversera l'électro-aimant et la lame l sera attirée, et elle demeurera en contact avec l'électro-aimant tant que le contact des fils a et a' sera maintenu. Dès que ce contact cesse, l'aimantation de E disparaît et la lame l reprend par l'effet du ressort r sa position primitive.

On est donc averti en B de la mise en contact de a et a' effectuée en A, de la cessation de ce contact, et de la durée de ce contact. Il suffit de porter son attention sur les mouvements de la lame l . On conçoit que, si l'on combine convenablement de brèves et de courtes durées de contact des fils a et a' en un code de signaux, on puisse télégraphier à l'aide de ce dispositif de A et B.

Dans la pratique on utilise le mouvement de la lame l à inscrire sur une bande de papier en traits et points successifs les durées brèves et longues de contact des fils a , a' . Un mou-

vement d'horlogerie entraîne la bande de papier qui passe au voisinage d'une molette garnie d'encre.

Les mouvements de la lame l ont pour effet de presser contre la molette la bande de papier pendant toute la durée de l'attraction de l'électro-aimant. Les signaux sont ainsi conservés sur la bande de papier; on peut les déchiffrer à loisir.

La mise en contact des fils a, a' est obtenue par l'abaissement d'un levier métallique relié à a qui vient appuyer sur un contact métallique relié à a' .

La télégraphie sans fil avant l'utilisation des ondes électriques. — Avant la découverte de Hertz on avait essayé divers dispositifs électriques permettant de communiquer à distance sans conducteur.

Sans nous arrêter aux expériences faites en 1859 par Lynsey qui, en disposant deux lignes conductrices parallèles situées à 2^{km} l'une de l'autre, put influencer un appareil indicateur, disposé sur le circuit de l'une des lignes, par la décharge d'une batterie envoyée dans l'autre, nous rappellerons les essais de communications entrepris en 1871, pendant le siège de Paris, par Bourbouze. Ces essais permirent l'échange de signaux entre Saint-Denis et le pont de la Concorde en utilisant la conductibilité de la Seine.

Dès l'établissement des lignes téléphoniques on avait remarqué que, si deux lignes parallèles à un seul fil sont voisines, les courants transmis sur l'une produisent sur l'autre une induction qui permet même d'écouter à l'aide d'un téléphone disposé sur la première ligne les conversations échangées par la seconde.

Si, au lieu de propager des courants téléphoniques, l'une des lignes utilise des courants télégraphiques, la distance des deux fils peut atteindre 100^{m} sans que l'influence cesse de se manifester. Avec les courants alternatifs industriels cette influence se produit encore lorsque les lignes sont distantes de 1^{km} .

Déjà en 1880 M. le professeur John Trowbridge avait utilisé ce phénomène à la transmission sans conducteur à la distance

de 1 mille (1852^m) des battements d'une horloge située à l'observatoire de Cambridge (États-Unis). Cet observatoire est relié à la ville de Boston par un fil indicateur de l'heure dans lequel un courant électrique établi se trouve rompu toutes les secondes par les battements mêmes de l'horloge. En disposant parallèlement à ce fil et à une distance de 1 mille un fil de 150^m à 180^m de long, dont les deux extrémités étaient reliées à la terre et dont le circuit comprenait un téléphone, on percevait dans le téléphone les battements de l'horloge.

M. W.-H. Preece a utilisé le même phénomène d'induction à la communication entre les bateaux-phares et la côte.

Par suite des mouvements incessants des bateaux ancrés, les conducteurs qui les reliaient, par l'intermédiaire d'un câble, à la côte, ne tardent pas à être rompus. Pour obvier à cet inconvénient M. Preece disposait deux circuits voisins, l'un établi sur le navire même et participant à ses mouvements, l'autre fixé au fond de l'eau au-dessous du navire et relié par un câble, à la côte. Si les deux circuits ne sont pas distants de plus de 6^m à 8^m on peut échanger des conversations à l'aide de téléphones disposés sur chacun des circuits. Des communications télégraphiques peuvent être établies alors que la distance des circuits atteint 50^m. Lorsque la distance des circuits est de 250^m à 300^m, il n'est plus possible d'échanger de signaux par ce dispositif.

La télégraphie sans fil par ondes électriques. Les précurseurs de M. Marconi. — M. Lodge a, le premier, émis l'opinion (1894) que les oscillations électriques produites par un excitateur pouvaient impressionner un tube cohéreur de M. Branly à une distance d'un demi-mille du lieu de production.

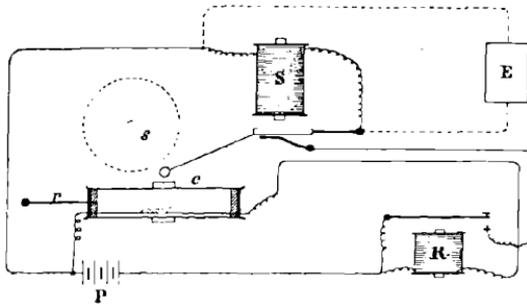
Il n'entreprit aucune expérience susceptible de confirmer cette opinion. Il se contentait d'actionner à une petite distance le trembleur d'une sonnerie placée dans le circuit d'un relais, circuit comprenant un cohéreur, que les ondes électriques rendaient conducteur. Le marteau de la sonnerie venait frapper le cohéreur, qui reprenait ainsi sa résistance primitive dès que les ondes cessaient de lui parvenir.

En 1894 et 1895, M. Turpain ⁽¹⁾ actionnait à distance à travers portes et murs son résonateur à coupure, muni ou non d'un téléphone inséré dans la coupure.

Popoff ⁽²⁾, en 1895 et 1896, avec un dispositif à peu près identique à celui de M. Lodge, effectua des expériences de communication télégraphique.

Pour obtenir une trace des émissions successives d'ondes reçues par le cohéreur, on plaçait en dérivation sur la sonnerie un appareil inscripteur analogue au récepteur d'un télégraphe Morse. La figure 84 donne le dispositif employé par Popoff. Un

Fig. 84.



Dispositif de Popoff.

cohéreur *c* était intercalé dans un circuit comprenant une pile *P* et un relais *R*. Placé en dérivation sur ce premier circuit, aux bornes de la pile, un second circuit comprenait une sonnerie *S* et le contact du relais.

Le marteau de la sonnerie pouvait frapper le cohéreur. Un enregistreur Richard *E* monté en dérivation sur la sonnerie permettait l'inscription des courants ayant traversé l'électroaimant de la sonnerie.

Des essais analogues ont été faits vers la même époque indépendamment de Popoff par un de ses compatriotes, M. Narkévitch Jodko.

(1) A. TURPAIN, *Sur les expériences de Hertz* (Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux, avril 1895).

(2) POPOFF, *Journal de la Société physico-chimique russe*, vol. XXVIII-XXIX, 1896. *Elektritchestvo*, octobre 1895.

Le dispositif réalisé par Popoff paraît avoir été surtout employé par ce physicien pour étudier les décharges électriques atmosphériques. A cet effet l'une des extrémités du cohéreur était reliée à un fil métallique dressé verticalement le long d'un mât et formant un véritable paratonnerre. L'autre extrémité du cohéreur était reliée à la terre.

Télégraphe de M. Marconi. — *Description générale.* — M. Marconi a rendu pratique à des distances voisines de 60^{km} les communications télégraphiques sans conducteur, par ondes électriques, que les précédents expérimentateurs n'avaient pu réaliser qu'à des distances bien moindres, atteignant à peine quelques centaines de mètres.

Le mérite du jeune ingénieur italien n'est pas d'avoir imaginé des appareils nouveaux, mais il réside plutôt dans le choix très judicieux qu'il a fait des dispositifs empruntés à ses prédécesseurs, et surtout dans le fait d'avoir porté la sensibilité et la puissance des appareils qu'il utilise à un degré inconnu jusqu'à lui.

Popoff et M. Narkévitch Jodko munissaient le dispositif récepteur des ondes d'une sorte de paratonnerre; M. Marconi en dote également l'excitateur des ondes.

Deux longs fils verticaux terminés par des plaques métalliques sont donc disposés l'un à la station qui envoie les ondes, l'autre à la station qui les reçoit.

Ces fils sont désignés sous le nom d'*antennes*.

L'antenne du poste d'émission fait partie de l'un des conducteurs d'un excitateur de Hertz ou de Lodge, dont l'autre conducteur est relié à la terre.

Cet excitateur est mis en relation avec les deux pôles d'une bobine d'induction. Le circuit inducteur de cette bobine comprend un manipulateur de Morse. Chaque fois que le levier de ce manipulateur est abaissé, la bobine d'induction fonctionne, l'excitateur est mis en activité, des oscillations électriques parcourent l'antenne. L'émission des oscillations par l'antenne a lieu durant tout le temps que le manipulateur de Morse est abaissé.

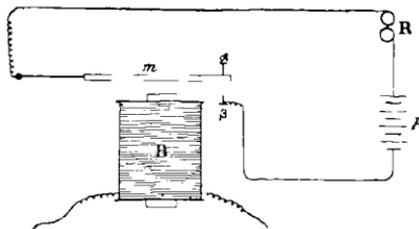
Suivons ces ondes électriques, elles se disséminent dans

l'espace environnant le poste d'émission et parviennent au récepteur. Là elles rencontrent l'antenne réceptrice qui est reliée à l'une des extrémités d'un cohéreur de Branly auquel M. Marconi a su donner une extrême sensibilité. L'autre extrémité du cohéreur est mise en communication avec la terre. Placé en dérivation sur le cohéreur est un circuit comprenant une pile et l'électro-aimant d'un relais (1). Ce relais commande un récepteur de Morse en même temps qu'un trembleur dont le marteau sert à décoherer le tube de Branly.

(1) *Relais télégraphique.* — On désigne sous le nom de *relais* un dispositif qui permet de commander le fonctionnement d'un récepteur télégraphique au moyen d'un courant trop faible pour actionner directement l'électro-aimant du récepteur.

Le courant qui doit commander le fonctionnement de l'appareil télégraphique traverse la bobine B du relais (fig. 85). Il détermine alors la traction de la

Fig. 85.



Relais télégraphique.

palette *m* qui est rendue très sensible et qui passe alors de la position de repos, dans laquelle elle appuie sur le butoir α , à la position de travail. Dans cette dernière position elle appuie sur le butoir β dit *butoir de travail*. Le circuit comprenant la pile *p* est alors fermé par la palette *m* à travers l'électro-aimant du récepteur *R*, qui se trouve actionné.

Les électro-aimants de certains relais contiennent une armature constituée par un aimant permanent. Dans l'état de repos la palette *m* est faiblement attirée par la bobine *B*. Le courant parcourant la bobine *B* a pour effet de diminuer l'aimantation de l'armature; la palette *m*, cédant alors à l'action d'un ressort antagoniste, s'éloigne de l'armature et se porte sur le butoir α .

Les relais de ce dernier type sont dits *relais polarisés*. Pour faire actionner convenablement le récepteur par un relais polarisé ainsi disposé, il faut relier le butoir α à la pile. C'est en effet le butoir α qui se trouve être butoir de travail et le butoir β qui joue le rôle de butoir de repos.

Par suite, pendant tout le temps que l'antenne de réception recevra des ondes, le cohéreur devenu conducteur permettra au relais d'être actionné. Le récepteur de Morse sera donc parcouru par un courant. Dès que les ondes cesseront de parvenir à l'antenne, le cohéreur, redevenu résistant par les chocs du trembleur que commande le relais, cessera de permettre à la pile d'actionner le relais.

Si donc le manipulateur de Morse a été abaissé un instant seulement au poste transmetteur, une très courte émission d'ondes a atteint l'antenne réceptrice, le cohéreur est devenu conducteur pendant un instant, un courant de courte durée a traversé le récepteur de Morse qui porte alors sur la bande de papier un point, trace de la courte émission d'ondes envoyée.

Si au contraire on a laissé le manipulateur de Morse abaissé durant un certain temps, une émission d'ondes a entretenu pendant tout ce temps la conductibilité du cohéreur à la station réceptrice, et durant tout ce temps le récepteur de Morse a marqué la bande de papier. Un trait marque donc l'émission d'ondes de longue durée.

De même que dans le télégraphe ordinaire de Morse, les inflexions courtes ou prolongées du levier qui commande le circuit inducteur de la bobine d'induction placée à la station de départ se traduisent sur la bande de papier du récepteur Morse disposé à l'arrivée par une succession de points et de traits, et cela sans qu'aucun conducteur ne soit tendu entre les deux stations.

Mais, dans cette influence du mouvement du levier sur les inscriptions du récepteur, ce n'est plus l'électro-aimant qui joue le rôle essentiel. Son rôle n'est que secondaire; il se contente de marquer les états successifs de conductibilité et de résistance que le cohéreur, véritable organe essentiel de cette transmission, manifeste suivant qu'il est ou non frappé par les ondes électriques.

Description sommaire d'une station de télégraphie sans fil. — Chaque station comporte donc deux dispositifs, l'un servant à la transmission, l'autre à la réception, qui sont tous les deux mis en communication avec l'antenne au moment voulu.

Cette communication du transmetteur et du récepteur avec l'antenne est assurée automatiquement par le jeu du manipulateur de Morse.

Poste transmetteur. — Le poste transmetteur d'une station de télégraphie sans fil est donc constitué d'appareils disposés suivant le schéma de la figure 86.

Fig. 86.

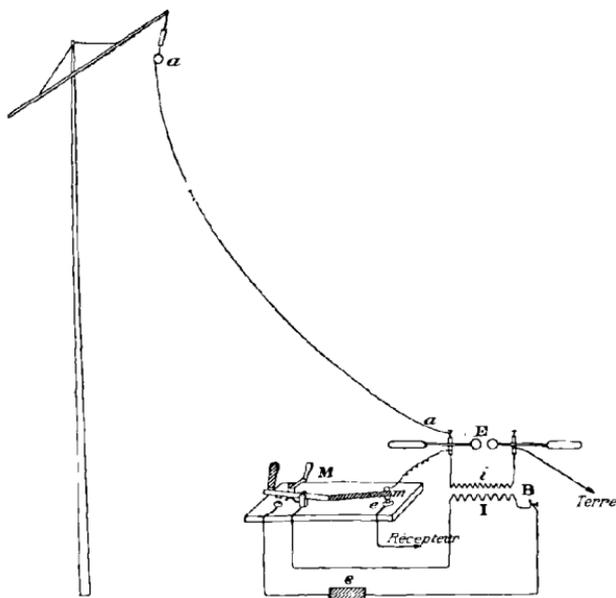


Schéma d'un poste transmetteur de télégraphie sans fil.

L'antenne *a* est isolée de son support et reliée à l'une des sphères de l'excitateur *E* dont l'autre sphère est mise en communication avec la terre. L'excitateur *E* est relié d'autre part aux deux pôles d'une bobine d'induction *B*. Le courant fourni par la source *s* est envoyé à volonté dans le primaire *I* de la bobine d'induction par la manœuvre de la clef Morse *M*. Chaque fois donc qu'on abaisse le levier de ce manipulateur *M* des étincelles éclatent à l'excitateur et l'antenne est le siège d'ondes électriques.

Poste récepteur. — Le poste récepteur d'une station de télégraphie sans fil comprend les dispositifs représentés dans le schéma de la figure 87.

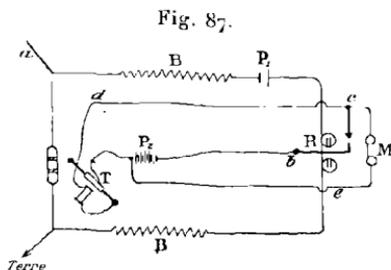


Schéma d'un poste récepteur de télégraphie sans fil.

Le cohéreur c est relié d'une part à l'antenne α , d'autre part à la terre.

Placé en dérivation sur les bornes du cohéreur se trouve un circuit comprenant une pile P_1 (fig. 87) et un relais polarisé R . Cette dérivation est reliée aux bornes du cohéreur par l'intermédiaire de deux bobines B, B de self-induction, qui sont formées d'un fil de fer fin d'une longueur de 12^m environ, enroulé en spires étroites, et noyées dans la paraffine. Ces bobines ont une très grande importance; en s'opposant au passage des oscillations dans le circuit du relais elles permettent d'augmenter très notablement la distance possible de communication qui sans leur présence serait assez réduite.

Le levier du relais est en relation avec l'un des pôles d'une seconde pile P_2 . Lorsqu'il est attiré il ferme le circuit de cette pile, d'une part à travers le trembleur T qui sert à décoherer le tube de Branly (circuit P_2bcdTP_2), d'autre part à travers l'électro-aimant de l'appareil récepteur de Morse M (circuit P_2bcMeP_2).

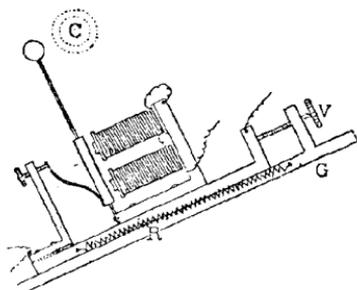
La figure 88 donne les détails du trembleur servant à décoherer le cohéreur G .

En réalité le dispositif récepteur n'est pas aussi simple; il comprend toute une série de shunts disposés comme l'indique le schéma de la figure 89 et ayant les résistances marquées sur cette figure. Ces shunts sont constitués par des bobines à

double enroulement et à large noyau pour éviter la self-induction.

Suivons les divers chemins qui sont offerts au courant de la pile P_2 quand le relais est au repos et quand il est actionné.

Fig. 88.



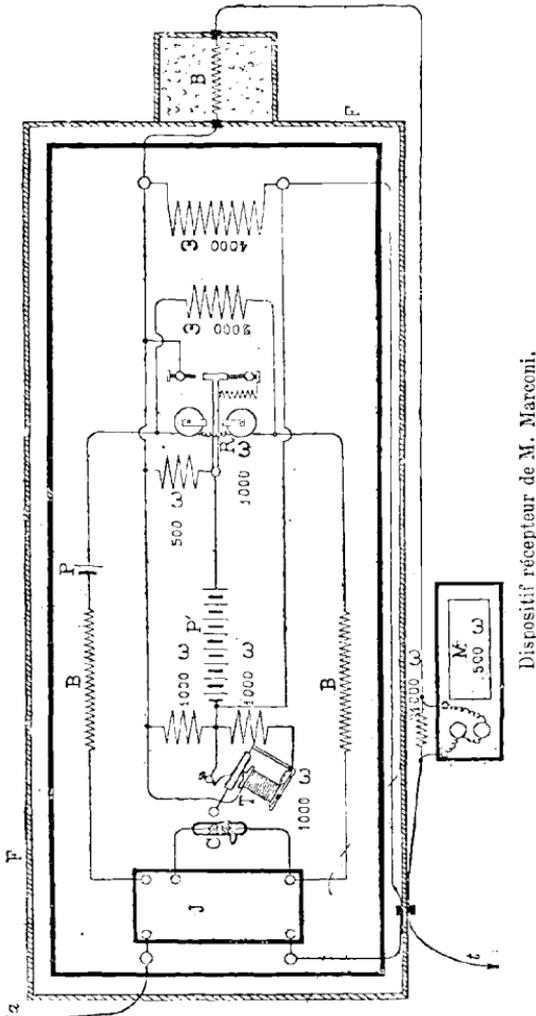
Détails du trembleur.

Considérons d'abord ceux de ces circuits qui comprennent le trembleur T . La résistance qui est, pendant le repos du relais, de 2500 ohms n'est plus que de 2000 ohms dès que le relais est actionné. Un calcul simple, basé sur l'application des lois de Kirchhoff à ces divers circuits dérivés, montre que l'intensité du courant de la pile P_2 à travers la bobine du trembleur varie dans le rapport de 171 à 450 lorsque le relais passe de la position de repos à celle d'action. Le même calcul indique que la branche qui comprend en dérivation le récepteur de Morse est parcourue par un courant qui varie dans le rapport de 513 à 2700 quand le levier de relais passe de la borne de repos à celle de travail.

Cet artifice, consistant à maintenir un courant constant dans les bobines du trembleur et dans celles du récepteur, permet de donner une plus grande sensibilité au premier et est indispensable pour que le second marque bien par un trait la réception d'une longue série d'ondes. Par suite de l'action incessante du trembleur qui décohere à chaque instant le cohéreur, une longue série d'ondes produirait sur la bande de papier du récepteur Morse une suite de points. L'aimantation permanente communiquée aux bobines du récepteur Morse par l'ar-

tifice précédent, jointe à l'inertie du levier d'inscription, l'empêche de se relever pendant l'intervalle des contacts successifs

Fig. 89.



qu'une longue série d'ondes communique à la palette du relais.

Tous les appareils composant le poste récepteur, à l'exception du récepteur de Morse, sont placés dans une boîte métal-

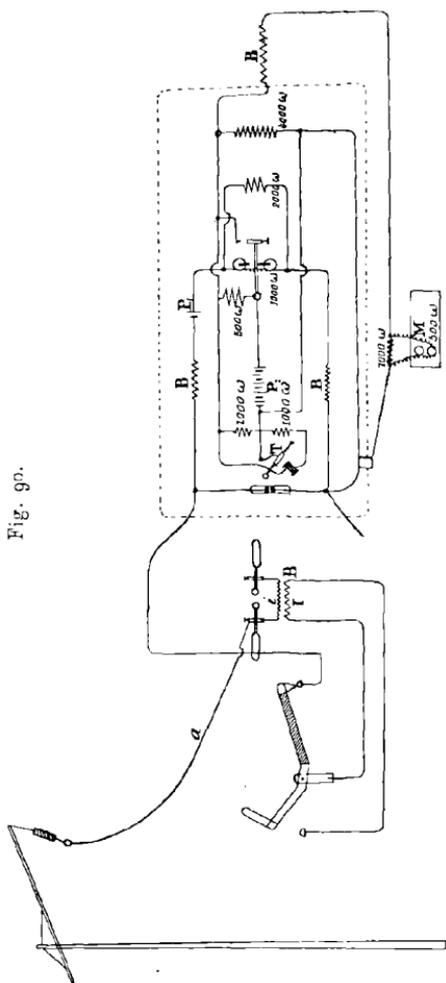


Fig. 90.

Dispositif de M. Marconi. Poste complet.

lique reliée à la terre. On évite ainsi que les ondes produites par la station elle-même puissent impressionner le cohéreur et par suite les organes de réception de cette station.

Poste complet. — L'ensemble des appareils tant de transmission que de réception et les connexions des organes du transmetteur et du récepteur sont indiqués dans le schéma de la figure 90.



CHAPITRE IV.

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA TÉLÉGRAPHIE. TÉLÉGRAPHIE SANS FIL (*suite*).

DÉTAILS ET PERFECTIONNEMENTS DES DISPOSITIFS DE TÉLÉGRAPHIE SANS FIL.

Dans ce Chapitre nous étudierons les perfectionnements successifs qu'on a apportés aux dispositifs de télégraphie sans fil. Nous exposerons tout d'abord les divers types généraux de montage, puis les dispositions qu'on a cru devoir donner aux organes d'émission ou de captation des ondes, aux antennes et celles qui ont eu pour but d'assurer des prises de terre convenables. Nous passerons enfin en revue les dispositifs particuliers employés.

Types généraux de montage.

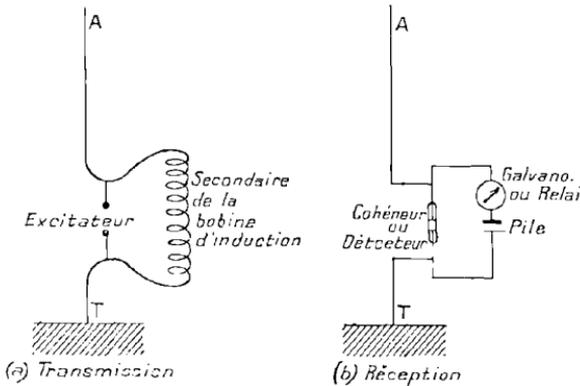
Classification. — On peut ranger tous les dispositifs de montage utilisés en télégraphie sans fil, soit pour la transmission, soit pour la réception, dans deux grandes catégories :

1° Ceux qui réalisent entre l'antenne et les circuits des *connexions directes*; l'antenne étant, au poste transmetteur, reliée directement au circuit de l'oscillateur et, au poste récepteur, mise en contact avec le circuit qui comprend le cohéreur ou le détecteur d'onde quel qu'il soit. Le schéma de la figure 91 représente ce mode de montage.

2° Ceux qui réalisent entre l'antenne et les circuits des *connexions indirectes*; l'antenne étant reliée aux circuits d'excitation ou de réception par l'intermédiaire de transformateurs. Ce second type général de montage peut être subdivisé en deux autres, suivant qu'on établit ou non des relations conductrices entre les deux enroulements du transformateur utilisé.

Les transformateurs utilisés dans les circuits de ces montages par connexions indirectes peuvent, à la manière ordinaire,

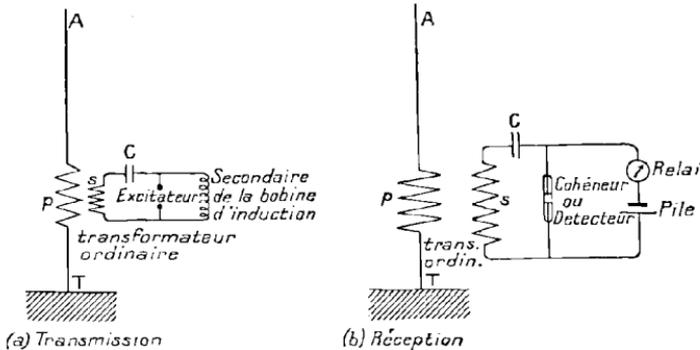
Fig. 91.



Premier type général de montage : montage par connexions directes. -

L'excitateur à la transmission, le cohéreur à la réception, sont reliés d'une part à l'antenne A, d'autre part à la terre T. - (a) Connexions directes à la transmission; (b) Connexions directes à la réception.

Fig. 92.

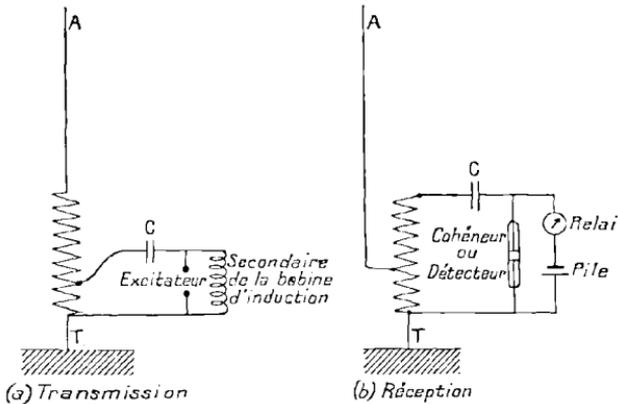


Second type général de montage (1^{re} catégorie) : montage par connexions indirectes; usage de transformateurs ordinaires. - L'antenne A est reliée à la terre T par le primaire d'un transformateur ordinaire dont le secondaire fait partie d'un circuit comprenant l'excitateur à la transmission (a), le cohéreur à la réception (b).

comprendre deux enroulements séparés et voisins : le primaire relié à l'antenne, le secondaire au circuit. La figure 92 représente le schéma général de ces montages par connexions indirectes.

Ces transformateurs peuvent encore affecter des dispositions spéciales, être par exemple constitués par des solénoïdes, dont les spires, en nombre variable ou non, sont mises en série avec l'antenne, quelques spires restant en dérivation sur le circuit d'utilisation (excitateur ou cohéreur). La figure 93 représente un schéma de ces montages par connexions indirectes utilisant des transformateurs à enroulements reliés.

Fig. 93.



Second type général de montage (2^e catégorie) : montage par connexions indirectes; usage de transformateurs spéciaux. — L'antenne A est reliée à la terre T par l'intermédiaire de quelques spires d'un solénoïde dont l'ensemble des spires réunit les extrémités du circuit comprenant l'excitateur à la transmission (a), le cohéreur à la réception (b).

Dans tous ces dispositifs de montage du second type, à connexions indirectes, la présence d'un condensateur C est nécessaire tant à la transmission qu'à la réception. Le condensateur C des montages de transmission (*fig. 92 a et 93 a*) permet de réaliser l'oscillateur de Hertz nécessaire pour l'émission des ondes. Le condensateur C des montages de réception (*fig. 92 b et 93 b*) permet de ne pas disposer un circuit complètement fermé aux bornes du cohéreur.

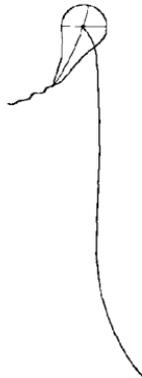
Dans la plupart des dispositifs qui se rapportent à tous ces types de montage, on distribue, indépendamment de ces condensateurs, des capacités et des self-inductions, tant sur le trajet de l'antenne que sur les circuits de production ou de réception des ondes. La disposition de ces condensateurs et de ces bobines de self vise la réalisation d'accords entre les circuits, accords dont nous parlerons au Chapitre suivant.

ANTENNES. RÔLE DE LA TERRE.

A l'antenne, simple fil disposé verticalement et très soigneusement isolé de son support, on a successivement substitué des antennes constituées de plusieurs fils disposés parallèlement ou en éventails, mais toujours très bien isolées. Le parfait isolement de l'antenne paraît être, avec la verticalité, une des conditions essentielles de bon fonctionnement.

Diverses formes d'antennes. — On peut, quant à leurs

Fig. 94.



Antenne simple.

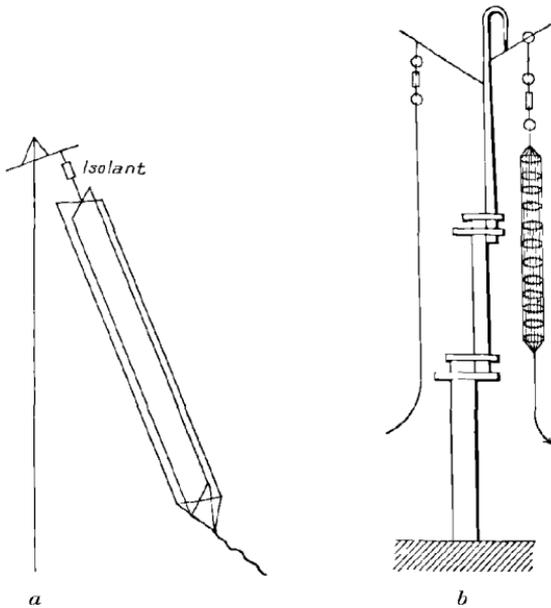
formes, rapporter les divers dispositifs d'antennes utilisés quatre types.

L'*antenne simple* (fig. 94) est constituée par un fil unique.

Elle est employée actuellement surtout quand on dispose d'une grande hauteur, comme lorsqu'on soutient l'antenne par un cerf-volant ou par un ballon.

L'antenne multiple à fils parallèles (*fig. 95*) est constituée soit

Fig. 95.



Antenne multiple à fils parallèles.

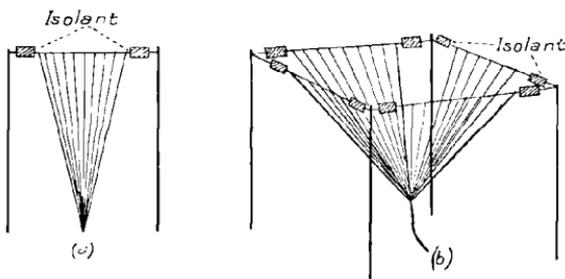
par quatre fils parallèles réunissant les extrémités de deux croisillons en bois dont les dimensions n'excèdent pas 1^m à 2^m de longueur (*fig. 95 a*), soit encore par une série de plusieurs fils distribués suivant les génératrices d'un cylindre et réunis entre eux à la base et au sommet (*fig. 95 b*).

L'antenne multiple en nappe (*fig. 96*), qui comporte un plus ou moins grand nombre de fils disposés en éventail dans un plan (*fig. 96 a*) et d'où dérive celles employées dans les stations puissantes et affectant la forme d'une pyramide renversée dont chaque face latérale est constituée d'un très grand

nombre de fils, une centaine environ, disposés en éventail (*fig. 96 b*).

Nous allons tout d'abord résumer les faits d'observation relatifs aux antennes et indiquer les conditions qui influent sur la

Fig. 96.



Antenne multiple en nappe.

(a) En éventail.

(b) En pyramide renversée.

portée des ondes. Nous passerons ensuite rapidement en revue les diverses explications du rôle des antennes qui ont été proposées et nous indiquerons comment elles rendent compte des faits observés.

Observations relatives aux antennes. — *Nécessité de l'antenne.* — La nécessité de l'antenne, tant dans le dispositif de transmission que dans celui de réception, est un des faits les plus constants d'observation. Il est pratiquement impossible de réaliser, à une distance notable, des transmissions par les procédés de la télégraphie hertzienne sans fil, si l'on n'a pas disposé aux deux postes transmetteur et récepteur des antennes plus ou moins longues. L'entretien d'un excitateur d'ondes électriques non muni d'antenne est insuffisant, quelque puissant qu'il soit, pour influencer un radioconducteur disposé à une grande distance. De même, un radiateur ne sera sensible aux ondes émises par un excitateur éloigné qu'autant qu'il sera réuni à une antenne réceptrice.

Longueur de l'antenne. — La portée des ondes semble

d'autant plus grande que l'antenne est plus longue. On a indiqué à ce sujet, dès le début de la télégraphie sans fil, sous le nom de *loi des antennes*, des relations, d'ailleurs empiriques, qui manquent de généralité.

Loi des antennes de M. Marconi. — M. Marconi a indiqué que, toutes choses égales d'ailleurs, la portée maximum est atteinte si la hauteur h_t de l'antenne de transmission est égale à la hauteur h_r de celle de réception :

$$h_t = h_r = H.$$

La portée des ondes est proportionnelle au carré de la hauteur commune H des antennes :

$$D = kH^2.$$

Cette formule est applicable jusqu'à 40^{km} , en prenant $k = 44,44$. A partir de 40^{km} , les hauteurs ainsi déterminées sont trop faibles. L'interposition d'obstacles réduirait d'environ un tiers la distance calculée par cette formule.

Lois des antennes de M. Blondel. — L'égalité de hauteur des deux antennes n'influe que très peu sur la portée des ondes. Il suffit que la somme des hauteurs des antennes de transmission et de réception reste constante; la hauteur de chaque antenne peut varier sans que la portée des ondes soit diminuée, pourvu que cette hauteur reste supérieure à une limite λ qui, dans les expériences de M. Blondel, est de 5^{m} à 10^{m} .

Les formules

$$h_t + h_r = 2H, \quad h_t > \lambda < h_r, \quad D = kH^2$$

résumant donc les observations de M. Blondel.

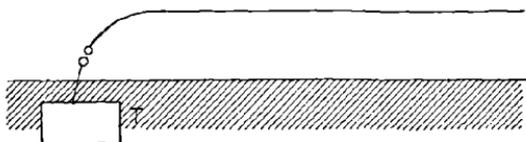
Ces lois sont d'ailleurs mises en défaut par les expériences de communications par télégraphie sans fil à grande distance.

Direction de l'antenne. — Dans la plupart des dispositifs de télégraphie sans fil, on dispose l'antenne verticalement, et il

semble que ce soit là une condition nécessaire de bon fonctionnement et de longue portée. Il faut cependant signaler l'observation de M. Tissot ⁽¹⁾, d'après laquelle il n'est pas indispensable de disposer les antennes verticalement; il suffit qu'elles soient dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation. Plus récemment, M. Tissot a constaté que l'inclinaison de l'antenne sur la verticale n'a pas d'influence marquée sur la portée des ondes, tant que cette inclinaison ne dépasse pas 40° . Il en est de même du plan vertical qui contient l'antenne; il peut être incliné de 40° sur la direction de propagation des ondes sans que la portée de ces dernières en soit diminuée. Toutefois, lorsque l'inclinaison des antennes sur la verticale est notable, il est préférable qu'elles soient parallèles et que les plans verticaux qui les contiennent soient normaux à la direction de propagation.

M. Marconi a obtenu récemment des résultats des plus intéressants en disposant les antennes parallèlement à la surface du sol, sur une grande longueur (*fig. 97*). Ces résultats tendent

Fig. 97.



Antenne horizontale de M. Marconi.

à montrer que la terre joue non seulement un rôle considérable dans la communication par télégraphie sans fil, mais qu'elle serait l'agent unique de transmission.

Avec une antenne transmettrice, composée de quatre fils de 50^m de longueur, tendus parallèlement à une hauteur de 20^m , M. Marconi aurait transmis à 240^km . L'antenne réceptrice verticale était un fil unique de 50^m de longueur, avec bobine de résonance et détecteur magnétique. Les conditions de récep-

(1) TISSOT, *Société française de Physique*, 17 mars 1899.

tion optima sont obtenues quand les deux antennes sont orientées dans le même azimut, l'extrémité isolée de l'antenne horizontale étant la plus éloignée de l'autre station.

Il est nécessaire d'utiliser des longueurs d'onde supérieures à 150^m et que la longueur des fils ainsi tendus horizontalement soit très grande par rapport à leur distance au sol. Avec un fil isolé de 230^m directement posé sur le sol, on a pu recevoir des communications d'une station éloignée de 500^{km} . Le montage par connexions directes serait préférable ; à égalité d'énergie, il donnerait une action plus forte.

Communication de l'antenne avec la terre. — La mise en relation des antennes avec la terre augmente dans de très grandes proportions la portée des signaux. C'est là un fait généralement observé. Il est indispensable que la communication avec le sol soit établie avec beaucoup de soin. D'après M. Tissot, le fil de terre doit être très peu résistant et doit présenter une self-induction négligeable. Au cours de certaines expériences de M. Tissot, le poste transmetteur étant disposé sur un rocher, on dut, pour assurer une bonne transmission, relier l'antenne à la mer par un fil conducteur. On obviait ainsi au défaut de conductibilité du sol.

Il y a lieu, à ce propos, de rappeler les expériences de télégraphie sans fil réalisées par MM. Lecarme entre le sol et un ballon muni d'une antenne de réception. Dans ces expériences, l'antenne réceptrice ne pouvait être reliée au sol. Il est vrai que les signaux cessèrent d'être perçus lorsque la distance excéda 8^{km} , alors que, dans les expériences de M. Tissot, la portée des ondes dépassait parfois 80^{km} . Il faudrait vérifier si cette mise en communication de l'antenne avec le sol est aussi nécessaire, ou tout au moins aussi utile, pour l'antenne de réception que pour l'antenne de transmission. Il eût été également intéressant d'être renseigné sur la portée qu'auraient atteinte des ondes émises par l'antenne du ballon et de savoir si cette portée eût été la même que celle (8^{km}) observée pour les ondes reçues par le ballon.

Isolement des antennes. — Il est utile que l'antenne de trans-

mission soit très soigneusement isolée de ses supports et tendue le plus loin possible du mât qui permet de la dresser verticalement (expériences de M. Marconi). Il est même bon d'entourer l'antenne d'un revêtement isolant, d'un guipage de caoutchouc, par exemple. Les mêmes précautions ne sont pas applicables à une antenne qui ne doit servir que pour la réception des ondes. C'est ainsi que M. Tissot a pu, dès le mois de mai 1900, utiliser le conducteur d'un paratonnerre comme antenne de réception.

Nature, forme et capacité de l'antenne. — Pour les communications à petite distance, la nature et la forme de l'antenne influent très peu sur la portée des ondes émises. Que l'antenne soit constituée par un fil de faible diamètre (fil nu de 1^{mm}, fils couverts de 0^{mm},4 à 0^{mm},09), par un fil de fort diamètre, voire même par une bande de clinquant ou par un treillis métallique, la portée des ondes n'en est pas augmentée, d'après M. Blondel. Il en est de même pour la capacité. On munit souvent l'extrémité libre des antennes de plaques ou de sphères. Ces capacités ne semblent avoir aucune influence sur la portée des ondes. M. Blondel a observé, à ce propos, qu'en remplaçant l'antenne par deux disques horizontaux dont l'un était placé sur le sol et qui constituaient une capacité notable, on obtenait de très médiocres résultats.

Pour les transmissions à longue distance, il est préférable, d'après M. Tissot, de réduire la self-induction de l'antenne et d'en augmenter la capacité.

Les expériences de communication à très grande distance ont montré qu'il est alors nécessaire de constituer les antennes par des réseaux multiples de fils formant de grands éventails, ou bien alors, comme à la tour Eiffel, de prendre des antennes de très grande hauteur.

En résumé, les seuls éléments importants relativement à la portée qu'une antenne donne aux ondes qu'elle émet consistent dans une *grande hauteur*, une *direction verticale* ou tout au moins normale à la droite qui joint les deux postes, et enfin dans la *mise en communication avec la terre*.

Diverses explications du rôle de l'antenne. — *Première explication.* — On a tout d'abord cru pouvoir expliquer le rôle des antennes en supposant que la transmission s'effectuait par ondes libres au sein de l'air d'une antenne à l'autre.

On n'explique pas ainsi la nécessité des antennes et l'impossibilité qu'il y a à les remplacer par un oscillateur, quelque puissance qu'on lui donne et quelque grande que soit la capacité du condensateur qui le constitue.

Explication basée sur la conduction du sol. — Tenant compte de la grande portée que donne aux ondes la mise en communication de l'antenne de réception avec la terre, on a pensé que les ondes étaient concentrées par la surface même du sol jouant le rôle de conducteur, et qu'elles se propageaient de l'un à l'autre poste par son intermédiaire.

Certaines expériences de M. Voisenat, de M. Tissot semblent confirmer cette manière de voir. On rapporte ainsi au fait de la meilleure conductibilité de l'eau de mer le succès des expériences de télégraphie sans fil entre postes établis sur les côtes.

M. Villot ⁽¹⁾ a pensé même qu'en choisissant convenablement les prises de terre des antennes, on pouvait augmenter notablement la portée des ondes. Il propose à cet effet d'établir les postes transmetteur et récepteur de telle sorte que la terre de chacun d'eux soit empruntée à une même couche géologique.

Si l'on fait jouer un rôle prépondérant à la communication des antennes avec la terre et à la conductibilité du sol, on ne comprend pas la nécessité de la hauteur et de la verticalité des antennes. Il semble que leur suppression et leur remplacement par une capacité ne doivent pas diminuer la portée des ondes. Or, on constate, au contraire, que si la portée est de beaucoup augmentée par la mise en communication de l'antenne avec la terre, elle se trouve considérablement réduite

⁽¹⁾ VILLOT, *Congrès international d'Électricité (Éclairage électrique, 29 septembre 1900)*.

dès qu'on diminue ou qu'on supprime l'antenne. L'utilité d'une longue antenne demeure donc bien démontrée.

Rôle de la terre. — Le rôle de la terre paraît devoir se rapporter, en télégraphie sans fil, à deux actions bien distinctes. Son premier rôle serait de maintenir, dans le système d'ondes stationnaires qui se produisent dans l'antenne, un nœud de tension et un centre d'intensité au point de réunion de l'antenne avec le sol. Cet effet de la communication avec le sol peut être remplacé par un conducteur formant capacité et choisi de telle façon que le même système d'ondes stationnaires se produise dans l'antenne. Ce conducteur, utilisé parfois mais rarement pour obvier à un sol mauvais conducteur, porte le nom de *contrepois*.

Un second rôle de la terre qui semble mieux établi et plus nécessaire est l'effet de propagation des ondes que sa présence assure entre les deux stations.

Explication basée sur la conductibilité de l'air. — M. Blochmann ⁽¹⁾ fait jouer aux surfaces équipotentiellles de l'atmosphère le rôle prépondérant dans la propagation des ondes d'une antenne à l'autre. Au lieu de considérer, à l'instar de M. Villot, les couches géologiques du sol, il croit pouvoir expliquer le phénomène en faisant jouer un rôle analogue aux couches atmosphériques. On comprend alors très bien la nécessité de l'antenne, mais on explique mal l'importance de la mise en communication de l'antenne avec le sol.

Il en est de même de l'explication de M. Della Riccia qui rapporte les facilités de communications entre postes situés sur les côtes à une réflexion des ondes hertziennes à la surface de l'eau, réflexion rendue plus efficace par une polarisation préalable des ondes produite par l'antenne verticale.

On pourrait peut-être associer les explications basées sur la conductibilité du sol et sur celle de l'air, et supposer que la concentration des ondes se fait de l'un des postes à l'autre, à

⁽¹⁾ RUDOLF BLOCHMANN, *Une nouvelle théorie de la télégraphie dite sans fil* (*Revue générale des Sciences*, 12^e année, n^o 3, 15 février 1901).

la fois par les couches géologiques et par les surfaces équipotentielles atmosphériques. On expliquerait ainsi la nécessité, pour une longue portée des ondes, et d'une longue antenne et d'une communication avec la terre.

Le champ hertzien produit par l'excitateur des ondes se trouvait ainsi concentré du poste transmetteur au poste récepteur par les deux couches conductrices considérées. Toutefois, il nous semble que toutes ces explications sont un peu du domaine de l'imagination et plus ingénieuses que plausibles. Il est à remarquer d'ailleurs que, d'après ces dernières manières de voir, les phénomènes d'électricité atmosphérique devraient avoir une très notable influence sur la propagation des ondes. Or, il a été constaté, au cours des expériences faites à Wimereux par M. Marconi, qu'un jour d'orage il était possible de tirer de l'antenne, isolée des appareils et jouant alors le rôle d'un paratonnerre, de fortes étincelles; mais, aussitôt que l'antenne était reliée aux appareils, la réception ne présentait aucun trouble et était aussi nette qu'en temps ordinaire. Le fait a été rapporté et contrôlé par M. Ferrié. Il y a lieu de remarquer, cependant, qu'aucun coup de foudre n'a été observé dans le voisinage du poste. M. Tissot a d'ailleurs fait des constatations analogues.

Explications basées sur la considération des lignes de force.
— M. Broca (1) considère le flux d'énergie propagé par le fil de l'antenne. Se basant sur ce que « le courant électrique est dirigé suivant la génératrice du fil, la force électrique est normale au conducteur, la force magnétique lui est tangente »; M. Broca en déduit que « le flux d'énergie calculable par le théorème de Poynting est dirigé perpendiculairement aux deux forces électrique et magnétique, et par conséquent se propage le long du fil ». — « Tout se passera ainsi jusqu'au bout du fil, où se produira ce qui est connu sous le nom de *perturbation à l'extrémité du fil*. Les lignes de courant seront

(1) A. BROCA, *Sur le rôle de l'antenne dans la télégraphie sans fil* (Association française pour l'avancement des Sciences, Congrès de Nantes, 11 août 1898).

toutes parallèles à l'axe du conducteur, et le flux de Poynting leur sera toujours parallèle. Au sommet du fil, la force électrique sera toujours normale au conducteur. La force magnétique sera indéterminée. Il y aura donc un flux d'énergie dans un plan normal à la force électrique. » Au sommet, le flux d'énergie se disperse donc suivant une nappe horizontale.

Sans vouloir entrer dans la critique de cette théorie et discuter la légitimité du raisonnement relatif à la perturbation aux extrémités d'un conducteur qui concentre des ondes électriques dans son application au cas pratique actuel d'une antenne, nous ferons remarquer que toute déformation de cette extrémité devrait avoir un effet notable sur la direction de la propagation, par suite sur la portée des ondes. Or, le fait de munir l'extrémité de l'antenne de larges plaques, ou bien encore de recourber cette extrémité en spirale ou de lui donner une direction horizontale, n'influe en rien sur la portée des ondes, à tel point que ces divers accessoires, tout d'abord employés dans les expériences de télégraphie sans fil, sont aujourd'hui presque complètement abandonnés.

M. Blondel (1) a également donné une explication du rôle de l'antenne, basée sur la considération des lignes de force. M. Blondel part de l'hypothèse que la capacité de l'antenne d'émission par rapport à la terre détermine la longueur d'onde des oscillations.

« Le rôle de l'antenne est double :

» 1^o Elle règle l'intensité du centre d'ébranlement en augmentant par sa longueur le volume d'éther ébranlé par l'oscillateur. Les lignes de force électrique, se déplaçant avec la même rapidité dans l'air et le long des fils, et aboutissant toujours normalement aux conducteurs suivant des propriétés connues des oscillations électriques, doivent avoir ici la forme de nappes demi-sphériques divergeant des divers points de l'antenne pour aboutir normalement au sol conducteur, comme des baleines de parapluie, autour de l'oscillateur comme

(1) BLONDEL, *Sur la théorie des antennes dans la télégraphie sans fil* (Association française pour l'avancement des Sciences, Congrès de Nantes, 11 août 1898).

centre. A chaque décharge, elles brassent l'éther environnant comme des demi-sphères pulsantes de Bjerkness. Plus l'antenne est haute, plus la sphère pulsante est grande, plus le volume d'éther ébranlé est considérable, plus le centre d'ébranlement produit d'effets sensibles à grande distance.

» 2° L'antenne dirige l'action des ondes produites par l'ébranlement, en orientant leurs lignes de force, de la façon la plus favorable pour impressionner le cohéreur. En effet, ces lignes sont distribuées suivant des cercles horizontaux, concentriques à l'antenne et qui se propagent en se dilatant horizontalement. »

L'influence du sol, considéré comme surface conductrice, aurait pour effet de concentrer ces lignes de forces magnétiques qui seraient beaucoup plus nombreuses au voisinage du sol.

« Plus l'antenne de réception est longue, plus elle coupe de lignes magnétiques; à égale longueur, elle en coupe d'autant moins qu'on l'écarte davantage du sol; autrement dit, la portée est donc plus grande à la surface du sol qu'à une certaine distance. »

Cette dernière conclusion est en désaccord avec les résultats obtenus par M. Tissot, relativement à la portée des antennes. Le Tableau suivant résume la moyenne de nombreuses expériences :

Longueur de l'antenne à chaque poste.	Distance de transmission.	Distance franchie par mètre d'antenne.
m	km	km
12	1,8	0,150
20	4,5	0,225
25	7,5	0,300
30	13,5	0,450
35	22	0,620
45	40	0,880

D'après l'explication de M. Blondel, les nombres de la dernière colonne devraient, il semble, décroître avec la hauteur de l'antenne.

On devrait également trouver un avantage à disposer, tant au poste d'émission qu'au poste de réception, des antennes

très grosses formées de bandes. Des antennes courtes, mais nombreuses, devraient être préférées à une seule antenne très haute. En second lieu, l'adjonction de capacité, soit à l'extrémité élevée de l'antenne, soit au voisinage du sol, devrait augmenter la portée des ondes. Or, l'expérience montre que ces diverses modifications dans la forme de l'antenne sont sans effet sur la portée des ondes. La réduction de la hauteur de l'antenne, quelle que soit l'augmentation de sa capacité, est toujours suivie d'une réduction de la portée des ondes.

Conclusions. — En résumé, toutes ces explications, tant celles qui font intervenir la conductibilité de l'air ou du sol que celles qui, cherchant à pénétrer plus avant le phénomène, appellent à leur aide la considération des lignes de force, se montrent impuissantes à rendre compte, d'une manière complète, du rôle de l'antenne, à expliquer l'importance de sa hauteur et de sa mise en communication avec le sol. Les dernières aboutissent à donner à la capacité de l'antenne une importance que l'observation ne ratifie pas. Enfin, d'après les essais récents de M. Marconi, l'élévation même de l'antenne ne serait pas une condition essentielle de longue portée.

DISPOSITIFS PARTICULIERS QUE PRÉSENTENT LES PRINCIPAUX POSTES DE TÉLÉGRAPHIE SANS FIL.

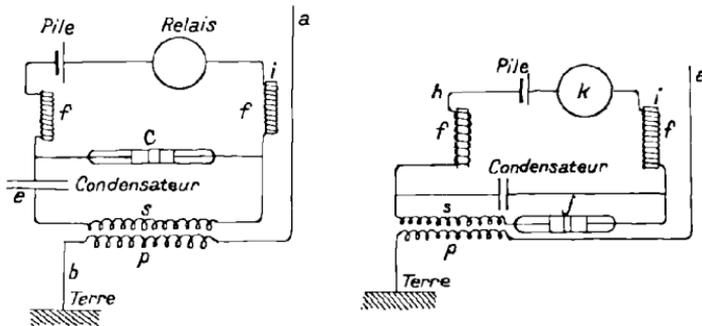
Ces dispositifs particuliers se rattachent tous aux types généraux de montage que nous avons exposés au début de ce Chapitre. Moins que des procédés spéciaux aux diverses compagnies de télégraphie sans fil ou aux divers constructeurs, ils ne constituent donc, à proprement parler, que des formes diverses d'appareils.

Dispositifs de M. Marconi. — *Premiers dispositifs.* — Tout d'abord, M. Marconi disposait directement l'antenne en relation avec les circuits d'utilisation (transmission ou réception). Dans le but d'accroître la portée des ondes, il réalisa un dispositif de réception à connexions indirectes représenté figure 98.

L'antenne *a* est reliée à la terre par l'intermédiaire de l'enroulement primaire *p* d'un petit transformateur que M. Marconi dénommait *jigger*, dont l'enroulement secondaire *s* était compris dans le circuit comprenant le cohéreur *C*, la pile et un relais. Deux bobines d'impédance *f*, *f*, dites *bobines étouffoirs*, s'opposent à la dérivation des ondes par le circuit des relais. Dans un autre dispositif [fig. 98 (*b*)] du même type, le condensateur *c* et le cohéreur *C* étaient permutés.

M. Marconi décrit en détails, au cours de ses brevets, les multiples dispositions qu'affectaient les enroulements *p* et *s* du transformateur *jigger*, dont l'usage accrut notablement la portée de réception des ondes, mais ne parvint pas à doter les dispositifs récepteurs d'effet sélectif. Ce sont ces dispositifs qui furent mis en œuvre au cours des expériences de 1899, faites entre Douvres (Angleterre) et Wimereux (France).

Fig. 98.



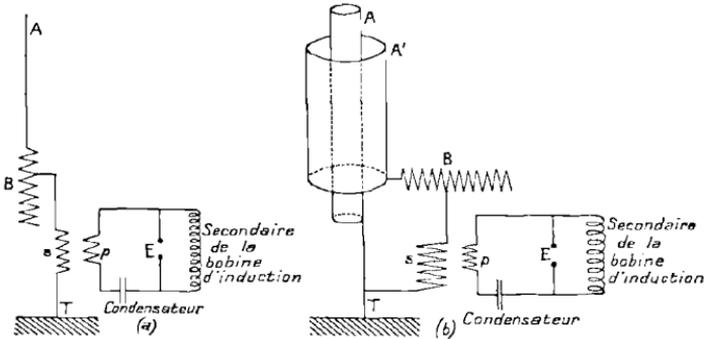
Premiers dispositifs récepteurs Marconi.

Perfectionnement aux relations de l'antenne avec le cohéreur.

Seconds dispositifs. — Dans la seconde série de dispositifs qu'il mit en pratique, M. Marconi se servit encore de connexions indirectes en actionnant l'antenne d'émission au moyen d'un transformateur dont le primaire *p* (fig. 99) est relié au circuit de l'excitateur *E*, le secondaire *s* étant relié, d'une part au sol *T*, d'autre part à l'antenne *A*, par une bobine de self réglable *B*. Le condensateur *C* constitue une capacité variable, dont le jeu doit permettre l'accord des postes associés. C'est

avec des dispositifs de ce genre que M. Marconi utilisa pendant quelque temps des antennes formées de deux larges cylindres conducteurs concentriques [fig. 99 (b)]. A l'aide de semblables

Fig. 99.



Seconds dispositifs de M. Marconi (transmission).

Connexions indirectes : usage d'une bobine de self distribuée sur l'antenne.

a. Antenne simple.

b. Antenne constituée de deux cylindres conducteurs concentriques.

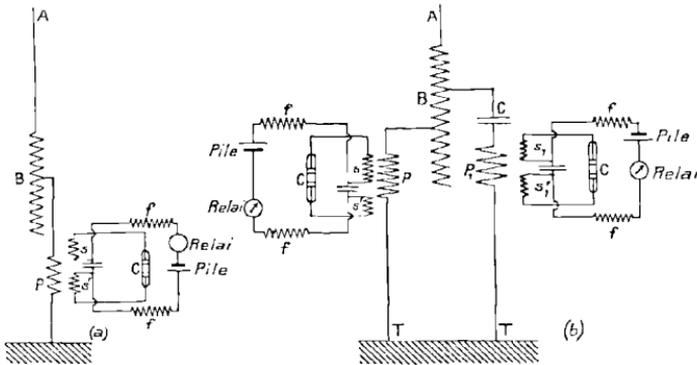
antennes, M. Marconi aurait pu communiquer à 55^{km} en mer, en utilisant des cylindres de 1^m,25 de hauteur et de 0^m,40 de diamètre.

L'usage d'une bobine de self ainsi placée sur l'antenne amena M. Marconi à varier un peu le dispositif de réception en scindant le secondaire de son transformateur jigger en deux parties séparées l'une de l'autre par une capacité c . On obtient alors le schéma de montage représenté par la figure 100. L'accord s'obtient, quelle que soit, d'ailleurs, la capacité c qui n'a que peu d'importance, en choisissant les enroulements s, s' de manière que chaque moitié du circuit du cohéreur vibre en quart d'onde. L'ensemble vibre alors en demi-onde. Ce dispositif n'est, en somme, autre chose que la mise en pratique à la réception du résonateur à coupure que nous avons imaginé et décrit ⁽¹⁾ dès 1895.

(¹) A. TURPAIN, *Le résonateur à coupure* (Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux, 4 avril 1895 et 21 juillet 1898; *Comptes rendus*, 31 janvier 1898).

En utilisant ces seconds dispositifs, M. Marconi a pu réaliser quelques communications diplex au moyen d'une seule antenne. On se sert d'ondes de deux longueurs notablement

Fig. 100.



Seconds dispositifs de M. Marconi (réception). Connexions indirectes : séparation du secondaire du transformateur jigger en deux enroulements séparés par une capacité.

a. Réception unique. — b. Réception diplex.

différentes. Le schéma du montage est donné pour la réception par la figure 100 (b). On dispose un condensateur c sur le circuit de réception à ondes courtes. A la transmission, l'antenne unique est encore réunie par l'intermédiaire d'une bobine de self réglable aux primaires p et p_1 des deux transformateurs. Le dispositif est en tout point semblable à celui de la figure 100 (a) que l'on double [fig. 100 (b)].

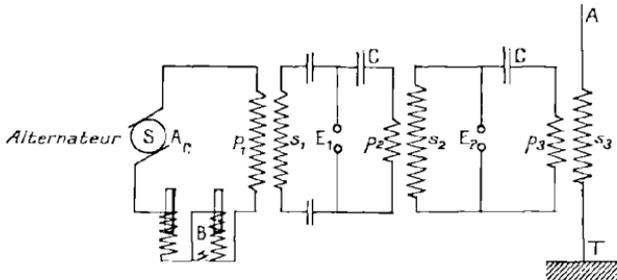
Ce sont des dispositifs de ce genre qu'utilisa M. Marconi lors de ses premiers essais de télégraphie sans fil à grande distance (expériences entre la Corse et la France, 175^{km}; entre l'île de Wight et la pointe Lizard, 300^{km}).

Troisième dispositif. — Enfin, dans ses essais de communication à très grande distance, la production des ondes est assurée par un alternateur et par des transformateurs. Le courant alternatif produit en A_r (fig. 101) parcourt le pri-

maire p_1 d'un premier transformateur dont le secondaire s_1 fait partie d'un circuit oscillant à excitateur E_1 . Ce circuit comprend lui-même le primaire p_2 d'un second transformateur, dont le secondaire s_2 est compris dans un second circuit oscillant qui agit lui-même par p_3 sur l'enroulement s_3 relié à l'antenne.

La manipulation se fait en mettant en court-circuit une bobine de self B placée sur le circuit de l'alternateur.

Fig. 101.



Troisième dispositif de M. Marconi (transmission). Production des ondes par courants alternatifs et transmetteurs successifs. Station très puissante pour essais de communication à très grande distance.

Détails du récepteur à cohéreur de M. Marconi. — Tous les organes de réception, à l'exception du récepteur Morse, se trouvent placés dans une boîte en fer mise en communication avec la terre. Cette précaution empêche les ondes produites au poste, au moment d'une transmission, d'agir sur les organes de réception. La manœuvre du manipulateur sépare d'ailleurs l'antenne du dispositif récepteur au moment même de l'émission des ondes.

L'ensemble du dispositif récepteur est représenté par le schéma de la figure 101 bis, où l'on a indiqué les divers shunts sans self placés sur les parties inductives des circuits. Ces shunts sont formés soit par des résistances sans self, soit par des résistances en série avec un condensateur.

Dans les essais de transmission à très longue distance, l'em-

ploi du détecteur magnétique a fait délaisser tout ce dispositif prévu pour l'usage du cohéreur.

Fig. 101 bis.

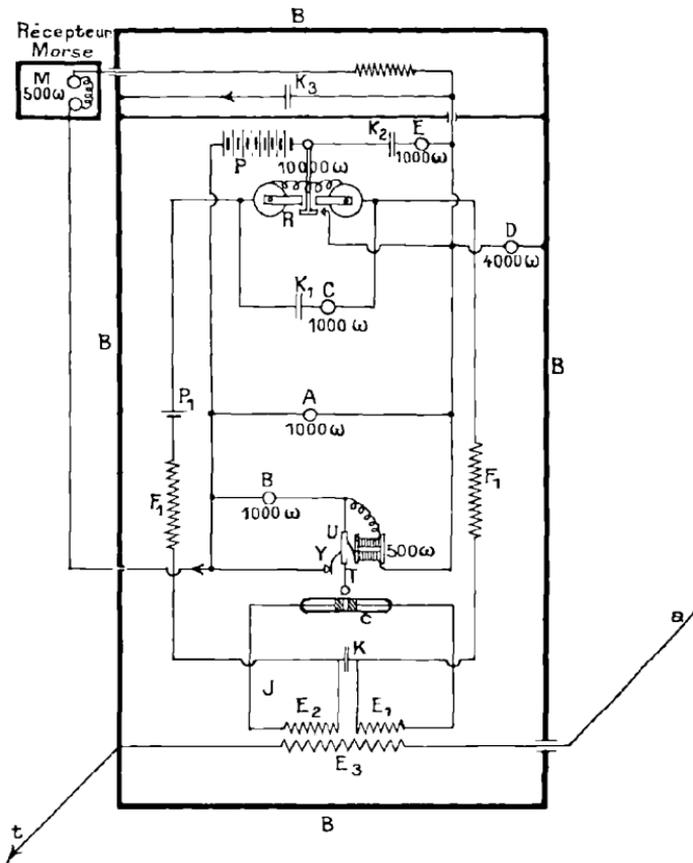


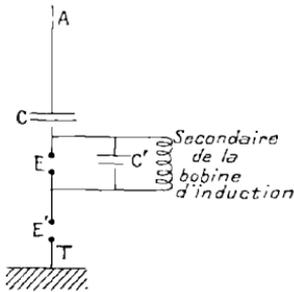
Schéma du poste récepteur de M. Marconi.

Dispositifs de M. Braun. — Pour diminuer l'amortissement des ondes émises, M. Braun a préconisé l'emploi d'oscillations à grandes longueurs d'onde et leur production au moyen de circuits séparés de l'antenne et n'agissant sur elle que par le

moyen d'un transformateur (*connexions indirectes*). Pour pouvoir utiliser une grande énergie, M. Braun met en circuit des capacités notables. Les deux schémas des figures 102 et 103 représentent les dispositifs d'émission combinés par M. Braun. Dans le premier, l'antenne est connectée directement à l'excitateur E, mais un condensateur C est disposé sur le trajet antenne-excitateur-terre. Un second excitateur E sépare d'ailleurs la prise de terre du circuit oscillant. Le condensateur réglable C' sert à régler la période des oscillations produites.

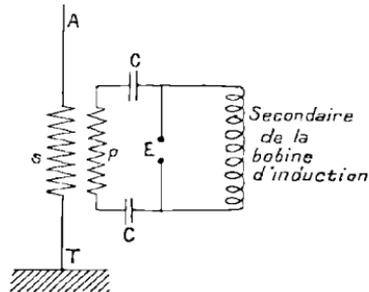
Le second dispositif (*fig. 103*) comprend un circuit oscillant $ECpC$ agissant par transformateur sur l'antenne.

Fig. 102.



Premier dispositif de M. Braun.
Connexions directes : disposition d'une capacité sur l'antenne.

Fig. 103.



Second dispositif de M. Braun.
Connexions indirectes : usage d'un transformateur ordinaire.

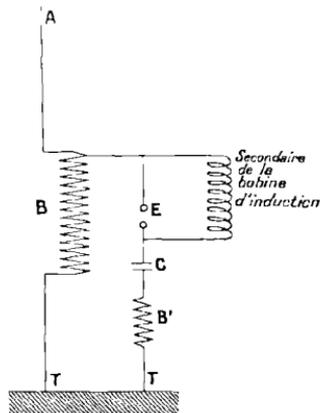
Dispositifs de M. Slaby. — Dispositif d'émission. — Le dispositif de production des ondes employé par M. Slaby est un dispositif à connexions indirectes de la deuxième catégorie. La figure 104 le représente.

Le réglage s'effectue par la self de la bobine B et au moyen du condensateur C et de la bobine B'.

Dispositif de réception. — Pour réaliser les dispositifs de réception qu'il a présentés comme originaux, M. Slaby a appliqué à la télégraphie sans fil les propriétés des champs interfé-

rents que nous avons mis expérimentalement en évidence ⁽¹⁾ quelques années avant les premiers essais du professeur allemand.

Fig. 104.



Dispositif de transmission de M. Slaby.

M. Slaby remarque que, dans tous les dispositifs de télégraphie sans fil, on place le cohéreur en une région de l'antenne où il semble le moins susceptible d'être actionné. Si nous utilisons la représentation schématique qui nous sert à présenter les propriétés des champs interférents (voir Chap. IX), nous pouvons supposer qu'au sommet d'une antenne réceptrice A (fig. 105) se trouve une section ventrale des ondes stationnaires électriques dont l'antenne est le siège. Supposons, pour fixer les idées, qu'il s'y trouve un ventre positif $V+$. Supposons encore qu'au point où l'antenne touche le sol se trouve la section nodale immédiatement consécutive N. C'est admettre que les ondes émises, que les ondes qui parcourent l'antenne, ont pour longueur d'onde 4 fois la longueur de l'antenne. Si le cohéreur situé, en général, en c au voisinage du sol dé-

(¹) A. TURPAIN, *Sur le champ hertzien* (Comptes rendus, 28 mars 1898); *Recherches expérimentales sur les oscillations électriques*, p. 58 à 74 et 147, Paris, A. Hermann, 1899.

cèle ces ondes, il est évident qu'il les décélérerait bien plus efficacement s'il se trouvait au sommet de l'antenne. On peut

Fig. 105.



Schéma représentatif de l'état électrique d'une antenne.

même admettre que ce ne sont pas ces ondes que le cohéreur décèle, mais plutôt des ondes parasites qui les accompagnent et qui se trouvent avoir une section ventrale au voisinage de la région *c* occupée par le cohéreur.

Si cette manière de voir est plausible, on doit pouvoir augmenter l'action des ondes sur le cohéreur en le plaçant à l'extrémité d'une longueur additionnelle de fil réuni en *N* à l'antenne et de longueur égale à la longueur de l'antenne. S'il est en effet pratiquement impossible de disposer le cohéreur au sommet de l'antenne, il est très commode de le disposer à l'extrémité du second fil qui peut être dirigé horizontalement. L'ensemble des deux fils *A* et *A'* (fig. 106) constitue en définitive un champ interférent de $\frac{1}{2}$ de longueur d'onde.

On peut même aller plus loin et, en supposant que l'antenne *A* reçoive d'un oscillateur unique ou de plusieurs oscillateurs tout un cortège d'ondes de longueurs différentes, se proposer de déceler chaque onde à l'exclusion de toutes les autres à l'aide d'une série de cohéreurs disposés respectivement aux extrémités d'un groupe de fils de longueurs conve-

nables réunis tous à la terre au point N. La figure 107 représente la distribution des ventres le long de trois fils additionnels

Fig. 106.

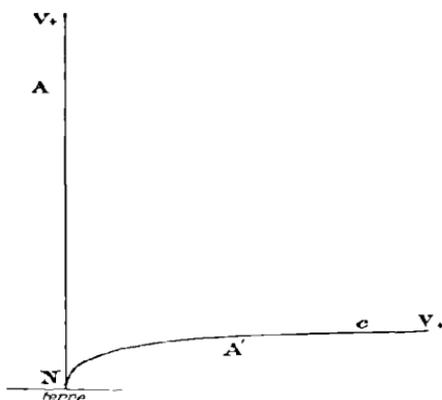


Schéma représentatif de l'état électrique d'une antenne munie à sa base d'une longueur additionnelle de fil.

A', A'', A''' et le long de l'antenne. Les ventres sont représentés par les lettres V, U et φ .

M. Slaby (¹) est ainsi parvenu, par l'application des propriétés des champs interférents à la télégraphie sans fil, à réaliser deux communications simultanées à l'aide d'une même antenne A, au pied de laquelle étaient disposées deux longueurs additionnelles de grandeurs différentes. On augmente considérablement l'action des ondes sur le cohéreur en reliant le cohéreur à l'extrémité des fils A', A'' par l'intermédiaire de bobines dont la forme et le mode d'enroulement dépendent de la longueur d'onde des oscillations à déceler. En même temps, cette bobine intercepte les ondes pour lesquelles elle n'est pas accordée. La longueur des étincelles qu'on peut tirer d'un fil rectiligne parcouru par les oscillations s'élève de 0^m,01 à 0^m,10 après l'introduction de cette bobine que M. Slaby

(¹) A. SLABY, *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, 10 et 24 janvier 1901, p. 38.

nomme *multiplieur*. Ce dispositif additionnel a également été employé par nous antérieurement dans le même but lors

Fig. 107.

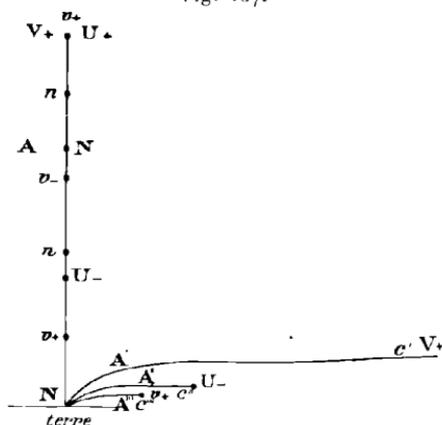
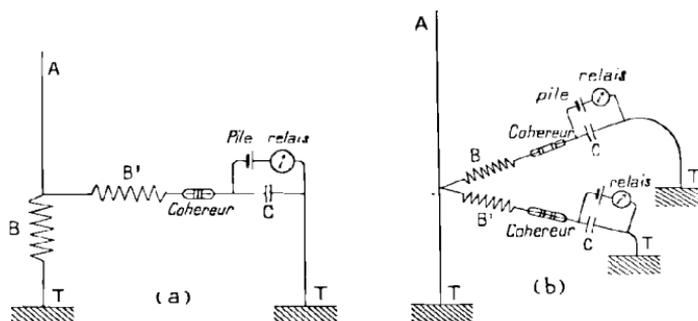


Schéma représentatif de l'état électrique d'une antenne munie à sa base de trois fils additionnels de longueurs différentes.

de l'application faite des propriétés de nos champs interférents à la *multicommutation en télégraphie* ⁽¹⁾.

Fig. 108.



Dispositif de réception de M. Slaby utilisant les propriétés des champs interférents.
a. Réception unique. — b. Double réception.

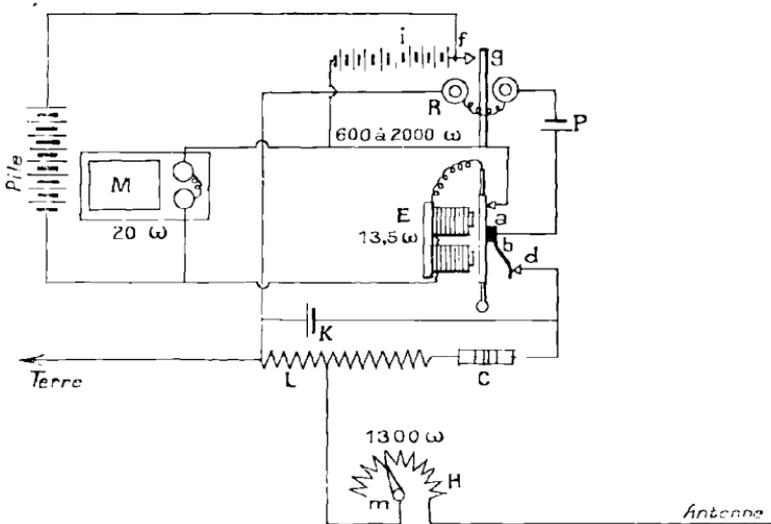
⁽¹⁾ A. TURPAIN, *Sur la multicommutation en télégraphie au moyen des ondes électriques*. Brevet du 23 juin 1898.

Partant des principes expérimentaux que nous avons établis, M. Slaby a réalisé les montages pour simple et double réception représentés figures 108 *a* et 108 *b*.

La double réception ne put d'ailleurs être assurée qu'à très faible distance, 4^{km} et 15^{km}.

Dispositifs Telefunken. — Le dispositif allemand dit *Telefunken* n'est que le résultat d'une combinaison réalisée en réunissant ce que l'expérience a montré pratiquement le meilleur, tant dans les dispositifs de M. Braun exploités par la Compagnie de télégraphie sans fil de la maison Siemens et Halske que dans les dispositifs de M. Slaby exploités par l'Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft. Ces deux sociétés ont fusionné depuis 1903 et exploitent sous le nom de *Telefunken* les dispositifs de M. Braun et ceux de M. Slaby.

Fig. 109.



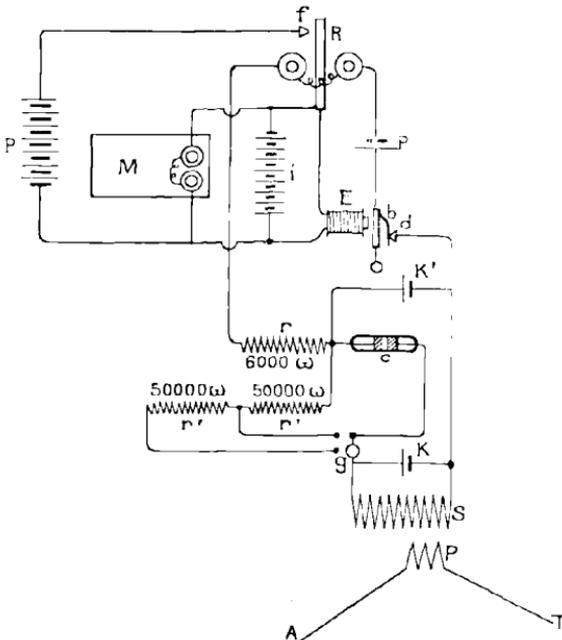
Récepteur type Slaby-Arco.

Récepteur type Slaby-Arco. — On réunit sur un même socle (fig. 110) tout le dispositif récepteur, à l'exclusion de la pile du

récepteur Morse. Le circuit du cohéreur s'ouvre par le mouvement même du frappeur. Le relais est du type Siemens à grande résistance. Le réglage pour réception à courte ou longue distance se fait par la self U. En même temps le rhéostat H permet d'affaiblir l'action des ondes.

Récepteur Telefunken. — Dans ce récepteur on retrouve à peu de chose près le montage précédent. Les connexions sont indirectes, mais de la première catégorie au lieu d'être de la seconde catégorie. Ce sont les mouvements de la palette du relais R (fig. 110) qui commandent ceux du frappeur. Ici encore

Fig. 110.



Récepteur Telefunken.

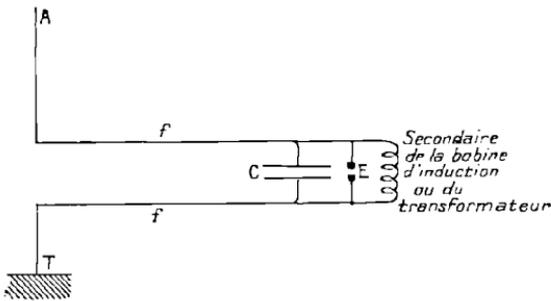
le circuit du cohéreur est ouvert dès que le frappeur se met en mouvement. Une résistance $r'r'$ peut être substituée au cohéreur par la manœuvre d'un commutateur g ; cela permet le

réglage du relais à deux sensibilités différentes. Le transformateur jigger PS comprend des enroulements portés sur deux cylindres d'ébonite qu'on peut éloigner ou rapprocher l'un de l'autre, ce qui permet de faire varier l'accouplement.

Enfin la manœuvre qui permet de passer de la réception à la transmission nécessite l'abaissement d'un levier qui enlève le cohéreur de son circuit et le dispose verticalement de manière que la limaille ne repose que sur l'une des électrodes.

Dispositifs de M. de Forest. — *Dispositif d'émission.* — Ce dispositif, qui utilise la concentration du champ hertzien au moyen de deux fils tendus parallèlement à la manière de Hertz, constitue un montage à connexions directes. La figure 111 en donne

Fig. 111.



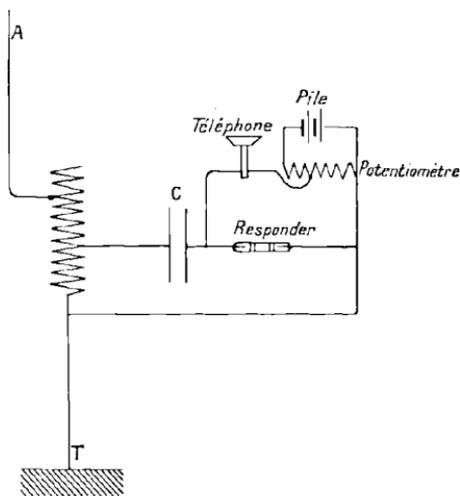
Dispositif d'émission de M. de Forest. Connexions directes.

le schéma. Dans la pratique, au lieu de s'astreindre à tendre parallèlement les deux fils f, f , on peut les constituer par deux conducteurs bien isolés torsadés ensemble et enroulés sur une bobine de 75^{mm} de diamètre, le pas de l'hélice d'enroulement étant de 8^{mm} . Au lieu d'une bobine d'induction on emploie du courant alternatif et un transformateur.

Dispositif de réception. — Le dispositif récepteur de M. de Forest utilise un cohéreur de confection particulière que l'inventeur appelle *responder* et qui semble très sensible. On dispose entre deux électrodes métalliques une pâte spéciale

composée de limailles assez grosses et d'oxyde de plomb en parties égales mélangées à de la vaseline ou de la glycérine et quelques gouttes d'eau ou d'alcool. Une vis règle la pression de cette pâte entre les deux électrodes. Placées sur le circuit d'une pile, ces sortes de pastilles seraient par l'effet du courant le siège de ponts conducteurs extrêmement déliés se formant de l'anode à la cathode. L'action des ondes est de rompre ces ponts qui se reforment ensuite d'eux-mêmes et par suite d'accroître la résistance du contact imparfait. Le responder fonctionne donc comme un anticohéreur autodécohérable. Les variations du courant de la pile sous l'influence des ondes électriques se traduisent par un son dans un téléphone disposé sur le circuit. La figure 112 indique le dispositif de réception

Fig. 112.



Dispositif de réception de M. de Forest.
Connexions directes.

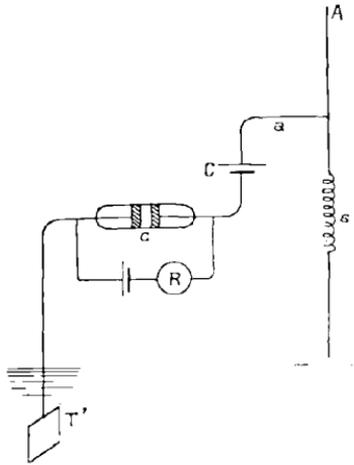
qui est à connexions directes. Le courant de la pile qui parcourt le téléphone est réglé au moyen d'un potentiomètre.

C'est en mettant en œuvre ces dispositifs que la « de Forest Wireless Telegraph Co » assure de nombreuses communi-

tions par télégraphie sans fil. Elle établit en particulier, lors de l'Exposition de Saint-Louis, un service entre Chicago et Kansas City au moyen d'une antenne multiple à 20 fils de 64^m de hauteur qui envoyait ainsi des ondes à une distance de 300 miles.

Dispositif de M. Tissot. — Le dispositif à connexions directes représenté figure 113 et qui emprunte l'usage du cohéreur paraît augmenter la sécurité de la réception. L'antenne A (fig. 113) est reliée à la terre T par l'intermédiaire

Fig. 113.



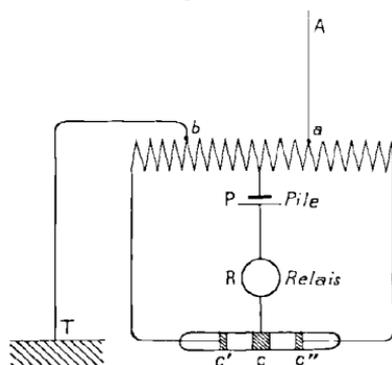
Dispositif récepteur de M. Tissot.

d'une bobine de self-induction s . Une dérivation a aboutit à l'une des armatures d'un condensateur dont l'autre armature est reliée à la terre T par l'intermédiaire du cohéreur c . En dérivation sur les bornes du cohéreur se trouve branché, à la manière ordinaire, le circuit comprenant un élément de pile et le relais R.

Dispositif de M. Rochefort. — Dans le dispositif de réception de M. Rochefort dit à *cohéreur-condensateur*, le cohéreur utilisé est à 3 électrodes. Cette combinaison accroît notable-

ment l'intensité du courant envoyé dans le relais R (fig. 114). Les connexions sont indirectes et de la deuxième catégorie.

Fig. 114.



Dispositif récepteur de M. Rochefort à cohéreurs à 3 électrodes.
Connexions indirectes, seconde catégorie.

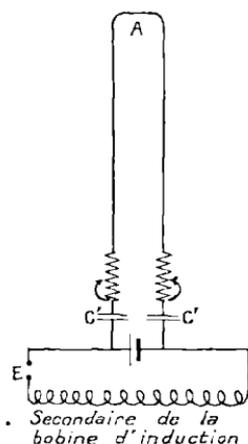
L'antenne A est reliée en un point *a* d'un solénoïde jouant le rôle de transformateur spécial. La prise de terre est en *b*. Lorsque la cohération est produite, deux courants, l'un $Pbc'cRP$, l'autre $Pac''cRP$, ajoutent leurs actions dans l'enroulement du relais.

Dispositifs de M. Maskelyne. — *Dispositif d'émission.* — L'antenne fait partie d'un circuit radiateur fermé. C'est une boucle constituée par un ou plusieurs fils maintenus isolés et verticaux. Les extrémités de cette boucle A (fig. 115) sont en relation avec des selfs réglables auxquelles font suite deux condensateurs $C' C''$. L'oscillateur est constitué d'un excitateur E et d'un condensateur C mis en circuit sur le secondaire de la bobine d'induction utilisée. Le circuit de l'antenne vient se brancher de part et d'autre du condensateur C. Ce dispositif constitue donc un dispositif à connexions directes. Le réglage des selfs f, f se fait en court-circuitant un certain nombre de spires.

Dispositif de réception. — C'est encore une antenne en boucle

fermée qu'utilise M. Maskelyne pour la réception. L'une des extrémités de la boucle-antenne est mise directement au sol

Fig. 115.



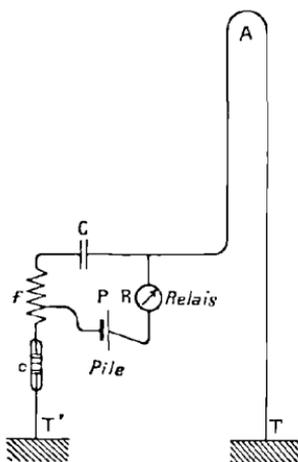
Dispositif d'émission de M. Maskelyne à antenne à boucle fermée.
Connexions directes.

en T (fig. 116). L'autre extrémité est réunie à un relais R auquel fait suite une pile P ou mieux un potentiomètre, une self réglable f et le cohéreur c dont la seconde électrode est reliée à la terre en T'. Un condensateur C est placé en dérivation entre l'antenne et l'extrémité de la self réglable f . Ce dispositif peut être considéré comme un dispositif à connexions directes. C'est en le mettant en œuvre que M. Maskelyne put surprendre de Porthcurnow, à 280^{km} de Poldhu, les essais de communication à très grande distance de M. Marconi et séparer même les signaux destinés au vaisseau italien *le Carlo Alberto* de signaux parasites envoyés simultanément pour empêcher la surprise des télégrammes.

Dispositifs de M. Ferrié. — Au cours de ses nombreuses études de télégraphie sans fil, M. Ferrié a utilisé les cohérences à limaille, principalement à limaille d'or. Il a, le premier, signalé et utilisé le détecteur électrolytique. Le dispositif ré-

cepteur utilisé en télégraphie militaire en France est le résultat de ses nombreux essais, qui l'ont conduit à doter notre administration militaire d'un matériel aussi pratique que possible. La figure 117 donne le schéma d'un poste récepteur de télégraphie sans fil militaire. Une pile unique est utilisée pour le cohéreur, pour le frappeur et pour le récepteur Morse. Un potentiomètre permet de régler le courant admis dans le

Fig. 116.

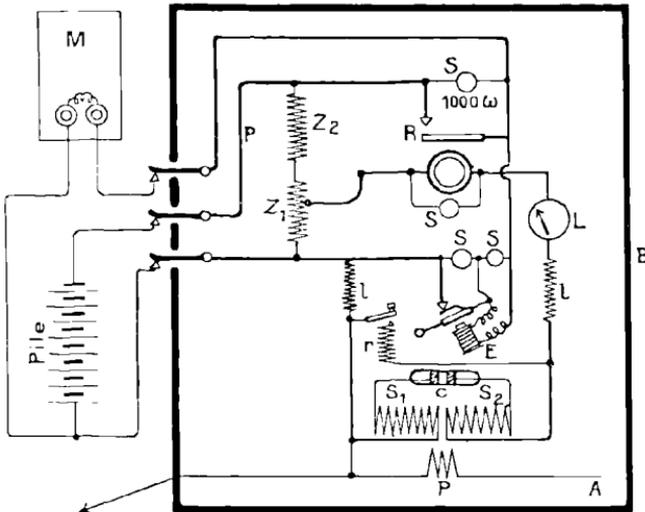


Dispositif de M. Maskelyne à antenne à boucle fermée.
Connexions directes.

cohéreur. Tous les appareils, à part le récepteur Morse et la pile, sont disposés à l'intérieur d'une caisse entièrement métallique dont la manœuvre du couvercle coupe automatiquement les circuits de réception au moment de la transmission. Le relais utilisé est du type Claude. Deux bobines de self f , f sont placées dans le circuit du cohéreur qui relie les extrémités de deux solénoïdes s_1 , s_2 . L'antenne est reliée au primaire P du transformateur dont s_1 et s_2 constituent le secondaire. Il y a, de plus, une connexion entre le primaire et le secondaire. Le type de ce dispositif de réception est donc à connexions indirectes de la seconde catégorie, à transformateurs spéciaux.

Dispositifs à détecteur. — La simplicité qu'introduit dans les circuits récepteurs l'utilisation des détecteurs magnétiques,

Fig. 117.



Dispositif récepteur de la télégraphie militaire française
établi par M. Ferrié.

électrolytiques ou thermiques, qui tous nécessitent l'usage d'un téléphone et la réception au son, n'a pas permis de varier beaucoup les schémas des connexions à réaliser. On ne peut songer, en effet, lorsqu'on emploie ces détecteurs, à mettre en œuvre un relais et, par suite, à enregistrer le télégramme.

Aussi deux types seulement de montage à détecteur ont-ils été réalisés : le type à connexions directes et le type à connexions indirectes.

Dispositif de réception à détecteur. Connexions directes (fig. 118). — L'antenne A, le détecteur δ et la prise de terre sont disposés en série avec interposition ou non d'une self réglable B située entre l'antenne et le détecteur, et encore d'une capacité réglable C mise en dérivation aux bornes du détecteur δ . Aux bornes du détecteur se trouve branché, d'autre part, le circuit

de réception constitué d'un téléphone φ et d'une pile ou mieux d'un potentiomètre.

Fig. 118.

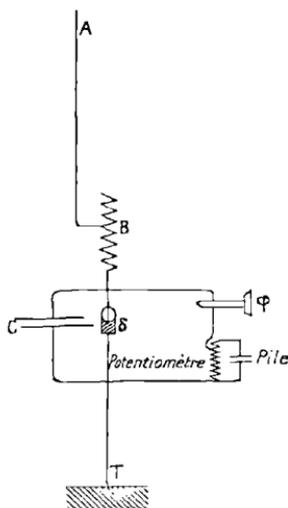


Schéma d'un dispositif de réception à détecteur.
Connexions directes.

Dispositif de réception à détecteur. Connexions indirectes : première catégorie. — L'antenne A est reliée au primaire p (fig. 119) du transformateur, relié d'autre part à la terre. Le secondaire s du transformateur est mis en circuit avec le détecteur d et avec une capacité réglable C . Aux bornes du détecteur d vient se brancher le circuit d'utilisation constitué d'un téléphone φ et d'une pile ou mieux d'un potentiomètre qui permet de régler le potentiel à admettre aux bornes du détecteur.

Connexions indirectes : seconde catégorie. — Le schéma de montage du détecteur, dans le cas où l'on fait usage de la seconde catégorie des connexions indirectes, se déduit aisément de ce que nous savons de ces connexions, sans qu'il y ait lieu d'insister. Il est donné par la figure 120.

Dans tous ces dispositifs schématisés par les figures 118, 119 et 120, on peut employer et l'on emploie effectivement, en

Fig. 119.

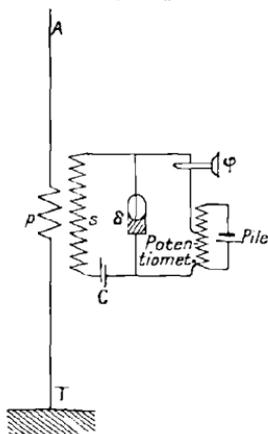


Schéma d'un dispositif de réception à détecteur.
Connexions indirectes : première catégorie.

pratique, deux téléphones φ au lieu d'un seul. Ceci permet aux télégraphistes de mieux s'abstraire des bruits extérieurs et d'être, par suite, plus attentifs à la réception des signaux.

Dispositifs de M. Magni. — Les dispositifs préconisés par M. Magni ont pour but de produire une interférence des ondes électriques utilisées. Deux antennes sont disposées au poste transmetteur, et le poste récepteur est également muni de deux antennes. Au poste transmetteur, les deux antennes sont distantes l'une de l'autre d'une demi-longueur d'onde des oscillations produites. Les deux antennes réceptrices sont disposées en un lieu situé dans le plan perpendiculaire au plan des antennes de transmission et à égale distance de ces deux antennes. Les antennes réceptrices présentent également un écart égal à la moitié de la longueur d'onde; on les réunit ensemble et de manière qu'un ventre de vibration se produise à leur point de réunion. C'est en ce point qu'on dispose le cohéreur.

Dispositifs de M. Artom. — C'est également un dispositif basé sur les phénomènes d'interférence que préconise M. Artom. Deux antennes A_1, A_2 (fig. 121) sont disposées perpendiculairement l'une à l'autre. Elles sont toutes les deux excitées

Fig. 120.

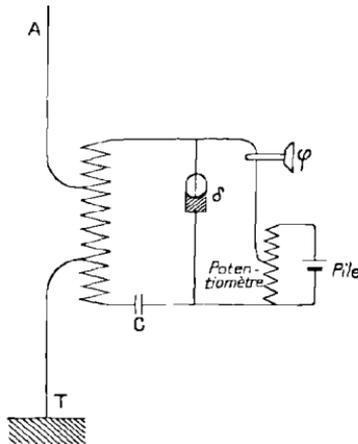


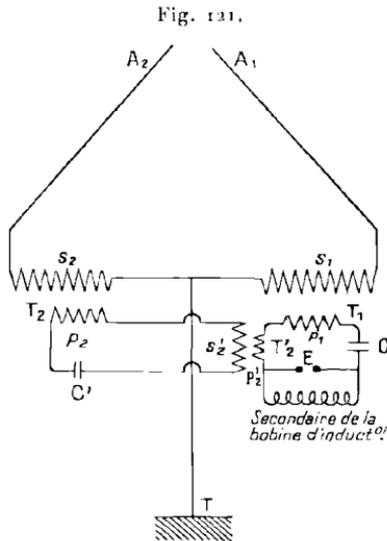
Schéma d'un dispositif de réception à détecteur.
Connexions indirectes : seconde catégorie.

au moyen de connexions indirectes : l'une A_1 , par un transformateur T_1 , dont le primaire est directement en circuit avec l'excitateur E ; l'autre A_2 , au moyen d'une double transformation. Le circuit oscillant agit par le transformateur T'_1 sur le secondaire s'_2 placé dans un circuit qui agit par induction (transformateur T_2) sur l'antenne A_2 . De cette manière, on peut faire en sorte que les ondes émises par les deux antennes soient de même période, mais présentent une différence de phase de $\frac{\lambda}{4}$, c'est-à-dire un retard de $\frac{T}{4}$.

Il se produirait ainsi, à partir du système des deux antennes, un champ électrique tournant qui aurait pour effet de diriger les ondes.

À la réception, un même système d'antennes perpendiculaires est disposé et chacune d'elles est reliée à un enroule-

ment p_2 (fig. 122) qui agit sur un secondaire s . Le sens des enroulements p_1 et p_2 est inverse, si bien que des ondes arrivant dans une direction perpendiculaire au plan des antennes agissent également et en sens inverse sur le secondaire s ;



Dispositif transmetteur de M. Artom à deux antennes perpendiculaires.
Connexions indirectes : première catégorie.

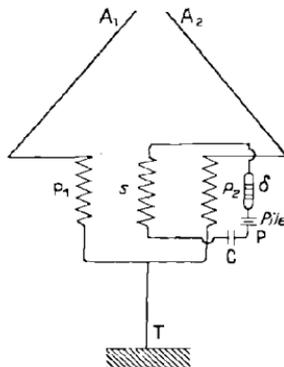
aucune action ne se trouve enregistrée dans le circuit d'utilisation $s\delta$ PC. Si les ondes viennent d'une direction coïncidant avec le plan des antennes, elles agissent avec une certaine différence de marche sur chaque antenne, les actions des primaires p_1 , p_2 ne se contrebalancent plus exactement et le détecteur δ est actionné.

Les essais effectués avec ces dispositifs auraient donné, en Italie, des résultats suivis de succès; aussi établit-on actuellement des postes montés suivant ce procédé à Cherbourg, à Dieppe et au Havre.

Dispositifs de M. Poulsen. — On a cherché à utiliser, pour la production des ondes utilisées en télégraphie sans fil, l'arc

chantant de M. Dudell. Les divers essais faits dans ce sens n'ont pas été suivis de succès, jusqu'à celui préconisé récem-

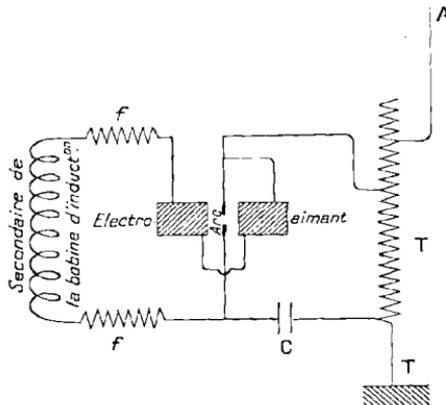
Fig. 122.



Dispositif récepteur de M. Artom à deux antennes perpendiculaires.
Connexions indirectes : première catégorie.

ment par M. Poulsen. Le procédé consiste à refroidir énergiquement l'arc utilisé. On y parvient par une circulation active

Fig. 123.



Dispositif d'émission de M. Poulsen utilisant l'arc chantant à électrodes refroidies.
Connexions indirectes : seconde catégorie.

T.

11

d'hydrogène ou mieux encore en constituant l'anode de l'arc d'un tube creux de cuivre, à l'intérieur duquel circule un courant d'eau froide. De plus, l'arc est disposé dans un champ magnétique intense qui le fixe en même temps que se trouve augmentée la chute de tension sur le trajet de l'arc.

Le schéma de la figure 123 indique comment on réalise un dispositif d'émission à connexions indirectes à arc.

Pour la réception, M. Poulsen préconise la mise en circuit du détecteur d'une façon momentanée au moyen d'un contact intermittent constitué, par exemple, par une roue dentée sur laquelle appuie un ressort. On doit employer des contacts or sur or, ou encore maillechort sur argent. On peut, d'ailleurs, supprimer tout détecteur et placer, directement dans le circuit, un téléphone écouteur relié au circuit par l'intermédiaire d'un contact intermittent.



CHAPITRE V.

APPLICATION DES ONDES A LA TÉLÉGRAPHIE.
TÉLÉGRAPHIE SANS FIL (*suite*).
LONGUEURS D'ONDE ET AMORTISSEMENT. LEURS MESURES.
ACCOUPLLEMENT.

RÉGLAGE DES POSTES DE TÉLÉGRAPHIE SANS FIL.

Les divers dispositifs que nous venons de passer en revue nécessitent un accord déterminé entre les divers éléments : capacité, self-induction et résistance des circuits qui les constituent. De plus, les divers circuits fermés qui se trouvent associés dans les dispositifs à connexions indirectes doivent être disposés de manière à produire des oscillations électriques d'une longueur d'onde déterminée à l'exclusion de toute autre, ou encore à résonner pour cette longueur d'onde.

La recherche de la syntonisation, problème dont nous analyserons les solutions au Chapitre suivant, a conduit en effet les expérimentateurs à rechercher tant entre les diverses parties de chaque dispositif transmetteur ou récepteur qu'entre les dispositifs transmetteur et récepteur qui doivent être associés des conditions déterminées de résonance.

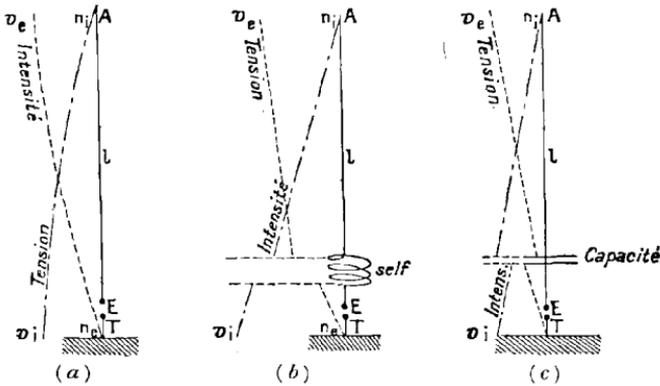
Il faut donc pouvoir déterminer les longueurs d'onde des oscillations produites par un dispositif ou susceptibles d'être reçues dans de meilleures conditions de sensibilité que toutes autres. Ceci amène, étant donné le caractère même des oscillations électriques, à s'occuper de l'amortissement de ces ondes. Enfin, l'accouplement des circuits associés dans un dispositif devra également retenir notre attention.

Ce sont ces trois questions : détermination et mesure de la longueur d'onde, amortissement des ondes et mesure de cet amortissement, accouplement des circuits et réalisation de cet accouplement, que nous allons étudier dans ce Chapitre. Nous

le terminerons en indiquant les résultats les plus certains obtenus au cours des nombreuses recherches expérimentales et des nombreuses mesures que ces questions ont déterminées. Nous aurons par là toute une série de données qui nous permettront d'analyser d'une manière plus sûre les dispositifs de syntonisation et d'indiquer dans quelle mesure ce problème a été solutionné.

Longueur d'onde des oscillations d'une antenne. — Une antenne simple, constituée d'un fil unique vertical isolé à l'une de ses extrémités et relié directement au sol par l'autre extrémité, vibre, à peu de chose près, en quart d'onde. Cela veut

Fig. 124.



Mise en vibration d'une antenne.

- a. Une antenne simple directe vibre en quart d'onde $l \approx \frac{\lambda}{4}$.
- b. L'interposition d'une self-induction allonge l'antenne $l > \frac{\lambda}{4}$.
- c. L'interposition d'une capacité raccourcit l'antenne $l < \frac{\lambda}{4}$.

dire que la distance $AT = l$, qui sépare la prise de terre T (fig. 124) de l'extrémité supérieure A de l'antenne, égale le quart de la longueur d'onde des oscillations qu'émet l'antenne :

$$l = \frac{\lambda}{4}.$$

Cette longueur AE doit être comptée le long du fil de l'antenne. Dans la pratique, on trouve toujours AT un peu inférieure à $\frac{\lambda}{4}$: $l < \frac{\lambda}{4}$.

L'interposition d'une self-induction sur le trajet de l'antenne [fig. 124 (b)] équivaut à un allongement de l'antenne. On constate alors que $l > \frac{\lambda}{4}$.

L'interposition d'une capacité [fig. 124 (c)] sur le trajet de l'antenne équivaut à un raccourcissement de l'antenne. On constate que $l < \frac{\lambda}{4}$.

La figure 124 indique par la courbe pointillée la variation de la tension, et par la courbe à traits interrompus la variation de l'intensité le long de l'antenne. A un ventre de tension situé à l'extrémité supérieure de l'antenne correspond un nœud d'intensité. L'interposition d'une self-induction ou d'une capacité décale brusquement cette courbe en avance ou en retard.

Il importe donc de rechercher des moyens commodes et pratiques de mesurer les longueurs d'onde.

Détermination de la longueur d'onde λ par le calcul. — On peut, en appliquant la formule de lord Kelvin simplifiée

$$(1) \quad T = 2\pi\sqrt{LC}$$

à un circuit oscillant, en calculer la période. Il suffit de connaître L et C, qui peuvent, dans quelques cas de formes simples des circuits, être donnés par le calcul. De la connaissance de la période on déduit la longueur d'onde

$$(2) \quad \lambda = VT.$$

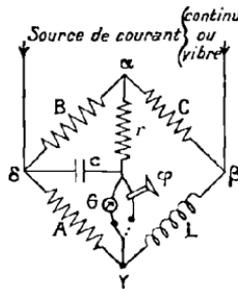
Dans la formule (1), L et C peuvent être exprimés soit en unités C. G. S. électromagnétiques, soit en unités pratiques; l'unité pratique de self-induction, l'henry, étant égale à 10^9 unités C. G. S. E. M., et l'unité pratique de capacité, le farad, étant égale à 10^{-9} unités C. G. S. E. M. La période T est toujours exprimée en secondes.

Dans la formule (2), T étant exprimé en secondes, V est égal à $3 \times 10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ et λ est donné en centimètres.

Lorsqu'il est impossible de calculer la self-induction L et la capacité C du circuit, on peut, si elles sont localisées, les mesurer en mettant en œuvre les méthodes usuelles de mesure, en particulier, pour la self-induction, la méthode du pont de Wheatstone à galvanomètre et téléphone préconisée par Fleming.

Le schéma du montage de cette méthode est donné par la figure 125. L est la self-induction à mesurer; A, B, C des résistances non inductives; r est une résistance variable reliant α à γ soit par le galvanomètre G , soit par le téléphone φ . Un condensateur c est branché entre δ et le milieu du pont. En β et δ , on établit successivement une relation avec une source de courant continu, puis avec une source de courants vibrés.

Fig. 125.



Mesure d'une self-induction L par le pont de Wheatstone à galvanomètre et à téléphone (Fleming).

On équilibre le pont en courant continu en mettant en circuit dans le pont $\alpha\gamma$ le galvanomètre G . Soient A, B, C les résistances des branches du pont correspondant à l'équilibre. On remplace le galvanomètre G par le téléphone φ et l'on alimente le dispositif par des courants vibrés; on fait varier r jusqu'à ce que le son du téléphone soit minimum. Soit r la

valeur de la résistance produisant ce minimum. On a alors

$$L = 10^3 c A \left(r + r \frac{C}{B} + C \right).$$

L est exprimé en centimètres.

M. Tissot a indiqué un procédé de mesure des faibles self-inductions basé sur l'emploi de l'arc chantant. La relation $T = 2\pi\sqrt{LC}$ se vérifie en effet très exactement dans le cas d'un circuit d'arc chantant.

La mesure de la capacité exige quelques précautions. Il faut avoir soin (cette valeur pouvant varier du simple au décuple suivant la durée de charge) de mesurer la capacité sous une durée de charge voisine de celle qui correspond à la période du courant. On y arrive aisément à l'aide d'un électro-diapason, d'un commutateur tournant ou encore d'un pendule interrupteur.

La mesure de la hauteur du son est rendue un peu délicate à cause de l'acuité des sons à comparer. On peut utiliser une sirène entraînée par un moteur électrique ou, mieux encore, mettre en œuvre la méthode graphique. On dissocie l'image de l'arc chantant au moyen d'un miroir tournant. On peut enregistrer simultanément les vibrations d'un électro-diapason.

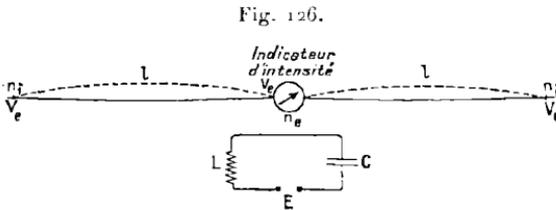
Détermination de la longueur d'onde λ par la mesure de la période T . — On peut mesurer directement la période en se servant du miroir tournant à la manière dont le fit autrefois Feddersen. En appliquant cette méthode, qui consiste à étaler sur une plaque photographique les passages successifs de l'étincelle oscillante d'un excitateur, M. Tissot a pu mesurer avec beaucoup d'exactitude la période des ondes émises par une antenne.

De la connaissance de T on déduit celle de λ par la relation $\lambda = VT$.

Mesure directe de la longueur d'onde λ . — En général, les divers expérimentateurs qui ont voulu, au cours de mesures ou de recherches sur la télégraphie sans fil, déterminer des longueurs n'ont eu qu'à s'adresser aux divers procédés que

Hertz et les physiciens qui, après lui, ont repris et continué l'étude du champ hertzien avaient institués. C'est ce qu'ont fait Drude, M. Slaby, M. Ferrié. Leurs dispositifs de mesure des longueurs d'onde qui ont conduit à la construction d'appareils dénommés *ondemètres* ne sont que l'application pure et simple de méthodes de mesure des longueurs d'onde du champ hertzien concentré par un fil ou par deux fils, et rendu ou non interférent.

Utilisation du champ hertzien concentré par un fil unique.
 — M. Ferrié allonge un fil horizontal qui concentre le champ d'oscillations créé par le circuit oscillant dont il veut connaître la longueur d'onde, jusqu'à ce qu'un instrument sensible aux ventres d'intensité (un dispositif thermique, par exemple) et placé au milieu du fil donne l'indication d'un maximum. La longueur $2l$ (fig. 126) que doit avoir alors le fil donne la demi-longueur d'onde $\frac{\lambda}{2}$ des oscillations à mesurer. On commet ainsi, comme nous l'avons montré naguère au cours de nos



Application de la concentration du champ oscillant par un fil unique à la mesure de la longueur d'onde λ des oscillations. $\frac{\lambda}{2} = 2l$ (M. Ferrié, M. Slaby).

études sur le champ hertzien concentré par un ou plusieurs fils et sur le résonateur (¹), une erreur due aux perturbations aux extrémités. Nous avons alors indiqué comment on pouvait éliminer cette erreur en s'inspirant, par une analogie assez

(¹) A. TURPAIN, *Recherches expérimentales sur les oscillations électriques*, p. 50 et 95, Paris, A. Hermann, 1899; *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 28 mars 1898.

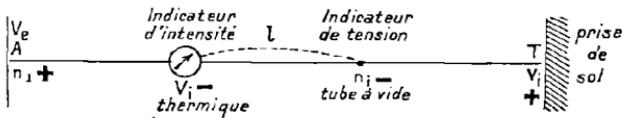
naturelle, de la méthode employée par Wertheim pour éliminer la perturbation aux extrémités se produisant dans un tuyau sonore en activité. M. Ferrié a mis à profit cette indication de notre étude en prenant comme valeur de la longueur d'onde la différence des longueurs totales du fil tendu qui correspondent à deux maxima consécutifs. La différence de ces longueurs totales donne alors d'une manière plus approchée la valeur de la longueur d'onde λ des oscillations étudiées et qu'on concentre ainsi par le fil unique tendu.

Dans la pratique de la télégraphie sans fil, on emploie des ondes de très grandes longueurs. Pour n'avoir pas à mettre en œuvre de trop grandes longueurs de fil, on peut faire en sorte, comme d'ailleurs on le fait également dans l'étude des champs hertziens, de n'avoir à déterminer qu'un quart de longueur d'onde. On crée à l'extrémité du fil un nœud permanent de tension par sa mise au sol. La longueur l qu'il faut alors donner au fil unique de concentration du champ pour que l'indicateur d'intensité marque un maximum mesure le quart de la longueur d'onde, $\frac{\lambda}{4} = l$, aux perturbations aux extrémités près. On obtient donc alors une valeur relativement peu approchée.

Il semble qu'on peut mieux utiliser cet emprunt fait aux méthodes de mesure des longueurs d'onde d'un champ hertzien par la concentration au moyen d'un fil unique et sans l'obligation, pour obtenir une valeur de λ un peu approchée, de mettre en œuvre une longueur de fil au moins égale à $\frac{3\lambda}{2}$. Ne peut-on prendre un fil de longueur grossièrement approchée de la valeur probable de $\frac{3\lambda}{4}$ dont une extrémité soit au sol? En déplaçant le long un indicateur d'intensité, on détermine alors la distance exacte l séparant le maximum v_i du minimum zéro n_i . Le contrôle d'un indicateur de tension permet d'ailleurs de situer avec plus d'exactitude la position de ce maximum de tension v_e, n_i . On a $l = \frac{\lambda}{4}$. Nous avons expérimenté un dispositif empruntant ainsi un thermique et

un tube à vide, et qui permet, par le glissement de fil de cuivre dans des tubes de cuivre, de faire varier aisément les trois distances $n_{i+}v_{i-}$, $v_{i-}n_{i-}$, $n_{i-}v_{i+}$. L'excitation des ondes en AT (fig. 127) se fait soit comme dans la figure précé-

Fig. 127.



Dispositif réduit de concentration du champ oscillant par un fil unique et permettant la détermination approchée de λ ; $l = \frac{\lambda}{4}$.

dente, en approchant une partie du circuit de l'excitateur du fil AT, ou mieux encore en plaçant l'extrémité A au voisinage de l'excitateur des ondes.

Un ondemètre rectiligne et pour ainsi dire normal étant ainsi construit, on peut diminuer très notablement son encombrement en remplaçant la majeure partie des longueurs $n_{i+}v_{i-}$, $v_{i-}n_{i-}$ et $n_{i-}v_{i+}$ par des spires enroulées dont on peut faire varier l'écartement. La graduation s'effectue par comparaison en effectuant des mesures simultanément avec les deux appareils, l'appareil rectiligne normal et l'appareil réduit, au sein de champs hertziens de longueurs d'onde diverses.

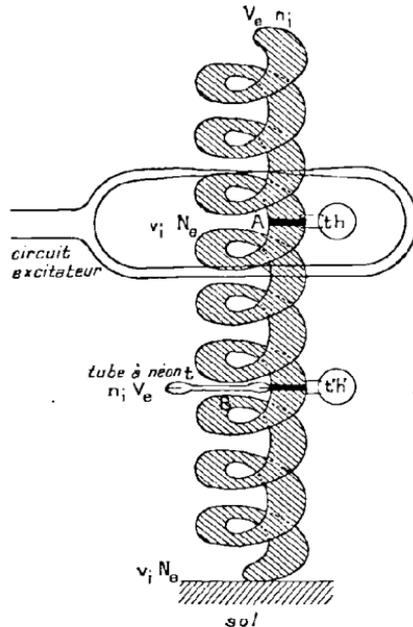
Ondemètre à nappe hélicoïdale. — Un procédé commode et pratique pour construire un ondemètre peu encombrant consiste à enrouler en spires non un simple fil mais une bande de clinquant qui forme une nappe hélicoïdale qu'on peut d'ailleurs former entre deux spirales de fil concentriques et de diamètres différents. On dispose les choses de manière que les spires soient très rapprochées les unes des autres. On peut même les amener en contact si l'on a soin d'obvier à leur mise en communication par un revêtement de papier paraffiné collé à la paraffine sur les deux faces des spires. Lorsqu'un semblable système est sous la forme de spires très rapprochées

il représente même, sur une longueur médiocre, une capacité et une self-induction notables. Vient-on, par une déformation imprimée au système, à accroître la longueur de l'axe de la nappe hélicoïdale, ce qui s'obtient aisément en tirant sur les spires extrêmes, on diminue en même temps la capacité et la self-induction du système. L'accroissement de la capacité produit, sur la longueur d'onde de la vibration propre suivant laquelle le conducteur peut résonner, un effet inverse de celui que produit l'accroissement de la self-induction. En déformant le système, on peut donc l'amener à entrer en résonance avec un circuit excitateur où se manifestent les ondes qu'on désire mesurer.

Si l'on dispose à demeure en A au $\frac{1}{3}$ des spires et en B aux $\frac{2}{3}$ des spires à partir de l'extrémité V_e des dispositifs susceptibles de manifester, en A, les ventres d'intensité (ampèremètre thermique th), en B, les ventres de tension (tube à vide t), leur maximum d'indication montrera que le système est arrivé en complète résonance avec le circuit excitateur. On peut même se servir en A et en B de deux thermiques th et th' , à condition d'intercaler en B un thermique extrêmement sensible th' , tel que son maintien au zéro soit la preuve de l'existence d'un nœud d'intensité, partant d'un ventre de tension au point où il se trouve.

L'appareil est aisé à graduer par comparaison avec un fil rectiligne ayant la longueur voulue pour manifester la réso-

Fig. 128.

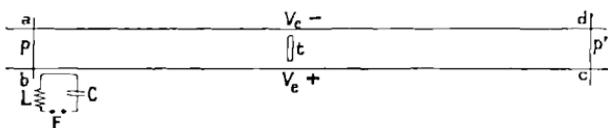


Ondemètre de M. Turpain à nappes hélicoïdales.

nance parfaite avec l'excitateur. On élimine ainsi, en mesurant pour la graduation la longueur exacte entre v_{i-} et n_{i-} (voir *fig.* 127), l'erreur due aux perturbations aux extrémités.

Utilisation du champ hertzien concentré par deux fils. — Drude a simplement concentré le champ du circuit oscillant au moyen de deux fils parallèles, le long desquels on déplace à la manière habituelle deux ponts p, p' (*fig.* 129) qui limitent

Fig. 129.



Application de la concentration du champ oscillant par deux fils à la mesure de la longueur d'onde λ des oscillations; $\lambda = ab + bc + cd + da$ (Drude).

une longueur de fil au total égale (longueurs des ponts comprises) à la longueur d'onde des oscillations à mesurer. Le réglage de la longueur $abcd$, par déplacement des ponts, s'effectue en observant un tube à vide t disposé entre les deux ponts en un ventre de tension.

Ondemètres. — Sur le principe de la concentration du champ hertzien par un ou par deux fils, divers expérimentateurs ont construit des dispositifs dits *ondemètres* qui s'ingénient avec plus ou moins de succès à réduire l'encombrement des dispositifs de concentration à fils métalliques.

Ondemètre de M. Slaby, dit bobine multiplicatrice. — M. Slaby construit un solénoïde dont l'extrémité est garnie d'une petite plaque de platinocyanure de baryum qui s'illumine par les effluves que le ventre de tension qu'on forme en cette extrémité dégage. On fait varier la prise de terre le long des spires du solénoïde jusqu'à obtenir un maximum de luminosité en p (*fig.* 130). Le déplacement de la prise de terre fait varier la position d'un index le long d'une échelle graduée qui

indique la longueur d'onde, l'appareil ayant été étalonné au moyen de circuits oscillants de longueurs d'ondes connues.

Fig. 130.



Schéma de l'ondemètre de M. Slaby.

Ondemètre de M. Dœnitz. — Une capacité et une self variables sont associées dans un circuit qu'on fait agir par induction sur un fil fin contenu dans le réservoir d'un thermomètre de Riess. C'est l'effet calorifique portant le ventre d'in-

Fig. 131.

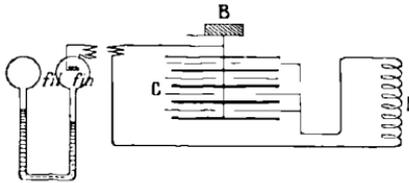


Schéma de l'ondemètre de M. Dœnitz.

tensité qu'on détermine ainsi. La variation de la capacité se fait par déplacement relatif de lames conductrices parallèles qui rappellent le dispositif d'un électromètre multicellulaire. A chaque bobine de self qu'on dispose en *L* (*fig.* 131) et dont on peut varier la valeur correspond une graduation sur un cadran parcouru par l'aiguille solidaire du bouton *B* qui commande les variations de capacité du condensateur *C*.

Ondemètre de M. Fleming, dit kummètre. — Le dispositif ainsi dénommé est une bobine de self, un solénoïde, le long

de laquelle on fait varier la prise de communication avec le sol, tout à fait analogue par suite à la bobine égalisatrice de M. Slaby et dont on apprécie l'état de vibration électromagnétique au moyen d'un tube à vide.

Ondemètre de M. Ferrié. — Dans le dispositif de M. Ferrié, à l'inverse de celui de M. Dœnitz, on dispose dans un circuit une capacité fixe C (fig. 132) et l'on fait varier graduellement

Fig. 132.

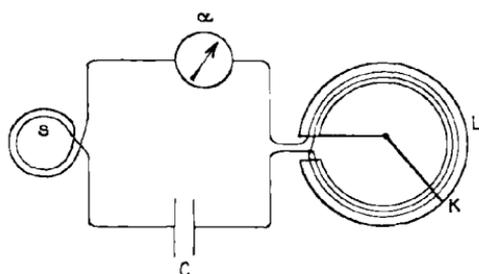


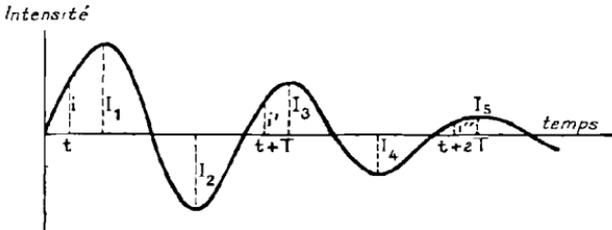
Schéma de l'ondemètre de M. Ferrié.

la self-induction qui s'y trouve associée. A cet effet, une bobine de self, plate et à larges spires, se trouve placée à l'intérieur d'un tube en cuivre en forme de tore présentant une coupure. On peut relier une extrémité du tube en un point quelconque du tube, de manière à constituer au voisinage de la bobine de self un circuit fermé de longueur variable. L'induction mutuelle des deux circuits voisins ainsi réalisés varie avec la position du levier k et, par suite, la valeur de la self-induction des spires s varie graduellement. C'est l'effet calorifique dont on note le maximum au moyen d'un ampèremètre thermique α . Le circuit oscillant dont on veut déterminer la longueur d'onde λ agit sur l'ondemètre au moyen duquel on l'explore en approchant les spires s de spires appartenant au circuit oscillant.

Amortissement des ondes électriques. — Les ondes électriques successives qui parcourent un circuit oscillant pré-

sentent un amortissement notable. Ce phénomène consiste en ce que l'intensité maximum des courants successifs I_1, I_2, I_3, \dots , qui parcourent le circuit dans un sens et dans le sens opposé, vont en diminuant progressivement en valeur absolue (fig. 133).

Fig 133.



Amortissement des ondes électriques.

Les intensités successives vont en décroissant progressivement. Le rapport constant des intensités prises à des intervalles d'une période T constitue le *facteur d'amortissement* $e^{-\frac{RT}{2L}}$:

$$\frac{i}{i'} = \frac{i'}{i''} = \dots = e^{-\frac{RT}{2L}}.$$

Le décrement logarithmique γ est donné par

$$\log \frac{i}{i'} = \log \frac{i'}{i''} = \dots = \gamma = \frac{RT}{2L}.$$

L'application du calcul à l'étude de la décharge oscillante montre que l'intensité i du courant est donnée à un instant quelconque t par l'expression

$$i = A e^{-\frac{R}{2L}t} \sin kt,$$

expression dans laquelle R et L sont la résistance et la self-induction du circuit oscillant, e la base des logarithmes népériens, A et K deux quantités qui dépendent de R , de L et de C , capacité du circuit.

On en déduit aisément que les valeurs successives i, i', i'', i''', \dots , que présente l'intensité à des intervalles de temps égaux et séparés par la durée d'une période $t, t + T, t + 2T,$

$t + 3T, \dots$, sont dans le rapport suivant :

$$\frac{i}{i'} = \frac{i'}{i''} = \frac{i''}{i'''} = \dots = e^{-\frac{R}{2L}T} = \alpha,$$

ou bien encore qu'on a

$$\log \frac{i}{i'} = \log \frac{i'}{i''} = \log \frac{i''}{i'''} = \dots = \frac{RT}{2L} = \gamma.$$

Cette constante $\alpha = e^{-\frac{RT}{2L}}$ se nomme le *facteur d'amortissement*.

La constante $\gamma = \frac{RT}{2L}$ s'appelle le *décément logarithmique*.

L'expression du *décément* γ peut encore s'écrire, si l'on tient compte de la relation simplifiée de lord Kelvin $T = 2\pi\sqrt{LC}$,

$$\gamma = \pi R \sqrt{\frac{C}{L}}.$$

On voit que l'amortissement sera d'autant plus faible que la résistance R et la capacité C du circuit oscillant seront plus petites et que la self-induction sera plus grande. La valeur de γ croît proportionnellement à la résistance R , à la racine carrée de la capacité C et en raison inverse de la racine carrée de la self-induction L .

La résistance du circuit se compose, du moins à l'excitation, de celles des conducteurs du circuit et de celle de l'étincelle. Cette dernière est éminemment variable et très difficile à fixer. Quant à la résistance du circuit qui est toujours beaucoup plus faible que celle de l'étincelle, on sait qu'elle dépend de la fréquence f des oscillations produites. D'après lord Rayleigh, la résistance R serait liée à la résistance ohmique \mathfrak{R} par la relation

$$R = \mathfrak{R} \pi r \sqrt{\frac{f}{\rho}}$$

pour un fil de rayon r et de résistance spécifique ρ .

Mesure des amortissements (*Méthode de M. Tissot par la courbe de résonance de M. Bjerkness*). — Au cours d'un important Mémoire sur l'étude de la résonance des systèmes d'antennes, M. Tissot (1) a présenté d'une manière très claire un résumé de la théorie de la résonance électrique de M. Bjerkness et a indiqué l'application qu'il a faite au cas qui l'intéressait de la courbe de résonance à la mesure des amortissements.

M. Bjerkness a édifié une théorie analytique de la résonance électrique dont le résultat peut être interprété physiquement comme il suit :

Lorsqu'un excitateur d'ondes électriques agit sur un résonateur, le mouvement électrique du résonateur peut être considéré comme résultant de la superposition de deux mouvements partiels :

1° Une vibration *forcée*, dont la période T_e et l'amortissement marqué par le décrément logarithmique γ_e sont la période T_e et l'amortissement γ_e de l'excitateur ;

2° Une vibration *libre*, dont la période T et l'amortissement γ sont la période propre T et l'amortissement γ du résonateur.

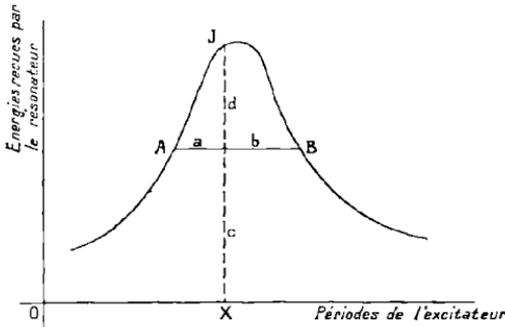
Si l'on produit les oscillations du résonateur au moyen d'un excitateur dont on fait varier progressivement la période et qu'on trace la courbe des énergies captées par le résonateur en fonction des périodes de l'excitateur, on obtient une courbe remarquable dont la forme générale est donnée par la figure 134 et qui a été appelée *courbe de résonance*. Cette courbe présente un maximum dans le voisinage d'un point J appelé *point d'isochronisme* correspondant à l'abscisse X.

Si l'on mène une série de cordes parallèles à l'axe des x , on trouve que le lieu des milieux de ces cordes est une hyperbole équilatère d'asymptotes JX et OX.

(1) Le lecteur désireux de prendre connaissance des détails de la théorie de M. Bjerkness lira avec fruit l'Ouvrage de M. Tissot : *Étude de la résonance des systèmes d'antennes* (Thèse de la Faculté de Paris, 1905, 3^e Partie, p. 105).

Appelons a , b , c , d les quatre segments en lesquels se coupent une corde quelconque AB et l'ordonnée JX du point d'isochronisme. La théorie de Bjerkness conduit à ce résultat

Fig. 134.



Courbe de résonance de M. Bjerkness.

remarquablement simple et intéressant pour la mesure de l'amortissement : La valeur moyenne ω des amortissements γ du résonateur et γ_e de l'excitateur est donnée par l'expression

$$\omega = \frac{\gamma + \gamma_e}{2} = \frac{\pi}{X} \sqrt{\frac{abc}{d}}.$$

On déduit de cette expression un procédé de mesure de l'amortissement.

On tracera :

- 1° La courbe de résonance;
- 2° Le lieu des milieux des cordes parallèles à l'axe des x ;
- 3° L'asymptote JX de l'hyperbole équilatère trouvée comme lieu.

On obtient ainsi les quatre quantités a , b , c , d et l'abscisse X ; on peut donc calculer ω .

En employant successivement deux résonateurs d'amortissements différents γ et γ' , et traçant pour chacun d'eux la courbe de résonance avec un même excitateur d'amortisse-

ment γ_e , on a deux expressions :

$$(1) \quad \omega = \frac{\gamma + \gamma_e}{2},$$

$$(2) \quad \omega' = \frac{\gamma' + \gamma_e}{2}.$$

La théorie de M. Bjerkness indique enfin que l'ordonnée $XJ = Y$, qui correspond à la résonance, est telle qu'on a

$$Y \gamma \gamma_e \omega = \text{const.}$$

On aura donc comme troisième relation permettant d'exprimer γ_e

$$(3) \quad Y \gamma \gamma_e \omega = Y' \gamma' \gamma_e \omega'.$$

De (1), (2) et (3) combinés on tire

$$\gamma_e = 2 \frac{Y \omega^2 - Y' \omega'^2}{Y \omega - Y' \omega'}.$$

M. Tissot a mis en pratique cette méthode de la façon suivante :

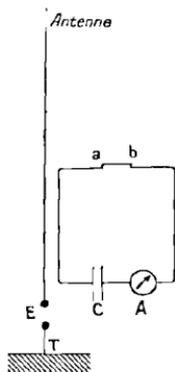
Un circuit fermé, formant résonateur carré de $0^{\text{cm}}, 70$ de côté, comprend un milliampèremètre thermique A (*fig.* 135), un condensateur à lames d'air de capacité variable C et une coupure *ab* qu'on peut fermer soit par un morceau de fil de cuivre de même diamètre que celui formant le résonateur, soit par un bout de fil fin de platine (25^{μ} de diamètre et $0^{\text{cm}}, 01$ de longueur) qui intercale ainsi une résistance non inductrice s'élevant à 2^{ohm} environ. On fait agir l'antenne à étudier par induction sur le résonateur.

Pour tracer la courbe de résonance, on conserve une émission rigoureusement constante, on fait varier progressivement la capacité C du résonateur et l'on note les déviations du thermique. On porte en abscisses les racines carrées des capacités successives qui sont proportionnelles aux périodes ($T = 2\pi\sqrt{LC}$) et en ordonnées les carrés des indications du thermique qui sont proportionnelles aux énergies reçues.

On déduit de la courbe de résonance la valeur de ω .

Une seconde détermination faite avec le résonateur, dans la coupure duquel on a substitué le fil fin de platine en *ab* au fil ordinaire de cuivre, fournit une seconde courbe de résonance de laquelle on déduit ω' .

Fig. 135.



Détermination de l'amortissement (Tissot).

La lecture des deux courbes de résonance fournit également les ordonnées Y et Y' , c'est-à-dire les valeurs I^2 et I'^2 des carrés des intensités du thermique correspondant à la résonance dans les deux déterminations successives.

On peut, dès lors, former

$$\gamma_e = 2 \frac{Y \omega^2 - Y' \omega'^2}{Y \omega - Y' \omega'}$$

Mesure de l'amortissement au moyen de l'ondemètre, sans tracé de la courbe de résonance. — M. Tissot vient d'indiquer récemment ⁽¹⁾ un procédé simple qui permet la mesure des amortissements dans le cas où ces amortissements sont faibles, sans même tracer la courbe de résonance. Nous ne saurions mieux faire qu'en citant textuellement l'intéressant article de M. Tissot :

(¹) *La Revue électrique*, t. VIII, n° 94, 30 novembre 1907.

« Par variation de la capacité C' de l'ondemètre, on met le résonateur à l'accord et l'on note l'indication maximum Y_0 de l'ampèremètre thermique.

» Puis on fait varier la capacité C' , en deçà et au delà de l'accord, de manière à réduire la déviation à une valeur

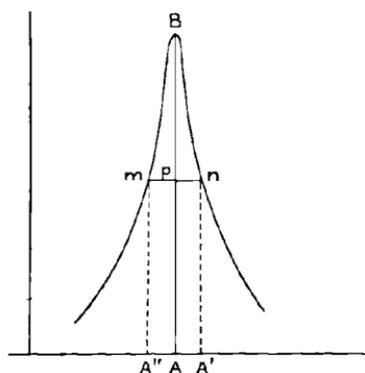
$$Y_1 = \frac{Y_0}{\sqrt{2}}.$$

Cette déviation Y_1 correspond à deux ordonnées $Y_1^2 = \frac{Y_0^2}{2}$ de la courbe de résonance, ou

$$\overline{m\Lambda''} = \overline{n\Lambda'} = \frac{AB}{2}.$$

» Si la courbe de résonance est pointue, l'hyperbole se confond sensiblement avec son asymptote verticale (*fig. 136*)

Fig. 136.



et le point p est le milieu de la corde mn . Dans la relation générale

$$\omega = \frac{\gamma + \delta}{2} = \frac{\pi}{T} \sqrt{\frac{abc}{d}},$$

on a ici

$$a = b, \quad c = d,$$

c'est-à-dire

$$\omega = \frac{\pi}{T} \alpha.$$

» Mais

$$\frac{\alpha}{m\rho} = \frac{\alpha}{\rho n} = \alpha = \frac{\overline{mn}}{2}.$$

» Et, si l'on désigne par T' et T'' les périodes qui correspondent aux points n et m , c'est-à-dire A' et A'' , on a

$$\overline{mn} = T' - T''.$$

» Par suite

$$\omega = \frac{\pi}{2} \frac{T' - T''}{T}.$$

» Si le résonateur est un ondemètre, gradué en longueurs d'onde, on a également

$$\omega = \frac{\pi}{2} \frac{\lambda' - \lambda''}{\lambda},$$

ou, si c'est un ondemètre à capacité variable,

$$\omega = \frac{\pi}{2} \frac{\sqrt{C'} - \sqrt{C''}}{\sqrt{C}}.$$

T, λ, C sont les valeurs respectives de la période, de la longueur d'onde ou de la capacité qui correspondent à la résonance; $T', T'', \lambda', \lambda'', C', C''$ sont les valeurs respectives des périodes, longueurs d'onde ou capacités qui correspondent aux deux désaccords du résonateur pour lesquels l'indication du thermique est réduite à $\frac{1}{\sqrt{2}}$ de la valeur correspondant à la résonance.

» **Décrémètre de M. Tissot.** — Quand les systèmes sont en résonance, il existe une relation simple entre l'énergie mise en jeu dans le résonateur et les amortissements respectifs des systèmes en présence.

» Si l'on désigne par γ le décrément de l'excitateur et par δ

le décrément du résonateur accordé, on a

$$I_0 = \frac{a^2}{\gamma \delta (\gamma + \delta)},$$

a^2 étant un facteur qui ne dépend que de l'énergie mise en jeu à l'excitateur et de la situation respective des circuits.

» D'ailleurs, si le détecteur thermique intercalé dans le résonateur est un instrument gradué en ampères, et que l'on désigne son indication par i_0 , on a

$$I_0 = K i_0^2 = \frac{a^2}{\gamma \delta (\gamma + \delta)}.$$

» Supposons que, laissant le résonateur à l'accord, on fasse varier progressivement son amortissement en modifiant le décrément δ d'une quantité variable x .

» En attaquant le résonateur avec la même énergie d'excitation, on obtient une déviation i telle que

$$K i^2 = \frac{a^2}{\gamma (\delta + x) (\gamma + \delta + x)},$$

c'est-à-dire que les valeurs i du courant dans le thermique sont fonctions de x .

» Posons $\frac{i}{i_0} = z$, il vient

$$m^2 z^2 = \gamma (\delta + x) (\gamma + \delta + x),$$

m^2 étant une nouvelle constante.

» Si l'on porte les x , c'est-à-dire les variations du décrément, en abscisses et les z , c'est-à-dire les inverses du courant, en ordonnées, on obtient une hyperbole

$$(1) \quad x^2 - m^2 z^2 + 2 \left(\delta + \frac{\gamma}{2} \right) x + \delta (\gamma + \delta) = 0,$$

dont les asymptotes sont les droites

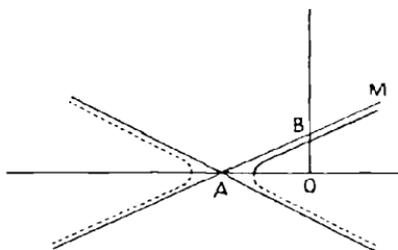
$$mz = \pm x + \left(\delta + \frac{\gamma}{2} \right),$$

et le centre un point A de l'axe des x , qui a pour abscisse

$$x_0 = \left(\delta + \frac{\gamma}{2} \right).$$

Quand γ et δ sont faibles, les branches de l'hyperbole se confondent très vite avec leurs asymptotes. De sorte que le tracé graphique de la courbe (1), tracé qu'on peut aisément obtenir par points à l'aide des valeurs fournies par l'observation, donne une branche de courbe qui se confond sensiblement avec la droite MB (fig. 137).

Fig. 137.



» L'intersection de cette droite avec l'axe des x fournit le point A, centre de l'hyperbole, c'est-à-dire donne la valeur numérique de $\left(\delta + \frac{\gamma}{2} \right)$.

» La variation progressive du décrement δ s'obtient très simplement en intercalant en série dans le résonateur des résistances non inductives.

» Les valeurs de x sont proportionnelles aux valeurs ρ des résistances intercalées, le facteur de proportionnalité $\frac{1}{2L} T$ étant aisément déterminé à l'aide d'un étalonnage préalable.

» L'appareil qui sert à opérer les mesures, ou *décrementmètre*, se compose essentiellement d'un ondemètre, à capacité variable, et d'une résistance non inductive, également variable, susceptible d'être intercalée dans le résonateur pour en faire varier progressivement le décrement. Cette résistance non inductive est constituée par des bouts rectilignes de fils très courts et

de grande résistivité. L'introduction de ces résistances dans le résonateur n'en modifie pas la self-induction.

» Le thermique est gradué en inverse $\frac{1}{I}$ du courant, de manière à donner, par lecture directe, les valeurs de z qu'il convient d'utiliser pour le tracé graphique.

» La mesure comporte deux observations successives :

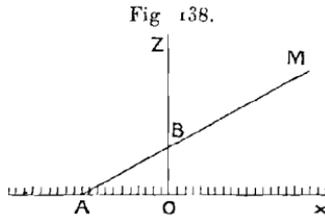
» 1° La résistance non inductive étant à zéro, on procède à l'accord du résonateur en faisant varier la capacité de manière à obtenir la déviation la plus grande possible du thermique.

» Cette première opération donne la période T de la source.

» 2° Laisant le résonateur à l'accord, on fait varier progressivement la valeur de la résistance intercalée en notant l'indication du thermique correspondant à chacune des valeurs attribuées à la résistance.

» Toutes ces opérations doivent, bien entendu, être effectuées à énergie d'excitation constante.

» On porte alors sur une feuille millimétrée : en abscisses, les valeurs, en *ohms*, des résistances; en ordonnées, les lectures correspondantes $z = \frac{I}{I}$ faites au thermique. On obtient ainsi une droite MB (*fig.* 138) qui coupe l'axe des x en un



point A, dont la distance à l'origine O, évaluée à l'échelle des abscisses (c'est-à-dire en *ohms*), donne une valeur ρ_0 . Et l'on a

$$\frac{\rho_0}{2L} T = \delta + \frac{\gamma}{2},$$

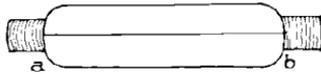
c'est-à-dire la valeur de γ , δ étant connue une fois pour toutes pour le résonateur employé.

» Cas où γ est notablement plus grand que δ . — Il est clair qu'on peut agir sur γ au lieu d'agir sur δ . En faisant varier γ d'une quantité y , et opérant comme précédemment, on obtiendra

$$y_0 = - \left(\gamma + \frac{\delta}{2} \right).$$

» Pour faire varier γ on intercalera des résistances non inductives croissantes dans l'*excitateur*. Comme ces résistances sont appelées à laisser passer un courant beaucoup plus fort que celui qui est mis en jeu dans le résonateur, il faut les choisir en conséquence. Elles peuvent être avantageusement constituées par des filaments *droits ab* de lampes à incandescence, montés dans des ampoules (*fig.* 139).

Fig. 139.



» Si γ est beaucoup plus grand que δ (ce sera, par exemple, le cas d'une antenne et d'un ondemètre), on aura sensiblement

$$y_0 = - \gamma.$$

» Le tracé de la droite est d'ailleurs inutile si l'on désire seulement une valeur approchée.

» Quand on fait varier γ de la quantité y , on a, en effet,

$$K i^2 = \frac{\alpha^2}{\delta (\gamma + y) (\gamma + y + \delta)}$$

ou

$$i^2 = \frac{\alpha^2}{K \delta} \frac{1}{\left[\left(\gamma + \frac{\delta}{2} \right) + y \right]^2 - \frac{\delta^2}{4}}.$$

» De sorte que, si δ est petit et $\frac{\delta^2}{4}$ négligeable, on a

$$i = \frac{\alpha}{\sqrt{K \delta}} \frac{1}{\left(\gamma + \frac{\delta}{2} \right) + y}.$$

» Pour $y = 0$, i prend sa valeur maximum

$$i_0 = \frac{\alpha}{\sqrt{k} \delta} \frac{1}{\left(\gamma + \frac{\delta}{2}\right)}.$$

» Et, pour $y = \gamma + \frac{\delta}{2}$, i prend la valeur

$$i_1 = \frac{\alpha}{\sqrt{k} \delta} \frac{1}{2 \left(\gamma + \frac{\delta}{2}\right)} = \frac{i_0}{2}.$$

» Il suffit de noter la valeur de la résistance intercalaire pour laquelle le courant est réduit à la moitié de sa valeur primitive.

» Cette observation très rapide convient particulièrement au cas des antennes dont elle fournit la *résistance d'émission*. »

Accouplement des circuits. — Un transformateur devrait théoriquement donner aux extrémités du secondaire une tension mesurée par celle du primaire multipliée par le rapport de transformation. En pratique, il n'en est jamais ainsi, à cause des pertes d'énergie inévitables dans le transformateur. C'est ainsi que toutes les lignes de force émancées de l'enroulement primaire ne pénètrent pas à l'intérieur du circuit secondaire. Un certain nombre de ces lignes de force se dispersent.

S'il n'y avait pas de dispersion des lignes de force, le coefficient mutuel M des deux circuits d'un transformateur égalerait exactement la moyenne proportionnelle des deux coefficients de self-induction L_1 , L_2 des deux circuits primaire et secondaire. On aurait

$$M = \sqrt{L_1 L_2}.$$

Par suite de la dispersion, on a toujours

$$M < \sqrt{L_1 L_2}.$$

Le rapport de la valeur réelle M du coefficient d'induction mutuelle à sa valeur théorique $\sqrt{L_1 L_2}$ marque ce que l'on

nomme le *coefficient d'accouplement* α des deux circuits :

$$\alpha = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}.$$

Si la dispersion des lignes de force est nulle ou très faible, $M = \sqrt{L_1 L_2}$ et α est voisin de 1. On dit que l'accouplement est *parfait* ou encore *rigide, fort*.

Si la dispersion des lignes de force est notable, la valeur de α est bien inférieure à 1. On dit que l'accouplement est *imparfait* ou encore *lâche, faible*.

On a transporté toutes ces considérations au cas de deux circuits accouplés pour produire ou recevoir des ondes électriques, circuits qui sont toujours disposés, l'un par rapport à l'autre, à la manière des deux circuits d'un transformateur.

En appliquant le calcul au cas de deux circuits accouplés, dont l'un d'eux est le siège d'oscillations qui induisent dans l'autre de nouvelles oscillations, on démontre que dans chacun des circuits se produit, en général, deux groupes simultanés d'oscillations.

Ces deux séries d'oscillations ont des périodes T_1, T_2 ou des fréquences $f_1 = \frac{1}{T_1}, f_2 = \frac{1}{T_2}$ différentes, et qui diffèrent de la fréquence f d'oscillation propre de chaque circuit. Ce phénomène se présente alors même que les deux circuits sont exactement accordés.

Si λ_1, λ_2 et λ sont les longueurs d'onde correspondant aux fréquences f_1, f_2 et f , le calcul montre que l'on a

$$\lambda_1 = \lambda \sqrt{1 - \alpha}, \quad \lambda_2 = \lambda \sqrt{1 + \alpha}.$$

On voit donc que, si l'accouplement α est rigide, λ_1 et λ_2 diffèrent notablement. Ces deux longueurs d'onde sont, au contraire, voisines si l'accouplement α est lâche.

Drude a montré que, si γ' et γ'' sont les amortissements (marqués par les valeurs γ' et γ'' des décrets logarithmiques) des deux circuits accouplés considérés isolément, les amortissements γ_1 et γ_2 des deux ondes λ_1 et λ_2 d'accouplement

sont donnés par

$$\gamma_1 = \frac{\gamma' + \gamma''}{2\sqrt{1-x}}, \quad \gamma_2 = \frac{\gamma' - \gamma''}{2\sqrt{1+x}}.$$

Un accouplement rigide permet donc de donner à l'une des deux ondes produites par une antenne un amortissement beaucoup plus faible que dans le cas de l'émission simple produite sans circuits accouplés au moyen d'une antenne directement reliée à l'excitateur. Cet affaiblissement de l'amortissement constitue un des avantages des connexions indirectes.

C'est justement pour faire varier à volonté l'accouplement des circuits que, dans le cas des connexions indirectes, on a distribué sur ces circuits des capacités et des self-inductions variables et réglables.

RÉSULTATS. — Nous terminerons ce Chapitre en indiquant les résultats les plus certains auxquels on est parvenu dans l'étude des antennes et des dispositifs de télégraphie sans fil. La plupart de ces résultats ont été confirmés ou même obtenus par M. Tissot au cours de son étude de la résonance des systèmes d'antennes :

1° Quand les antennes ont même forme, la résonance a lieu pour l'égalité des longueurs, quelle que soit la courbure générale des systèmes. Quand les antennes n'ont pas même forme, la résonance a lieu, en général, pour des valeurs inégales des longueurs. Un système d'antennes à branches multiples est toujours équivalent à une antenne filiforme simple de longueur notablement plus grande.

2° La résonance est mieux marquée avec les systèmes à connexions indirectes qu'avec les systèmes à connexions directes.

3° L'amortissement des émissions en système à connexions indirectes est toujours beaucoup plus faible que l'amortissement des émissions directes.

4° La longueur d'onde λ d'une antenne simple est voisine et un peu supérieure à 4 fois la longueur l de l'antenne $\lambda = 4l$. La longueur d'onde d'une antenne à branches multiples est

notablement plus grande que la longueur d'onde d'une antenne simple de même longueur.

5° Quand on opère sur des systèmes qui ne sont pas en résonance, on trouve que la période de l'oscillation mesurée à l'antenne réceptrice est égale à la moyenne arithmétique des périodes propres de l'antenne d'émission et de l'antenne de réception. Ces résultats conduisent à penser que le mouvement vibratoire dans l'antenne réceptrice désaccordée est la superposition d'une vibration *forcée* ayant la période de l'émission et d'une vibration *libre* ayant la période propre de l'antenne réceptrice.

6° L'amortissement est notablement plus faible pour les antennes filiformes simples que pour les antennes multiples. L'amortissement varie dans le même sens que le rapport $\frac{4l}{\lambda}$ (λ , longueur d'onde; l , longueur de l'antenne).

L'amortissement diminue quand la prise de terres s'améliore. Il présente une valeur particulièrement faible sur les navires où l'on assure un contact intime avec la coque.

7° L'énergie mise en jeu dans l'antenne réceptrice varie en raison inverse du carré de la distance. Elle est proportionnelle soit aux carrés des potentiels explosifs de l'étincelle oscillante, soit aux carrés des amplitudes du courant dans l'antenne d'émission.

Les mesures faites sur l'énergie reçue par une antenne ont permis à M. Tissot une interprétation facile, en considérant qu'une partie de l'amortissement (effet Joule) est due à la prise de terre et qu'une autre partie (émission) est due au rayonnement de l'antenne.

Les conditions optima pour les transmissions sont celles qui permettent de réduire la valeur de l'effet *terre* et d'accroître la valeur de l'effet *antenne*.



CHAPITRE VI.

APPLICATIONS DES ONDES A LA TÉLÉGRAPHIE. TÉLÉGRAPHIE SANS FIL (*suite*).

Le problème de la syntonie et ses solutions. Production des ondes électriques entretenues.

Dès que les essais de télégraphie sans fil ont été un peu nombreux et qu'on a été amené à disposer au voisinage les uns des autres plusieurs postes émettant des ondes électriques, on s'est préoccupé de découvrir des moyens d'assurer entre deux postes déterminés des communications qui ne soient pas troublées par le fonctionnement des postes voisins et que ces postes mêmes ne puissent surprendre.

L'extension de la télégraphie sans fil est intimement liée à la solution du problème qui consiste à accorder un oscillateur et un récepteur de telle manière qu'ils utilisent des ondes électriques d'une longueur d'onde déterminée à l'exclusion de toutes les autres.

Aussi voyons-nous tous les inventeurs de dispositifs de télégraphie sans fil, tout en s'ingéniant à découvrir des récepteurs de plus en plus sensibles, se préoccuper surtout et avoir pour objectif constant la réalisation d'un excitateur, d'un producteur d'ondes entretenues, cherchant par là à atténuer l'effet désastreux de l'amortissement des ondes.

Ils sentent tous si bien que c'est seulement le jour où l'on saura produire des ondes électriques permanentes de période et d'amplitude constantes que la syntonie pourra n'être pas un vain mot qu'ils s'ingénient à combiner les assemblages les plus variés de capacité et de self-induction, réparties ou groupées, en série ou en parallèle, mises en connexion avec l'antenne directement ou indirectement par l'intermédiaire de

condensateurs ou de transformateurs. Et toute une terminologie se forme : jigger; multiplicateur; tikker; baretter, etc. Que le physicien, que l'électricien surtout, dont le domaine appliqué est si vaste, ne garde pas cette illusion qu'il a pénétré la nature et fait un progrès en inventant ou mettant à la mode un nom, un mot nouveau! La Physique, et plus particulièrement l'Électricité, doit la confiance qu'elle inspire et les espoirs que la société commence à fonder sur ses progrès, à la conscience même de ses études, à la sûreté de ses méthodes, à la clarté de ses exposés. Maintenant que s'étend de jour en jour son domaine d'application, cette science a tout à gagner à garder ce caractère de précision que les électriciens de 1881 donnèrent à son langage en fixant ses unités au moment même où son essor se dessinait. Une logomachie stérile remplacerait bien vite les discussions d'expériences claires et fécondes. Et le milieu industriel, ne comprenant bientôt plus rien à cette sorte d'autodidaxie en laquelle semble se confiner depuis quelques années surtout la télégraphie sans fil, se détournerait évidemment de ses progrès possibles. Qui n'a reconnu par exemple avec quelque déception, étant donné tout le bruit fait naguère autour de sa naissance, d'ailleurs entourée de mystère, dans le *jigger* de M. Marconi, un simple transformateur? Utilise-t-on actuellement un solénoïde de fil nu, il prend on ne sait encore trop pourquoi le nom de *résonateur* de M. Oudin. Les spires des enroulements d'un transformateur sont appelées *demi-secondaires* par certains, des Tesla ou Tesla-d'Arsonval par d'autres, on ne sait trop pourquoi non plus. Enfin M. Fessenden prononce au sujet d'un dispositif toujours mystérieux à sa naissance les mots quelque peu cabalistiques d'*ondes demi-libres de l'éther*, comme s'il était parvenu à attacher par quelqu'un de leurs points ces surfaces d'ondes électromagnétiques que nous cherchons encore à déterminer et qui sont d'ailleurs hypothétiques. Ne vaudrait-il pas mieux s'abstenir de toute description si l'on ne veut rien livrer d'expériences en cours, ou bien, lorsqu'on donne un dispositif avec dessin à l'appui, indiquer d'une manière nette et claire les constantes du dispositif?

Parmi toutes les combinaisons de self-induction et de capa-

cité que la recherche de la syntonie fit naître, il en est de vraiment bizarres. Les nombreux inventeurs qui, à la suite de M. Marconi, essayent d'accroître la portée des ondes électriques se divisent en deux groupes. Des chercheurs, s'inspirant de leur seule imagination, laissent à la fortune le soin de les guider et paraissent combiner sans méthode dispositifs sur dispositifs. D'autres étudient avec méthode l'influence de la capacité, de la self-induction et des conditions de relation avec l'antenne, avec le cohéreur; cherchant à se rendre compte du succès de tel dispositif, de l'infécondité de tel autre. Sans déprécier la faculté d'imagination qui, jointe surtout à une expérimentation méthodique, peut aiguiller sur des voies fécondes que l'inspiration de la seule théorie ne saurait découvrir, nous ne sommes pas de ceux qui estiment qu'un hasard heureux peut conduire à une importante découverte. Comme le disait un savant distingué : ce sont les bons expérimentateurs qui ont de la chance. On chercherait souvent en vain, en dépouillant la plupart des milliers de brevets pris sur la télégraphie sans fil, une idée directrice inspirant l'inventeur qui passe d'un dispositif préconisé d'abord comme le plus parfait à un autre tout à fait différent et devenu *pour l'instant* le seul intéressant.

Sans nous étendre plus sur ces questions d'ordre général, nous allons essayer de dégager les quelques idées importantes que le souci de la *syntonie* a fait germer.

Problème de la syntonie. — Le problème de la syntonie ou de la syntonisation consiste à accorder un oscillateur et un récepteur de telle sorte qu'ils utilisent des oscillations électriques d'une longueur d'onde bien déterminée, à l'exclusion de toutes les autres. Suivant l'expression que nous employions dans la première édition de cet Ouvrage, l'oscillateur doit être *monochromatique*, le récepteur, *isochromatique*. De plus, et c'est là que réside l'importance pratique de la solution, cette solution qui doit ainsi assurer le secret des transmissions télégraphiques sans fil doit encore en empêcher le trouble.

Le problème ainsi posé n'est pas sans analogie avec celui de

la multicommutation par ondes électriques avec fil que l'utilisation des champs interférents résout.

L'insuccès répété des solutions proposées au problème ainsi posé (insuccès provenant évidemment de la grande difficulté que présente l'accord d'un excitateur et d'un résonateur, surtout en l'absence de conducteur les reliant, et cela par suite même du très grand amortissement qui caractérise les ondes électriques) força les inventeurs à restreindre énormément le but de la syntonie.

Le problème de la syntonie et l'amortissement des ondes électriques. — Mais le problème de la syntonisation, c'est-à-dire de l'accord d'un excitateur et d'un résonateur, est-il tout d'abord possible? M. Tissot fait remarquer d'une manière très judicieuse que la solution pratique de ce problème est peu vraisemblable par le fait même du très grand amortissement que présentent les ondes électriques. En ce qui concerne les ondes sonores, il est possible de constituer une source sonore qui émette un son simple tel qu'un résonateur acoustique de Helmholtz se montre seul capable de déceler le son simple émis, et cela à l'exclusion de tout autre résonateur acoustique. Alors que le résonateur en accord avec le son émis « en syntonie » vibre énergiquement, toute autre caisse de résonance reste muette ou imperceptiblement actionnée. Les ondes sonores ont, en effet, un amortissement très faible. Il n'en est pas de même, semble-t-il, des ondes électriques, et leur amortissement est tel que, étant donné un excitateur d'ondes qui n'émet que des ondes de même période (excitateur monochromatique), il existe toute une série de résonateurs électriques susceptibles de fonctionner sous l'influence de cet excitateur. Alors que, dans la série des résonateurs acoustiques de Helmholtz, il y en a un et un seul susceptible d'être fortement impressionné par une source sonore simple, dans la série des résonateurs de Hertz, il y en a un très grand nombre qu'un même excitateur fera fonctionner. On conçoit, par suite, que la marge laissée pour le choix du résonateur syntonie d'un excitateur électrique donné soit très grande, et que par suite il sera relativement aisé de trouver le résonateur propre à

surprendre les ondes électriques qui assurent la communication entre deux postes accordés. D'autre part, il sera également facile de trouver l'excitateur propre à émettre des ondes capables de troubler la transmission de ces deux postes.

Problème restreint de la syntonie. — Abandonnant donc son véritable intérêt pratique, la syntonie se borna soit à permettre la communication entre deux stations A et B sans influencer une troisième station voisine C; soit encore à assurer la réception simultanée de deux ou de trois télégrammes sans fil par une même station réceptrice, ou, inversement, à rendre possible l'émission simultanée par un poste unique A de deux ou trois communications destinées à deux ou trois postes distribués autour de A; soit enfin simplement à assurer le secret d'une transmission télégraphique sans fil, dont on ne se préoccupait d'ailleurs pas d'empêcher le trouble.

Même restreint à ces buts très particuliers et qui lui enlèvent la majeure partie de son intérêt pratique, le problème de la syntonie ainsi entendue est loin d'être résolu d'une façon satisfaisante. Toutefois, de récentes expériences au cours desquelles on serait enfin parvenu à produire des ondes électriques entretenues lui redonnent un regain d'actualité.

Nous rappellerons brièvement, en les groupant autour de quelques principes qui les inspirèrent, les tentatives si nombreuses faites même en vue de cette syntonie restreinte, qui cependant fit naître tant de dispositifs compliqués, qui fit publier tant d'annonces sensationnelles, mais stériles, qui fit enfin prendre des milliers de brevets.

Principes de la syntonie. — Toutes ces tentatives nous paraissent pouvoir se grouper autour de quatre ou cinq principes expérimentaux.

I. IDENTITÉ DES CIRCUITS TRANSMETTEURS ET RÉCEPTEURS. — Les premiers expérimentateurs songèrent à rendre aussi *identiques* que possible les *circuits transmetteur et récepteur*.

Système Lodge et Muirhead. — Dès 1897, MM. Lodge et

Muirhead (1) préconisent pour la syntonie la réalisation d'une identité aussi complète que possible entre les deux systèmes conducteurs, transmetteur d'une part, récepteur de l'autre. Comme récepteur, ils emploient le résonateur à coupure de M. Turpain, dans la coupure duquel ils placent un cohéreur attelé à un condensateur.

Cette identité des circuits en correspondance ne suffit pas toutefois à pallier l'influence néfaste de l'amortissement des ondes. C'est alors qu'on s'ingénia à combiner de mille façons des capacités et des self-inductions qui devaient avoir un effet sélectif, ne laissant émettre par l'antenne transmettrice que des oscillations triées pour ainsi dire et d'une seule longueur d'onde, et n'acceptant à la réception que cette longueur d'onde à l'exclusion des voisines.

Tous ces dispositifs d'ailleurs peuvent être rangés en deux grandes catégories :

1° Ceux qui réalisent entre l'antenne et les circuits des *connexions directes*; l'antenne étant, au poste transmetteur, reliée directement au circuit de l'oscillateur et, au poste récepteur, mise en contact avec le circuit comprenant le cohéreur ou le détecteur d'onde, quel qu'il soit;

2° Ceux qui réalisent entre l'antenne et les circuits des *connexions indirectes*; l'antenne étant reliée aux circuits d'excitation ou de transmission par l'entremise de transformateurs :

Transformateurs ordinaires constitués de deux enroulements séparés et voisins, le primaire relié par exemple à l'antenne, le secondaire relié au circuit;

Transformateurs spéciaux constitués par des solénoïdes dont les spires, en nombre variable ou non, sont mises en séries avec l'antenne, quelques spires restant en dérivation sur le circuit d'utilisation (excitateur ou cohéreur).

Système Marconi. — En 1898 et en 1899, M. Marconi (2)

(1) LODGE et MUIRHEAD, brevet anglais n° 18644 du 12 août 1895; LODGE, brevet anglais n° 11575 du 5 février 1898.

(2) MARCONI et THE WIRELESS AND TELEGRAPH SIGNAL C°, brevets anglais n° 12323 du 1^{er} juin 1898, n° 6982 du 1^{er} avril et n° 25186 du 19 décembre 1899.

reprend l'idée précédente de M. Lodge, et c'est alors qu'il utilise la connexion indirecte de l'antenne et le transformateur fameux qu'il nomme mystérieusement *jigger*. Un peu plus tard, en 1900, un dispositif à transformateur ordinaire et à solénoïde est encore préconisé par le même inventeur, toujours dans un but de syntonie; les antennes sont devenues de larges cylindres métalliques concentriques. L'accord est obtenu au récepteur par l'emploi d'un véritable résonateur à coupure, dans lequel le cohéreur occupe la place du micro-mètre, et à la coupure duquel sont reliées les extrémités du circuit comprenant la pile et le relais. C'est avec ce dispositif que M. Marconi a réalisé les communications entre la France et la Corse, 1901 (175^{km}), entre le cap Lizard et l'île de Wight (300^{km}).

Au cours de ces expériences de communication entre la France et la Corse, M. Marconi essaya d'assurer, sans grand succès d'ailleurs, une double communication entre les postes de Biot et de Calvi; les dispositifs réalisés dans ce but empruntent, outre la mise en accord des circuits récepteur et transmetteur au moyen de transformateurs, certaines des propriétés des champs interférents.

Système Braun. — Au cours de 1898, de 1899 et de 1900, M. Braun, après avoir cherché l'accord de stations hertziennes dont les ondes se propageaient par l'eau et sans antenne, revint à la transmission à travers l'air. Il se préoccupe alors surtout de diminuer l'amortissement considérable des ondes émises par l'antenne d'un oscillateur. Après avoir cherché une identification aussi complète que possible entre les deux circuits excitateur et récepteur, et avoir même, à cet effet, au cours de certains essais, supprimé la communication des antennes avec la terre, il se convainquit bientôt de la nécessité de cette relation au sol, au moins pour les longues portées. M. Braun multiplia les combinaisons de condensateurs, les accouplant de toutes les manières, éparpillant la décharge de l'oscillateur entre les armatures de chacun des condensateurs utilisés, munis à cet effet chacun d'un explosif. Mais, s'il accrut ainsi quelque peu la portée de ses premiers dispositifs,

il ne parvint pas plus que les précédents expérimentateurs à une solution satisfaisante de la syntonie.

Lorsqu'on adopte les connexions indirectes, l'antenne réceptrice doit vibrer comme l'antenne de transmission ; on réalise alors simplement l'accord en prenant deux antennes identiques. Mais on peut encore faire choix d'antennes de formes et de hauteurs différentes, à charge de faire varier leurs constantes de manière qu'elles vibrent en même quart d'onde. L'accord de chacun des circuits, transmetteur et récepteur, avec son antenne doit être également réalisé quel que soit le transformateur choisi, qu'il soit à la manière ordinaire constitué par deux enroulements distincts, que ce soit un solénoïde de spires plus ou moins nombreuses, ou bien encore qu'à la manière réalisée par M. Ferrié il comprenne une combinaison de deux sortes de transformateurs. Tous ces réglages d'accord qui visent la syntonie ont, en définitive, pour but de rendre aussi identiques que possible les deux circuits, récepteur et transmetteur, qui doivent être parcourus par les ondes.

Système Ascoli. — C'est encore cette identité que cherche à réaliser M. Ascoli lorsqu'il préconise un système de syntonie qui consiste à laisser fonctionner pendant toute la durée d'une communication l'oscillateur du poste transmetteur. Dans ce dispositif, pour transmettre les signaux, on ne supprime pas le courant entretenu dans le primaire de la bobine d'induction qui entretient l'oscillateur. On se contente d'établir ou de supprimer l'accord avec la station réceptrice. A cet effet, on diminue l'inductance de certains enroulements en déplaçant à l'intérieur de bobines des cylindres de cuivre ou, mieux encore, en mettant en court-circuit un certain nombre de spires de ces enroulements.

Système Stone. — Le désir d'obtenir des oscillations de longueur d'onde constante se retrouve encore dans le dispositif de M. Stone qui, à cet effet, croit devoir supprimer toute hystérésis ; hystérésis magnétique en débarrassant tous les transformateurs et enroulements de noyaux de fer, hystérésis diélectrique en n'utilisant que des condensateurs à lames d'air.

De plus, M. Stone pense débarrasser l'émission de toutes les ondes de périodes différentes de celles qu'il cherche à produire, en la filtrant pour ainsi dire au moyen de deux circuits successifs accordés et reliés l'un à l'autre et à l'antenne par des transformateurs. Dans ce système d'ailleurs, et c'est ce qui nous amène à le signaler ici, le schéma du récepteur est identique à celui du transmetteur, à cela près que l'excitateur y est remplacé par le cohéreur ou par le détecteur d'ondes choisi.

Tous ces dispositifs et en particulier ceux de M. Marconi ont eu pour résultat d'accroître de plus en plus la portée des ondes, et c'est en cela surtout que réside l'intérêt qu'ils présentent, mais ils n'ont pas fait faire un grand pas à la question même de la syntonie. C'est qu'en effet les deux circuits à accorder, le transmetteur et le récepteur, sont des plus malaisés à rendre identiques. L'un, le transmetteur, comprend à l'excitateur même une étincelle dont l'équivalence et en self-induction et en capacité, et même en résistance, est presque impossible à définir. Elle est d'ailleurs constamment variable. Si bien que le circuit transmetteur ne reste pas semblable à lui-même non seulement aux divers instants successifs de l'émission d'un train d'ondes, mais même au début de chaque émission. De même, le circuit récepteur qui contient un cohéreur, recèle lui aussi par là même un élément des plus inconstants, dont l'équivalence est aussi difficile à définir non seulement au cours de la réception d'un train d'ondes, mais encore au début de chaque réception, le cohéreur ne revenant vraisemblablement pas après chaque choc exactement équivalent à une même résistance, à une même inductance et à une même capacité.

C'est justement le souci de tenir compte des perturbations introduites et par la présence de l'étincelle dans le circuit transmetteur et par la présence du cohéreur dans le circuit récepteur qui conduisit à toutes les combinaisons si nombreuses, souvent si compliquées, des divers dispositifs. C'est pour chercher à compenser les variations qu'étincelle et cohéreur introduisent dans les circuits, que les inventeurs ont accumulé self-induction, capacité et transformation, sans arriver d'ailleurs à une satisfaisante compensation.

C'est qu'en effet, la compensation d'éléments aussi variables que ceux que présente, au cours de son fonctionnement, un cohéreur et plus encore une étincelle, et cela par des capacités constantes ou par des self-inductions déterminées, paraît à peu près impossible. Il faudrait, semble-t-il, conserver aux circuits une équivalence véritable, pouvoir faire varier, au cours de l'émission et par l'étincelle elle-même, la valeur du circuit en capacité, en résistance et en self-induction ; et de même à la réception. Or, ceci semble impossible ou, du moins, la solution du problème ainsi envisagée paraît être dans la suppression et de l'étincelle au transmetteur et du cohéreur au récepteur. Mais c'est justement supprimer l'organe même de production des ondes, comme aussi l'appareil propre à les déceler. Cependant, c'est sans nul doute le désir de se débarrasser du cohéreur, malgré sa sensibilité et à cause de son inconstance, qui conduisit les divers expérimentateurs à essayer et à étudier un si grand nombre d'autres détecteurs d'ondes. En fait, certains d'entre ces détecteurs et, en particulier, le détecteur thermique préconisé, sous la forme du bolomètre, par M. Tissot et si complètement étudié par lui, constitue un important progrès et un premier pas vers la solution de la syntonie.

Le récepteur thermique semble en effet capable, à l'encontre du cohéreur et probablement même du détecteur électrolytique, de jouer le rôle de détecteur sélectif. L'effet Joule qu'on y utilise n'en modifie pas, en effet, les constantes d'une manière si totale et si difficile à compenser que pour le cohéreur, qui, lui, ne se retrouve jamais semblable à lui-même.

Système Tissot. — M. Tissot a pu, en effet, amener certains de ses bolomètres à n'être sensibles, d'une manière très notable, qu'à des oscillations de longueurs d'ondes très voisines d'une longueur d'onde donnée. La courbe de résonance du circuit récepteur avec bolomètre présente alors un pic très net à pentes rapides. La sélection des ondes par un circuit récepteur utilisant un bolomètre paraît dès lors possible à réaliser, et l'accord une fois obtenu semble devoir subsister, aucune cause ne venant changer le circuit du récepteur qui garde

constantes, pendant la réception même, sa capacité, sa self-induction et sa résistance.

Sans nul doute, si l'on parvient à réaliser un circuit transmetteur offrant une constante aussi parfaite, on fera faire par là même à la syntonie un important progrès.

L'espoir que l'utilisation d'oscillateurs à arc chantant réalise ce desideratum attire en ce moment l'attention sur les récents dispositifs dont nous allons bientôt nous occuper.

Il n'en est pas moins vrai que, si l'on parvient à produire des ondes électriques au moyen de circuits oscillateurs ne comprenant aucun exciteur, par suite, aucune étincelle, on peut espérer réaliser un circuit transmetteur qui garde une constance parfaite, au cours même de son fonctionnement. C'est ce problème que nous nous sommes proposé, depuis quelques années déjà, sans être toutefois parvenu encore à donner à de tels circuits une puissance de radiation suffisante. Aussi réserverons-nous encore cette question.

Il est à remarquer, d'une manière générale, que les deux genres de connexions directe et indirecte qu'une antenne peut avoir avec les circuits transmetteur ou récepteur sont nettement caractérisés. L'excitation directe correspond à beaucoup d'énergie radiée, la réception directe à beaucoup d'énergie captée; l'excitation indirecte correspond à peu d'énergie radiée, la réception indirecte à peu d'énergie captée. Par contre, l'amortissement des ondes est plus grand dans le cas de l'excitation directe, il est plus faible dans le cas de l'excitation indirecte.

L'énergie est mieux utilisée, la portée, par suite, plus grande dans le cas de la connexion directe. Mais, d'autre part, la syntonie est meilleure dans le cas de la connexion indirecte. Pour accroître la portée, tout en conservant une syntonie partielle, il faut donc, en gardant la connexion indirecte, accroître l'énergie du transmetteur. C'est ce qu'a réalisé M. Marconi au cours de ses essais de transmissions transocéaniques.

II. UTILISATION DES PROPRIÉTÉS DES CHAMPS INTERFÉRENTS. — C'est en 1898 que nous avons fait connaître les propriétés du champ hertzien interférent et que nous avons fait une étude complète

et comparative de ce champ et du champ hertzien ordinaire. Les résultats de ces études ont été publiés d'abord en fragments (1), puis peu après réunis et développés dans un Volume publié en 1899 (2), Volume que nous avons cru devoir adresser à M. Slaby, comme à bien d'autres professeurs allemands.

En 1901, M. Slaby publia plusieurs articles et brochures (3) dans lesquels il fit connaître des dispositions *originales* qu'il aurait trouvées *par une voie purement théorique et confirmée tout d'abord au laboratoire par de nombreuses mesures*. Il suffit de rapprocher nos publications, antérieures de près de deux ans, de celles du professeur allemand pour se convaincre [ainsi que l'a nettement indiqué d'ailleurs M. Ferrié, dans son très intéressant Ouvrage (4)] que M. Slaby n'a eu qu'à transporter, dans le domaine de la télégraphie sans fil, les principes expérimentaux que nous avons établis. Il a ainsi mis en œuvre de *prétendus* dispositifs originaux.

Que M. Slaby ait songé à utiliser en télégraphie sans fil des faits acquis par nous, nous n'y pouvons voir aucun inconvénient, le domaine scientifique étant un domaine commun, mais il eût été juste de sa part de reconnaître, au cours des si nombreuses publications de ses travaux, l'utilisation, très ingénieuse d'ailleurs, qu'il a faite de nos champs interférents.

Même à l'époque de la sensationnelle annonce des résultats

(1) A. TURPAIN, *Sur le champ hertzien* (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 28 mars 1898; *Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 31 mars 1898). — Id., *Le nouveau domaine de l'électricité; Les expériences de Hertz et leurs applications pratiques* (*Société des Sciences naturelles de La Rochelle*, 18 juin 1898). — Id., *Sur la multicommutation en télégraphie au moyen des oscillations électriques* (*Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 23 juin 1898; *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 26 déc. 1898).

(2) A. TURPAIN, *Recherches expérimentales sur les oscillations électriques*, p. 58 à 74 et p. 147. Paris, A. Hermann; 1899.

(3) A. SLABY, *Elektrotechnische Zeitschrift*, 10 janvier 1901. — *Die neuesten Fortschritte auf dem Gebiete der Funkentelegraphie*. Berlin, 1902.

(4) J. BOULANGER et G. FERRIÉ, *La Télégraphie sans fil et les ondes électriques*, 5^e édition, p. 103. Paris, Berger-Levrault, 1904.

obtenus entre Berlin et Charlottenburg, nous avons émis des doutes ⁽¹⁾ sur la possibilité de résoudre le problème même de la syntonie par l'emploi de nos champs interférents. C'est que, en effet, nous avons songé, sans y accorder beaucoup d'espoir, à cette application possible de nos recherches. Or, les quelques essais auxquels M. Tissot s'est livré à ce sujet sur nos conseils avaient confirmé notre opinion. Voilà près de sept ans que les expériences de Berlin ont eu lieu et la syntonie, si parfaitement découverte alors, est encore à trouver. Bien plus, M. Slaby a cru devoir unir ses efforts à ceux de M. Braun pour tenter enfin en commun, sous l'égide de la Gesellschaft für Drahtlose Telegraphie et par le Telefunken, la solution de ce très délicat problème.

L'une des preuves manifestes que ces expérimentateurs ne tiennent pas encore la syntonie rêvée est dans ce fait que chacun d'eux a combiné plus de huit dispositifs successifs différents.

Il n'était donc vraiment pas bien utile que M. Slaby démarquât nos champs interférents pour n'en pas tirer plus profit.

Système Slaby. — On sait que l'originalité du dispositif de M. Slaby consiste, après avoir fixé au bas d'une antenne une longueur de fil égale à la longueur de l'antenne, de manière à constituer ainsi un champ interférent de $\frac{1}{4}$ de longueur d'onde, à disposer le cohéreur à l'extrémité de ce fil de prolongement. En disposant ainsi plusieurs fils (*fig. 140*) de prolongement de longueurs différentes, M. Slaby pensait pouvoir trier les ondes à séparer et les faire respectivement agir sur les cohéreurs, à la manière que nous avons indiquée antérieurement au cours de nos expériences de multicommutations. Mais il est à croire que, dès que le cohéreur ainsi disposé devient conducteur, cette condition perturbe le champ interférent réalisé, et à peine le cohéreur cesse-t-il d'être résistant, en décelant les ondes, que le triage des oscillations n'est plus

(1) A. TERPAIN. *Les récentes expériences de télégraphie sans fil : les dispositifs de syntonisation de M. Slaby* (*L'Éclairage électrique*, t. XXXII, n° 27, 5 juillet 1902, p. 20).

assuré. C'est, sans nul doute, là qu'il faut chercher la raison des insuccès de M. Slaby.

Fig. 140.

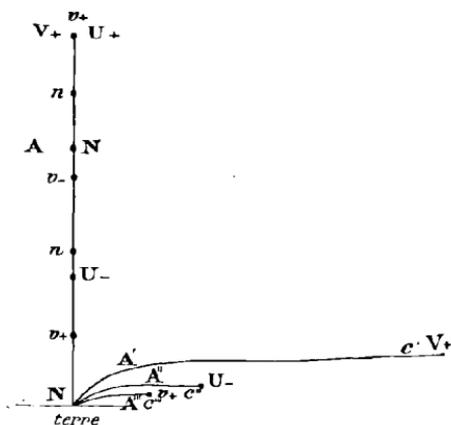


Schéma représentatif de l'état électrique d'une antenne munie à sa base de trois fils additionnels de longueurs différentes.

Système Artom. — C'est encore une utilisation de champs interférents que réalise M. Artom ⁽¹⁾. Mais ici le retard d'un quart de période imposé entre les deux systèmes d'ondes qui parcourent deux antennes disposées à angle droit est obtenu par le choix de capacité et de self-induction de valeur convenable. Les ondes émises devraient donc, d'après l'auteur, être orientées dans un plan perpendiculaire à celui des antennes et suivant la direction de la perpendiculaire aux antennes passant par leur point de rencontre. Dans ce dispositif, l'accord est tenté non seulement par une combinaison de capacité et de self-induction réglables, mais en faisant de plus varier le déphasage des deux oscillations en retard l'une sur l'autre.

Système Magni. — M. Magni préconise également, pour résoudre la syntonie, l'interférence des ondes, et le dispositif

(1) *Atti della Reale Accademia dei Lincei*, 15 mars 1905.

qu'il imagine à cet effet ne laisse pas de présenter, du moins au transmetteur, quelque chose d'un peu nouveau.

Deux antennes verticales, identiques et reliées à des oscillateurs identiques, sont placées à une distance l'une de l'autre égale à une demi-longueur d'onde des oscillations qu'elles émettent. De cette manière, les ondes émises simultanément par les deux antennes interféreront dans le plan contenant les antennes. Par contre, elles seront en concordance et additionneront leurs effets dans un plan vertical perpendiculaire à celui des antennes. C'est donc dans une direction perpendiculaire au plan des antennes que l'effet des ondes sera maximum. Le dispositif paraît ainsi capable de diriger l'émission.

Au poste récepteur, deux antennes sont également disposées, mais ici nous retrouvons l'application pure et simple des propriétés des champs interférents, les deux antennes se trouvant avoir (fil de prolongement compris) une longueur de $\frac{\lambda}{4}$, et le cohéreur étant placé au point de réunion des antennes, point qui est un ventre d'oscillation pour les ondes de longueur λ et devient un nœud pour toute onde de longueur un peu différente de λ .

Les expériences de M. Magni, faites sur des distances de 2^{km} et 3^{km}, auraient démontré un effet sélectif très net de ces dispositifs.

La sélection ainsi tentée à l'organe de réception se combine donc avec la production d'ondes dirigées réalisées au poste de transmission. Ces dispositions ramènent l'attention sur les divers essais de propagation d'ondes dirigées tentés à diverses reprises et que M. Marconi (1) notamment vient de reprendre tout récemment au moyen d'antennes tendues parallèlement à la surface du sol. Avec une *antenne* (s'il y a lieu de lui conserver encore ce nom) constituée par un fil de 230^m de longueur, isolé et directement posé sur terre, on a pu recevoir des communications d'une station distante de 500^{km}. Il faut, pour assurer la réception, utiliser des ondes de longueur su-

(1) MARCONI, *Proceedings of the Royal Society*, t. LXXVII, 1906, p. 411.
— *La Revue électrique*, t. VII, n° 75, 15 février 1907, p. 86.

périeure à 150^m. C'est ce qui explique l'insuccès de recherches antérieures faites sur ce sujet, en particulier, par M. Tissot. Dans cette nouvelle voie, M. Marconi paraît devoir encore réussir à accroître le rayon d'action des puissants moyens dont il dispose et qu'il utilise avec une ingéniosité et une persévérance remarquables.

III. DISPOSITIFS MÉCANIQUES DE SYNTONIE. — Nous rangerons dans cette classe un certain nombre de dispositifs qui empruntent le secours soit de vibrations mécaniques de la fréquence des vibrations sonores, soit encore d'organes mécaniques rotatifs destinés à émettre un certain nombre de trains d'ondes à intervalles de temps convenables.

Système Blondel. — L'un des plus intéressants de ces dispositifs est celui indiqué par M. Blondel dans un pli cacheté remis à l'Académie des Sciences le 16 août 1898 et publié le 21 mai 1900. Ce procédé consiste à accorder ensemble non plus les fréquences des oscillations électriques propres du transmetteur et du récepteur, mais des fréquences artificielles beaucoup plus basses, tout à fait indépendantes des constantes des circuits : la fréquence des charges de l'antenne d'émission, d'une part, et celle des vibrations de la plaque d'un téléphone disposé comme relais dans le circuit récepteur. M. Blondel choisit de préférence un téléphone sélectif tel que le mono-téléphone de M. Mercadier. Le téléphone rend un son à chaque signal émis par la station génératrice, et la hauteur de ce son est déterminée par les charges de l'antenne génératrice d'une manière tout à fait analogue à celle que nous avons mis nous-même en œuvre en 1897 ⁽¹⁾ en utilisant le téléphone à l'observation des oscillations électriques, et dont nous avons alors donné la théorie.

⁽¹⁾ A. TURPAIN, *Sur divers procédés d'observation de la résonance électrique* : II, *Méthode du téléphone* (*Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 23 décembre 1897). — *Sur le résonateur de Hertz* (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 31 janvier 1898).

Système Anders Bull (1). — Des dispositifs mécaniques entretenus en rotation rapide permettent d'envoyer une série de trains d'ondes, quatre par exemple, espacés entre eux par trois intervalles de temps fixés d'avance. Le poste récepteur en accord ne recevra un signal et ne l'enregistrera qu'autant qu'il sera atteint par quatre trains d'ondes successifs, espacés suivant ces trois intervalles de temps. Tout autre cortège d'ondes ne correspondant pas à ce régime ne pourra influencer le récepteur. On conçoit que l'on puisse, en combinant un certain nombre de groupes de trains d'ondes étagés ainsi dans le temps d'une certaine manière, actionner à volonté celui des récepteurs combiné pour recevoir un groupe entier de trains d'ondes à l'exclusion de tous autres.

Au cours d'essais, M. Anders Bull a pu donner à ses appareils une rapidité assez grande pour atteindre une vitesse de transmission de 50 lettres à la minute.

Ce système, ainsi qu'un système basé sur un principe identique et préconisé par M. Walter, permettrait, suivant leurs auteurs, l'emploi du télégraphe imprimant de Hughes. La synchronisation nécessaire au fonctionnement du Hughes serait réalisée au départ et maintenue par des émissions d'ondes convenablement réglées.

IV. EMPLOI DE L'ARC ÉLECTRIQUE ET DE L'ARC CHANTANT. PRODUCTION D'ONDES ENTRETENUES. — Depuis les intéressantes expériences faites par M. Duddell sur l'arc chantant, beaucoup d'expérimentateurs ont essayé d'appliquer le dispositif de l'arc chantant à l'obtention d'oscillations électriques émises avec une suffisante énergie pour pouvoir être utilisées en télégraphie sans fil. La raison des nombreux essais tentés pour utiliser l'arc chantant en télégraphie sans fil se trouve dans le fait qu'on pensait obtenir ainsi des oscillations électriques entretenues, partant débarrassées de l'amortissement qui nuit tant à la réalisation de dispositifs syntones.

Déjà, bien avant les expériences de M. Duddell, M. E. Thom-

(1) ANDERS BULL, *The Electrician*, t. LXVI, 8 février 1901.

son (1) avait préconisé, pour obtenir des oscillations électriques entretenues, le soufflage énergique de l'étincelle d'un exploseur disposé en série avec une self-induction et en parallèle avec une capacité. C'est en soufflant énergiquement les étincelles de tels exploseurs que ce savant obtint l'entretien des lampes à incandescence par les courants de haute fréquence.

Expériences de M. de Valbreuze. — En 1902, M. de Valbreuze (2) préconisa l'emploi de l'arc au mercure emprunté à une lampe de M. Cooper Hewitt, pour obtenir des oscillations électriques entretenues. Le circuit de l'oscillateur comprend un arc au mercure et le primaire d'un transformateur sans fer, disposés en série aux bornes d'une source de courant continu; un condensateur est établi en dérivation. La présence du condensateur détermine dans le circuit la production d'oscillations électriques. Le secondaire du transformateur comprend deux enroulements, l'un relié à l'antenne et à la terre, l'autre qui fait partie d'un circuit amortisseur comprenant un interrupteur dont la manœuvre permet la manipulation sans qu'il y ait besoin de faire cesser l'arc.

Expériences de M. Cooper Hewitt. — M. Cooper Hewitt (3) a également songé à utiliser sa lampe en télégraphie sans fil. Il la dispose sur le secondaire d'un transformateur dont le primaire est parcouru par un courant alternatif. En parallèle avec la lampe, est disposé un condensateur de capacité variable ainsi qu'une self-induction en relation d'une part avec l'antenne, d'autre part avec la terre.

Expériences de MM. Simon et Reich. — Vers la même époque, MM. Simon et Reich (4) ont remplacé, dans le circuit

(1) ELIHU THOMSON, *Electrical Engineer* (New-York), février 1892.

(2) DE VALBREUZE, *Sur un nouveau mode de production des ondes électriques employées en télégraphie sans fil* (*L'Éclairage électrique*, 18 juillet 1903).

(3) COOPER HEWITT, *Electrical Review* (New-York), 21 février 1903.

(4) SIMON et REICH, *Physikalische Zeitschrift*, 1^{er} avril 1903.

de l'arc chantant de Duddell, l'arc ordinaire par une lampe de Cooper Hewitt.

Expériences de M. Campos. — C'est également la transformation que M. G. Campos fait subir au circuit de l'arc chantant; pour obvier à l'inconvénient que présente ce circuit de ne rayonner que très peu d'énergie à l'extérieur, M. Campos propose de faire agir par induction l'oscillateur sur le circuit comprenant l'antenne. Mais même de cette manière l'énergie rayonnée est très faible, l'énergie suffisante à l'entretien d'un arc chantant étant très faible par rapport à celle nécessaire pour les communications par télégraphie sans fil. C'est pourquoi M. Campos songea à multiplier les arcs disposés en série ou en parallèle en portant leur nombre jusqu'à dix.

Ces divers tâtonnements pour transporter dans le domaine de la télégraphie sans fil l'utilisation de l'arc chantant n'avaient encore donné que de médiocres résultats, lorsque tout récemment M. Poulsen paraît être arrivé à réaliser un dispositif qui, tout en développant une grande énergie, permettrait la production d'ondes électriques entretenues.

A le considérer de près, le dispositif que préconise M. Poulsen ne paraît pas nouveau. Il rappelle complètement celui réalisé déjà en 1892 par M. Elihu Thomson pour l'entretien de l'incandescence par les courants de haute fréquence. Le procédé même de soufflage magnétique de l'arc auquel s'arrête M. Poulsen est un de ceux qu'employait M. E. Thomson. De là à déduire, comme croit devoir l'écrire M. Fessenden ⁽¹⁾, que les récents dispositifs de M. Poulsen ne présentent aucun intérêt nouveau, il y a évidemment quelque exagération. Il y en a une très grande dans la prétention d'attribuer à M. Thomson l'arc chantant de M. Duddell. En 1892, M. Thomson n'a nullement étudié le régime acoustique de l'arc de son dispositif et l'influence de la capacité sur ce régime.

Et d'abord c'est déjà un progrès intéressant que celui qui consiste à avoir eu l'idée d'appliquer le dispositif de M. E. Thomson à soufflage magnétique à la production d'oscillations

(¹) FESSENDEN, *The Electrician*, 24 février 1907.

électriques, utilisables en télégraphie sans fil, ce à quoi, depuis 1892, M. Thomson n'avait pas songé, ou du moins ce qu'il n'avait pas réalisé avec le même succès que celui que paraît avoir atteint M. Poulsen.

M. Marconi lui aussi n'a fait, en somme, que transporter dans le domaine de la pratique des dispositifs et des phénomènes déjà observés et réalisés en laboratoire, empruntant les excitateurs de Hertz, de M. Rigbi, le cohéreur de M. Branly, le mode électrodynamique de concentration du champ hertzien de M. Blondlot, le résonateur à coupure de M. Turpain, le détecteur magnétique de M. Rutherford. Qui songerait un instant à nier cependant l'importance énorme des progrès réalisés par cet ingénieur industriel à qui l'on doit rapporter, en toute justice, la mise en pratique de la télégraphie sans fil qui eût peut-être attendu quelques années encore avant d'être au point où elle se trouve actuellement sans les efforts persévérants de M. Marconi? Évidemment, M. Marconi eût peut-être été mieux inspiré de ne pas transporter dans le domaine scientifique des procédés d'annonce qui laissent l'impression d'un certain bluff.

On a encore présent à l'esprit : l'annonce faite en 1896 de la réalisation de la télégraphie sans fil par des ondes nouvelles n'ayant absolument rien de commun avec celles de Hertz ; le bruit fait à cette époque dans les journaux quotidiens autour des essais alors modestes de M. Marconi ; la déclaration sensationnelle faite un peu plus tard par M. Marconi au cours d'une conférence à Londres, d'après laquelle le siècle dernier ne devait pas s'achever sans que la télégraphie sans fil soit aussi employée que la télégraphie ordinaire ; la manière dont on présente le succès des expériences entre Poldhu et le *Carlo Alberto*, dont les conditions exactes ne durent d'être connues que par l'enregistrement qu'en fit adroitement M. Maskelyne ⁽¹⁾, qui surprit les messages malgré les précautions prises par M. Marconi. Récemment encore M. Marconi annonçait dans une interview, lors d'un de ses voyages à Rome, qu'il avait réussi, en novembre 1903, à transmettre d'une sta-

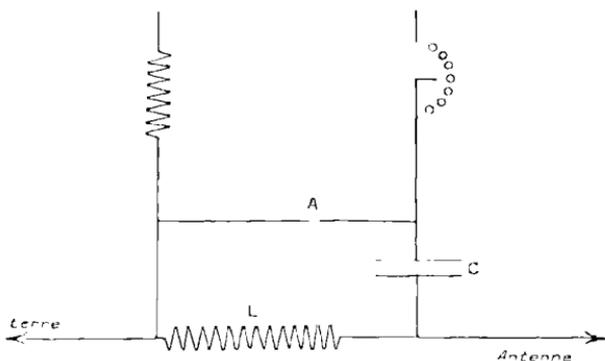
(1) MASKELYNE, *The Electrician*, 7 novembre 1902.

tion unique simultanément cinq télégrammes distincts à cinq stations différentes, et cela d'une manière parfaite. Il en déduisait, par une exagération qui paraît lui être naturelle, qu'il possédait le moyen de communiquer simultanément et indépendamment avec 25 stations! Ceci est à rapprocher de l'insuccès des essais de double communication faits en 1901, *sous contrôle*, par M. Marconi, entre Biot et Calvi, suivis quelques mois plus tard des expériences non soumises à un contrôle et au cours desquelles des communications simultanées et doubles furent réalisées sans aucun trouble au moyen d'une antenne unique. Peut-être ne devons-nous pas trop critiquer ces procédés; c'est peut-être ainsi, en effet, que M. Marconi a pu s'assurer d'une manière continue l'appui d'une assez puissante et assez riche société financière, et, par là, réaliser des expériences à grandes distances dont le coût énorme eût arrêté tout autre expérimentateur. Or, ces expériences, celles du *Carlo Alberto*, comme celles de communications transatlantiques, si elles n'offrent sans doute qu'un très médiocre intérêt pratique, ont évidemment un intérêt scientifique indiscutable. Elles mettent, en effet, en évidence l'extraordinaire sensibilité des dispositifs de réception, comme aussi la possibilité de les actionner, malgré la courbure du sol, à plus de 5000^{km}, pourvu qu'on dispose à la transmission d'une énergie suffisante qui doit d'ailleurs être énorme et tout à fait hors de proportion avec l'effet à atteindre. Il faut mettre en œuvre plus de 100 chevaux-vapeur pour déterminer le passage au relais récepteur d'un courant de 1 ou 2 milliampères. Pour notre part, nous devons l'avouer, nous ne pensions pas possible une semblable portée : les expériences à très longue portée de M. Marconi présentent certainement un intérêt scientifique capital; elles démontrent le rôle de concentration que jouent, sans nul doute, les couches superficielles du sol, à moins cependant que le banc de câbles transatlantiques qui s'étend entre Poldhu, Table Head et le cap Cod accroisse d'une manière spéciale cette concentration. Cette condition particulière ne suffit d'ailleurs pas à donner la raison du succès des réceptions de signaux obtenus à très grande distance : l'énorme rayon d'action de la puissante station de

Nauen n'est en effet relié à l'existence d'aucun banc de câbles; la station ultra-puissante de Coltano (près Pise), votée par le Parlement italien et qui doit être deux fois et demie plus puissante que le Poldhu, nous édifiera complètement à ce sujet, si sa réalisation n'est pas compromise par le refus du gouvernement argentin de faire la dépense (800000^{fr}) d'une station analogue sur son territoire.

Expériences de M. Poulsen. — Mais revenons aux expériences de M. Poulsen. Les oscillations électriques entretenues qu'elles paraissent devoir enfin réaliser sont, en effet, de nature à accroître bien davantage le développement pratique de la télégraphie sans fil que ne saurait le faire l'édification, à grand renfort de capitaux, de stations monstrueusement puissantes. Bien plus, si ces expériences apportaient enfin une solution pratique au problème de la syntonie, elles seraient de nature à déterminer peut-être un essor considérable de la nouvelle télégraphie.

Fig. 141.

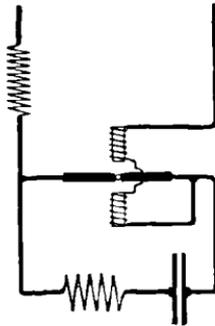


On sait en quoi consiste le dispositif de M. Poulsen (1). Un circuit d'arc chantant de Duddell comprend (*fig.* 141) en A l'arc, en C un condensateur, en L une self-induction. La self-induction est reliée d'une part à l'antenne, d'autre part à la terre.

(1) Voir *La Revue électrique*, t. VII, 15 février 1907, p. 81.

L'arc de Duddell, qui ne fournissait que 30000 à 40000 périodes à la seconde, et qui ne rayonnait qu'une énergie par trop faible pour les besoins de la télégraphie sans fil, est amené à un régime de haute fréquence par un refroidissement convenable. Ce refroidissement s'obtient en faisant jaillir l'arc dans une atmosphère d'hydrogène renouvelée, ou plus simplement encore en refroidissant l'une des électrodes de l'arc, que l'on produit entre anode de métal et cathode de charbon, par un courant d'eau. A cet effet, l'anode est constituée par un cylindre creux en cuivre, facile par suite à réfrigérer. La partie de l'anode sur laquelle l'arc jaillit est formée d'une bague métallique remplaçable; l'usure de l'anode est d'ailleurs assez faible. Les parties des électrodes entre lesquelles jaillit l'arc doivent être renouvelées et toujours très nettes; à cet effet, on peut animer les électrodes d'un mouvement de rotation sur elles-mêmes, et profiter de ce mouvement pour tailler et aviver les parties usagées. Enfin, l'arc est soumis à un soufflage magnétique produit par un électro (*fig. 142*) qui peut être entretenu par le courant même qui alimente l'arc.

Fig. 142.



On doit donner à l'arc une longueur a dite *active* ou *efficace*. Cette longueur a diminue avec la fréquence f et croît avec l'intensité I du courant d'entretien.

L'énergie convertie en oscillations électriques diminue quand la fréquence f croît : ainsi, dans un arc entretenu par

un courant d'alimentation à 440 volts, pour une fréquence $f = 160000$, l'énergie rayonnée est de 1200 watts; la fréquence atteignant $f' = 240000$, l'énergie rayonnée n'est plus que de 900 watts. Donc, quand la fréquence croît dans le rapport de 2 à 3, l'énergie rayonnée décroît dans le rapport de 4 à 3.

Lorsque le dispositif est réglé et les oscillations entretenues, le rapport $\frac{L}{C}$ de la self-induction L à la capacité C du circuit peut être modifié dans de larges limites sans que les oscillations cessent d'être entretenues.

L'utilisation de ces oscillations électriques entretenues ainsi produites a été faite par M. Poulsen en adoptant un mode de connexion soit directe, soit indirecte de l'antenne avec le circuit de l'arc du poste transmetteur. Mais c'est le mode de connexion directe qui semble préférable (*fig. 141*). La manipulation est assurée de plusieurs manières, soit en plaçant par la manœuvre du manipulateur l'antenne hors circuit ou en circuit, soit encore en intercalant ou court-circuitant une résistance convenable qui réduit l'amplitude des oscillations, soit enfin en faisant varier la longueur de l'arc, le champ magnétique soufflant ou le courant d'alimentation.

Le circuit récepteur doit être amené en parfaite résonance avec le transmetteur. Il y a avantage à n'introduire le cohéreur dans le circuit récepteur que par intermittences; à cet effet, on a doté ce circuit d'un organe supplémentaire consistant en un interrupteur rotatif à contacts d'or, d'argent ou de platine, constitué par une simple roue dentée sur laquelle appuie un balai qui ne ferme que momentanément le circuit à travers le détecteur d'ondes.

Résultats. — Les résultats déjà obtenus par M. Poulsen en utilisant ces oscillations électriques ainsi entretenues sont des plus encourageants.

Avec une dépense d'énergie au transmetteur de 700 watts à laquelle correspondait une énergie rayonnée par l'antenne de 100 watts, on put entretenir une transmission entre deux postes distants de 300^km avec des ondes variant entre 750^m et 1000^m. Par un soufflage magnétique un peu plus intense et en

utilisant alors une longueur d'onde de 860^m, l'énergie rayonnée atteignit 400 watts; les signaux impressionnant le téléphone de la station de réception étaient alors d'une netteté parfaite.

Le succès rapide et obtenu sans difficultés par M. Poulsen pour des communications entre deux postes distants de 300^{km} lui fait bien augurer de relations possibles avec des antennes de 60^m entre des stations distantes de 900^{km}, 1200^{km}, 1500^{km}.

Enfin (et ce résultat intéresse au point de vue particulier de la syntonie auquel nous nous plaçons ici), l'un des postes équipés avec le système de M. Poulsen, qui antérieurement était journellement et constamment troublé par l'enchevêtrement de signaux danois, allemands, anglais, auxquels se joignaient les signaux parasites provenant de décharges atmosphériques, ne perçoit plus uniquement depuis sa nouvelle installation que les signaux émis par son correspondant.

Ainsi les nouveaux dispositifs paraissent faire rentrer enfin le problème de la syntonie dans une voie pratique. L'accord obtenu avec leur aide serait en effet très resserré, puisqu'il serait assuré à 1 pour 100 près, c'est-à-dire que deux postes réglés pour fonctionner avec des oscillations électriques de 600^m de longueur d'onde ne seraient pas affectés par des ondes de 594^m ou de 606^m de longueur.

Déjà ces nouveaux dispositifs sont essayés de tous côtés. D'après M. Hahnemann (¹), la Société allemande « Telefunken » aurait réalisé des dispositifs d'émission empruntant l'arc de M. Duddell modifié par M. Poulsen. Dans ces dispositifs l'arc est disposé en série avec l'antenne, l'excitation directe étant ainsi substituée à l'excitation indirecte. On y gagne de limiter au minimum les pertes d'énergie vibratoire. Grâce à l'action d'ondes bien définies de période et entretenues, l'antenne peut recevoir, pour une tension donnée, une plus grande quantité d'énergie qu'avec des ondes amorties n'agissant qu'en une très petite fraction de seconde.

Avantages du système Poulsen. — Les avantages de ce nou-

(¹) HAHNEMANN, *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXVII, 22 nov. 1906, p. 1089. — *La Revue électrique*, t. VII, 15 février 1907, p. 84.

veau mode de production des oscillations sont déjà notables :

1° Diminution de la hauteur à donner aux antennes pour atteindre une même portée;

2° Solution probable de la syntonie et de la télégraphie sans fil dans une direction déterminée;

3° On entrevoit enfin la possibilité de faire passer dans le domaine pratique la solution du problème de la téléphonie sans fil qui jusqu'à présent n'a été l'objet que d'expériences de laboratoire ou de petites portées.

Inconvénients du système Poulsen. — Par contre, les nouveaux modes de production des ondes de Hertz semblent présenter quelques inconvénients et en particulier deux assez graves :

1° La très grande difficulté de maintenir une constance absolue dans le régime de l'arc. L'intervention d'une atmosphère d'hydrogène, le refroidissement des électrodes par courant d'eau, l'action de soufflage d'un champ magnétique, l'entretien continu à l'état neuf des points entre lesquels doit jaillir l'arc, tous ces moyens combinés ou pris isolément ne parviennent pas à assurer d'une façon constante la production d'une longueur d'onde λ exclusive de toute autre. La valeur de λ dépend essentiellement de la nature de l'arc. Or, on ne sait pas encore maintenir, en service courant, un arc dans des conditions rigoureusement déterminées et constantes. Il est à craindre qu'on soit arrêté dans l'exploitation pratique de ces nouveaux procédés par l'instabilité de l'arc.

2° La petite fraction d'énergie rayonnée, convertie en ondes, sera également un arrêt à l'essor des nouveaux procédés, car il faudra encore, pour atteindre de très grandes portées, mettre en œuvre aux stations d'émission une puissance hors de proportion avec l'effet à atteindre. Il semblera toujours d'un progrès bien douteux qu'il faille dépenser des centaines de chevaux pour actionner la membrane d'un téléphone au poste récepteur. Bien que, d'une part, le coût des stations même ultra-puissantes de télégraphie sans fil soit bien inférieur à celui d'un câble sous-marin, d'autre part l'entretien en activité d'une usine de 100 ou 150 chevaux nécessaire pour télé-

graphier, comparé aux quelques piles qu'utilise le plus long de nos câbles transatlantiques, constitue une dépense journalière telle qu'en définitive il est peut-être plus économique de conserver le procédé du câble, dont la durée est presque illimitée et dont l'entretien peut être bien moins coûteux que celui de multiples antennes gigantesques que chaque ourrasque désorganise.

A ce sujet je rappellerai que certaines administrations des télégraphes et, en particulier, l'administration française, vers 1880, n'hésitèrent pas (devant les dépenses énormes de réfection que des ourrasques répétées imposaient pour l'entretien du réseau aérien) à constituer tout un réseau de câbles souterrains dont on est arrivé après bien des déboires, il est vrai, à tirer un excellent parti au moyen des appareils Baudot. Ce réseau de câbles, d'un entretien très peu coûteux comparé à celui du réseau aérien, rend actuellement de tels services qu'avec le temps les dépenses d'établissement s'amortissent de plus en plus.

Les ondes produites au moyen du dispositif de M. Poulsen sont-elles, à proprement parler, non amorties? En se servant de l'analogie acoustique, doit-on les comparer au son rendu par un tuyau sonore ou mieux encore par un résonateur de Helmholtz purifiant un son d'intensité constante qu'il renforce, ou bien doit-on les comparer au son rendu soit par la corde d'un violon que l'archet maintient constamment en vibration, soit par un électro-diapason? M. Benischke (1) fait remarquer avec raison que le dispositif de M. Poulsen fournit des oscillations *entretenues, permanentes*, mais pas *non amorties*. Ce sont, en effet, des oscillations *forcées* et non des oscillations *propres* qui sont produites. Le rôle de l'arc dans le dispositif de M. Poulsen est l'analogie du rôle de l'archet actionnant la corde du violon ou de celui de l'électro-aimant maintenant en vibration le diapason. L'arc, grâce à l'énergie qu'il emprunte au circuit qui l'alimente, comble automatiquement les pertes en énergie rayonnée; il entretient les oscilla-

(1) BENISCHKE. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXVII, 27 déc. 1906, p. 1212. — *La Revue électrique*, t. VII, 15 février 1907, p. 85.

tions du circuit à mesure qu'elles s'amortissent. Et ce sera sans doute parce qu'on ne fait encore qu'entretenir des oscillations amorties que se révélera peut-être dans la pratique l'impuissance du nouveau dispositif à réaliser une syntonie parfaite.

Il faudrait, comme nous le disions au début, et comme nous avons tenté de le réaliser à diverses reprises, savoir produire des oscillations électriques puissantes, sans le secours d'arc ni d'aucune étincelle. L'étincelle, tout en étant l'origine même des ondes dans nos procédés actuels, imités de celui que nous enseigna Hertz, se trouve être la cause de leur production irrégulière. Nous ne savons encore produire des ondes électriques que d'une façon brutale, à la manière dont les peuplades primitives savent produire des sons musicaux par le choc, par le heurt de corps quelconques, pierres, bâtons creux ou lames de bois suspendues par un point. Les diverses longueurs d'onde d'oscillations électriques, nous les produisons à la manière dont on émet les notes de la gamme par le choc contre le sol de lamelles de bois d'épaisseurs variées. Ce sont des bruits et non des sons que nous savons produire dans le domaine des oscillations électriques. Il nous manque de savoir construire l'analogue d'un piano d'Érard ou d'un violon de Stradivarius.

Je demeure persuadé personnellement que les progrès de l'utilisation pratique des ondes électriques sont intimement liés à ceux que nous parviendrons à faire faire à l'oscillateur électrique. Depuis Hertz, aucun progrès sensible n'a été fait dans ce sens. Nous nous sommes ingénies à perfectionner l'oreille électrique, le résonateur qui, avec le cohéreur, avec les détecteurs magnétique et électrolytique, est devenu de plus en plus sensible; nous paraissions incapables à faire progresser l'instrument qui doit produire ces ondes pour lesquelles des récepteurs si sensibles sont déjà réalisés.

L'auteur de cet Ouvrage a conscience d'avoir apporté, par ses recherches personnelles, sa modeste contribution au domaine de la télégraphie sans fil, et cela à une époque où cette application des ondes électriques n'était pas encore née à la vie pratique. Depuis et malgré le succès parfois trop tapageur

des essais faits dans ce domaine, il s'est persuadé — en particulier, dans la mise en pratique des principes expérimentaux de multicommutation télégraphique par les champs hertziens interférents — que les véritables progrès de la nouvelle technique devaient être recherchés dans le perfectionnement de l'oscillateur. Les recherches que je poursuis depuis plusieurs années, pour réaliser un oscillateur sans étincelle qui fournisse des ondes véritablement non amorties, sont encore trop peu avancées pour que j'en fasse connaître ici les quelques résultats. Elles posent d'ailleurs des problèmes, tant d'ordre pratique que théorique, dont la solution nécessite encore des travaux de quelque haleine. A défaut d'autres considérations, l'exemple des nombreuses communications, trop hâtives, faites touchant les applications des ondes électriques, m'engagerait sans doute à solutionner complètement le problème que je me suis proposé avant d'en publier les dispositifs.

Conclusions. — En définitive, les efforts faits par M. Poulsen pour utiliser pratiquement l'arc chantant à la production d'ondes électriques destinées à la télégraphie sans fil — efforts qui semblent couronnés de succès — font enfin entrer le problème de la syntonie dans la voie d'une solution qui paraît pratique.

Est-ce à dire que les efforts précédents faits dans ce but par M. Marconi, par M. Braun, par M. Slaby, par M. Tissot, par M. Ferrié, aient été infructueux? Évidemment non; s'ils n'ont fait avancer pratiquement d'un pas le problème même de la syntonie, par contre, ils ont permis d'accroître la portée des ondes dans d'énormes proportions — et, à ce sujet, les résultats obtenus par M. Marconi sont particulièrement à retenir. — Cette portée, qui semble illimitée, pour peu qu'on dispose au transmetteur d'assez puissants moyens, qui, du moins, ne paraît avoir comme limite que celle même de ces moyens, parce que extraordinairement accrue, doit-elle faire penser qu'on arrivera quelque jour — dans un avenir plus ou moins lointain — à faire mouvoir à distance et sans fil, d'un continent à l'autre, des moteurs de plusieurs centaines de kilowatts? Évidemment, la prédiction paraîtrait bien osée. D'après un quotidien à ré-

clame, un certain sir Hugh Bell, prenant texte des rapides progrès faits au commencement du siècle dernier par l'éclairage au gaz, monte sur le trépied de la sibylle et voit « dans cent ans les plus lourds paquebots évoluer à distance et se rendre d'un continent à l'autre, sans le secours de vapeur ni de machines d'aucune sorte, par la seule puissance des ondes électriques ». L'improbabilité de pareils résultats ne mériterait sans doute pas d'être discutée ici si des esprits des plus avisés ne se laissaient parfois prendre à de pareilles rêveries. « Ainsi déjà apparaît, écrit un auteur des plus sérieux, la possibilité de transporter à travers l'espace et sans fil conducteur l'énergie disponible dans les chutes d'eau et les marées. Le mécanisme qui, dans les ondulations hertziennes, transmet une puissance très faible, peut aussi bien, en principe, conduire des centaines de kilowatts, et il n'est pas défendu de penser que le jour n'est plus lointain où des moteurs seront actionnés sans communication matérielle avec les circuits primaires et placés à des distances assez grandes de ceux-ci. » Évidemment, par l'imagination, on peut tout prévoir, même tableur sur ce que le principe de la conservation de l'énergie ne sera pas éternellement vérifié dans le monde matériel au cours des transformations de l'énergie. Mais de semblables prévisions nous semblent vraiment bien hasardées. Loin d'avoir le caractère prophétique que comportaient les vues de Lavoisier assez pénétrantes pour entrevoir, presque un siècle à l'avance, la liquéfaction de l'air, elles nous semblent plutôt se rapprocher de ces curieuses exagérations de l'imagination qui font entrevoir par Robida, au xx^e siècle, nos cités desservies par de lourds autobus aériens surchargés de voyageurs et croisant des camions également aériens transportant des tonnes et les faisant évoluer sans difficulté à la hauteur d'un vingtième étage.

Où en sommes-nous donc dans le domaine des résultats pour engager ainsi l'avenir? Quelques chiffres vont nous l'indiquer. M. Marconi, en disposant d'une usine de 100 chevaux, mettons 70000 watts $\left(\frac{\text{joules}}{\text{seconde}} \right)$, est parvenu à envoyer un télégramme à 5000^{km}, actionnant à cette distance, non pas di-

rectement la membrane d'un téléphone, mais un très sensible détecteur qui ne nécessite que 400 microergs pour amorcer le courant d'une pile locale dans le téléphone. Et encore, en 1905, la réponse audit télégramme n'avait pu parvenir qu'en empruntant la voie du câble. Ainsi donc, dans ce domaine du transport de l'énergie à distance par les ondes électriques et *sans fil*, nous savons, avec 100 chevaux, envoyer 0^m5,0004 à 5000^{km}, soit $\frac{4}{10000} \times \frac{1}{70000} \times \frac{1}{10^7}$ de la puissance mise en jeu, en chiffres ronds $\frac{1}{2 \cdot 10^{15}}$. Mais est-il bien certain qu'une oreille

qui serait aussi sensible proportionnellement aux ondes sonores que notre détecteur électrolytique l'est aux ondes hertziennes ne pourraient entendre dans les plaines du Texas, à la faveur d'une subite accalmie de toute notre atmosphère, le bruit de cascade du torrent des Alpes capable d'entretenir l'alternateur de 100 chevaux?

Rien ne prouve d'ailleurs que l'énergie électrique, prise sous forme d'oscillations, ne soit pas dégradée par rapport à l'énergie électrique prise sous les formes utilisées industriellement à l'époque actuelle.

Pour ma part, il faudra d'autres résultats que des rendements se chiffrant à $\frac{1}{2 \cdot 10^{15}}$ (un deux-cent-millionième de millionième) pour ébranler la profonde conviction que je garde que cette nouvelle et très souple transformation de l'énergie, l'oscillation électrique, que nous devons au génie de Hertz, sera utilisée d'une manière autrement féconde avec l'emploi d'un conducteur que sans fil.

Nous avons été le premier et le seul, à notre connaissance, à préconiser l'utilisation des ondes électriques en télégraphie avec conducteur. Nous demeurons persuadé que, lorsque l'engouement pour l'emploi des ondes électriques à des communications intercontinentales sans fil aura cessé, lorsqu'on restreindra l'utilisation des ondes sans conducteur au cas particulier où elles sont vraiment utiles, ce jour-là on reviendra vers l'application des ondes électriques à la télégraphie avec conducteurs. Nul doute que, par l'hétérogénéité même intro-

duite dans le milieu par le fil conducteur, on ne solutionne alors d'une manière aisée nombre de problèmes de télégraphie qui conduisent à des questions d'une complexité inextricable lorsqu'on les considère en télégraphie sans fil. Nous avons d'ailleurs, naguère, ouvert cette voie que tôt ou tard on suivra.

Et, si les progrès de la nouvelle technique électrique, la production et la réception des ondes, permettent en effet un jour d'envisager la possibilité d'entretenir des moteurs à l'aide d'ondes électriques, ce sera encore par l'emploi d'un conducteur dirigeant les ondes, les canalisant pour ainsi dire, et obviant à leur dissémination qu'on obtiendra peut-être des rendements industriellement acceptables.

Est-ce à dire que le progrès réalisé parce que nécessitant l'emploi d'un conducteur perdra de l'intérêt? Nullement; si, au point de vue poétique et imaginaire, il reste inférieur sans doute à celui envisagé sans conducteur aucun, il ne faut pas perdre de vue qu'un seul conducteur ramifié sera suffisant pour distribuer d'une manière multiple l'énergie en mille lieux. Un réseau unique permettrait peut-être alors d'assurer, entre un nombre presque infini de localités, et les communications télégraphiques ou téléphoniques et les distributions d'énergie de tout mode.

CHAPITRE VII.

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA TÉLÉGRAPHIE. TÉLÉGRAPHIE SANS FIL (*suite*).

PROGRÈS DES APPLICATIONS DE LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL.

Nous résumerons, dans ce dernier Chapitre sur la télégraphie sans fil, les principales expériences pratiques de communications faites au moyen de dispositifs variés et les progrès successifs faits par leur emploi.

Ces progrès peuvent être envisagés comme correspondant à trois étapes successives de la télégraphie sans fil.

La première se rapporte à l'utilisation exclusive des dispositifs à connexions directes. Elle s'étend de 1896 à 1900.

La deuxième a trait à la réalisation des dispositifs dits *syntonisés*, utilisant surtout des dispositifs à connexions indirectes. Elle comprend les expériences faites de 1900 à 1905.

La troisième naît de l'étude faite de la question si importante de l'amortissement et de l'utilité que présentent les conditions d'accouplement, études qui furent poussées surtout par Drude, par M. Max Abraham, par M. Tissot et par M. Slaby. Elle commence en 1905 et aboutit aux récents essais d'ondes électriques entretenues.

Nous allons passer en revue les principales de ces expériences pratiques, en indiquant brièvement, au sujet de chacune d'elles, quelques renseignements numériques.

Emploi de dispositifs à connexions directes. — PREMIÈRES EXPÉRIENCES DE M. MARCONI. — Après avoir réussi à Bologne, au cours de premiers essais, à envoyer des signaux à 2500^m environ, M. Marconi obtint à Londres, en présence de M. W. Preece, une communication sur une distance de 6500^m.

Expériences de Penarth (Angleterre). — En 1897, des communications télégraphiques sans fil furent échangées entre Penarth et Weston super mare; les stations étaient distantes de 14^{km}.

L'excitateur utilisé était un excitateur à sphères de Righi dont les conducteurs mesuraient 0^m,10 de diamètre; l'étincelle oscillante éclatait dans l'huile de vaseline. Cet appareil produisait des ondes de 1^m,20 de longueur.

Comme antenne, on utilisait un cerf-volant recouvert de papier d'étain dont la surface était mise en communication à l'aide d'un fil d'aluminium avec l'une des armatures du cohéreur, dont l'autre armature était reliée à la terre.

Expériences de la Spezzia. — Au mois de juillet de la même année, de nouvelles expériences furent faites à la Spezzia, port militaire italien.

Le transmetteur établi à l'arsenal San Bartoloméo comprenait un excitateur de Righi actionné par une bobine d'induction donnant 0^m,25 d'étincelles. Une des sphères de l'excitateur était mise en communication avec la mer. L'autre sphère était reliée par un fil de 4^{mm} de diamètre à une plaque de zinc de 0^m,40 de côté qui terminait l'antenne. Cette plaque était fixée au sommet d'un mât de 30^m de hauteur environ.

Le récepteur était disposé à bord d'un navire de guerre italien, le cuirassé *San Martino*. L'un des pôles du cohéreur communiquait avec la mer; l'autre pôle était relié à une plaque métallique fixée au sommet d'un mât du navire. Le cuirassé évoluait dans le golfe de Gènes.

Les conditions atmosphériques purent influencer sur la distance possible des communications. Certains jours, elles purent être échangées à 16^{km} de distance, d'autres jours on ne put dépasser 7^{km} à 8^{km}. Les obstacles arrêtent la transmission. C'est ainsi que lorsque le cuirassé se plaçait derrière la pointe della Cassagna, distante de 6^{km} du transmetteur, les signaux cessaient d'être perçus; on les recevait à nouveau dès que le navire rentrait dans le champ visuel. L'interposition entre les deux postes de masses métalliques affaiblissait notablement l'intensité des ondes, comme on put le constater en interpo-

sant entre le transmetteur et le récepteur la passerelle ou la cheminée du navire.

Le même affaiblissement s'observait, lorsque le poste récepteur était disposé dans la cale du cuirassé.

Expériences à bord de l'Osborne. — Pendant le mois d'août 1898, des échanges de communications furent établis entre le yacht du prince de Galles, *l'Osborne*, et la côte anglaise. L'antenne du yacht était haute de 25^m au-dessus du pont. La résidence royale mise en communication avec le yacht était munie d'une antenne verticale mesurant 31^m.

La plus grande distance que l'on put franchir fut de 13 500^{km}, malgré l'interposition d'une colline de 50^m de hauteur.

Expériences à bord de navires de la marine des États-Unis. — Des expériences de télégraphie sans fil furent faites par M. Marconi, en octobre 1899, à l'aide d'appareils disposés à bord de deux navires de guerre américains, le croiseur *New-York* et le cuirassé *Massachusetts*.

Au cours de ces expériences, le *New-York* put recevoir les signaux envoyés par le *Massachusetts* alors que la distance séparant ces deux navires était de 57^{km}. Par contre, le *Massachusetts* cessa de recevoir les signaux du *New-York* dès qu'il fut à 27^{km} du croiseur. Pendant une autre série d'expériences, l'inverse se produisit; lorsque la distance des deux vaisseaux atteignit 15^{km}, les signaux émis par le *Massachusetts* cessèrent de parvenir au *New-York*.

On constata également, au cours de ces expériences, qu'une station disposée à terre, à 8^{km} des navires américains, et qui envoyait des ondes électriques, troublait les communications entre les deux vaisseaux et empêchait la perception nette des signaux échangés.

Expériences de Wimereux. — De mars à juin 1899 eurent lieu des expériences à travers la Manche qui, par leur variété et les résultats obtenus, peuvent être considérées comme les plus démonstratives de toutes celles entreprises par M. Marconi.

Un poste fut établi sur la côte de France à Wimereux, près

de Boulogne-sur-Mer. La hauteur de l'antenne disposée à Wimereux fut de 45^m, puis réduite à 37^m. Une autre station était installée sur la côte anglaise dans le bâtiment de l'usine électrique des phares de South Foreland, aux environs de Douvres. Ce bâtiment est situé sur une falaise élevée d'environ 80^m au-dessus du niveau de la mer. La hauteur du mât soutenant l'antenne de South Foreland était également de 37^m.

Les deux mâts se trouvaient ainsi entièrement visibles l'un pour l'autre. La distance à vol d'oiseau entre Wimereux et South Foreland est de 46^{km} environ.

De plus, des installations de postes furent faites à bord du transport *la Vienne* qui était muni d'une antenne de 31^m et de l'avisio *l'Ibis* dont l'antenne mesurait 22^m.

Les expériences de communication en espace découvrirent d'excellents résultats. Elles furent très satisfaisantes par tous les temps entre Wimereux et South Foreland, et inversement. Les communications entre *l'Ibis* et la *Vienne* et les deux stations fixes ont été également très bonnes. Les distances maxima atteintes furent les suivantes :

<i>l'Ibis</i> et South Foreland.....	25 et 30 ^{km}
La <i>Vienne</i> et South Foreland.....	48 ^{km}

Cette dernière communication a même pu être établie dans un sens (réception à bord de la *Vienne*) jusqu'à 52^{km}.

Les expériences de communication avec obstacles interposés ont également fourni d'intéressants résultats.

l'Ibis, placé à 19^{km} de Wimereux et de façon que le massif du cap Griz-Nez (hauteur maxima = 100^m) fût interposé entre les deux stations, put néanmoins échanger des signaux avec Wimereux.

La *Vienne* étant à quai dans le port de Boulogne, on put établir une communication entre elle et Wimereux (distance = 5^{km}) avec une hauteur d'antenne de 12^m à bord de la *Vienne*, malgré l'interposition du massif de la Crèche d'une hauteur de 75^m environ et l'existence des canalisations électriques des quais de Boulogne.

D'après M. Marconi, des communications auraient égale-

ment pu être établies entre le poste de Wimereux et deux postes situés l'un à Chelmsford, l'autre à Harwich.

Chelmsford (Essex) est situé de l'autre côté de la Tamise, à 15^{km} environ de la côte, et sa distance de Wimereux est, à vol d'oiseau, de 136^{km} dont la moitié environ au-dessus de la mer (Pas-de-Calais, 48^{km}; embouchure de la Tamise, 20^{km}).

Harwich (Essex) est situé sur la côte, et la ligne droite qui va de Wimereux à Harwich et qui mesure également 136^{km} est tout entière située au-dessus de la mer. Seule la pointe de North Foreland la coupe sur une longueur de 8^{km}.

Des antennes de 45^m ont suffi pour assurer des communications entre ces divers postes.

Vers la même époque (septembre 1900), au cours des manœuvres navales anglaises, M. Marconi aurait réussi à entretenir des communications entre deux navires anglais, le *Juno* et l'*Europa*, alors qu'ils étaient distants de 72 milles (136^{km}).

Expériences de M. Slaby. — Le succès qui suivit les expériences de M. Marconi et l'intérêt qui s'attachait au problème résolu déterminèrent un grand nombre de physiciens à entreprendre des essais analogues.

En Allemagne, M. Slaby, professeur à l'École militaire de Charlottenburg, parvint à établir, en octobre 1897, des communications à des distances de plus de 20^{km}, en soutenant des antennes à de grandes hauteurs au moyen de ballons captifs. Les plaques terminales des antennes étaient supprimées et l'extrémité élevée de l'antenne était simplement fixée à un support isolant.

On produisait les ondes à l'aide d'un excitateur à deux sphères de Righi. Les grosses sphères étaient à 2^{km} l'une de l'autre; les petites sphères qui servaient à relier l'oscillateur à la bobine d'induction étaient à une distance des grosses sphères variant de 3^{mm} à 5^{mm}.

Au lieu d'employer un cohéreur à limaille d'argent et de nickel comme M. Marconi, M. Slaby utilisait des cohéreurs à limaille d'argent. Ces appareils étaient moins sensibles que ceux de M. Marconi, mais ils ne fonctionnaient pas sous l'in-

fluence des décharges atmosphériques et les transmissions y gagnaient en régularité.

Enfin le shunt du trembleur et les bobines de self-induction B, B placées en dérivation sur le cohéreur (voir *fig.* 89) étaient supprimés.

M. Slaby put ainsi communiquer entre Matronenstation et Sacron (distance = 1600^m) avec des antennes de 26^m de hauteur, malgré un rideau d'arbres placé immédiatement au-devant du transmetteur. Au cours d'autres expériences la distance franchie fut de 3100^m, entre Matronenstation et Pfaueninsel; les antennes étaient soutenues à 65^m au-dessus du sol et de nombreux obstacles existaient entre les deux stations. Enfin, des communications purent être échangées entre Rangdsorf et Scœneberg, stations distantes de 21^{km} et séparées par une plaine libre. Les antennes étaient soutenues à 300^m au-dessus du sol.

D'après les expériences de M. Slaby la portée des ondes dépendrait et de la hauteur des antennes et de la visibilité réciproque des stations.

Expériences de M. Voisenat. — En 1898, M. Voisenat, ingénieur des télégraphes, fit, aux environs de Paris, des essais de télégraphie sans fil et put échanger des signaux à 10^{km} de distance au moyen d'antennes de 40^m de hauteur. M. Voisenat a constaté qu'il n'était pas nécessaire de munir l'extrémité élevée de l'antenne d'une capacité.

Expériences de M. Tissot. — En 1898 et 1899, M. le lieutenant de vaisseau Tissot, professeur à l'École navale, a pu assurer des communications entre l'île d'Ouessant et la côte. Les signaux échangés furent très nettement perçus et les communications purent être étendues de l'île d'Ouessant à l'île Vierge, c'est-à-dire à une distance de 42^{km}. Les antennes avaient 45^m de hauteur.

Comme M. Voisenat, M. Tissot a constaté qu'il est inutile de munir l'antenne d'une capacité à sa partie supérieure. Les cohéreurs étaient formés avec de la limaille de nickel soigneusement débarrassée des matières grasses et très légèrement

oxydée. Il convient, d'après M. Tissot, d'employer des tubes cohéreurs qui ne soient pas trop sensibles. Les tubes de sensibilité moyenne décohèrent mieux que les tubes très sensibles. Contrairement à ce qui fut observé au cours des expériences de M. Marconi, l'inclinaison et l'orientation de l'antenne ne semblent pas avoir grande influence, pourvu cependant qu'elle demeure dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation.

M. Tissot constata que les brumes entravaient la transmission, contrairement aux observations faites à Wimereux par M. Marconi. Par contre, en s'entourant de précautions, on put communiquer en temps d'orage, sans que les décharges atmosphériques aient d'influence sur la netteté des signaux échangés.

Les expériences que M. Tissot a ainsi réalisées et dont nous venons d'indiquer rapidement les principaux résultats ont été conduites d'une manière très systématique.

Le Tableau suivant résume les conditions (distance et hauteur d'antenne) de ces premières expériences de M. Tissot :

		km
Parc au Duc (25 ^m)	— Portzic (31 ^m).....	4
»	— Corbeau (30 ^m).....	7
»	— Pointe Espagnole (45)....	5
»	— Pointe Cornouailles (45 ^m).	8
Saint-Martin (67 ^m)	— Portzic (31 ^m).....	6
»	— Corbeau (30 ^m).....	6
Minou (33 ^m)	— Portzic (31 ^m).....	6,500
»	— Corbeau (30 ^m).....	13,500
Stiff (34 ^m)	— Trezien (38 ^m).....	22
»	— Ile Viege (45 ^m).....	42

Au cours de ses premières expériences, M. Tissot a fait une étude complète des diverses causes qui peuvent influer sur la transmission et sur la réception des signaux.

Expériences de M. Popoff. — En utilisant comme appareil récepteur un cohéreur à charbon relié à un téléphone, M. Popoff a pu obtenir des transmissions régulières à des distances de 36^{km} et de 50^{km}.

Les communications sont établies depuis le mois de février 1900 entre une île du golfe de Finlande (Hogland) et le continent. L'un des postes est placé à 5^{km} de la côte, au milieu d'un pays boisé. Les mâts qui portent les antennes ont 48^m de hauteur. Plusieurs îles se trouvent interposées entre les deux stations. Malgré ces particularités, les signaux échangés sont assez nets pour permettre un service régulier de communications entre les deux postes (1).

Nouvelles expériences de M. Tissot. — En 1900 M. Tissot, en employant le cohéreur à cohérence magnétique que nous avons décrit précédemment (Chap. I, p. 24), a pu augmenter très sensiblement la distance que lui permettaient de franchir ses dispositifs antérieurs.

C'est ainsi que dans une première série d'expériences on a pu recevoir des signaux du *Masséna*, bâtiment de l'escadre du Nord, à une distance de 18 milles (33^{km}) avec des antennes qui n'atteignaient pas 30^m de hauteur (2).

La pratique du même procédé a permis à M. Tissot (3) d'assurer des communications d'une netteté parfaite à une distance de 33 milles (61^{km}), entre un cuirassé et le phare de Portzic. Les antennes du poste d'émission et du poste de réception ne mesuraient qu'une hauteur totale de 30^m.

Les communications n'ont pas seulement consisté en la transmission de signaux rythmés intermittents, mais encore en l'échange de phrases complètes, télégraphiées en clair et interprétées au Morse par des marins télégraphistes.

Enfin, au mois de septembre 1900, M. Tissot a communiqué

(1) Cette installation de télégraphie sans fil avait été réalisée en vue du sauvetage du cuirassé russe *le Général-Amiral d'Apraxine*, échoué sur les côtes de l'île Hogland en 1899 par 20° au-dessous de zéro. Les transmissions établies, il fut permis de signaler, par le télégraphe sans fil, qu'un bloc de glace s'étant détaché près de Zovensary, un groupe de pêcheurs qui s'y trouvait était entraîné vers la pleine mer. Le télégramme d'alarme fut reçu par le navire brise-glaces *Ermack*, et les 27 pêcheurs échoués sur le bloc de glace furent sauvés d'une mort certaine.

(2) Tissot, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 2 avril 1900.

(3) *Id.*, 21 mai 1900.

entre le sémaphore d'Ouessant-Stiff et celui de Keramezec, distants de 45 milles (83^{km}).

Il a pu également communiquer entre le poste d'Ouessant-Stiff et le vaisseau *Bruix*, allant de Brest à Rochefort, pendant 3 heures en cours de route.

EMPLOIS DE DISPOSITIFS DITS « SYNTONES ».

Expériences de M. Braun. — En employant des condensateurs et en produisant l'excitation par connexions indirectes, M. Braun obtint en 1898 et 1899 des communications, en particulier dans la mer du Nord, entre des stations côtières et l'île d'Heligoland, à des distances égales ou même supérieures à celles alors atteintes par M. Marconi, et cela en utilisant des antennes de moindre hauteur.

Seconde série d'expériences de M. Marconi. — M. Marconi mit alors en œuvre des dispositifs analogues à ceux de M. Braun, interposant dans les circuits des capacités et établissant d'une façon générale tant à l'arrivée qu'au départ des connexions indirectes par l'emploi d'un transformateur dénommé *jigger*.

C'est avec ce nouveau dispositif que furent réalisées successivement les communications suivantes :

1° *Entre la pointe des Cornouailles (poste de Lizard) et l'île de Wight (poste de Sainte-Catherine)*, 1901. Distance : 300^{km}. Antenne multiple formée de quatre fils de 48^m de hauteur écartés de 1^m,50. Une énergie de 150 watts fut, *paraît-il*, suffisante pour assurer la communication. On aurait pu même alors échanger simultanément de chaque station deux télégrammes.

2° *Entre la France (poste de Biot, près Antibes) et la Corse (poste de Calvi)*, 1901. Distance : 175^{km}. Antenne multiple à quatre fils de 52^m de hauteur à Biot et de 55^m de hauteur à Calvi. Deux bobines d'induction, donnant chacune 25^{mm} d'étincelle, étaient montées en parallèles et actionnaient l'antenne d'émission par l'intermédiaire d'un transformateur. Le dispo-

sitif de réception, empruntant également un transformateur (jigger), était celui représenté par la figure 100 de la page 140.

Les expériences réalisées furent de deux sortes : des communications simples et des communications doubles. Les communications simples étaient obtenues entre les deux stations par l'emploi de trois longueurs d'ondes différentes, 300^m, 200^m et 70^m. Ce furent les communications réalisées avec les ondes de 300^m qui furent les meilleures. Entre temps des communications furent échangées entre l'un des postes et le navire *Princesse-Alice* appartenant au prince de Monaco. Elles purent être assurées jusqu'à 150^{km}. La vitesse de transmission atteignit quatorze mots à la minute. Les communications ne pouvaient toutefois plus être assurées, par suite des perturbations d'origine atmosphérique dans la journée, de 10^h du matin à 6^h du soir. Les signaux échangés entre navires passant au large s'enregistraient au récepteur. Tous ces signaux parasites étaient plus facilement reçus par le cohéreur lorsqu'il était en service que lorsque les deux postes ne transmettaient pas.

Les expériences de double communication ne furent pas suivies de succès. Deux émissions étaient faites simultanément au départ, l'une avec des ondes de 300^m, la seconde avec des ondes de 150^m. A l'arrivée deux dispositifs récepteurs devaient séparer les réceptions. Lorsqu'on n'employait qu'une seule antenne les signaux se brouillaient. On parvint à ce que chaque récepteur enregistrât isolément un seul des télégrammes ; mais, lorsqu'on intercalait l'autre récepteur, ou bien il n'enregistrait aucun signal, ou bien il enregistrerait les deux sortes d'émissions.

Expériences de double communication de M. Slaby. — En utilisant les propriétés des champs hertziens interférents mis en évidence dès mars 1898 par M. Turpain, M. Slaby a pu obtenir à Berlin, au mois de décembre 1900, des doubles communications entre deux postes d'ailleurs fort peu éloignés. Deux récepteurs étaient reliés au même paratonnerre, placé sur une cheminée d'usine, sur les bords de la Sprée.

Les stations transmettrices étaient l'une à l'École technique de Charlottenburg, dans le laboratoire de M. Slaby, l'autre dans l'usine des câbles de la Haute-Sprée, à Schöneweide : la

distance est de 4^{km} pour la première, de 15^{km} pour la seconde.

A Charlottenburg, l'antenne d'émission était conduite de la fenêtre à l'extrémité d'un mât de 16^{m} , dressé sur le toit du bâtiment. La plus grande masse du bâtiment se trouvait sur le trajet des ondes.

A Schöneweide, l'antenne était tendue entre deux cheminées : les ondes devaient traverser une grande partie de la ville de Berlin.

Malgré ces difficultés, la transmission s'est effectuée d'une manière très régulière, avec une vitesse de soixante-douze lettres par minute.

La longueur d'onde des oscillations émises par le transmetteur de Charlottenburg (4^{km}) était de 640^{m} , celles des oscillations émises par le transmetteur de Schöneweide (15^{km}) de 240^{m} .

Expériences de M. Ferrié. — M. le capitaine Ferrié, qui a pris une si grande part à l'élaboration du matériel de télégraphie militaire sans fil du service français, a obtenu, au cours d'expériences faites en collaboration avec M. le capitaine Becq, les résultats intéressants suivants :

Communication entre les différents forts des environs de Paris. C'est en particulier entre les forts de Palaiseau et de Ville-neuve-Saint-Georges que fut expérimenté pour la première fois le détecteur électrolytique, en 1900.

En 1901, au moyen d'antennes soutenues par des ballonnets, des expériences furent faites aux environs de Lorient et à Belle-Isle. Avec une énergie de 80 watts et des antennes de 30^{m} on put communiquer à 59^{km} .

En 1902, à l'aide d'un poste de transmission placé à Belle-Isle et d'un poste récepteur installé successivement au phare d'Eckmühl (Finistère), puis au phare des Baleines (île de Ré), enfin au phare de la Coubre (Gironde), on constata qu'avec 150 à 200 watts et 40^{m} à 50^{m} d'antenne on pouvait communiquer à 240^{km} sans difficultés.

En 1902 et en 1903, un service fut assuré avec ce matériel entre la Martinique et la Guadeloupe (180^{km}). Remplacement provisoire du câble détruit par l'éruption du mont Pelé.

En 1903, au moyen d'antennes portées par des ballons captifs

s'élevant à 300^m, M. Ferrié put établir des communications sur terre entre Paris et Belfort (400^{km}). On supprima ensuite le ballon du poste de Paris et l'on disposa l'antenne à la tour Eiffel. En modifiant la forme de l'antenne et les procédés de transmission, on a pu atteindre 1500^{km}.

Utilisation des expériences de M. Tissot par la télégraphie navale. — M. Tissot ne s'est pas contenté de faire, au sujet des phénomènes mis en jeu dans la télégraphie sans fil, des études systématiques qui sont de beaucoup les plus complètes qui aient été faites touchant cette intéressante application des ondes électriques; il a encore doté nos escadres de tout un matériel des mieux étudiés qui lui a permis peu à peu, et cela dès 1898, d'accroître la portée des communications. Aujourd'hui tous les navires de guerre munis des dispositifs étudiés par M. Tissot peuvent communiquer à 300^{km}. En 1906, le cuirassé *Bruix* a pu même communiquer avec Port-Vendres à une distance de 500^{km}.

Récentes expériences de la marine française. — Tout récemment (octobre 1907), une commission dont M. Tissot et M. Ferrié étaient l'âme vient d'effectuer dans la Méditerranée une série d'expériences dont les résultats sont des plus intéressants, étant donnée la très petite énergie mise en jeu.

Quatre postes identiques employant un nouveau matériel furent installés sur les quatre cuirassés *Jauréguiberry*, *Jules-Ferry*, *Gaulois* et *République*.

Caractéristiques du nouveau dispositif. — Le matériel mis en œuvre est caractérisé par les points suivants :

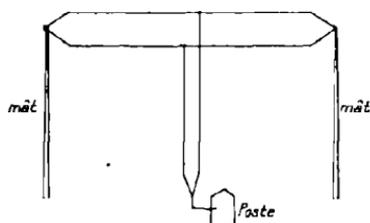
1^o Excitation par courant alternatif en utilisant 4 kilowatts seulement de puissance. Un groupe convertisseur comprend un moteur à courant continu entraînant un alternateur à 4 pôles, 50 périodes et 250 volts.

2^o Émission par connexions indirectes et transformateur spécial à primaire et secondaire réunis. Ce sont les transformateurs à résonance, à fuites et à circuit magnétique ouvert qui ont donné les meilleurs rendements. Les capacités utilisées

furent du type de M. Gaiffe et du type de M. Mosciki. Les condensateurs Mosciki ont paru légèrement supérieurs.

3° L'antenne multiple est formée de deux fils écartés tendus entre deux mâts. Au milieu deux fils sont connectés et descendent verticalement pour se réunir à l'entrée du poste (fig. 143). Les antennes avaient 420^m à 425^m de largeur.

Fig. 143.



Antenne utilisée dans les récentes expériences de la marine française.

Quatre longueurs d'onde furent utilisées : 300^m, 450^m, 600^m et 750^m. Le couplage direct de l'antenne donnait l'onde de 450^m. Pour obtenir 300^m, on embroche un condensateur à la base de l'antenne. Pour avoir 600^m à 750^m on ajoute en série des bobines de self différentes à la base de l'antenne.

L'accouplement d'émission, légèrement variable suivant les ondes utilisées, était toujours lâche ou faible ($x =$ de 0,12 à 0,14).

4° La réception fut faite au cohéreur, au détecteur électrolytique et au détecteur magnétique. On pouvait à la réception utiliser soit un couplage serré ou fort, soit un couplage lâche ou faible. Le couplage lâche, qui a donné avec le détecteur électrolytique de très remarquables résultats, s'obtenait au moyen d'un transformateur formé de deux bobines qu'on enfouait plus ou moins l'une dans l'autre.

Tous les circuits étaient rigoureusement accordés à l'avance, les couplages portés à la même valeur ainsi que les amortissements. Les mesures très précises de ces grandeurs furent faites au moyen de l'ondemètre et du décrémètre de M. Tissot (voir p. 180 et 182).

Résultats des expériences. — Première série d'essais : le *Jules-Ferry* restant au mouillage aux Salins-d'Hyères, près de Toulon, la *République* gagna les côtes de Corse, puis Alger. Les communications furent assurées avec la plus grande facilité entre Alger et les Salins (740^{km}).

Résultat plus intéressant à deux points de vue, tous les télégrammes échangés avaient été reçus par le poste de la pointe du Raz, près Brest, poste établi par M. Tissot en 1901, avec un simple mât de 45^m. Rien d'essentiel n'a été changé à l'installation de ce poste depuis cette époque. Ce poste de la pointe du Raz assure constamment des transmissions à 360^{km} avec dispositifs à connexions directes et une énergie mise en jeu de 600 watts au maximum. C'est ce poste de la pointe du Raz qui, depuis deux ans environ, est muni d'un détecteur électrolytique et ne possède qu'une antenne de 50^m, qui n'en a pas moins reçu toutes les ondes émises par le *Jules-Ferry* (Salins-d'Hyères) et par la *République* (Alger).

Distances :

Les Salins-Pointe du Raz : 1000^{km} environ; Alger-Pointe du Raz : 1500^{km} environ.

Dès lors des divers points de la Méditerranée, Alger, îles Baléares, Corse, etc., on envoya des télégrammes qui furent tous correctement reçus, sans un manque et sans une hésitation, par le poste de la pointe du Raz de Sein.

Les émissions faites par la tour Eiffel furent également reçues par les quatre navires. On a pu également transmettre à la tour, et M. Tissot engagea même du *Jauréguiberry*, alors à Calvi, la conversation avec le poste de la tour Eiffel.

Distance : Paris-Calvi : 900^{km} environ.

Il semble étonnant que les communications aient été moins aisées avec la tour Eiffel qu'avec la pointe du Raz. M. Tissot croit que cela tient à ce que les ondes de 1700^m de longueur qu'émet la tour sont plus éloignées des ondes mises en œuvre que de celles susceptibles d'être reçues par la pointe du Raz. De plus, le poste de la tour Eiffel se trouve exposé aux troubles de tous les postes étrangers de grande puissance et aux ondes d'origine atmosphérique.

Comme cela a été maintes fois signalé, toutes ces communications ne pouvaient être assurées que la nuit.

Essais de syntonie. — Les essais de syntonie ont été faits de la manière suivante : les quatre bâtiments furent disposés aux sommets A, B, C, D d'un grand rectangle de 185^{km} sur 28^{km} de côtés. Les bâtiments A et B, distants de 185^{km} , pouvaient communiquer entre eux avec l'une quelconque des quatre longueurs d'onde, tandis que les bâtiments C et D, également distants de 185^{km} , communiquaient ensemble en employant l'une quelconque des trois autres longueurs d'onde. On ne constata aucun trouble. Le couplage à la réception était très lâche.

En résumé, tous ces résultats constituent un avantage indiscutable sur ceux obtenus jusqu'à ce jour à l'étranger et par la mise en œuvre de stations puissantes. Ici, en effet, ce ne sont plus 100 et 150 chevaux qui sont employés pour la production des ondes, mais seulement $\frac{1}{4}$ kilowatts, c'est-à-dire à peine 7,5 chevaux.

Expériences de M. Poulsen. — Nous avons indiqué les résultats très encourageants obtenus en produisant les ondes au moyen de l'arc chantant avec le dispositif indiqué par M. Poulsen (*voir* p. 212 et 214). Avec une dépense de 700 watts, correspondant à une énergie émise par l'antenne de 100 watts, on peut obtenir des transmissions entre deux postes éloignés de 300^{km} . Les troubles ordinairement apportés par les signaux parasites, par les signaux d'autres stations se trouvent totalement supprimés. Enfin l'accord obtenu est amené à 1 pour 100 près. Un poste réglé pour des ondes de 600^{m} de longueur n'est pas influencé par d'autres ondes de longueur inférieure à 594^{m} ou supérieure à 606^{m} .

Récemment (mars 1907) l'Amirauté britannique a procédé à des essais avec le dispositif Poulsen. Le vaisseau *Furious*, équipé avec d'anciens dispositifs, ne put parvenir ni à surprendre ni à troubler les communications d'un poste Poulsen établi sur le littoral avec la station Poulsen d'Eshbjerg (Danemark).

Essais de communications intercontinentales. Stations de télégraphie sans fil très puissantes. — Depuis le mois de décembre 1901, M. Marconi essaye, sans succès d'ailleurs, d'obtenir des communications entre l'Europe et l'Amérique à travers l'Océan. L'accumulation au poste transmetteur d'une énergie (150 chevaux) hors de proportion avec l'effet à produire (l'amorçage d'un courant téléphonique local), la mise en œuvre de détecteurs d'ondes extrêmement sensibles (détecteur magnétique ou électrolytique), si elles ont permis parfois et rarement d'impressionner des récepteurs à 4000^{km}, n'ont pas encore permis d'augurer la possibilité d'un service d'échanges télégraphiques pratiques. Toutefois ces essais, s'ils ne gardent pas une grande valeur pratique et s'ils ne sont guère de nature à émouvoir les actionnaires des Compagnies de câbles transatlantiques, malgré les annonces de succès souvent tapageuses des grandes sociétés de télégraphie sans fil, sont scientifiquement extrêmement intéressants. Il est heureux que, pour une fois, l'appât d'une transformation industrielle devant enrichir quelques-uns par la ruine de plusieurs ait fait consentir des sacrifices d'argent que des savants consciencieux, poursuivant en silence la réalisation d'expériences intéressantes mais coûteuses, eussent bien en vain sollicités.

Nous allons décrire très succinctement les résultats obtenus au cours de ces essais et indiquer les données connues concernant les stations très puissantes édifiées pour les poursuivre :

1^o *Expériences de M. Marconi entre Poldhu (Cornouailles, Angleterre) et le cap Cod (Massachusetts, États-Unis), 4800^{km}, 1901.* — Coût des stations : 400 000^{fr} environ. Aucun résultat, par suite de la destruction de la station de Poldhu.

2^o *Expériences de M. Marconi entre Poldhu et Saint-Jean-de-Terre-Neuve (3400^{km}), 1901.* — A Terre-Neuve, poste récepteur muni d'une antenne de 135^m portée par un cerf-volant. Emploi du cohéreur à gouttes de mercure Castelli. Réception téléphonique extrêmement douteuse de quelques-uns des signaux « S » envoyés de Poldhu.

3^e *Expériences de M. Marconi entre Poldhu et le navire « Carlo-Alberto », allant de Cronstadt (Russie) à la Spezzia (Italie).* — Station transmettrice de Poldhu : antenne en forme de pyramide renversée (voir *fig. 96 b*, p. 127), soutenue par quatre pylones de 70^m de hauteur et placée au sommet d'un carré de 70^m de côté. Énergie employée : 150 chevaux.

Station réceptrice à bord du *Carlo-Alberto* : antenne formant un éventail de 50 fils de cuivre de 52^m de longueur chacun, tendus verticalement entre le grand mât et le mât de trinquet. Emploi du détecteur magnétique et du téléphone.

Résultats : La réception des signaux envoyés de Poldhu « C. A., série d'S » a eu lieu alors même que le *Carlo-Alberto* était mouillé au port de Cronstadt (1700^{km} de Poldhu), au port de Gibraltar (1600^{km}), au port de la Spezzia (1400^{km}). Des télégrammes même ont été transmis de Poldhu au *Carlo-Alberto*. Si la réception de signaux par le vaisseau italien mouillé à Cronstadt, à Gibraltar ou à la Spezzia ne peut être mise en doute, il ressort du contrôle que fit M. Maskelyne, à l'insu de M. Marconi, des émissions faites au poste de Poldhu, que la même dépêche était transmise jusqu'à trois et quatre jours de suite avant d'être déchiffrée. Seule l'association des signaux reçus d'une façon des plus intermittentes permettait ce déchiffrement.

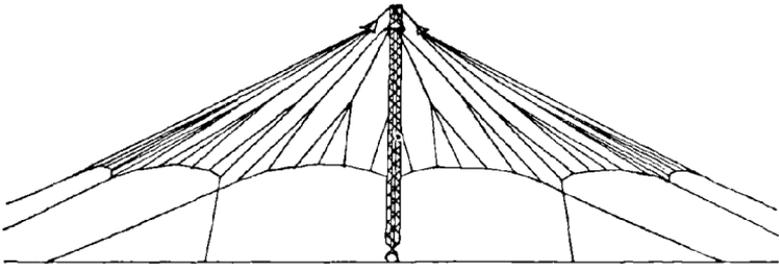
4^e *Essais de communications intercontinentales par M. Marconi.* — Depuis 1903, M. Marconi a édifié à Table-Head (île du cap Breton, en face de la Nouvelle-Écosse) une station très puissante aménagée comme celle de Poldhu et qui s'y trouve distante de 3800^{km}. Une autre station du même type a été édifiée au cap Cod, près de New-York (États-Unis), à 4800^{km} de Poldhu. Aucun des essais faits pour échanger des communications n'ont donné jusqu'à ce jour de résultats pratiques. Par contre, quelques transatlantiques munis de dispositifs récepteurs très sensibles et de très hautes antennes reçoivent des communications de l'un ou l'autre de ces postes, mais les distances de communications possibles n'ont pas dépassé 2500^{km}.

Tout récemment de nouveaux essais auraient été faits par

M. Marconi à l'aide d'une autre puissante station édifée à Clefden, en Islande, de l'équipement de laquelle on ne sait rien, si ce n'est que l'antenne est constituée par des fils de cuivre horizontaux supportés par huit piliers en fer de 60^m de haut. Fidèle à son procédé, M. Marconi annoncerait que la première journée on a pu échanger 14000 mots; mais il paraît qu'une même dépêche a dû être transmise 25 fois pour être reçue.

Stations allemandes puissantes de Nauen, près Berlin, et Norddeich, à l'embouchure de l'Elbe. — La Compagnie allemande Telefunken a établi, en 1906, deux puissantes stations. Celle de Nauen comporte une antenne d'une énorme capacité. Une tour en fer triangulaire de 100^m de hauteur est isolée du sol. A cet effet, à 6^m du sol, les trois montants parallèles aboutissent à une sphère de fonte logée dans un socle établi sur une fondation en béton, qui repose sur une couche épaisse de matière isolante. Trois haubans en fer, fixés à la tour à 75^m de haut, aboutissent à des ancrages situés à 200^m du pied de la tour. Ces haubans sont isolés du sol et de la tour par des pièces en bois imprégné.

Fig. 144.



Antenne de la station de Nauen (Allemagne).

L'antenne est formée de 54 fils de bronze qui partent du sommet de la tour, se ramifient au quart de leur longueur, chacun en trois fils; la partie inférieure comporte donc 162 fils. Du sommet de l'antenne descendent, parallèlement à la tour et l'enveloppant, 54 fils. Cette antenne présente ainsi la forme des baleines d'un immense parapluie dont les fils couvrent

une surface de 60000m^2 (fig. 144). La prise de terre comprend 108 fils de fer, se ramifiant ensuite en 324 fils. On a employé 54^{km} de fils de fer enfouis à 25^{cm} de profondeur et couvrant ainsi une surface de 126000m^2 .

Le schéma de la figure 145 représente le dispositif de transmission. A est un alternateur de 40 chevaux; t, t, t, t , quatre

Fig. 145.

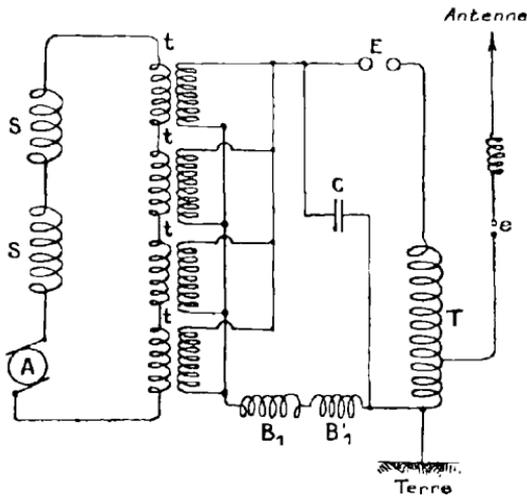


Schéma du dispositif transmetteur de la station de Nauen.

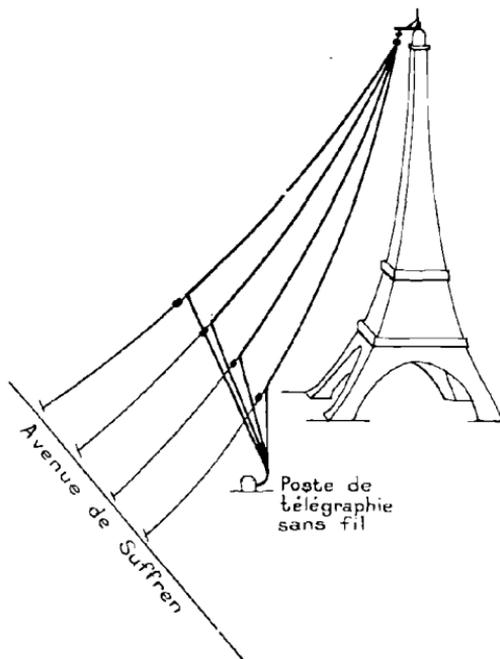
transformateurs à haute tension; C un condensateur constitué par une batterie de bouteilles de Leyde de $0^{\mu\text{F}},5$. L'antenne A est reliée au circuit oscillant par un dispositif à connexions indirectes de la seconde catégorie, empruntant un transformateur réglable spécial T. Un éclateur e et une bobine de self s sont interposés sur le trajet de l'antenne qui est reliée au sol au-dessus de e . La transmission s'effectue au moyen d'un commutateur spécial qui met l'alternateur A tantôt en court-circuit sur les bobines de self S,S (non-émission), tantôt en circuit sur les primaires en série des transformateurs t (émission).

Les signaux émanant de la station de Nauen sont nettement

reçus à la tour Eiffel, à Paris (1000^{km}), à Saint-Petersbourg (1500^{km}). Des navires allemands les auraient perçus à 2500^{km} .

Station de la tour Eiffel. — La figure 146 donne le schéma de l'installation provisoire qui a été établie à la tour Eiffel

Fig. 146.



Disposition de l'antenne de la station puissante de la tour Eiffel.

en 1903. La transmission emploie 7 kilowatts empruntés au secteur de la rive gauche. Ce courant alternatif à 42 périodes et 220 volts est transformé à 10000 volts pour charger une capacité de $0^{\mu}2,1$. La longueur d'onde employée est de 1800^{m} . L'excitation se fait par connexions indirectes de la seconde catégorie.

Les télégrammes émis de la tour Eiffel sont reçus jusqu'à Bizerte (1500^{km}). Récemment (août 1907) des messages auraient

pu être envoyés de la tour Eiffel aux croiseurs stationnés devant Casablanca (Maroc), 1700^{km}.

Autres stations puissantes. — A citer encore l'établissement par la National Signalling Co, utilisant les dispositifs de M. Fessenden, de deux puissantes stations établies l'une à Brant-Rock (près de Boston, États-Unis), l'autre à Machrianish (Écosse), au sujet desquelles on ne connaît que la hauteur d'une tour métallique de 1500^m (Machrianish).

Des signaux auraient été échangés entre Brant-Rock et Machrianish (4800^{km}), et même parfois deux groupes de signaux, le second en retard de $\frac{1}{5}$ de seconde sur le premier, seraient perçus à la station réceptrice. Évidemment, d'après M. Fessenden, ces seconds signaux seraient ceux qui ont suivi le chemin le plus long autour de la Terre (35200^{km}). Le nombre $\frac{1}{5}$ de seconde est un peu fort; il eût mieux valu donner $\frac{1}{10}$ de seconde; cela eût, en effet, mieux correspondu au temps employé par des ondes supposées animées de la vitesse de 300000^{km} par seconde pour parcourir la différence de 30400^{km} des deux chemins. Mais les ondes électromagnétiques utilisées par M. Fessenden ne sont-elles pas des *ondes demi-libres de l'éther*? elles voyagent sans doute à demi-vitesse! Inutile d'ajouter qu'aucun de ces résultats n'est acquis.

Perturbations apportées par les phénomènes d'électricité atmosphérique. — Les troubles souvent signalés qu'apportent aux dispositifs de télégraphie sans fil les phénomènes de cette origine peuvent être rapportés à diverses causes :

- 1^o Aux orages et coups de foudre;
- 2^o Aux variations du champ électrique terrestre;
- 3^o Aux variations de température;
- 4^o A la lumière solaire.

Les effets des orages et coups de foudre peuvent se faire sentir à des distances considérables. Comme nous le verrons plus loin, on a basé sur leur enregistrement par les dispositifs récepteurs d'ondes électriques un procédé d'étude des orages. Ce sont les moins gênants des signaux parasites, parce qu'ils

peuvent très facilement être reconnus et séparés des signaux d'émission. Il est prudent, quand l'orage est voisin, de retirer les appareils du circuit de l'antenne et de mettre cette dernière directement en communication avec le sol.

Les effets dus aux variations du potentiel de la prise de terre et de l'antenne sont bien plus gênants. Au coucher du soleil se produisent souvent des signaux parasites de cette origine. La seule manière de s'en débarrasser est la mise en relation directe de l'antenne à la terre, ce qui conduit à adopter à la réception un système de connexions indirectes.

Les variations de température paraissent avoir une influence très nette sur la production de signaux parasites qui se produisent surtout entre le coucher et le lever du soleil. Pour s'en débarrasser, M. Tissot préconise l'interposition sur l'antenne, avant la prise de terre, d'une self-induction convenable. M. Magne indique encore la connexion de l'antenne au récepteur par l'intermédiaire d'une self-induction et d'une capacité disposée en dérivation. Les deux routes qui s'offrent ainsi aux ondes peuvent présenter des constantes telles que les ondes parasites interfèrent complètement entre elles alors que les ondes d'émission de longueur différente peuvent agir sur le récepteur.

L'influence de la lumière solaire a été mise nettement en évidence au cours des essais de communication à très grande distance de M. Marconi. C'est ainsi que, dans les expériences faites entre Poldhu et le *Carlo-Alberto*, l'entente des signaux reçus étaient notablement plus grande la nuit que le jour. Cet effet de la lumière du jour ne devient sensible dans nos climats que pour des distances dépassant 500^{km}. Sous les climats tropicaux, elle se fait sentir sur des distances bien moindres.

Importance du problème de la télégraphie dite sans fil. — D'après quelques auteurs, la réalisation de stations puissantes, si elle n'offre aucun intérêt au point de vue des communications intercontinentales pratiques, en présenterait un au point de vue militaire. L'impossibilité où l'on se trouve actuellement encore d'empêcher la surprise des communications doit, nous semble-t-il, restreindre beaucoup l'importance de ce mode de

communication au point de vue militaire. Ce nouveau mode de communication présente une valeur indiscutable dans certaines limites, et surtout dans tous les cas où la vitesse de transmission et le secret des dépêches importe peu.

Les expériences précédentes autorisent-elles à considérer comme résolu le problème général de la télégraphie sans fil ? En admettant l'affirmative, peut-on, pénétrant dans le domaine des espoirs, prévoir qu'un jour plus ou moins proche, des systèmes dérivés de ceux employés actuellement permettront la distribution à toute distance de centaines de kilowatts, et cela *sans un fil conducteur ?* ou bien, à juste titre plus modestes et par là même plus utiles, ces expériences peuvent-elles marquer la solution pratique et définitive de l'important problème de la communication sans fil à petite distance ? problème qu'il était si important de résoudre par suite des multiples applications utiles qu'il comporte :

Communications entre les bateaux-phares et la côte ;

Communications entre les navires qui se rapprochent ;

Communications entre les convois qui se croisent si nombreux aujourd'hui sur les lignes ferrées ;

Communications entre les diverses unités d'une flotte ;
Etc., etc.

Nous croyons que c'est ce problème des communications à petite distance qui peut être considéré comme pratiquement résolu par les expériences de M. Marconi et de ses émules : en particulier par celles de M. Tissot.

Ces dispositifs peuvent également être utilement employés à avertir les navires qui longent les parages dangereux des côtes des dangers qu'ils peuvent courir. En temps de brume, en effet, les phares sont très souvent inaperçus des marins. M. A.-F. Hamilton a proposé d'établir des bouées avec transmetteur d'ondes hertziennes qui enverraient des signaux susceptibles d'être perçus à quelques milles par les bâtiments porteurs de récepteurs Marconi. M. Hamilton proposait de protéger ainsi les abords du port d'Halifax, port très difficile à approcher par temps brumeux. D'une manière générale, les parages dangereux des côtes pourraient être munis de postes

Marconi de puissance suffisante pour couvrir une zone déterminée. Les zones de chaque poste n'empiétant pas les unes sur les autres et chacun des postes émettant un signal particulier, il serait possible à un navire muni d'un récepteur Marconi d'être tenu au courant de sa situation exacte aux abords des parages dangereux.

Mais, quels que soient les perfectionnements qu'on apporte aux dispositifs actuels, il paraît impossible de transformer les procédés actuels en procédés méritant le nom de *télégraphie sans fil*, au sens strict du mot.

Lorsqu'on prononce aujourd'hui le mot de « télégraphie », l'esprit se reporte aussitôt à cette merveilleuse application de l'électricité qui permet à toute heure le transport de la pensée d'une rive à l'autre des océans. Bien des gens s'imaginent à tort que les expériences de M. Marconi sont le prélude d'une nouvelle télégraphie et que les essais faits sur de petites distances vont bientôt permettre l'échange de télégrammes entre Brest et New-York, San-Francisco et Yokohama sans l'interposition d'aucun conducteur.

On peut être amené à croire, par l'emploi impropre des mots « télégraphie sans fil », que la suppression de tous les conducteurs télégraphiques n'est plus qu'une question de temps, de perfectionnements plus ou moins heureux, plus ou moins prochains.

Plus modestes avaient été nos devanciers, qui, le jour où ils rendaient pratiques sur des distances de 80^{km} la télégraphie optique, ne l'avaient pas pour cela pompeusement décorée du nom de *télégraphie sans fil*.

Si l'on peut dire que les communications sans fil par ondes hertziennes sont pratiques sur des distances modérées, il est téméraire de prétendre qu'elles puissent, sans l'aide d'aucun conducteur, assurer un service normal d'échanges de télégrammes à toute distance, quelque grande soit-elle.

A côté de six ou huit stations très puissantes, il y a actuellement (septembre 1907) 1550 stations radiotélégraphiques fixes ou mobiles distribuées à la surface du globe. Les portées de la plupart de ces stations n'excèdent pas 200^{km} à 250^{km}.

L'ingénieuse combinaison de M. Marconi risque, en négli-

geant le domaine des applications vraiment pratiques, qu'elle peut à juste titre revendiquer comme sien, en prétendant s'appliquer à la télégraphie à toute distance, de se heurter à des succès certains.

En résumé, la télégraphie sans fil ne semble pas appelée à remplacer aucun des moyens actuels de communication. Elle pourra souvent en devenir un précieux auxiliaire, permettant d'obtenir des communications rendues impossibles sans son emploi. Enfin, elle semble surtout de nature à accroître notablement la sécurité de la navigation. C'est ainsi que tout récemment on a préconisé l'envoi d'un signal envoyé à minuit de la tour Eiffel équipée en poste très puissant et qui permettrait à tout navire muni d'organes récepteurs de recevoir l'heure exacte et de pouvoir faire le point sans l'incertitude et la difficulté que comporte l'usage des chronomètres de bord.



CHAPITRE VIII.

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA TÉLÉGRAPHIE.

(*Suite.*)

TÉLÉPHONIE SANS FIL.

On a cherché à utiliser les ondes électriques pour la transmission de la parole à distance sans conducteur interposé (téléphonie sans fil).

TÉLÉPHONIE SANS FIL SANS L'EMPLOI D'ONDES ÉLECTRIQUES.

Le problème de la téléphonie sans fil a déjà été résolu sur de très petites distances par des procédés autres que l'utilisation des ondes électriques.

Téléphonie sans fil par induction. — Dès 1894, MM. Gavey et Preece, en disposant parallèlement l'un à l'autre, à 2^{km} de distance, deux conducteurs longs de 6^{km},500, dont les extrémités étaient reliées au sol, purent recevoir la parole émise sur un microphone intercalé dans l'un des courants, dans un téléphone placé sur l'autre circuit. M. Preece, en 1899, constata une amélioration notable des communications si la prise de terre est formée de plaques métalliques immergées dans la mer. C'est ainsi que, depuis plusieurs années, un service régulier de téléphonie est assuré entre la station gardécôtes de Cemlin et le phare des îles Skerries (distance 4^{km},500) sans conducteurs interposés. Sur les îlots est installée une ligne de 700^m de longueur et à Cemlin une autre ligne parallèle à la première de 5^{km},600. Ces deux lignes ont leurs extrémités munies de plaques métalliques plongées dans la mer.

Téléphonie sans fil par ondes lumineuses. — On peut grouper les méthodes qui ont permis de transmettre la parole à l'aide des ondes lumineuses et qui utilisent la variation de conductibilité du sélénium avec l'éclairement suivant deux principes. L'un emploie une source lumineuse d'*intensité constante* sur le trajet du faisceau, de laquelle on introduit des dispositifs qui modifient ce faisceau. C'est un procédé de ce genre qu'utilisa Graham Bell dans son photophone en 1880. Il parvint ainsi à réaliser des transmissions téléphoniques sans fil sur une distance de 200^m.

Un autre principe consiste à *faire varier l'intensité* même de la source de lumière sous l'influence des ondes sonores à transmettre. C'est ce que réalise M. Ruhmer en se servant de l'arc chantant ou mieux de l'arc parlant de Simons. Le procédé mis en œuvre par M. Ruhmer, sur la description duquel nous n'insisterons pas, puisqu'il n'utilise pas les ondes électriques, lui a permis de transmettre la parole sans fil à 15^{km}.

TÉLÉPHONIE SANS FIL PAR ONDES ÉLECTRIQUES.

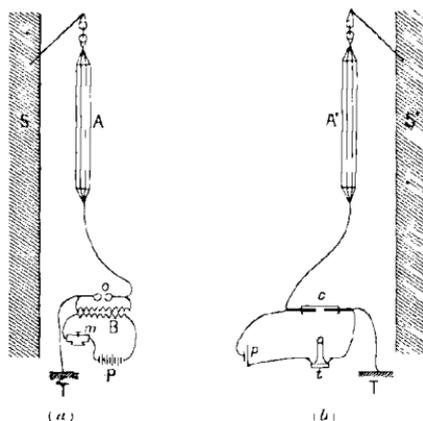
L'utilisation des ondes électriques à la solution du problème en question s'est faite suivant deux méthodes, dont les principes rappellent les deux méthodes d'emploi des ondes lumineuses.

Utilisation d'ondes électriques d'intensité constante et de fréquence variable. — Le premier principe consiste à utiliser des oscillations électriques, d'ailleurs continues et non amorties, d'*intensité constante*, et à faire agir les ondes sonores de manière à modifier la période des ondes; la transmission des ondes sonores s'effectuant par l'ondulation de trains d'oscillations, il y a alors variation dans le nombre de trains d'ondes que reçoit le récepteur.

Dispositif de M. de Guillen Garcia. — A ce principe se rapporte un grand nombre de dispositifs, en particulier celui qui fut mis en œuvre par M. de Guillen Garcia et qui lui aurait permis le transport de la parole à distance sans fil. A la trans-

mission un microphone m (fig. 147), intercalé dans le primaire d'une bobine d'induction, modifie la période des ondes émises par l'oscillateur O et qu'émet l'antenne A . A la réception,

Fig. 147.



Dispositifs de téléphonie sans fil de M. de Guillen Garcia.

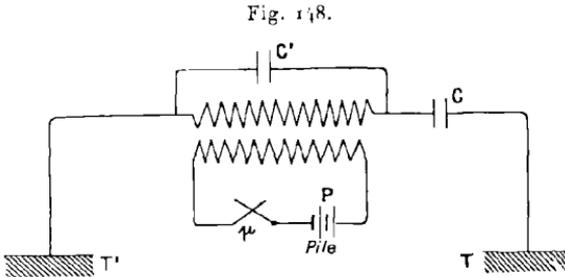
■ Transmetteur. — b Récepteur.

L'antenne A' est reliée à l'un des pôles d'un cohéreur auto-décohérent à poudre de charbon de M. Tommasina, dont l'autre pôle est à la terre. En dérivation sur le cohéreur se trouve un élément de pile et un téléphone.

Utilisation d'ondes électriques d'intensité variable et de fréquence constante. — Le second principe mis en œuvre pour la téléphonie sans fil par ondes électriques consiste à envoyer des oscillations électriques dont la période demeure invariable et à faire agir les ondes sonores de manière à modifier l'intensité des oscillations électriques. Dans ce procédé de transmission à fréquence constante, la variation d'intensité des oscillations produit à la réception une variation corrélative.

Dispositif de M. Collins. — Le dispositif préconisé par

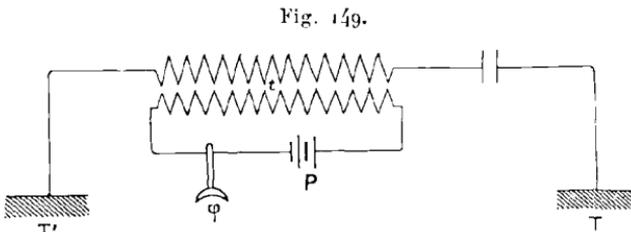
M. A.-F. Collins rentre dans cette catégorie. Au transmetteur suivant le schéma de la figure 148, le primaire d'une bobine d'induction est monté en série avec un microphone ordinaire μ et une pile P. Les bornes du secondaire de la bobine communiquent avec une lame enfouie dans le sol et avec une capacité de compensation C. En dérivation sur le secondaire se trouve



Dispositif transmetteur de téléphonie sans fil de M. Collins.

un condensateur C' . Les deux prises de terre T et T' sont distantes de quelques mètres.

Le récepteur est formé d'un circuit fermé (fig. 149) compre-



Dispositif récepteur de téléphonie sans fil de M. Collins.

nant, montés en série, une pile P, un récepteur téléphonique φ et le secondaire d'un transformateur t dont le primaire est en communication avec le sol.

Suivant l'inventeur, la propagation s'opérerait par la terre.

Dispositif de M. Ruhmer. — Enfin M. Ruhmer a poursuivi des expériences de téléphonie sans fil par ondes électriques

qui paraissent être de celles qui ont donné les meilleurs résultats pratiques. Le procédé mis en jeu peut être considéré comme utilisant des ondes électriques dont les ondes sonores font varier à la fois et l'intensité et la fréquence.

A la transmission, un circuit local comprenant un microphone m (fig. 150) agit par induction sur un circuit fermé comprenant un arc refroidi A , de M. Poulsen, sur lequel se trouvent disposés en dérivation une capacité C et le primaire p d'un transformateur T . Le secondaire s' du transformateur t se trouve en série avec l'arc sur son circuit d'alimentation. L'antenne est reliée à l'extrémité du secondaire s du transformateur T , dont l'autre extrémité est à la terre.

Fig. 150.

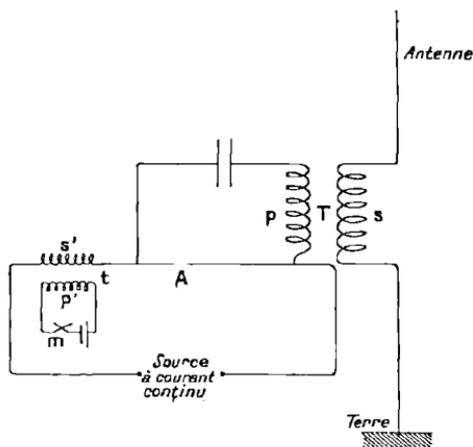


Schéma du dispositif transmetteur de téléphonie sans fil par ondes électriques de M. Ruhmer.

A la réception (fig. 151), on retrouve les dispositifs habituels des postes de télégraphie sans fil. L'antenne agit par connexions indirectes sur un circuit fermé et accordé comprenant un détecteur électrolytique et un téléphone récepteur.

Avec ces dispositifs, M. Ruhmer aurait pu entretenir des conversations entre deux postes éloignés de 15 km, c'est-à-dire que les résultats obtenus par l'emploi des ondes électriques

sont identiques à ceux obtenus par l'emploi des ondes lumineuses et des éléments au sélénium.

Tout récemment (octobre 1907), en utilisant la production d'ondes électriques par l'emploi de l'arc de M. Poulsen, la

Fig. 151.

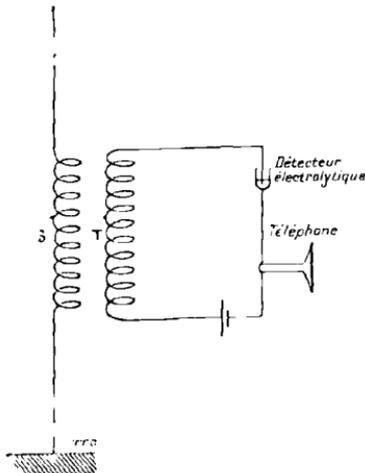


Schéma du dispositif récepteur de téléphonie sans fil de M. Ruhmer.

Société du Telefunken serait parvenue à assurer l'échange de conversations, par téléphonie sans fil, par ondes électriques, entre Nauen et Berlin, c'est-à-dire sur une distance de 40^{km}.

CHAPITRE IX.

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA TÉLÉGRAPHIE.
(*Suite.*)

TÉLÉGRAPHIE AVEC CONDUCTEUR.

Si les ondes électriques ne sont pas susceptibles d'être utilisées à toute distance et sans conducteur interposé, pour des communications pratiques, il ne s'ensuit pas qu'elles ne puissent être utilement employées dans la télégraphie courante.

Que l'on réunisse par un fil conducteur les antennes de deux postes qui échangent des signaux avec les dispositifs de M. Marconi, et l'on peut, dès lors, éloigner ces deux postes et les placer à des distances comparables à celles qui séparent actuellement les postes télégraphiques ordinaires.

Si les ondes électriques ne devaient être ainsi appelées qu'à permettre l'échange de signaux entre les postes télégraphiques au moyen d'un fil de jonction à la manière dont les dispositifs télégraphiques usuels en assurent la transmission, il n'y aurait aucun avantage à remplacer les appareils, souvent très simples, employés dans la télégraphie courante par les excitateurs et les résonateurs que nécessite l'usage des oscillations électriques.

Mais l'utilisation des ondes électriques peut plus que faire double emploi avec les dispositifs usuels de télégraphie par courant continu. Non seulement leur emploi permet de résoudre les différents problèmes dont la télégraphie par courant continu a déjà indiqué la solution, et cela en mettant souvent en œuvre des dispositifs plus simples, mais encore cette utilisation des ondes électriques permet de réaliser des desiderata de la télégraphie ordinaire laissés jusqu'à ce jour sans réponse.

Avant d'indiquer comment les ondes électriques peuvent être ainsi utilisées, nous rappellerons l'énoncé de divers problèmes de télégraphie, ainsi que les avantages et les inconvénients des solutions proposées. Nous présenterons ensuite les principes sur lesquels repose l'emploi des ondes électriques à la télégraphie avec conducteur.

Nous indiquerons alors par quels dispositifs les oscillations électriques permettent de résoudre les divers problèmes de télégraphie énoncés.

ÉNONCÉS DE QUELQUES PROBLÈMES DE TÉLÉGRAPHIE.

Transmission duplex. — Le problème de la transmission duplex consiste à envoyer deux télégrammes à la fois par un même fil en sens inverse. (Un fil unique **AB** relie deux stations **A** et **B**; il s'agit de permettre simultanément la transmission de **A** vers **B** ainsi que celle de **B** vers **A**.)

Indépendamment des deux méthodes classiques utilisées pour résoudre ce problème dans la télégraphie par courants continus, la méthode différentielle et la méthode du pont de Wheatstone, un grand nombre de méthodes particulières ont été indiquées (Mance, Edison, Vianisi, Muirhead, Ailhaud, etc.).

Toutes ces méthodes nécessitent l'installation d'une ligne factice équivalente à la ligne réelle en ce qui concerne la capacité et la résistance. La construction de cette ligne factice est parfois assez coûteuse, par exemple lorsqu'il s'agit de transmettre en duplex au moyen d'un câble sous-marin ou sous-terrestre. On ne peut songer à équilibrer la capacité du câble par l'emploi d'un seul condensateur de même capacité. Il faut, pour poursuivre l'assimilation du câble et de la ligne artificielle, constituer toute une série de résistances et de capacités, de manière à faire, pour chaque élément de la ligne factice, une reproduction aussi exacte que possible de la capacité et de la résistance de l'élément correspondant du câble.

De plus, ces méthodes ne permettent pas en général de transmettre de **A** vers **B** avec un appareil télégraphique donné, un appareil imprimeur de Hughes par exemple, alors que pour

la transmission de B vers A on emploie un appareil différent du premier, un appareil Morse.

Transmission diplex. — C'est encore la mise en activité simultanée de deux appareils télégraphiques sur le même fil que se proposent les systèmes de transmission diplex. Mais, au lieu de permettre l'échange simultané de signaux entre deux postes A et B réunis par un fil unique, on réalise avec ces systèmes l'envoi simultané de deux télégrammes de A vers B.

Lorsque deux manipulateurs peuvent être ainsi actionnés simultanément, il existe quatre combinaisons différentes des positions respectives de ces manipulateurs. Les deux manipulateurs de A sont tous les deux au repos, ou bien l'un, m , est au repos alors que le second, m' , est actionné, ou bien encore l'inverse a lieu, m est actionné et m' est au repos, ou enfin les manipulateurs sont tous les deux actionnés.

Dans la plupart des systèmes diplex usités dans la télégraphie courante, ces quatre combinaisons possibles ont pour effet de mettre la ligne AB en communication soit avec le pôle négatif, soit avec le pôle positif d'une pile à petit nombre d'éléments, soit encore avec le pôle positif ou bien avec le pôle négatif d'une pile à grand nombre d'éléments. Ces courants positifs ou négatifs, faibles ou forts, traversent deux relais polarisés, convenablement disposés, dont ils actionnent soit l'un, soit l'autre, soit tous les deux ensemble. Ces relais commandent deux récepteurs qui sont ou non actionnés suivant les courants émis sur la ligne, et la transmission diplex est ainsi assurée.

Transmission quadruplex. — Quel que soit le dispositif employé pour la transmission diplex, on peut combiner ce dispositif avec un système de transmission duplex assuré, soit par la méthode différentielle, soit par la méthode du pont de Wheatstone. On réalise ainsi l'émission simultanée de deux télégrammes de A vers B en même temps que celles de deux télégrammes transmis de B vers A. On désigne sous le nom de *transmission quadruplex* une semblable transmission.

De même que la transmission duplex, la transmission qua-

druplex nécessite l'établissement d'une ligne factice plus ou moins coûteuse.

Transmission multiplex. — Multicommutation. — Un système de transmission multiplex est un système qui permet de transmettre simultanément plusieurs télégrammes dans un même sens, de A vers B par exemple, par un fil unique.

On peut se proposer également, en utilisant un fil unique AB, de permettre la transmission simultanée de plusieurs télégrammes de A vers B en même temps que celle d'un nombre de télégrammes émis de B vers A; on réalise alors ce que nous nommerons un *dispositif multicommutateur*.

Le problème de la multicommutation télégraphique peut être rendu encore plus général. L'énoncé le plus complet qu'on en peut donner est le suivant :

Un fil conducteur unique relie deux lieux déterminés A et N et passe par une série d'autres lieux B, C, D, ..., L. Trouver un dispositif qui permette l'échange de communications télégraphiques simultanées (communications pouvant être assurées au moyen d'appareils télégraphiques divers, Morse, Hughes, etc.) entre A et B, A et C, ..., A et N et aussi entre B et C, B et D, ..., B et N, et ainsi de suite jusqu'à la communication entre L et N, en un mot entre tous les groupes qu'on peut former en combinant deux à deux de toutes les manières possibles les postes que relie le fil unique.

Si ce problème, envisagé d'une manière aussi générale, n'a pas été résolu d'une façon complète, des cas particuliers en ont été étudiés et leur mise en pratique a été suivie de succès.

Deux sortes de solutions ont été proposées. L'une d'elles, qui ne réalise pas à proprement parler des transmissions simultanées, a reçu le nom de *télégraphie multiple*. L'autre solution est connue sous le nom de *télégraphie multiplex*.

Télégraphie multiple. — Dans les divers télégraphes multiples, soit à signaux conventionnels (Meyer, Delany), soit imprimeurs (Baudot, Munier, Dom), on utilise l'intervalle de temps qui sépare l'envoi de deux signaux consécutifs par un

même appareil pour mettre la ligne en communication avec toute une série d'autres appareils.

A cet effet la ligne AN relie les axes de deux balais conducteurs qui tournent d'un mouvement synchrone et rencontrent une série de secteurs conducteurs régulièrement distribués le long de la circonférence que les balais décrivent.

Nous supposerons ces secteurs au nombre de six pour fixer les idées, et nous nommerons ceux disposés en A, $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$, et ceux en N, $n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6$.

En A, on réunit aux trois secteurs a_1, a_3, a_5 trois récepteurs et aux trois secteurs a_2, a_4, a_6 trois manipulateurs. Au contraire, en N, ce sont les secteurs pairs n_2, n_4, n_6 qui sont réunis à trois récepteurs et les secteurs impairs n_1, n_3, n_5 qui communiquent avec trois manipulateurs. Si de part et d'autre, en A et en N, les deux balais sont animés de mouvements de rotation exactement synchrones et qu'ils frottent au même instant deux secteurs affectés du même numéro d'ordre, les trois manipulateurs de la section A seront une fois par tour mis en communication avec les trois récepteurs de la station N qui leur correspondent, et il en sera de même pour les manipulateurs de N, qui seraient réunis aux récepteurs de A chacun une fois par tour.

Ces deux organes qui mettent ainsi en communication au même instant un manipulateur d'une station avec un récepteur de l'autre, qui par suite distribuent successivement la ligne aux divers appareils télégraphiques accouplés, ont reçu le nom de *distributeurs*.

Si les signaux qui émanent de chaque manipulateur sont émis au moment propice, on conçoit que, grâce au synchronisme des distributeurs, les six groupes d'appareils associés puissent échanger des signaux.

Bien que six télégrammes puissent ainsi être simultanément échangés entre A et N, il n'y a pas, à vrai dire, communications simultanées entre les divers appareils qui les échangent. Les deux distributeurs ont simplement permis de rapprocher les communications successives entre les divers manipulateurs et récepteurs reliés par une même ligne.

On peut encore à l'aide de distributeurs faire communiquer

entre eux et A et N des postes échelonnés sur la ligne AN. C'est ainsi que l'emploi de distributeurs à quatre secteurs permet les communications avec trois postes échelonnés A, B, N, comme l'indique le schéma de la figure 152. Le poste intermédiaire B possède deux distributeurs dont les balais b, b'

Fig. 152.

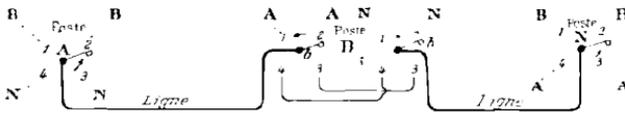


Schéma de communication entre trois postes échelonnés A, B, N, à l'aide de distributeurs.

sont disposés sur le même axe. La position des balais b dans la figure 152 correspond à la communication du poste A avec le poste B et le poste B avec le poste N.

Dans la pratique, on ne peut guère utiliser la télégraphie multiple avec plus de trois postes échelonnés.

Télégraphie multiplex. — La télégraphie multiplex, qui permet la communication réellement simultanée de plusieurs appareils par un même fil, repose sur une remarquable expérience signalée à l'Académie des Sciences, en 1860, par l'abbé Laborde. Cette expérience consiste à envoyer sur un même fil une série de courants intermittents de régimes différents qui sont émis par l'intermédiaire de diapasons de longueurs différentes. A l'arrivée du fil ces courants parcourent les enroulements d'un nombre d'électro-aimants égal au nombre des diapasons, et chaque électro-aimant agit sur une lame vibrante. Chacune des lames se trouve d'ailleurs accordée avec l'un des diapasons. Dans ces conditions, on constate que les courants intermittents envoyés par un des diapasons n'agissent que sur la lame en accord avec ce diapason. Cette lame entre seule en vibration, à l'exclusion de toutes les autres.

C'est sur ce principe que Paul Lacour de Copenhague réalisa plus tard, en 1873, un télégraphe multiplex. Les différents courants intermittents produits par des diapasons à la station

de départ cheminaient ensemble et venaient impressionner à la station d'arrivée, au moyen d'électro-aimants, une série de diapasons qui étaient des copies exactes de ceux disposés au départ. Le triage des transmissions se trouvait ainsi assuré, les diapasons communiquant entre eux par couple et indépendamment les uns des autres.

Paul Lacour a fait un assez grand nombre d'expériences de télégraphie multiplex, au cours desquelles il a utilisé plusieurs dispositifs d'électro-diapasons.

Tout récemment, M. Mercadier a repris l'idée de l'abbé Laborde et a réalisé des dispositifs qui lui ont permis, à l'aide de douze électro-diapasons placés à la station de départ et de plaques vibrantes fonctionnant à l'unisson, disposées à la station d'arrivée, de transmettre simultanément douze télégrammes.

En utilisant un relais spécial, M. Mercadier a pu, sur des circuits où le téléphone peut fonctionner, échanger simultanément cinq télégrammes entre deux postes distants de 800^{km} (Paris-Pau). Au lieu de dix employés on aurait pu en utiliser jusqu'à vingt-quatre et permettre la transmission simultanée, tant dans un sens que dans l'autre, de douze télégrammes. Au cours de ces expériences récentes M. Mercadier a pu échelonner entre les postes extrêmes des postes intermédiaires et réaliser l'échange simultané de télégrammes entre ces divers postes associés deux à deux.

Il semble donc que les dispositifs de M. Mercadier résolvent dans toute sa généralité le problème de la multicommutation tel que nous l'avons énoncé précédemment.

Il est à remarquer toutefois que les télégrammes ainsi échangés sont forcément transcrits en signaux conventionnels Morse, et cela sans qu'il reste de traces permettant un contrôle. Il semble difficile d'utiliser de semblables dispositifs, fondés sur l'emploi de mouvements sonores, à l'entretien simultané sur une même ligne d'appareils télégraphiques absolument quelconques et en particulier d'appareils imprimeurs.

Téléphonie et télégraphie simultanées. — Ce problème consiste à utiliser les circuits téléphoniques à la transmission

télégraphique sans que l'une des transmissions apporte de gêne à l'autre.

Le premier système de télégraphie et de téléphonie simultanées est dû à M. Van Rysselberghe. Ce système peut être appliqué soit à une ligne téléphonique à fil unique, soit à une ligne téléphonique à double fil. On rencontre certaines difficultés à appliquer ce système quand il s'agit d'utiliser des appareils télégraphiques rapides.

M. Cailho, puis M. Maiche et M. Picard ont indiqué des systèmes de télégraphie et téléphonie simultanées qui, par l'emploi convenable de bobines de faible résistance et de forte self-induction, permettent l'échange de transmissions télégraphiques avec les appareils les plus rapides.

Multiplex et multicommutateur téléphonique. — On peut enfin se proposer, en ce qui concerne la téléphonie, un problème en tout point semblable à celui énoncé pour la télégraphie, le problème de la multicommutation téléphonique.

Si l'on parvient à assurer la communication simultanée entre plusieurs appareils téléphoniques disposés aux deux extrémités d'une ligne unique, on aura réalisé ce qu'on pourra appeler un *téléphone multiplex*.

Si de plus on permet aux transmissions téléphoniques d'être échangées simultanément entre une suite de postes échelonnés sur un même fil, on aura réalisé un multicommutateur téléphonique.

PRINCIPES SUR LESQUELS REPOSE L'EMPLOI DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA TÉLÉGRAPHIE AVEC CONDUCTEUR.

La plupart des problèmes dont nous venons de passer en revue les énoncés peuvent être résolus par l'emploi des oscillations électriques.

L'utilisation des ondes électriques à ces problèmes procède des principes que nous allons exposer.

Champ ordinaire à deux fils de Hertz et champ interférent.
— Nous avons indiqué (Chap. I) comment on peut concentrer

le champ hertzien fourni par un excitateur au moyen de deux fils parallèles tendus à partir de deux plaques respectivement voisines des deux plateaux de l'excitateur. Un résonateur de Hertz, dont le plan est maintenu perpendiculaire à la direction des fils et qui est graduellement éloigné de l'excitateur, manifeste des alternatives de fonctionnement et d'extinction en des régions fixes et bien déterminées qu'on nomme sections *ventrales* et *nodales* (voir p. 8). Le champ d'oscillations ainsi obtenu constitue ce qu'on nomme le *champ ordinaire* à deux fils de Hertz.

On peut se demander quel rôle chacun des deux fils constituant ce champ joue dans la formation du champ ordinaire de Hertz.

Il suffit, pour s'en rendre compte, de déplacer comme précédemment un résonateur dans le champ obtenu en supprimant un des fils de concentration. Il faut avoir bien soin, dans ce déplacement, de conserver la même situation respective du fil unique de concentration et du résonateur que dans le champ à deux fils.

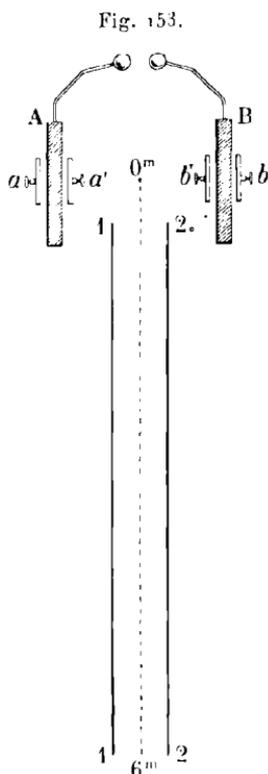
On constate ainsi que *le champ à un fil et le champ ordinaire à deux fils présentent le même système de sections nodales et ventrales.*

Supposons que les deux plateaux A et B de l'excitateur soient disposés parallèlement, aussi éloignés que possible, et flanqués chacun de deux plaques métalliques indépendantes, parallèles au plateau d'excitateur dont elles concentrent les effets et dont elles sont d'ailleurs le plus rapprochées possible (*fig. 153*).

Si l'on joint le fil 1 à l'une quelconque des plaques *a*, *a'* voisines de A et le fil 2 à l'une quelconque des plaques *b*, *b'* voisines de B, on constitue un champ ordinaire de Hertz à deux fils.

Si l'on joint les deux fils à deux plaques voisines du même plateau excitateur (fil 1 et plaque *a*, fil 2 et plaque *a'*, ou encore fil 1 et plaque *b*, fil 2 et plaque *b'*), le résonateur déplacé le long des deux fils ne décèle plus aucun système de ventres et de nœuds. Il y a *interférence* tout le long du champ. Alors que dans le cas du champ ordinaire à deux fils, l'un des fils ajoute son effet sur le résonateur à l'effet produit par

l'autre fil, dans le cas actuel l'action de l'un des fils sur le résonateur s'oppose à l'action de l'autre fil et la contre-balance exactement.



Champ ordinaire de Hertz et champ interférent.

Pour distinguer le champ à deux fils ainsi obtenu du champ ordinaire à deux fils de Hertz, nous lui donnerons le nom de *champ interférent* ⁽¹⁾.

Ces expériences, qui sont des plus faciles à réaliser, s'expliquent très simplement par de seules raisons de symétrie.

⁽¹⁾ A. TURPAIN, *Recherches expérimentales sur les oscillations électriques*, p. 58. Paris, A. Hermann, 1899.

Il est naturel d'admettre que les deux sections ventrales consécutives qui s'étagent le long d'un fil unique sont au même instant dans des états électriques différents, et, par analogie avec l'état que présente un tuyau sonore en activité, on indiquera cette différence entre deux ventres consécutifs en les affectant

Fig. 154.

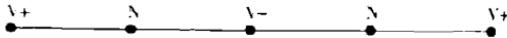
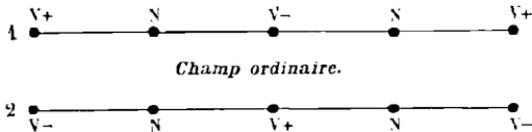


Schéma représentatif du champ hertzien concentré par un fil unique.

d'un signe. De telle sorte que l'état électrique présenté par un fil unique concentrant le champ hertzien sera représenté par le schéma de la figure 154.

Le champ ordinaire à deux fils sera représenté par le schéma

Fig. 155.



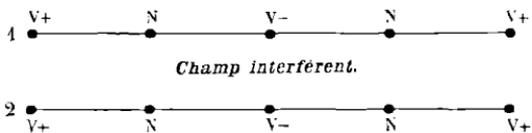
Champ ordinaire.

Schéma représentatif du champ ordinaire à deux fils.

de la figure 155. Le champ interférent sera représenté par le schéma de la figure 156.

Ces modes de représentation étant admis, on conçoit aisément, sans qu'il y ait lieu d'insister, par quels raisonnements,

Fig. 156.

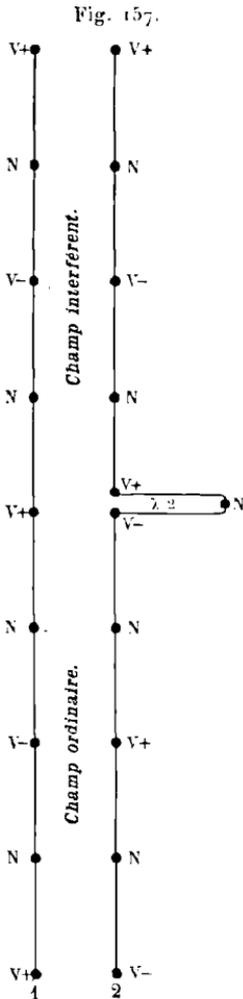


Champ interférent.

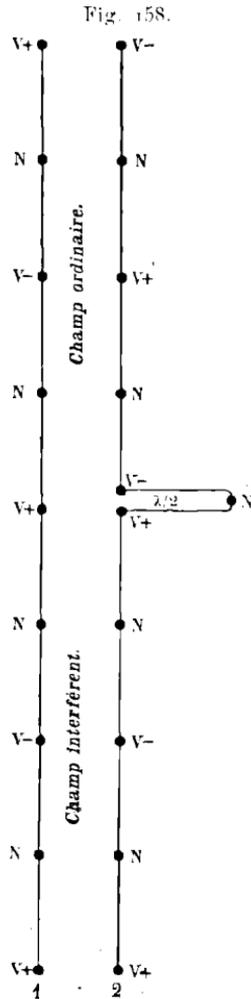
Schéma représentatif du champ interférent.

basés sur la symétrie, on pourra prévoir les phénomènes que présentent ces divers champs lorsqu'on y déplace un résonateur.

Transformation d'un champ ordinaire en champ interférent et transformation réciproque. — On peut très aisément trans-



Transformation du champ ordinaire en champ interférent.



Transformation du champ interférent en champ ordinaire.

former un champ ordinaire à deux fils en champ interférent

à deux fils et réciproquement sans toucher aux communications des fils avec les plaques de concentration a, a', b, b' .

Il suffit pour cela d'intercaler dans une coupure (*fig.* 157 et 158), pratiquée sur l'un des fils, une longueur additionnelle de fil égale à la demi-longueur d'onde des oscillations qui excitent le résonateur servant à l'investigation du champ. Par cet artifice on fait pour ainsi dire avancer d'une demi-longueur d'onde les concamérations qui s'étagent à partir de la coupure.

Le champ est-il *ordinaire* entre l'excitateur et la longueur additionnelle de fil (*fig.* 157), il sera *interférent* à partir de la longueur additionnelle. Inversement, par le même procédé, un champ *interférent* avant la longueur additionnelle de fil (*fig.* 158) sera *ordinaire* à partir de la longueur additionnelle.

On peut d'ailleurs transformer à volonté ces champs à deux fils, mi-partie interférents et mi-partie ordinaires, en champs soit ordinaires tout le long des fils, soit interférents tout le long des fils. Il suffit pour cela de supprimer la longueur additionnelle de fil intercalée à l'aide d'un pont métallique qui en réunit les deux extrémités.

Ce pont supposé établi dans la figure 158 rendra le champ ordinaire d'un bout à l'autre des fils. Établi dans la figure 157, il rend le champ interférent tout le long des deux fils.

Utilisation de ces phénomènes pour impressionner à volonté un résonateur placé à distance. — Nous venons de voir qu'un résonateur de Hertz fonctionne en toute section ventrale d'un champ ordinaire et qu'il reste inactif en toute section d'un champ interférent. Donc un résonateur disposé dans le plan perpendiculaire à la direction des fils qui contient leurs extrémités fonctionnera ou restera inactif suivant que le champ constitué par les deux fils sera ordinaire ou interférent.

Il suit de là un moyen des plus simples d'actionner à distance et à volonté un résonateur ainsi disposé. Si, en effet, le pont qui commande la transformation du champ est disposé à l'endroit d'où l'on veut impressionner le résonateur, il suffira, en actionnant ce pont mobile, de supprimer ou d'intercaler la longueur additionnelle de fil qu'il commande, pour agir sur le résonateur.

Si le champ est ordinaire avant la longueur additionnelle, il est interférent entre cette longueur et le résonateur, et alors la présence du pont actionne le résonateur.

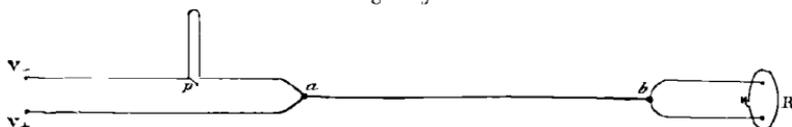
Si, au contraire, le champ est interférent avant la longueur additionnelle, il est ordinaire entre cette longueur et le résonateur et c'est par la suppression du pont qu'on actionne le résonateur.

On peut donc dans les deux cas, par la manœuvre convenable du pont, agir à volonté sur le résonateur quelle que soit sa distance.

Mais il n'est pas indispensable, pour qu'on puisse ainsi agir à distance sur le résonateur par la manœuvre convenable du pont mobile, que les deux fils qui concentrent le champ soient tendus depuis l'excitateur jusqu'au résonateur.

L'expérience montre qu'il suffit que les fils soient distincts jusqu'à la région où doit s'intercaler la longueur additionnelle de fil. Ils peuvent alors, comme le montre la figure 159, être

Fig. 159.



Utilisation du champ interférent pour impressionner à volonté un résonateur placé à distance.

réunis tous deux à partir de ce point a ; un fil unique concentre alors le champ jusqu'au résonateur. Au voisinage du résonateur, en b , ce fil unique se dédouble à nouveau. On donne alors à chacun des deux fils parallèles qui aboutissent au résonateur R une longueur égale à la demi-longueur d'onde des oscillations qui excitent le résonateur employé.

On peut expliquer le fonctionnement du résonateur de la manière suivante.

Lorsque le pont p est abaissé, le champ des deux fils qui aboutissent en a est un champ ordinaire, et le fil unique ab concentre et propage ce champ jusqu'au résonateur qui est d'autant plus fortement actionné qu'il se trouve en une sec-

tion ventrale d'un champ ordinaire à deux fils formé à partir de b .

Lorsque le pont p est relevé, le champ des deux fils situés entre ce pont et le point a est un champ interférent. Aucune propagation d'ondes n'a lieu le long du fil ab . Le résonateur placé à l'extrémité des deux fils issus de b reste donc inactif; tout se passe comme si l'excitateur qui produit les ondes cessait de fonctionner.

On peut rapprocher ce phénomène de concentration ou non-concentration des ondes par le fil ab , suivant la position donnée au pont p , d'un phénomène acoustique analogue: nous voulons faire allusion à l'expérience du tuyau en Y d'Hopkins.

Si l'on communique aux colonnes d'air contenues dans les branches du tube en Y des mouvements sonores empruntés à deux secteurs opposés d'une plaque vibrante qui se partage en quatre secteurs vibrants, le tuyau formé par le pied de l'Y entre en vibration. Au contraire, si l'on emprunte le mouvement sonore à deux secteurs voisins, aucun son ne se propage dans le tuyau formant le pied de l'Y.

Ce rapprochement d'expériences empruntées à deux domaines différents de la Physique n'a d'autre but que de faciliter l'exposé des faits sans rien inférer en ce qui concerne l'explication des phénomènes électriques qui se produisent.

Fonctionnement d'appareils télégraphiques quelconques au moyen des ondes électriques : résonateur à coupure. — Dès lors qu'il est possible de faire fonctionner à volonté et à distance un résonateur, il devient facile de mettre en activité au moyen des ondes électriques un appareil télégraphique quel qu'il soit. Il suffit de remarquer, en effet, qu'un résonateur à coupure (*voir* Chap. I, p. 15) peut être substitué dans les expériences que nous venons de décrire au résonateur complet que nous supposons placé à l'extrémité libre des fils. Par suite même de la propriété qu'il possède de fonctionner avec la même facilité qu'un résonateur complet et suivant des lois aussi simples que celles qui régissent ce dernier appareil, un

résonateur à coupure disposé à l'extrémité des fils fonctionnera ou restera inactif suivant la position donnée au pont qui commande la longueur additionnelle de fil, et cela comme s'il était complet.

Si rien n'est changé quant au fonctionnement du résonateur et quant à l'influence qu'exerce sur ce fonctionnement la disposition du pont mobile, le fait de présenter une coupure rend cet appareil capable d'actionner un récepteur télégraphique.

Supposons, en effet, qu'on mette à profit l'existence de la coupure pour intercaler le résonateur dans le circuit d'une pile comprenant l'électro-aimant du récepteur. Lorsque le résonateur ne fonctionne pas, le courant se trouve interrompu par l'intervalle que présente le micromètre du résonateur. Dès que le résonateur fonctionne sous l'influence d'ondes électriques, à la faveur des étincelles qui se produisent au micromètre, le circuit de la pile est fermé à travers l'électro-aimant du récepteur qui se trouve actionné.

Ainsi donc, chaque fois que le résonateur à coupure est actionné, le récepteur télégraphique qui lui est joint est aussi actionné. Si, d'autre part, on relie d'une manière invariable le pont mobile qui commande le fonctionnement du résonateur au dispositif transmetteur de l'appareil télégraphique qu'on utilise, on conçoit comment on peut, grâce au résonateur à coupure, utiliser les ondes électriques à l'entretien d'appareils télégraphiques.

Ces appareils peuvent d'ailleurs être quelconques, rien dans les connexions à établir entre leurs dispositifs manipulateur et récepteur et ceux permettant l'emploi des ondes électriques n'interdisant l'usage de ces appareils, fussent-ils des plus rapides.

Pour que le courant de la pile auxiliaire dont le circuit se ferme par le résonateur à coupure s'établisse chaque fois que le résonateur est actionné par des ondes, et qu'il cesse dès que ces ondes cessent d'être émises, il faut que le courant de la pile ne soit pas capable de franchir l'obstacle que lui offre l'interruption du micromètre lorsque le résonateur est inactif; mais il faut aussi que cette interruption soit telle que la pré-

sence d'étincelles dues aux ondes électriques entraîne l'établissement du courant.

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA SOLUTION DES PROBLÈMES
DE TÉLÉGRAPHIE PRÉCÉDEMMENT ÉNONCÉS.

Transmission simple. — *Emploi du résonateur complet.* — Comme nous l'avons déjà indiqué, le problème de la transmission télégraphique avec conducteur se trouve de suite résolu par l'usage des dispositifs de M. Marconi. Il suffit de relier les antennes par le fil de ligne pour pouvoir éloigner les deux postes en relation à des distances qui soient les mêmes que celles que franchissent les télégraphes ordinaires. On peut, dans ce cas, simplifier notablement les dispositifs.

Hertz a montré que, si l'on met en relation par un fil conducteur l'une des plaques d'un excitateur en activité avec un point d'un résonateur circulaire qui, avec le micromètre, divise la circonférence du résonateur en deux arcs inégaux, le résonateur fonctionne et de fortes étincelles éclatent au micromètre.

Mettant à profit cette expérience, il suffira de commander, au poste de départ, le contact du fil de ligne avec l'excitateur par un manipulateur de Morse et de disposer à l'arrivée un résonateur complet auquel le fil de ligne aboutisse.

On utilise alors à l'arrivée les étincelles de ce résonateur à actionner un cohéreur commandant un récepteur Morse.

Emploi du résonateur à coupure. — Avec le dispositif précédent on ne peut utiliser que l'appareil de Morse. Si l'on emploie un résonateur à coupure, on pourra utiliser un appareil télégraphique quelconque. Le résonateur à coupure peut être employé avec le dispositif précédent, la ligne étant mise, au départ, en communication avec l'excitateur par l'intermédiaire du manipulateur de l'appareil utilisé, et, à l'arrivée, avec un point convenablement choisi de la circonférence du résonateur à coupure. Le récepteur et une pile locale sont intercalés dans la coupure.

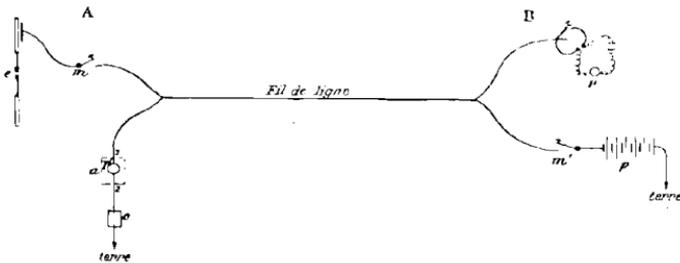
On peut encore employer le résonateur à coupure en le disposant au voisinage de la ligne sans établir de communications entre lui et la ligne. Le fil de ligne est alors utilisé à concentrer un champ hertzien créé au poste de départ par un exciteur.

Ces divers dispositifs ne présentent pas un grand intérêt en eux-mêmes au point de vue pratique.

Ils font, en effet, sans grande simplification, double emploi avec ceux utilisés dans la télégraphie par courants continus. Leur description n'est donnée ici que parce qu'ils peuvent être utilisés à la solution du problème suivant. Leur réalisation présente alors une plus grande simplicité et une plus grande généralité que la solution du même problème par les courants continus.

Transmission duplex par ondes électriques. — *Premier dispositif.* — Supposons établi un dispositif de transmission simple par ondes électriques entre deux postes A et B, A représentant le poste transmetteur et possédant alors un exciteur électrique, et B étant muni d'un résonateur à cou-

Fig. 160.



Transmission duplex par ondes électriques. Premier dispositif.

pure desservant un récepteur télégraphique *r* d'ailleurs quelconque. Le dispositif que représente la figure 160 est l'un de ceux que nous venons de décrire.

Si, alors que la ligne AB permet la transmission par ondes électriques A vers B, on la fait servir à la transmission par courant continu de B vers A, au moyen d'une pile disposée en B, on aura résolu par l'emploi combiné des ondes élec-

triques et du courant continu le problème de la transmission duplex.

Cette solution est bien plus simple que celles qu'utilise la télégraphie ordinaire; elle ne demande en effet ni dispositif de compensation, ni construction de ligne factice, et les deux phénomènes qu'on utilise, propagation des ondes électriques dans le sens AB d'une part, propagation d'un courant électrique fourni par une pile dans le sens BA, d'autre part, ne sont pas susceptibles, comme le montre l'expérience, d'influer sur l'autre.

Lorsque le manipulateur m est abaissé, les ondes électriques se propagent sur la ligne et vont influencer le résonateur à coupure de B. Le récepteur r est alors actionné. Les ondes électriques peuvent aussi se propager le long du fil de l'électro-aimant du récepteur r' en communication avec la terre. Pour éviter qu'une grande partie du champ ne soit ainsi perdue, on intercale entre r' et la terre une cuve d'eau c rendue suffisamment conductrice pour ne pas empêcher le courant de la pile p de circuler lorsque le manipulateur m' est abaissé, mais qui constitue pour les ondes un obstacle tel que la majeure partie du champ est concentrée par la ligne AB.

On évite que la cuve c ne se polarise sous l'influence du courant de la pile p , en utilisant à tour de rôle chacun des pôles de cette pile pour la transmission de B vers A.

Si l'excitateur e est puissant, il peut arriver que sous l'influence des oscillations électriques propagées l'isolant du fil de l'électro-aimant de r' ne soit endommagé. On protège facilement ce fil contre toute action nuisible des ondes en enfermant l'électro-aimant dans une enveloppe métallique. Cette enveloppe a communique avec la ligne au moyen du fil de l'électro-aimant au point d'entrée en 1, mais elle est soigneusement isolée de ce fil au point de sortie, en 2, afin d'éviter un court-circuit qui empêcherait la pile p de pouvoir actionner le récepteur r' .

Des essais ⁽¹⁾ ont été réalisés avec ce dispositif entre deux

(1) A. TURPAIN, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 14 mai 1900.

postes éloignés de 350^m, et l'on a pu échanger, simultanément, des signaux sans que l'une des transmissions influât sur l'autre. La ligne était constituée par l'un des fils du secteur de la Station centrale d'Électricité de Bordeaux-les-Chartrons. Le voisinage des fils du secteur n'eut aucune influence sur la transmission, malgré la grande intensité du courant qui les parcourait. Il semble donc que la télégraphie par ondes électriques puisse être réalisée sur les fils mêmes qui servent actuellement en télégraphie par courant continu sans nécessiter d'isolement spécial.

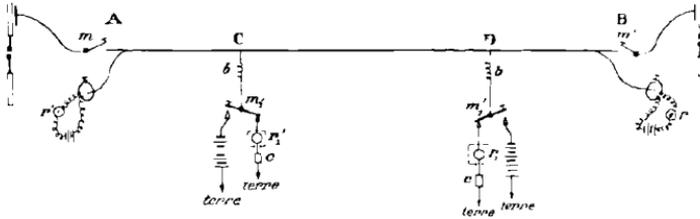
Généralité de la solution. — La solution précédente du problème de la transmission duplex est plus générale que celles employées dans la télégraphie par courants continus. Elle permet en effet d'utiliser pour la transmission de A vers B un appareil télégraphique différent de celui employé pour la transmission de B vers A. Cette utilisation de deux appareils différents suivant le sens de la transmission peut avoir sa raison d'être lorsque la quantité de télégrammes expédiés dans un sens est assez différente de celle envoyée dans le sens contraire. On peut alors utiliser un appareil Morse pour la transmission dans un sens et un appareil Hughes pour la transmission dans l'autre sens.

Mais, il y a plus, non seulement cette nouvelle solution du problème de la transmission duplex permet ainsi l'usage d'appareils différents, mais elle peut encore être appliquée au cas où l'on voudrait faire servir un fil établi entre deux stations A et B à desservir simultanément deux autres postes C, D placés sur le trajet de la ligne AB. Le schéma de la figure 101 montre comment par l'emploi combiné des ondes et du courant continu on peut réaliser *simultanément* l'échange de télégrammes entre A et B, et l'échange de communications entre C et D.

Lorsque le manipulateur m est abaissé, la transmission par ondes s'effectue entre A et B sans que les appareils des postes C et D soient actionnés. Le récepteur r du poste B est seul mis en activité. Avec les connexions établies dans la figure 151, le récepteur r' se trouve aussi actionné lorsque le

manipulateur m est abaissé; on peut se servir de cette action pour effectuer en A le contrôle de la transmission.

Fig. 161.



Dispositif de transmissions simultanées entre quatre postes échelonnés communiquant par couples. A communique avec B pendant que C communique avec D.

Il est bon d'empêcher les ondes d'être dérivées en C et en D; il suffit pour cela de disposer des bobines b de fil de fer fin enroulé en spires étroites.

Il est évident que ce dispositif permet de se servir entre A et B d'un appareil télégraphique différent de celui utilisé pour les échanges entre C et D.

Il n'est pas indispensable que les postes C et D soient tous deux situés entre A et B. Alors que le poste C est entre A et B, le poste D peut être situé au delà de B et la transmission entre les postes est malgré cela assurée par couples, simultanément.

Transmission duplex. — *Second dispositif.* — Dans un second dispositif l'un des postes reçoit des signaux enregistrés par un récepteur Morse actionné par le courant d'une pile alors que l'autre poste reçoit des ondes qui impressionnent un téléphone.

Les longues ou courtes émissions d'ondes reçues par le téléphone sont traduites en signaux Morse.

A la station A (*fig. 162*) on dispose un manipulateur de Morse qui commande l'émission des ondes produites par un excitateur de Hertz E et les envoie sur le fil de ligne. Ce fil de ligne communique également avec l'une des bornes d'un récepteur Morse r dont l'autre borne est à la terre.

Pour empêcher la majeure partie des ondes d'être dirigées vers la terre à travers le récepteur de Morse, une bobine de self-induction b , formée de fil de fer très fin enroulé en spires

Fig. 162.



Transmission duplex par ondes électriques.
Second dispositif.

étroites et noyées dans la paraffine (voir p. 115, *dispositif de M. Marconi*), est intercalée sur le circuit du récepteur Morse.

Les enroulements de l'électro-aimant du récepteur Morse sont protégés contre l'action des ondes par une enceinte métallique de la même manière que dans le dispositif précédent.

A la station B le fil de ligne aboutit au pôle négatif d'une pile p formée d'un nombre pair d'éléments disposés en deux groupes égaux associés en série, en même temps qu'à l'une des armatures d'un condensateur C. Le pôle négatif du second groupe de la pile est relié à l'armature d'un second condensateur C' identique au premier. Cette armature est réunie à la terre par l'intermédiaire d'un tube à vide contenant deux fils de platine très voisins l'un de l'autre mais non au contact. (Le milieu de la pile est mis en relation avec l'une des bornes d'un manipulateur de Morse dont l'autre borne est à la terre.)

Les deux armatures des condensateurs C, C' restées libres sont attelées à un téléphone, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une bobine d'induction.

Les choses étant ainsi disposées, il est aisé de voir que la manipulation effectuée en B par le manipulateur m n'influera en rien sur le téléphone t et n'y donnera lieu à la perception d'aucun son. En effet, les deux armatures des condensa-

teurs CC' étant amenées à des potentiels égaux et de mêmes signes ne donnent lieu dans le téléphone t à aucun courant de décharge.

Si, d'autre part, un train d'ondes est émis par la station A, il arrive en B, traverse la pile et grâce au tube à vide v il se rend à la terre. A la traversée des condensateurs il produit dans le téléphone un bruit de friture très nettement perceptible.

Le tube v ne permet pas au courant de la pile de se rendre à terre, par contre il n'offre aucun obstacle aux ondes électriques. C'est pour cette raison que la compensation de l'action de la pile sur les condensateurs est possible sans obliger pour cela les ondes à ne passer à la terre que lorsque le manipulateur m se trouve abaissé. Cette obligation rendrait en effet la ligne assez résistante pendant que le manipulateur m n'est pas actionné pour que la majeure partie des ondes produites soient amenées à la terre par le récepteur Morse de la station A. Le téléphone se trouverait alors par trop faiblement impressionné par les ondes.

Ce dispositif ⁽¹⁾ a été expérimenté sur la même ligne de 350^m que le précédent, et l'on a pu échanger entre les deux postes A et B, non seulement des signaux rythmés qui ne se confondaient pas, mais aussi des mots entiers.

Transmission diplex par ondes électriques. — Cet usage des ondes électriques et du courant continu permet encore de résoudre le problème de la transmission diplex entre deux postes A et B. Pour permettre l'envoi de deux télégrammes simultanément de A vers B, il suffit de réaliser le dispositif de la figure 100 en plaçant le manipulateur m' et la pile p à la station A, alors que le récepteur r' est disposé à la station B. Les deux récepteurs r et r' alors en B, seront mis en activité simultanément par les manipulateurs m et m' de A sans que les signaux transmis au moyen des ondes influent sur la transmission des signaux par courant continu.

(1) A. TURPAIN. Association française pour l'avancement des sciences, *Congrès de Paris*, 1900.

Dans ce cas de transmission diplex ainsi assurée, il n'est plus indispensable de conserver en B la cuve c , intercalée entre le récepteur r' et la terre.

Duplex et diplex. — Avec une semblable disposition des appareils, si la transmission simultanée de deux télégrammes est assurée de A vers B, par contre aucune transmission n'est possible de B vers A.

Mais si l'on suppose que les dispositifs figurés en A et en C (*fig.* 161) sont réunis dans un même poste A alors que ceux figurés en B et en D sont installés au poste B, il est alors possible, soit de transmettre en diplex de A vers B, soit de transmettre en diplex de B vers A, soit enfin d'assurer une transmission duplex entre A et B.

Il est cependant à remarquer que si la transmission duplex et la transmission diplex peuvent être ainsi réalisées à volonté entre A et B, leur combinaison simultanée qui réaliserait la transmission quadruplex n'est pas possible.

S'il est en effet possible d'actionner en même temps soit les deux manipulateurs m et m_1 de la station A, soit les deux manipulateurs m' et m'_1 de la station B, soit encore m et m'_1 , ou m' et m_1 , on ne peut, sans apporter de trouble à la transmission, actionner en même temps les quatre manipulateurs. On ne peut donc qu'échanger deux télégrammes entre A et B, ou bien encore transmettre deux télégrammes soit de A vers B, soit en sens inverse.

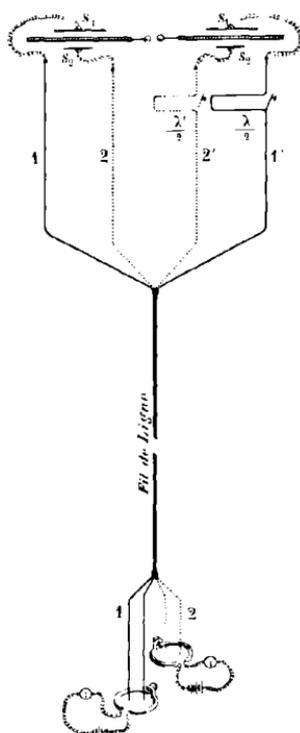
Pour permettre la transmission quadruplex entre A et B, il faut résoudre le problème de la transmission diplex non plus par l'emploi combiné des ondes électriques et du courant, mais en utilisant exclusivement les oscillations électriques.

Second dispositif : diplex à ondes électriques. — Ce dispositif utilise les phénomènes que présentent les champs interférents que nous avons exposés plus haut (p. 277).

L'expérience montre que la disposition employée (*fig.* 158) et qui permet d'actionner à volonté un résonateur placé à distance au moyen d'un seul fil tendu entre le point a et le point b , peut être utilisée à la mise en activité simultanée de deux résonateurs de longueurs différentes.

A partir d'un excitateur placé au poste de départ (*fig. 163*) on peut établir deux couples de fils $1\ 1'$ et $2\ 2'$ constituant

Fig. 163.



Entretien de deux résonateurs par les ondes électriques;
les résonateurs fonctionnant simultanément et indépendamment l'un de l'autre.

chacun un système de champs à deux fils qu'on peut à volonté rendre ordinaires ou interférents suivant la disposition qu'on donne aux ponts mobiles qui commandent les longueurs additionnelles de fil placées sur les fils $1'$ et $2'$.

Si l'on réunit ces quatre fils $1, 2, 1', 2'$ en un point à partir duquel le champ n'est plus concentré que par un fil unique jusqu'à la station d'arrivée, on peut néanmoins influencer à

volonté l'un ou l'autre des deux résonateurs placés à la station d'arrivée. Il suffit pour cela de tendre à la station d'arrivée, à partir de la ligne, deux couples de fils de longueurs différentes à l'extrémité de chacun desquels se trouve placé le résonateur qui y correspond. Chaque couple a une longueur égale à la demi-longueur d'onde des oscillations qui excitent le résonateur qu'on y a associé.

Supposons qu'un seul pont soit abaissé à la station de départ, le pont du fil $1'$ par exemple; alors que le champ à deux fils $2, 2'$ reste interférent et ne donne lieu à aucune propagation d'ondes le long du fil de ligne, le champ à deux fils $1, 1'$ est ordinaire et le fil de ligne concentre et propage ce champ jusqu'à la station d'arrivée. Les oscillations sont alors propagées à l'arrivée sur les deux couples de fils qui aboutissent aux résonateurs, mais elles sont particulièrement renforcées par le couple 1 et par le résonateur situé à l'extrémité de ce couple, et cela parce que la longueur des fils et celle du résonateur correspondent à leur longueur d'onde. Au contraire le couple de fil 2 et le résonateur 2 ne correspondant pas aux oscillations émises, ne les renforcent pas. On conçoit qu'on puisse ainsi actionner à distance celui des deux résonateurs qu'on veut.

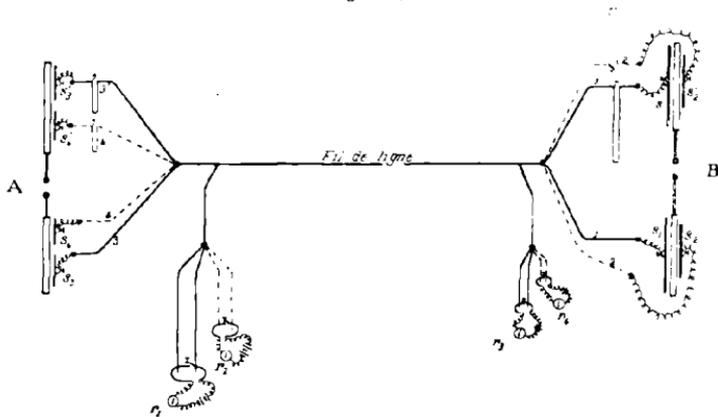
Si ces résonateurs sont à coupure, on peut utiliser leur fonctionnement à l'entretien par une pile locale d'un appareil télégraphique quelconque. Il suffit que le pont situé à la station de départ et qui commande le résonateur à influencer soit lui-même invariablement lié au dispositif transmetteur de l'appareil télégraphique qu'on veut utiliser.

Ce dispositif a été essayé sur une ligne de 170^m de longueur, disposée autour des bâtiments de la station d'électricité de Bordeaux-les-Chartrons. On observait les micromètres des résonateurs employés. Au cours des expériences les deux résonateurs ont fonctionné sans que, une fois réglés, l'envoi d'un signal destiné à l'un d'eux ait été reçu par le second.

Transmission quadruplex par ondes électriques. — En utilisant le second dispositif de transmission diplex que nous venons de décrire, on peut réaliser une transmission qua-

druplex entre deux stations A et B. Il suffit pour cela de doubler les dispositifs précédents et d'installer dans chacune des stations A et B un excitateur et un couple de résonateurs.

Fig. 164.



Transmission quadruplex par ondes électriques.

Les quatre résonateurs qu'on excite simultanément doivent être de longueurs différentes. On peut utiliser encore pour la transmission quadruplex des excitateurs à plateaux. Il faut alors avoir soin de faire usage, comme plaque de concentration, de quatre couples de plaques telles que s_1 , et s'_1 , s_2 et s'_2 , s_3 et s'_3 , s_4 et s'_4 (fig. 164) possédant des capacités différentes. Il est cependant plus commode d'utiliser des excitateurs à sphères rappelant les excitateurs de M. Lodge et dont nous donnons plus loin la description.

Les connexions à établir entre les divers dispositifs récepteurs et manipulateurs sont représentées par le schéma de la figure 160.

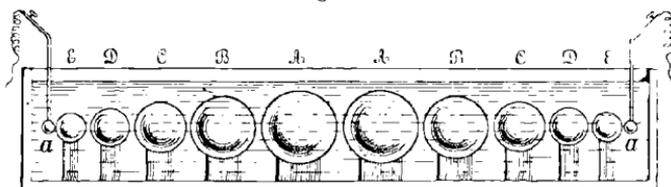
Transmission multiplex par ondes électriques. — On peut enfin utiliser les mêmes phénomènes à la réalisation de transmissions multiplex entre deux stations A et B. Il suffit d'établir toute une série de couples de fils aboutissant tous en un point commun à partir duquel un seul fil, le fil de la ligne, est tendu.

Sur l'un des fils de chacun de ces couples est établie une longueur additionnelle différente de l'un à l'autre et accordée à l'un des différents résonateurs situés au bout de la ligne. Du point d'arrivée de la ligne s'épanouissent à nouveau toute une série de couples de fils de longueurs différentes, à l'extrémité de chacun desquels se trouve le résonateur à coupure qui y correspond.

En réalité, pour que les résonateurs fonctionnent bien indépendamment les uns des autres, il n'est pas possible d'opérer d'une manière aussi simple, du moins lorsqu'il s'agit d'actionner simultanément plus de deux ou trois résonateurs. Au lieu de ne se servir que d'un seul exciteur comme producteur des oscillations électriques, il est utile de constituer des excitateurs pour ainsi dire *monochromatiques* qui, émettant d'une façon très active des oscillations de période déterminée, soient susceptibles d'actionner vigoureusement un résonateur donné, d'ailleurs choisi par tâtonnements, à l'exclusion des autres.

Un moyen fort simple de constituer une série d'excitateurs monochromatiques fonctionnant d'une manière très satisfaisante, consiste à disposer côte à côte, dans une cuve remplie

Fig. 165.



Dispositif d'excitateurs monochromatiques.

d'huile, toute une série de couples de sphères de diamètres décroissants (*fig.* 165).

Au voisinage d'un équateur de chacune des sphères est disposée une bande circulaire de métal de largeur égale au $\frac{1}{3}$ du diamètre de la sphère et l'entourant. Ces bandes de cuivre jouent le rôle de plaques terminales des fils.

Toutes les sphères placées dans l'huile et à quelques milli-

mètres les unes des autres, on les excite grâce aux deux conducteurs a, a , avec la même bobine de Ruhmkorff. Chacun des couples de sphères de même diamètre se trouve alors, par raison de symétrie, le siège d'oscillations de même période pour chacune des deux sphères, mais de périodes différentes pour chaque couple.

Ces oscillations sont reproduites par les bandes de cuivre qui avoisinent les sphères et elles sont propagées ou non jusqu'au résonateur en accord avec le couple de sphères considéré suivant que le pont qui commande au départ la longueur additionnelle de fil, relative à ce résonateur, est ou non fermé.

Ces dispositifs ont été expérimentés sur une ligne de 170^m de longueur, les expériences ont été faites entre trois postes établis : l'un A, au commencement de la ligne, l'autre B, aux $\frac{2}{3}$ de sa longueur, le troisième C, à l'extrémité.

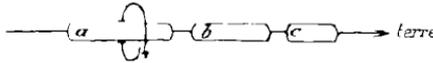
Au cours de ces expériences, dont quelques-unes ont été réalisées en temps de pluie, les cinq résonateurs accordés qui permettaient la réception entre A et B, A et C, B et C, B et A, C et B, ont toujours fonctionné indépendamment les uns des autres et sans que, une fois réglés, l'envoi d'un signal destiné à l'un d'eux soit reçu par un autre.

Deux de ces résonateurs étaient complets, on y lisait les signaux par l'apparition d'étincelles de longue et courte durée; les trois autres résonateurs étaient à coupure et entretenaient des électro-aimants.

Autre dispositif récepteur. — Au poste d'arrivée un cortège d'oscillations de longueurs d'onde différentes se présente, ayant cheminé tout le long du fil unique de ligne. Pour séparer chacun de ces trains d'onde, on établit au poste d'arrivée une série de caisses de résonance électrique a, b, c (*fig. 162*), constituées chacune par deux longueurs de fils parallèles égales à la demi-longueur d'onde des oscillations à renforcer. Les extrémités de chacun de ces couples de fils sont réunies d'une part, soit au fil de ligne, soit à la caisse de résonance précédente, d'autre part à la caisse de résonance suivante comme l'indique la figure.

Entre ces fils et perpendiculairement à leur direction, on dispose le plan du résonateur à coupure correspondant aux oscillations renforcées par la caisse de résonance électrique

Fig. 166.



Transmission multiplex par ondes électriques. Dispositif récepteur.

formée par les deux fils. Ce résonateur à coupure est attelé au récepteur de l'appareil télégraphique employé par l'intermédiaire d'une pile locale.

Les deux pôles du micromètre du résonateur sont réunis aux deux électrodes d'un cohéreur à cohération magnétique de M. Tissot, réalisant un dispositif particulier ⁽¹⁾.

Si l'énergie des ondes électriques reçues est trop intense et que le cohéreur risque d'être impressionné par toutes les ondes que concentre le fil de ligne et non pas seulement par celles qui lui sont destinées, on place le cohéreur au voisinage du micromètre du résonateur sans le relier aux pôles du micromètre. Le résonateur peut alors ne pas être à coupure, le récepteur télégraphique devant être dans ce cas attelé au cohéreur.

⁽¹⁾ Le tube du cohéreur à limaille magnétique forme la palette d'un électro-aimant A (fig. 167). A cet effet, il porte vers une extrémité une petite bague de cuivre α ; cette bague est prise entre deux vis formant pivots. Le tube du cohéreur qui est dans une position verticale peut osciller autour des pivots. L'autre extrémité du tube porte une bague de fer b à laquelle est fixé un levier L . Cette bague peut être attirée par l'électro-aimant A. Le cohéreur tout entier oscille alors autour des pivots de la bague α et le levier L quitte le butoir de repos α pour venir au contact du butoir β .

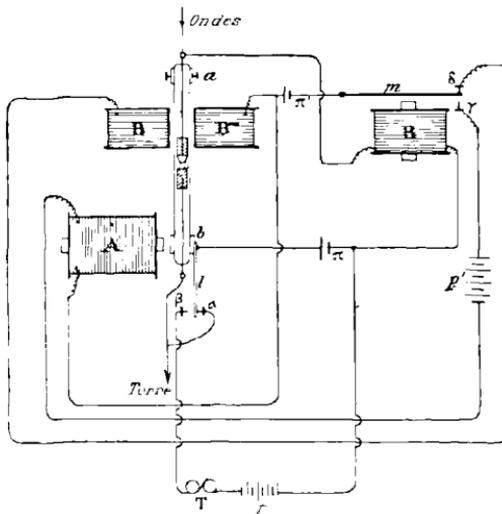
Entre les deux bagues le tube du cohéreur supporte encore une petite bobine de fil isolé B qui produit le champ magnétique de cohésion et peut être rapprochée à volonté de la région occupée par la limaille de fer.

Un relais polarisé R est intercalé ainsi qu'une pile π (ou mieux un potentiomètre) dans le circuit du cohéreur. Les connexions sont établies de telle sorte que les ondes rendant conducteur le cohéreur, le courant de la pile π traverse les bobines du relais R, le cohéreur, puis revient à la pile par le butoir α , le levier L et la bague b . La palette m du relais se trouve alors attirée. A sa position de repos, cette palette appuyant sur le butoir δ permet au courant d'une

Ce système de transmission multiplex présente sur ceux qui, procédant de l'expérience de l'abbé Laborde, utilisent les mouvements sonores, l'avantage de pouvoir faire usage d'un

pile π' (et mieux d'un potentiomètre) de traverser la bobine B qui produit le champ magnétique de cohération. (Il arrive ainsi que dès que le cohéreur devient conducteur, le champ magnétique de cohésion est supprimé. La palette m du

Fig. 167.



Application du cohéreur magnétique de M. Tissot à l'entretien d'appareils télégraphiques rapides.

relais venant au contact du butoir γ , la pile π' s'ajoute à la pile p' pour établir un courant dans l'électro-aimant A et produire l'attraction du cohéreur. En même temps que le cohéreur reçoit ainsi un léger choc, le courant établi entre l et α se trouve rompu, ce qui aide encore à la décohération du cohéreur.

Il est à remarquer que trois actions concourent simultanément à la décohération : la suppression du champ magnétique de cohération, le léger choc du cohéreur contre l'armature de l'électro-aimant A et la rupture en un point du circuit que ferme le cohéreur.

On utilise le mouvement du levier l qui vient au contact du butoir β pour renforcer la pile π par la pile p et établir le courant des deux piles à travers les bobines T d'un appareil télégraphique rapide. (A. TURPAIN, Association française pour l'avancement des sciences. *Congrès de Paris*, 1900.)

appareil télégraphique quelconque. On ne se trouve plus obligé d'assurer la transmission des télégrammes en faisant usage des signaux conventionnels de Morse. La faculté qu'on a de pouvoir intercaler dans le circuit de la pile locale, qui aboutit aux extrémités de la coupure de chaque résonateur, le récepteur qu'on veut, permet d'utiliser avec ce dispositif multiplex les appareils imprimeurs, en particulier l'appareil Hughes. Il suffit de commander chaque pont mobile au moyen du mécanisme transmetteur de cet appareil. On peut d'ailleurs également employer concurremment des appareils télégraphiques divers dont les organes manipulateurs et récepteurs sont convenablement associés.

Multiplicateur à ondes électriques. — L'emploi des oscillations électriques permet encore de résoudre d'une manière entièrement générale, et en répondant complètement à l'énoncé que nous avons donné plus haut, l'important problème de la multicommutation télégraphique.

Il suffit d'établir dans chacune des stations A, B, C, ..., N, échelonnées sur le fil unique AN, des dispositifs analogues à ceux décrits ci-dessus. Il faut alors faire usage d'un nombre de résonateurs différents égal au nombre de communications simultanées qu'on veut assurer.

On peut, en définitive, assimiler l'emploi des oscillations électriques dans ces dispositifs à l'emploi des vibrations sonores et cela de la manière suivante :

Qu'on suppose un tube acoustique reliant deux ou plusieurs stations et muni à l'arrivée et au départ de plusieurs embouchures. Les embouchures au départ concentrent le mouvement sonore qu'émettent différents tuyaux sonores que nous supposerons pour plus de simplicité au nombre de deux seulement, l'un donnant le *la*, l'autre le *sol*. A l'arrivée, en face des embouchures, se trouvent des résonateurs acoustiques de Helmholtz, l'un capable de renforcer le *la* et sourd au *sol*, l'autre capable de renforcer le *sol* et sourd au *la*.

Les transmissions faites au départ sur le *sol* et sur le *la* ont cheminé de concert : à l'arrivée le partage se fait grâce à la présence des résonateurs acoustiques.

Il se passe un phénomène analogue dans les dispositifs que nous venons de décrire.

Si nous reprenons l'énoncé général du problème, nous pouvons dire que, grâce aux différents excitateurs qui fonctionnent dans les postes échelonnés A, B, C, ..., N, un cortège d'oscillations électriques de périodes différentes se propage sur la ligne AN. Le triage de ces oscillations électriques se fait à chaque résonateur qui garde et renforce celles de ces oscillations correspondant à sa période et laisse cheminer les autres; ces dernières, à leur tour, sont reçues chacune par le résonateur qui lui est propre.

Utilisation d'enceintes métalliques fermées. — Au cours d'une étude expérimentale sur les propriétés des enceintes fermées relatives aux ondes électriques (¹), nous avons constaté que deux dispositifs transmetteur et récepteur qui étaient incapables d'agir l'un sur l'autre à l'air libre et sans pile à plus de 1^m de distance, devenaient susceptibles de s'influencer à 10^m et 20^m l'un de l'autre s'ils étaient enfermés dans des enceintes métalliques et reliés au moyen de câble à revêtement métallique.

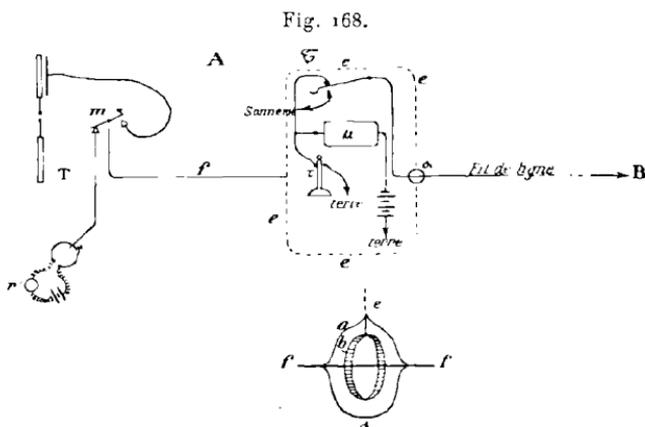
Ces expériences indiquent les conditions dans lesquelles devront être placés les dispositifs producteurs d'onde et les dispositifs récepteurs pour être utilisés dans la télégraphie hertzienne avec fil, alors que le fil conducteur est constitué par un câble.

Les câbles sous-marins ou souterrains sont tous munis de revêtement métallique. Le revêtement métallique devra être continué autour du conducteur axial jusqu'au voisinage des dispositifs récepteur et transmetteur du poste télégraphique. Ces dispositifs devront être situés dans une enceinte métallique fermée mise en relation par une ouverture avec le revêtement du câble. Dans ces conditions une concentration très puissante des ondes électriques sera obtenue.

(¹) A. TURPAIN, *Sur les propriétés des enceintes fermées relatives aux ondes électriques* (Association française pour l'avancement des Sciences, Congrès de Montauban, 1902).

Si l'on se contentait de relier le conducteur axial du câble aux appareils récepteur et transmetteur à la manière habituellement usitée en télégraphie ordinaire, aucune concentration des ondes ne pourrait être obtenue, les ondes passant du conducteur axial au revêtement métallique au point de la ligne où commence le câble, et étant de là disséminées dans le sol ou dans l'eau.

Téléphonie et télégraphie simultanées. — De même qu'il est possible d'employer un même conducteur pour propager concurremment des ondes électriques et un courant électrique, et d'assurer ainsi une transmission duplex entre deux stations, il est également possible de conduire par un même fil des ondes électriques et un courant téléphonique, par suite d'assurer la simultanéité d'une communication téléphonique et d'un échange de signaux télégraphiques au moyen d'un conducteur unique.



Dispositif de téléphonie et télégraphie simultanées.

Quelques précautions spéciales doivent être prises toutefois pour empêcher les ondes électriques d'influencer le téléphone et d'y produire un bruit de friture, qui, sans empêcher la transmission de la parole, rendrait pénible et fatigant l'usage du téléphone.

Les connexions générales des appareils télégraphiques et téléphoniques sont celles représentées par le schéma de la figure 168 qui rappelle ceux des figures 160 et 161.

En T sont représentées les dispositifs télégraphiques : le manipulateur m servant à la transmission de A vers B, le récepteur r' destiné à la réception des télégrammes envoyés de B vers A.

En \mathcal{C} sont représentés les dispositifs téléphoniques, μ représente le microphone et τ le téléphone.

Les appareils sont disposés d'une façon analogue à la station B.

Tous les appareils servant à la téléphonie sont enfermés dans une enceinte e conductrice. Le fil de ligne pénètre dans cette enceinte par l'intermédiaire d'une ampoule à vide α dont nous allons donner la description. Le conducteur formant l'enceinte est relié par un fil f aux dispositifs télégraphiques T.

Il est bon que l'enceinte soit isolée.)

Il est plus aisé qu'il ne paraît à première vue de réaliser ces dispositifs, surtout lorsque les téléphones sont placés à l'intérieur des cabines téléphoniques. Il suffit, lors de la construction de la cabine, de recouvrir l'intérieur de la cabine, entre la tapisserie et la boiserie extérieure, de feuilles d'étain, collées bord sur bord. Si la cabine est disposée dans un lieu sec l'isolement du bois suffit. On peut d'ailleurs facilement la placer sur quatre isolateurs plats en porcelaine.

Quant au tube à vide α qui assure la communication du fil de ligne avec l'enceinte et avec les appareils téléphoniques, il constitue le dispositif essentiel permettant la simultanéité des communications. Nous en représentons le dessin à une plus grande échelle.

Le fil de ligne ff pénètre à l'intérieur d'une ampoule de verre a qu'il traverse de part en part. Une bande métallique circulaire b est disposée à l'intérieur de l'ampoule dans un plan perpendiculaire à la direction du fil f . Cette bande communique à l'aide du fil traversant la paroi de l'ampoule avec l'enceinte e . Grâce à cette disposition et lorsque l'air de l'ampoule est amené à un degré de raréfaction convenable, les ondes électriques transmises de B vers A et destinées à assurer les

transmissions télégraphiques, sont concentrées par le fil de ligne jusqu'en α , puis grâce au peu de résistance que leur offre l'ampoule à air raréfié et à la propriété que possèdent les écrans métalliques de ne pas se laisser traverser par les ondes, elles sont transmises aux appareils télégraphiques par l'enceinte e et le fil f , et n'influent en rien sur les appareils téléphoniques qui se trouvent protégés contre leur action par la présence de cette enceinte.

De même les ondes émises de A vers B passent du fil f à la ligne en étant concentrées par l'enceinte et transmise par l'ampoule.

Quant au courant téléphonique qui se propage sur la ligne, il n'est pas capable de franchir l'obstacle que lui présente l'ampoule et parvient aux appareils téléphoniques.

En définitive on met en pratique dans ce dispositif la propriété, signalée par Hertz, que possèdent les ondes électriques de n'intéresser, lorsqu'elles sont propagées par un conducteur, que la surface extérieure du conducteur employé.

De même que dans les dispositifs analogues de transmissions télégraphiques en duplex et en diplex, on peut placer les appareils télégraphiques T à deux stations extrêmes A et B, et les appareils téléphoniques \bar{c} à deux stations intermédiaires C et D. On peut ainsi amener au moyen d'un conducteur unique tendu entre deux stations extrêmes A et B, la transmission des télégrammes entre ces deux stations en même temps qu'on utilise le même fil pour permettre des communications téléphoniques entre deux stations intermédiaires C et D (voir *fig.* 161).

La multicommutation en téléphonie. — Quant au problème de la multicommutation en téléphonie, jusqu'à ce jour on n'a indiqué aucun dispositif permettant de le résoudre, soit par l'utilisation des ondes électriques, soit par la mise en œuvre d'autres phénomènes. Il ne semble pas toutefois que sa solution dépasse les applications possibles des ondes électriques. Si, en effet, on parvient au moyen de propagation d'ondes électriques à transmettre d'un point à un autre les impressions sonores communiquées par la voix à un télé-

phone, on peut espérer que, dès lors, l'application des propriétés des champs interférents et la réalisation d'un dispositif en tout point semblable au multicommutateur à ondes permettront la solution du problème envisagé au point de vue de la téléphonie.



CHAPITRE X.

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA COMMANDE A DISTANCE.

La manœuvre d'appareils à distance peut emprunter les dispositifs de télégraphie sans fil. Un récepteur Morse dont la palette est mise en mouvement par l'émission d'ondes électriques faite d'un poste éloigné n'est, en définitive, qu'un exemple simple de mouvements produits à distance et sans conducteur interposé, de télé mécanique sans fil. Il est aisé, en partant de l'emploi d'ondes électriques, d'imaginer nombre de dispositifs se pliant avec plus ou moins de succès à la commande à distance de manœuvres plus ou moins compliquées.

On peut ranger tous les dispositifs de commande à distance employant les ondes hertziennes en deux catégories, suivant qu'on y utilise ou non un organe tournant d'un mouvement synchrone aux deux stations, station de départ ou de commande, station d'arrivée ou de manœuvre, cet organe étant mis en mouvement par un dispositif indépendant des ondes, mouvement d'horlogerie ou autre.

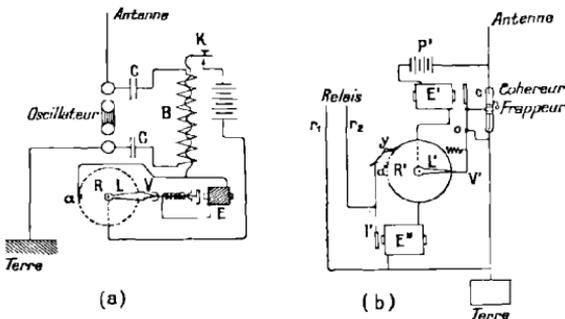
Dans la première catégorie : *emploi d'organes tournant d'un mouvement synchrone et envoi d'ondes au moment où cet organe se trouve dans une position déterminée*, on doit ranger l'appareil de télé mécanique à ondes électriques de M. Hulsmeyer (1905).

Appareil de commande à distance de M. Hulsmeyer. — Le transmetteur et le récepteur possèdent des roues distributives R (*fig. 169 a*), R' (*fig. 169 b*) qui tournent synchroniquement, entraînées qu'elles sont par un mouvement d'horlogerie ou autre. La roue R du transmetteur est munie sur son pourtour de contacts déplaçables tels que α , qu'on peut fixer en

un point déterminé de ce pourtour. Ce contact, lorsqu'il est atteint par le levier mobile L que porte la roue R , ferme le circuit primaire d'une bobine d'induction B et détermine l'émission d'ondes. Au récepteur, la réception des ondes par un cohéreur c détermine la fermeture d'un circuit local qui actionne un électro-aimant ou un relais destiné à effectuer la manœuvre commandée.

Au début, les deux roues distributives R et R' sont au repos, arrêtées qu'elles sont par un verrou V (fig. 169 a) et V' (fig. 169 b). Dès qu'on ferme au transmetteur (fig. 169 a)

Fig. 169.



Dispositif de commande à distance de M. Hulsmeyer.
a, dispositif transmetteur. *b*, dispositif récepteur.

l'interrupteur K , le même courant qui actionne l'oscillateur O dégage le verrou V par l'effet d'attraction de l'armature de l'électro-aimant E . La roue R est libérée et tourne. Les ondes sont reçues par le cohéreur c ou récepteur (fig. 169 b). Le cohéreur ferme alors le circuit $P'coV'E'P'$ et le verrou V' étant dégage par l'électro E' , la roue R' est libérée et tourne. Les deux roues R et R' libérées en même temps et tournant d'un mouvement synchrone, lorsque R aura tourné de manière à ce que L vienne en contact avec α , une nouvelle émission d'ondes sera produite au transmetteur. Mais à ce moment même la roue R' aura amené le levier L' en contact avec α' , le circuit de la pile P' comprenant le cohéreur cohéré se ferme alors dans le relais de la commande à effectuer, circuit $P'cr_1r_2\alpha'L'E'P'$.

Pour éviter que des ondes étrangères troublent la commande, comme ces ondes n'atteignent en général pas l'antenne réceptrice au moment choisi pour effectuer la commande, elles ont pour effet, en rendant le cohéreur conducteur, de fermer le circuit $P'cE'R'L'E'P'$. L'électro-aimant supplémentaire E' , en attirant le levier L' , éloigne le contact α' qui n'est ramené par une came γ convenablement placée qu'après que le levier L' est passé sur ledit contact α' , ce qui empêche la commande intempestive d'être produite.

On peut évidemment multiplier, tant autour de R qu'autour de R' , le nombre des contacts accouplés α, α' et, par suite, produire à la suite des unes des autres toute une série de commandes.

Dispositif de M. Branly pour commandes à distance avec contrôle des actions produites (1905). — Le dispositif de M. Branly doit être rangé au nombre de ceux utilisant la mise en rotation d'un organe animé d'un mouvement non entretenu par l'action des ondes électriques.

Ce dispositif permet d'effectuer trois commandes successives différentes dans un ordre quelconque au choix de l'opérateur. A cet effet, chaque opération est commandée par un relais intercalé dans le circuit d'un interrupteur rotatif. Chaque interrupteur rotatif est constitué par un disque isolant sur le pourtour duquel est fixé un arc conducteur de 90° . Deux balais frottent l'un sur l'axe en communication métallique avec l'arc conducteur, l'autre sur le pourtour du disque. Le circuit compris entre les deux balais comprend un relais dont le fonctionnement est affecté à l'exécution d'une des manœuvres à effectuer.

Pour effectuer dans un ordre quelconque trois manœuvres différentes, trois disques sont montés sur un même axe commandé par un mouvement d'horlogerie. Les trois arcs conducteurs des disques sont disposés de manière qu'un seul se trouve au même instant en contact avec le balai correspondant. Les arcs laissent alors entre eux un intervalle correspondant à un arc de 30° . Un train d'ondes atteignant l'antenne

de réception ne provoquera la cohérence du cohéreur qu'autant que l'un des arcs conducteur appuie sur un balai, et c'est le relais du circuit qui se trouvera alors fermé qui déterminera la manœuvre à laquelle il est préposé. Il est donc essentiel qu'au poste transmetteur on connaisse à chaque instant la position des arcs du distributeur. A cet effet, le poste récepteur comprend un dispositif d'émission d'ondes qui est mis en fonction entre les époques durant lesquelles les arcs conducteurs se trouvent en contact avec leurs balais respectifs, c'est-à-dire pendant que sous ces balais passent les arcs intermédiaires isolants de 30°. Alors une série de trains d'ondes est envoyée au transmetteur suivant un rythme qui diffère avec chacun des arcs intermédiaires de 30°. On n'a donc au poste transmetteur qu'à examiner la bande de l'appareil Morse qui reçoit ces émissions rythmées pour savoir lequel des trois arcs conducteurs va passer sous son balai, et, par suite, quelle commande est rendue possible par une émission d'ondes. La durée d'un tour de l'organe mobile est de 36 secondes, ce qui donne 3 secondes pour l'envoi de trains d'ondes rythmés au poste transmetteur et 9 secondes pendant lesquelles le poste transmetteur peut à son gré effectuer une commande.

Un contrôle indiquant que l'opération commandée a bien été effectuée est obtenu au moyen de nouveaux disques, un pour chaque commande, montés sur l'axe du distributeur. Chaque disque porte une dent placée dans l'un des intervalles de 30°. Tant que l'opération commandée s'effectue, c'est cette dent qui relie le producteur d'ondes avec l'antenne du poste récepteur. Il en résulte l'inscription sur la bande de l'appareil du poste transmetteur d'un signal spécial.

La seconde catégorie de dispositifs de commande à distance par ondes hertziennes charge l'émission des ondes de produire elle-même la mise en marche de l'organe mobile dont la position assure l'exécution de celle des commandes à faire.

A cette catégorie se rapportent les dispositifs imaginés par MM. Orling et Braunerhjelm dès 1899 et par MM. Jammeson et Troter en 1899, également pour la manœuvre des torpilles.

Mais c'est surtout M. Torrès ⁽¹⁾ qui, dans le dispositif qu'il appelle *télékine*, a donné en 1903, de cette catégorie de procédés, la plus complète réalisation et qui en a surtout indiqué les principes. Le dispositif de commande à distance, imaginé par M. Gabet ⁽²⁾ en 1903, et celui réalisé par M. Devaux, en 1906, ne font que résoudre la question de manières différentes, mais en employant le même principe que celui réalisé dans le télékine.

Dispositif de MM. Axel Orling et Georg Braunerhjelm pour actionner les gouvernails au moyen des ondes calorifiques, lumineuses ou électriques. — Les inventeurs ⁽³⁾ obtiennent le maniement à distance des gouvernails au moyen d'ondes calorifiques, lumineuses ou électriques émises par une source. Ces ondes agissent sur des résistances comprises au nombre des organes de l'appareil de réception. La matière qui constitue ces résistances est sensible aux dites ondes.

Dans les appareils de cette nature, proposés avant celui-ci, on fait usage d'un rayonnement continu agissant sur des résistances sensibles et en faisant varier la valeur. Ici le rayonnement envoyé est intermittent. L'appareil est construit de telle sorte qu'une courte ou longue émission d'onde actionne le récepteur dans un sens opposé à celui qu'il présente précédemment.

La figure 170 montre un schéma de l'appareil et des connexions établies.

Le circuit s_1 comprend une pile B_1 , une résistance x qui constitue le récepteur et est sensible aux rayons émis et en dernier lieu un électro-aimant M_1 qui, lorsque les ondes agissent sur x , attire l'armature a_1 . Cette armature est maintenue, au repos, éloignée du contact k_2 par le ressort antagoniste f_1 .

⁽¹⁾ L. TORRÈS, Brevet du 10 décembre 1902 (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 3 août 1903).

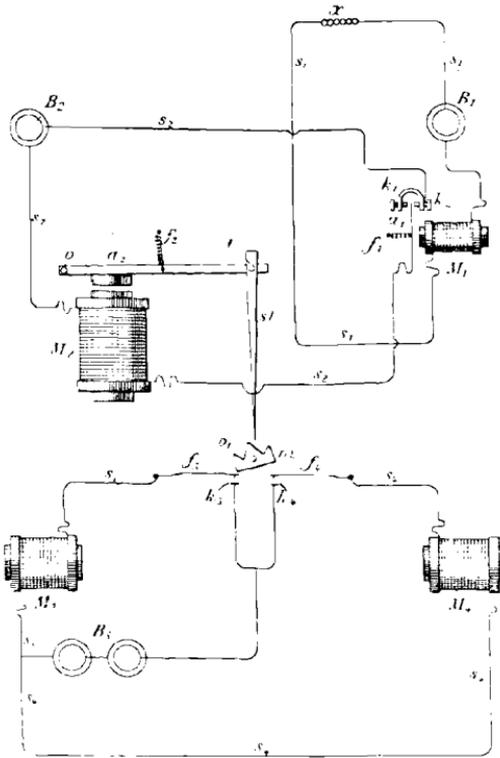
⁽²⁾ G. GABET, Brevet du 21 juillet 1903 (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 14 janvier 1907).

⁽³⁾ Brevet anglais n° 1865, du 26 janvier 1899. Accepté le 13 janvier 1900.

Le relais M_1 produit donc ainsi la fermeture ou l'ouverture du circuit s_2 .

Le circuit s_2 comprend une pile B_2 et un électro-aimant M_2 . Lorsque les ondes n'agissent pas en x le circuit s_2 est ouvert.

Fig. 170.



Dispositif Ording et Braunerhjelms. Manœuvre d'appareils à distance.

Il se trouve fermé dès qu'elles permettent l'établissement du courant de la pile B_1 dans l'électro-aimant M_1 .

M_2 attire alors le levier a_2 qui, mobile en o , porte en t un style st susceptible de venir heurter la pièce m et de la faire basculer soit à droite soit à gauche de sa position horizontale,

position pour laquelle le style *st* se trouve en face de la dent médiane dont est munie cette pièce.

On conçoit aisément que la pièce *m* soit actionnée à chaque attraction de l'armature a_3 et viennent alternativement presser sur l'un ou sur l'autre des deux ressorts f_3, f_4 . Ces ressorts viennent alors au contact des pièces k_3, k_4 , et la pile B_2 se trouve fermée à travers l'un ou l'autre des deux électro-aimants M_3, M_4 .

Ainsi, lorsque l'armature a_2 reste attirée, l'un ou l'autre des circuits s_3 ou s_4 est fermé et l'électro-aimant correspondant M_3 ou M_4 maintient le gouvernail dans une position incliné. Quand la pression sur la pièce *m* cesse, le levier f_3 ou f_4 quitte le contact k_3 ou k_4 et le circuit correspondant est coupé. Comme aucun courant ne passe plus dans les circuits s_3 ou s_4 , le gouvernail reprend automatiquement sa position droite.

Il est dès lors possible de diriger le navire dans la direction désirée en exposant le récepteur à de longues ou courtes émissions d'ondes.

Dispositif de MM. W. Jammeson et J. Trotter pour la manœuvre des torpilles par les ondes hertziennes. —

MM. Walter Jammeson et John Trotter ⁽¹⁾ se sont proposé d'appliquer les oscillations électriques à la manœuvre à distance des torpilles. A cet effet, un exciteur convenablement disposé actionne à distance un récepteur disposé sur la torpille.

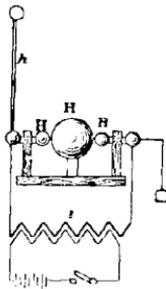
Le transmetteur se compose d'un exciteur à trois sphères de Lodge, une grande sphère, H (*fig.* 171), est placée entre deux petites, H₁, H₂, disposées latéralement. L'une des petites sphères est reliée à la terre et à l'une des bornes du circuit induit d'une bobine de Ruhmkorff. La seconde petite sphère est en communication avec le conducteur *h* servant d'antenne au dispositif et avec le second pôle de la bobine d'induction.

Le récepteur comprend un cobéreur A (*fig.* 168) très sensible qui, sous l'influence des ondes, actionne un relais C. Ce

(1) *Electrical Review de New-York*, 1899.

relais ferme le courant d'une batterie d'accumulateurs *D* à travers le-fil d'un électro-aimant *e*. L'électro-aimant en attirant son armature dégage un cliquet *e*. Ce cliquet permet à un col-

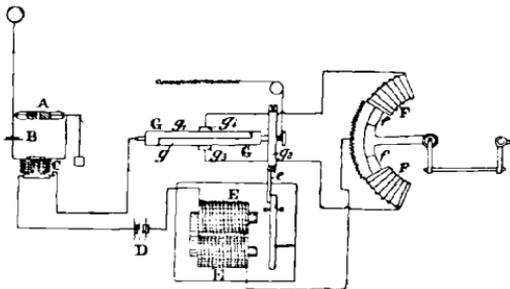
Fig. 171.



Système Jamieson et Trotter. Manœuvre des torpilles : transmetteur.

lecteur à deux bagues *G* de tourner de 180° , envoyant ainsi le courant soit dans le solénoïde *F*, soit dans le solénoïde *F*₁. Celui des deux solénoïdes à travers lequel circule le courant,

Fig. 172.



Système Jamieson et Trotter. Manœuvre des torpilles : récepteur.

attire une armature qui agit sur la barre du gouvernail de la torpille. Cette barre est ainsi déplacée soit à droite, soit à gauche suivant l'armature actionnée.

Dispositif de commande à distance dit « télékine » de M. Torrès. — Ce dispositif a fait l'objet d'une Communication à l'Académie des Sciences au cours de laquelle l'appareil

réalisé par M. Torrès fonctionna. L'inventeur établit une différence très nette entre deux de ses dispositifs, l'un qu'il nomme *télékine simple* et qui ne permet que de commander un mouvement à un degré de liberté comme celui d'une aiguille autour d'un cadran, l'autre appelé *télékine multiple* qui sert à commander plusieurs mouvements différents.

Le *télékine simple* comprend un dispositif télégraphique qui à chaque signal reçu fait avancer d'un arc constant une aiguille mobile autour d'un cadran. Un servomoteur électrique a ses mouvements commandés par cette aiguille. Le rôle de l'aiguille se limite à entraîner un ou plusieurs balais qui glissent sans frottement appréciable sur un disque garni de plots. La position de l'aiguille détermine l'établissement ou l'interruption des contacts entre les balais et les plots et règle, par ce fait, la marche du servomoteur. La commande peut se faire de plusieurs manières. L'inventeur suppose que l'aiguille de l'appareil télégraphique commande un servomoteur destiné à manœuvrer la barre du gouvernail d'un bateau et indique trois modes de commande particulièrement intéressants : 1° commande directe; 2° orientation arbitraire du gouvernail par rapport au bateau; 3° détermination arbitraire du rhumb du bateau.

Le *télékine multiple* sert à manœuvrer plusieurs appareils avec un seul dispositif de télégraphie sans fil. Afin que chaque signal agisse sur l'appareil auquel il est destiné et non pas sur un autre, on met à profit la différence de durée de ces signaux, différence analogue à celle qui existe entre les points et les traits du télégraphe Morse. A cet effet, un appareil appelé *distributeur* envoie chaque trait dans un circuit α et chaque point dans un circuit β . En passant dans le circuit α le courant fait avancer d'un arc constant une aiguille qui sert de commutateur. Le courant du circuit β agit chaque fois sur l'un des appareils à manœuvrer, sur celui qui est en circuit quand le courant passe et c'est précisément l'aiguille qui, par sa position qu'on peut régler arbitrairement, détermine l'entrée en circuit de tel appareil à l'exclusion de tous les autres.

L'aiguille mobile porte un balais et se déplace devant des plots en nombre égal aux manœuvres à effectuer. L'envoi de n

traits successifs par la station transmettrice amène le balai sur le n^{e} plot et met en circuit le n^{e} appareil.

Les organes mécaniques du commutateur et de chacun des appareils à manœuvrer sont les mêmes que ceux d'un télékine simple. Voici le schéma descriptif du distributeur : une pièce M, (fig. 173) d'inertie relativement considérable, porte

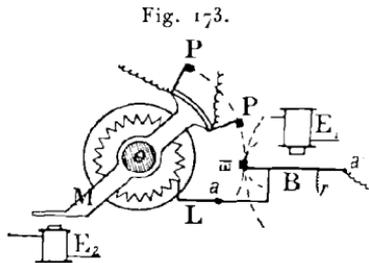


Schéma du distributeur du télékine de M. Torrès.

deux plots P et P' et tend à tourner autour de son axe O sous l'action d'un mécanisme d'horlogerie. Sur l'axe O est placée une roue dentée à rochet que le levier L tournant autour de α empêche de se mouvoir, si bien que le mécanisme d'horlogerie est ainsi immobilisé. Le levier L est relié à l'armature B de l'électro-aimant E₁, armature qui est mobile autour de α' . Les deux plots P et P' que la pièce M porte peuvent, suivant le cas, venir au contact avec le plot ω porté par l'armature B.

Tout signal électrique reçu, point ou trait, agit sur l'électro-aimant E, qui déplace l'armature B et permet le mouvement de la pièce M. Dès que le courant cesse, un ressort antagoniste r ramène l'armature B. Dans ce mouvement de retour le plot ω vient au contact soit de P, soit de P'; cela dépend de l'angle parcouru pendant la durée du signal, point ou trait, par la pièce M qui se déplace lentement à cause de son inertie. Quand le courant passe par P il agit sur le commutateur; quand il passe par P' il agit sur l'appareil à manœuvrer qui se trouve alors en circuit. Dans les deux cas il agit sur l'électro-aimant E₂ qui remet la pièce M dans la position normale de repos prête à recevoir un nouveau signal.

M. Torrès indique comme applications dont le télékine est susceptible : les essais de ballon dirigeable et la direction des torpilles.

Dispositif de télé mécanique sans fil de M. Gabet. — Le dispositif que M. Gabet a fait breveter en 1903 s'appuie sur les deux mêmes principes que le télékine breveté en 1902 par M. Torrès : commande du distributeur par les ondes; commande de la manœuvre à effectuer avec un certain retard de manière à permettre le choix de cette manœuvre sans qu'aucune autre ait reçu un commencement d'exécution.

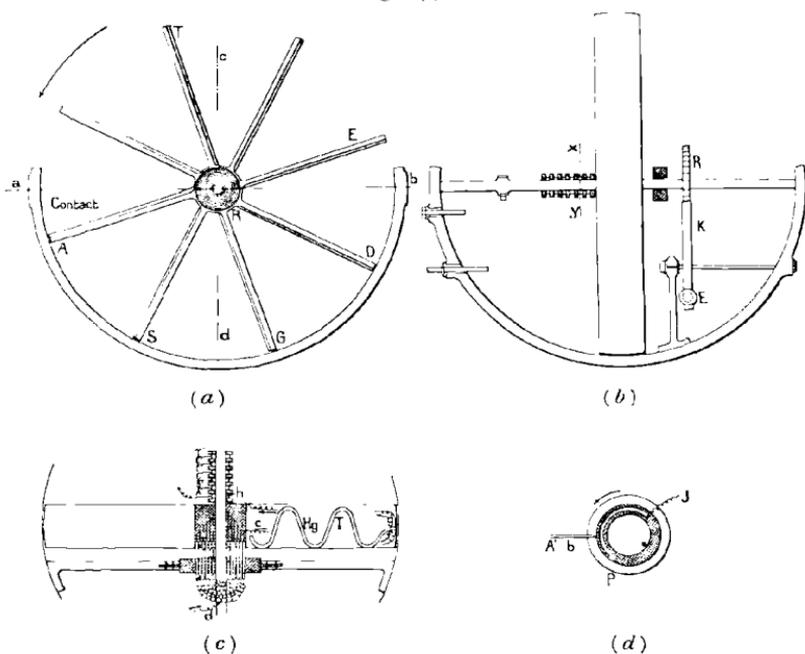
Si M. Gabet n'a apporté aucun élément nouveau à la solution du problème de la commande à distance sans fil, il n'en a pas moins réalisé les conditions par des dispositifs qui paraissent très sûrs. Il est vrai qu'en ces matières il y a loin du dispositif à sa réalisation pratique, voire même d'un appareil réduit construit avec soin et retouché au moment même pour la réalisation d'une expérience de démonstration à un appareil devant fonctionner à coup sûr dans les conditions qu'impose la pratique.

L'appareil de M. Gabet se compose d'une roue R (*fig.* 170) mobile autour d'un axe horizontal et portant des palettes en nombre quelconque, palettes qui correspondent chacune à une commande spéciale. Cette roue, sollicitée par un cliquet commandé par le circuit du relais progresse d'une palette à chaque émission d'ondes du poste transmetteur. On peut donc, par un nombre déterminé d'émissions, amener la palette qu'on veut dans une position déterminée qui sera la position de manœuvre. Pour que les palettes intermédiaires n'amènent durant cette opération aucun commencement de commande, M. Gabet avait disposé dans son premier dispositif le long de chaque palette, une bille d'argent glissant sous l'action de la pesanteur et par un chemin sinueux, pour venir en s'interposant entre deux fils fermer un circuit.

Sur le conseil que nous lui avons donné, M. Gabet a transformé cette partie de son dispositif et a adopté le procédé suivant que nous lui avons suggéré : chaque palette porte

un tube sinueux en verre T dans lequel on introduit une goutte de mercure et l'on fait le vide. L'extrémité de chaque tube porte, soudés au tube ou disposés dans un logement d'ébonite, les deux fils extrémités d'un circuit de commande que la goutte de mercure, en arrivant au fond du tube, ferme.

Fig. 174.



Dispositif de télé mécanique sans fil de M. Gabet.

- (a). Coupe verticale perpendiculaire à l'axe.
 (b). Coupe verticale parallèle à l'axe.
 (c). Coupe horizontale suivant une parallèle.
 (d). Coupe de l'axe suivant x, y .

Dans toutes les palettes situées à un instant donné au-dessus d'un plan horizontal passant par l'axe de la roue, les gouttes de mercure sollicitées par la pesanteur se trouvent à l'extrémité du tube la plus près de l'axe. C'est l'inverse pour les palettes situées au-dessous du même plan hori-

zontal, les gouttes de mercure y sont dans les tubes à l'extrémité la plus éloignée de l'axe. Il est en particulier une position pour chaque palette, position pour laquelle la goutte de mercure quitte le centre pour se diriger vers la circonférence de la roue. C'est la position de manœuvre, celle où la palette vient de franchir le plan horizontal passant par l'axe et se place au-dessous de ce plan. Dans cette position, la goutte de mercure n'atteint pas de suite son logement, mais avec un retard qui est réglable, puisqu'il dépend de la pente et des sinuosités du tube. C'est justement ce retard qui est utilisé par le poste de commande pour envoyer des trains d'ondes assez rapprochés pour que les gouttes n'aient pas le temps d'atteindre leur logement pendant le temps durant lequel la palette est en position de manœuvre.

Lorsque le mercure atteint, en effet, son logement après que la palette a quitté la position de manœuvre, le circuit de commande est coupé par le jeu des bagues collectrices que comprend ce circuit et qui ont chacune à cet effet un décalage convenable (voir *fig. 174*, coupe xy).

Très ingénieusement, M. Gabet a profité de ce retard, dont les précédents inventeurs paraissent n'avoir pas su tirer tout le parti possible, pour permettre un contrôle *a priori* des commandes et pour trouver un moyen d'annuler l'effet d'ondes perturbatrices.

Un signal de contrôle prévient l'opérateur du moment précis où chaque palette arrive en position de manœuvre. Ce signal peut être l'envoi d'une onde hertzienne par le poste récepteur, ou mieux un signal lumineux, une lampe de couleur déterminée et visible pour l'opérateur qu'allume chaque palette à sa position de manœuvre. L'opérateur est ainsi prévenu à l'avance que telle ou telle commande va s'effectuer. S'il désire annuler la commande imminente il n'a qu'à envoyer un train d'ondes supplémentaire qui fait progresser la roue d'une palette avant que la goutte de mercure n'ait eu le temps d'atteindre son logement.

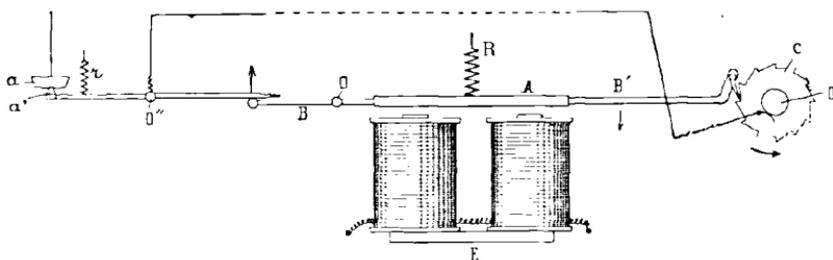
C'est surtout à la commande à distance de torpilles automobiles ou même d'autotorpilleurs non montés que M. Gabet s'est préoccupé d'appliquer son dispositif.

Dispositif de commande électrique à distance par ondes hertziennes de M. Devaux. — Le dispositif que préconise M. Devaux (1) est en tout point semblable à celui de M. Gabet et se propose d'ailleurs le même objet, la commande d'un sous-marin torpilleur. Seules les combinaisons mécaniques diffèrent sans présenter cependant, à première vue du moins, une supériorité de simplicité ou de sécurité sur celles imaginées par M. Gabet.

Ici encore nous trouvons, comme dans le télékine de M. Torrès et dans le dispositif de M. Gabet, un distributeur courant sur tous les plots d'où partent les circuits à commander et un commutateur ne lançant le courant que lorsque le précédent distributeur a atteint le circuit qu'on désire fermer.

Un électro-aimant E (fig. 175) peut attirer une armature A, maintenue par le ressort antagoniste R et pivotant en O. Cette armature se prolonge de chaque côté par les bras B et B'. Le bras B', muni d'un cliquet, attaque la roue à rochet C qui porte l'axe O' du distributeur et la fait avancer d'une dent à chaque excitation de l'électro-aimant. Le bras B frappe à chaque excitation sur l'extrémité du levier L articulé en O' et formant commutateur en aa'.

Fig. 175.

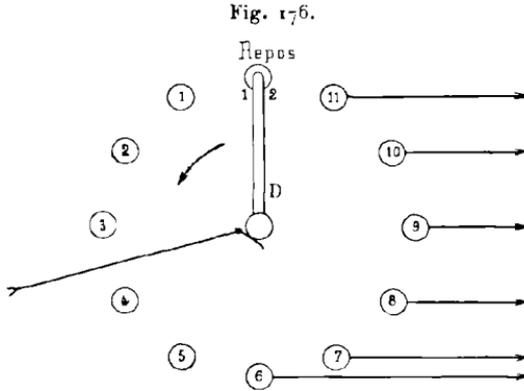


Dispositif de commande à distance de M. Devaux.
Organe du distributeur.

Dans le prolongement de l'axe O' on rencontre un bras D (fig. 176) dont l'extrémité frotte sur la série des plots 1,

(1) *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, juin 1906.

2, ..., 12 et permet ainsi de distribuer le courant amené par l'axe O' dans les douze circuits qui aboutissent à ces plots. L'avancement du distributeur est d'un plot à chaque excitation de l'électro-aimant E ; ces excitations sont commandées par un train d'ondes agissant sur un cohéreur et mettant en



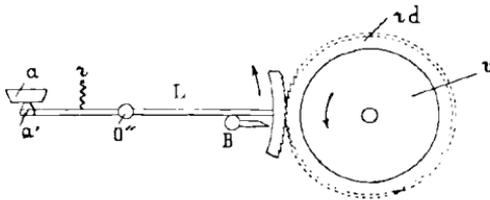
Dispositif de commande à distance de M. Devaux.
Distributeur.

marche un relais. L'organe manipulateur est réglé de manière que les émissions d'ondes soient régulières et conservent un rythme déterminé, se produisent par exemple tous les intervalles de temps t .

Le retard à la commande est assuré par le dispositif suivant qui ne présente pas la simplicité et la sécurité de celui de M. Gabet. Le bras B (*fig. 175 et 177*) vient à chaque attraction de l'armature A conduire le levier L (*fig. 177*) hors de sa position de repos et coupe ainsi le contact aa' . Tant que bat cette armature A le levier L est donc constamment rejeté hors de la position de commande, mais tend à y revenir par l'action du ressort r . On retarde le temps du retour au contact en disposant à l'extrémité opposée au contact aa' une petite crémaillère qui engrène avec la roue dentée rd , vient s'engrèner avec cette denture quand le levier L est hors de sa position de repos. Pendant le retour de ce levier la crémaillère entraîne donc la roue dentée qui, alourdie par le volant v ,

oppose au mouvement une inertie réglable et impose, par suite, à la chute du levier L un temps appréciable et réglable t' . On fait en sorte que cette durée t' soit notablement plus élevée

Fig. 177.



Dispositif de commande à distance de M. Devaux.
Retard à la commande.

que la durée t qui sépare deux émissions de trains d'ondes.

Pendant la série des battements de l'armature et l'avancement du distributeur, le commutateur reste donc à circuit ouvert, mais quand l'armature est arrêtée, c'est-à-dire lorsque le distributeur est arrivé au plot de la commande désirée, le commutateur prend le temps de tomber au contact et la commande s'effectue.

Ce qui donne au dispositif de M. Devaux, qui semble ne pas s'être préoccupé ni du contrôle de la commande désirée, ni de la préservation de commandes perturbatrices, un certain intérêt, c'est que ce dispositif aurait été réalisé et que des expériences auraient été faites dans des conditions peu éloignées des conditions de la pratique réelle.

L'appareil était à douze commandes. Un tour complet du distributeur s'effectuait en 2 secondes.

L'engin, qui déplaçait 6700^{kg}, était constitué par deux cylindres en tôle aux extrémités coniques. Le cylindre supérieur (9^m, 0^m, 45 de diamètre) servait de flotteur à l'ensemble, il supportait deux petits mâts auxquels étaient fixées l'antenne réceptrice à cinq conducteurs de 3^m de hauteur et des lampes s'allumant pour les sorties de nuit. Les mâts et leurs lampes servaient ainsi à déterminer l'alignement et la distance de l'engin. Le cylindre inférieur (11^m, 1^m de diamètre) renfermait

le tube lance-torpille et sa torpille Whitehead 450^{mm}, la batterie d'accumulateurs Fulmen de 450 ampères-heures (débit maximum 100 ampères), les moteurs de propulsion et de direction et leurs accessoires.

On pouvait effectuer neuf commandes différentes, trois des plots du distributeur se trouvaient être ainsi des plots de repos.

Le poste de commande situé à terre était muni d'une antenne de 15^m à cinq conducteurs.

Les essais ont eu lieu au large du port d'Antibes de janvier à mars 1906, dans un rayon de 400^m à 1800^m et auraient donné toute satisfaction. On ne paraît pas, toutefois, s'y être préoccupé de moyens de contrôle permettant de s'assurer qu'une commande déterminée n'ait pas été suivie d'un raté et permettant de connaître à chaque instant, d'une manière sûre, la position qu'occupe le bras du distributeur sur la série des plots de commande. Les dispositifs propres à se mettre à l'abri ou à contrarier des commandes perturbatrices ne paraissent pas non plus avoir été réalisés au cours des essais faits avec l'engin de M. Devaux.



CHAPITRE XI.

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A L'ÉTUDE DES ORAGES.

Le problème de l'étude des orages peut être envisagé à deux points de vue bien distincts.

Le premier point de vue consiste à déterminer à l'avance les conditions de formation d'un orage et à annoncer qu'elles sont réalisées, que par suite l'orage est en voie de formation et va naître. Dans l'état actuel de nos connaissances en météorologie, on ne peut énoncer relativement à la question envisagée à ce point de vue que des observations d'ordre très général. Nos connaissances relativement à la formation des orages sont encore trop vagues pour que nous soyons susceptibles de préciser dans chaque cas particulier que les conditions de cette formation sont réalisées. C'est d'ailleurs, sans nul doute, par l'étude des orages au moyen des dispositifs qui vont être décrits, que nous pouvons espérer résoudre le problème ainsi posé. La comparaison des données obtenues par cette étude avec celles fournies par d'autres études météorologiques pourra, vraisemblablement, augmenter suffisamment nos connaissances pour nous permettre d'aborder le problème envisagé à ce point de vue général.

Le second point de vue auquel on peut se placer relativement au problème de la prévision des orages, est celui qui va retenir ici notre attention : un orage étant formé en une région de l'atmosphère, est-il possible, dès sa naissance, que, de points même fort éloignés du lieu de sa production, l'on puisse être averti de sa formation. Pourra-t-on suivre sa marche de manière à savoir si l'orage formé se rapproche ou s'éloigne du lieu d'observation ?

La solution du problème ainsi envisagé (qui est plus exactement celui de l'annonce de l'orage) peut présenter dans cer-

tains cas, un très grand intérêt pratique. Sans insister, pour l'instant, sur cet intérêt, nous signalerons l'utilité que cette solution présente au point de vue purement météorologique.

Premières observations de Popoff. — L'un des premiers expérimentateurs qui ait utilisé le cohéreur à des expériences de communications télégraphiques sans fil, Popoff, songea à se servir du même tube à limaille comme appareil d'observation des orages.

Popoff (1) crut pouvoir déduire du fait que des cohéreurs attelés à des antennes de réception (véritables paratonnerres) étaient influencés par les décharges atmosphériques, que, suivant les prévisions de M. O. Lodge, les décharges atmosphériques présentaient le caractère de décharges oscillantes. Nous savons aujourd'hui qu'un cohéreur n'est pas seulement sensible aux seules décharges oscillantes, aussi cette conclusion ne peut elle être acceptée d'une manière aussi exclusive. Quoi qu'il en soit, le fait qu'un cohéreur est sensible aux décharges électriques d'origine atmosphérique, qu'elles soient ou non oscillantes, légitime l'emploi de cet instrument pour l'étude des orages.

Expériences de M. Boggio Lera. — M. Boggio Lera (2) a cherché à inscrire les indications du cohéreur de manière à se rendre compte si l'orage annoncé s'éloignait ou s'avancait du lieu d'observation. Il associait à cet effet au cohéreur une suite de relais de sensibilités différentes. Le dispositif qu'il imagina ainsi sous le nom d'*électroradiographe* permettait, lorsque les décharges atmosphériques devenaient de plus en plus intenses, d'actionner un nombre de relais de plus en plus grand.

Ce dispositif est représenté schématiquement par la figure 178. Il comprend un fil d'antenne F muni d'un para-

(1) POPOFF. *Journal de la Société physico-chimique russe*, vol. XXVIII-XXIX, 1896.

(2) BOGGIO LERA, *Atti della Accademia Gioenia di Siena di Catania*, 20 janvier 1900.

tonnerre *s* et relié à l'une des électrodes d'un cohéreur *C* mis au sol par une autre électrode. En dérivation sur le cohéreur était une pile *P* de 1 élément Leclanché, et un relais Hipp.

Fig. 178.

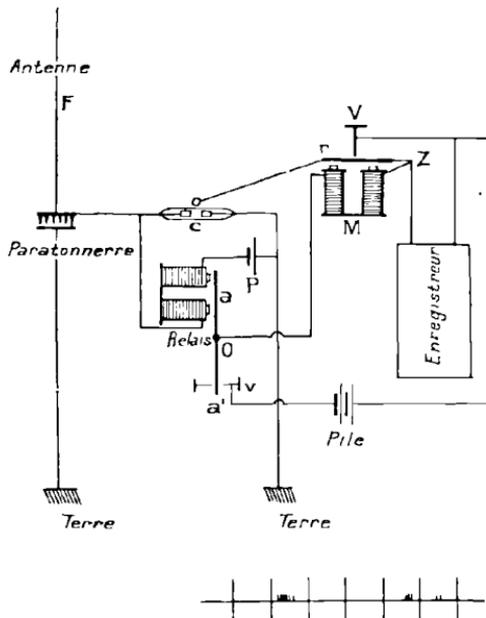


Schéma du dispositif de M. Boggio Lera pour l'enregistrement des décharges atmosphériques.

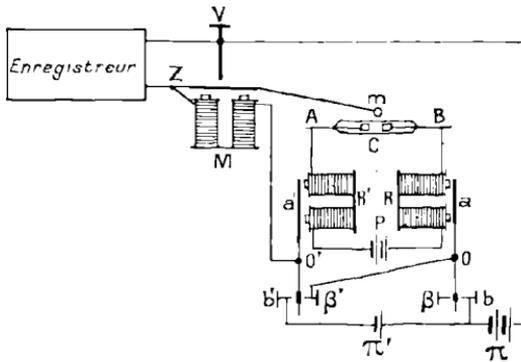
Ce relais fermait le circuit d'une pile à trois éléments Radiguet qui faisait fonctionner le frappeur *M* et l'enregistreur. On peut se dispenser de disposer une résistance non inductive entre *V* et *Z*, puisque la bobine de l'électro-aimant de l'enregistreur remplit ce rôle et empêche le trouble que pourrait apporter dans le circuit du cohéreur l'étincelle du trembleur du frappeur.

L'enregistreur était du type Richard à levier muni d'un style inscripteur se déplaçant à la surface d'un cylindre mobile.

M. Boggio Lera a employé un dispositif schématisé dans la

figure 179 et qui lui permettait d'enregistrer d'une manière différente les faibles ou les fortes décharges atmosphériques. A cet effet, le cohéreur C fermait le circuit de deux relais R et R'

Fig. 179.



Dispositif d'enregistreur de M. Boggio Lera pour différencier les fortes et les faibles décharges atmosphériques.

disposés en série avec une pile P de 1 volt, 4. Les palettes a et a' de ces relais étaient connectées comme l'indique la figure avec deux piles π et π' dont l'effet pouvait s'ajouter ou non dans le circuit de l'enregistreur.

L'un des relais R fonctionnait dès que la résistance du cohéreur C devenait inférieure à 1000 ohms. C'était le relais le plus sensible. L'autre relais R' ne fonctionnait que si la résistance du cohéreur tombait au-dessous de 10 ohms; il était réservé à l'enregistrement des fortes décharges. Lorsque R seul fonctionne, le circuit $\pi b O \beta' O' M Z V \pi$ est fermé et la pile π seule actionne le frappeur. Au moment de la séparation du butoir V et de la palette Z de frappeur, le courant de π actionne la plume de l'enregistreur qui trace sur le cylindre une ligne verticale d'environ 0^{mm},5 de largeur. Si une forte décharge atteint le cohéreur, les deux relais R et R' fonctionnent et c'est alors le circuit $\pi \pi' b' O' M Z V \pi$ qui est fermé. Les deux piles π et π' ajoutent leurs actions sur l'électro-aimant du frappeur qui doit frapper plus violemment et plus longtemps le cohéreur pour le décoherer et, par suite, la plume de

l'enregistreur se trouve plusieurs fois successivement actionnée et trace un trait vertical à la surface du cylindre qui atteint 2^{mm} d'épaisseur.

M. Boggio Lera a constitué de cette manière un dispositif à trois relais et à trois sortes d'inscriptions classant les décharges atmosphériques en trois groupes : faibles, moyennes et fortes.

Au cours des essais que fit le professeur italien en octobre et novembre 1898, il constata qu'à chaque éclair vu au loin, accompagné ou non de bruit du tonnerre, quelque fût l'état du ciel, la palette du frappeur donnait deux ou trois coups sur le tube du cohéreur. L'appareil signalait ainsi non seulement les éclairs visibles, mais aussi les décharges lointaines et invisibles.

Au point de vue des éclairs dits *de chaleur*, M. Boggio Lera signale que, chaque fois que dans un ciel serein apparaissait un nuage dense en quelque point, aussitôt l'appareil signalait des décharges électriques. La plupart du temps un tel symptôme était suivi, peu d'heures après, d'un obscurcissement du ciel et de l'arrivée d'un orage. Ces résultats incitèrent M. Boggio Lera à utiliser son appareil enregistreur de décharges électriques comme prévisseur d'orages. C'est ainsi qu'il put observer et enregistrer la marche des orages qui se sont produits durant l'été de 1899 dans la région avoisinant Catane (Sicile) et de plus prévoir, quelques heures à l'avance, leur arrivée.

Expériences de M. Tommasina. — En 1900 M. Th. Tommasina ⁽¹⁾ a utilisé le cohéreur auto-décohérent à poudre de charbon qu'il a imaginé, pour l'observation des orages. Comme appareil d'observation il se servait du téléphone. Une pile sèche, un cohéreur et un téléphone placés à la suite les uns des autres formaient un circuit, relié d'une part au conducteur servant d'antenne, d'autre part à la terre. Le bruit

⁽¹⁾ TH. TOMMASINA, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 26 novembre 1900; *Écl. élect.*, t. XXV, p. 515, 29 décembre 1900.

que l'on perçoit dans le téléphone lorsqu'un orage lointain a lieu, donne l'illusion de se trouver transporté à proximité de l'orage de façon à pouvoir en suivre toutes les phases. Toutefois, ce dispositif ne laisse aucune trace de l'orage étudié et oblige l'observateur à une attention soutenue pendant toute la durée du phénomène qui doit être observé dans un local éloigné de tout bruit.

Le cohéreur est constitué par deux électrodes en charbon, formés de petits cylindres de 4^{mm} de diamètre détachés d'un charbon de lampe à arc. Des fragments, obtenus par écrasement du même charbon et séchés en les faisant rougir à la flamme, constituent la limaille de charbon employée. Les fragments doivent avoir de 0^{mm}, 2 à 0^{mm}, 3 de diamètre. L'espace entre les électrodes ne doit pas dépasser 1^{mm} et doit être à moitié rempli.

Le conducteur des ondes était constitué dans les expériences de M. Tommasina par une série de trois fils de cuivre partant d'une fenêtre du laboratoire (situé à 6^m du sol) et s'élargissant en éventail jusqu'à une terrasse ouverte de tous côtés. Les fils étaient fixés à des isolateurs en verre paraffiné et les extrémité extérieures des fils étaient terminées par des tubes en caoutchouc de manière à ne pouvoir pas être mouillées par la pluie sur les quatre derniers mètres. Les isolateurs se trouvaient à 12^m du sol et à 3^m de distance l'un de l'autre. Les fils avaient chacun 30 de longueur. Dans le laboratoire la mise à la terre était assurée au moyen des conduites d'eau.

Pour éviter tout danger, lorsque l'orage se rapprochait trop on supprimait toute communication avec la terre et avec les fils extérieurs qui demeuraient ainsi isolés à leurs deux extrémités.

Le bruit que l'on perçoit dans le téléphone de ce dispositif (auquel M. Tommasina donne le nom d'*électro-radiophone*), lorsqu'un orage lointain a lieu, donne l'illusion de se trouver transporté à proximité de l'orage de façon à pouvoir en suivre toutes les phases.

(1) TH. TOMMASINA, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 25 novembre 1900.

Nous empruntons à M. Tommasina la description suivante de l'observation d'un orage avec l'électro-radiophone :

« Le 29 septembre, jusqu'à midi, le temps avait été très beau, mais l'électro-radiophone, depuis le matin, continuait à indiquer, par les bruits très variés et de légers chocs très nets, les décharges se produisant certainement à des distances très grandes. Vers 2 heures, la sonnerie se fit entendre et, dans le téléphone, j'écoutais des bruits de plus en plus énergiques. Il y en avait qui ressemblaient à certains coups de tonnerre prolongés; c'étaient des décharges nombreuses très rapprochées et d'intensité variable. Ensuite la sonnerie donna des signaux moins distants entre eux, et à 3^h, 30 j'ai dû la mettre hors circuit; elle ne s'arrêtait plus de sonner. Les éclairs devinrent visibles, de gros nuages commençaient à se former un peu partout, aucun tonnerre ne s'entendait encore, mais dans le téléphone les bruits toujours plus intenses se modifièrent tout à coup; j'entendais comme un crépitement très serré, égal et continu; quelques instants après, la pluie commença, et en même temps le premier coup de tonnerre se fit entendre très énergiquement. J'avais à peine enlevé les communications qu'un orage d'une force inouïe éclata; des trombes d'eau balayèrent les rues, les éclairs se suivaient presque sans interruption, et la foudre tomba en plusieurs endroits très proches. Plus tard j'ai pu encore écouter dans mon appareil les dernières décharges très lointaines jusqu'à leur complète disparition.

» Lorsque le temps changeait sans qu'il y eut d'orage, j'entendais cependant toujours le crépitement caractéristique que je viens de mentionner, fait que j'ai constaté même 12 heures avant la tombée de la pluie. »

Expériences de M. Fenyi. — En 1902 M. J. Fenyi ⁽¹⁾ a utilisé le cohéreur qu'il a imaginé et qui se compose de deux aiguilles à coudre disposées en croix à l'observation des orages. Le Directeur de Haynald-observatoire a pu ainsi suivre et étudier

(¹) J. FENYI, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 27 janvier 1902; *Écl. élect.*, t. XXX, p. 228, 8 février 1902.

tous les orages qui, pendant l'été de 1901, se sont produits dans un rayon de 100^{km} autour de Kaloska (Hongrie).

En réunissant le cohéreur à aiguilles des deux côtés avec la terre et avec un conducteur isolé très long on obtient un appareil qui signale les orages lointains. En insérant dans ce circuit parallèlement avec la sonnerie un enregistreur à électro-aimant on peut enregistrer les décharges atmosphériques. M. Fenyi a fait des expériences sur la sensibilité d'un semblable dispositif aux décharges atmosphériques. Il a constaté qu'elle est déterminée par la longueur du conducteur isolé qui remplace l'antenne. Un appareil comprenant un conducteur de 360^m donnait dix fois plus d'indications qu'un autre dont le conducteur était de 26^m et qui était employé simultanément.

Indépendamment de ces applications directes du cohéreur à l'observation des orages, nous devons noter que tous les expérimentateurs qui ont établi des communications par les procédés de la télégraphie sans fil, ont constamment observé que, pendant les orages, leurs dispositifs récepteurs sont influencés par les décharges atmosphériques. Leurs appareils enregistrent alors des télégrammes atmosphériques dont les signaux leur permettent jusqu'à un certain point, par leur composition et leur espacement, de suivre les phases de l'orage qui les a produits.

Expériences de M. Turpain. — *Première série d'expériences.*

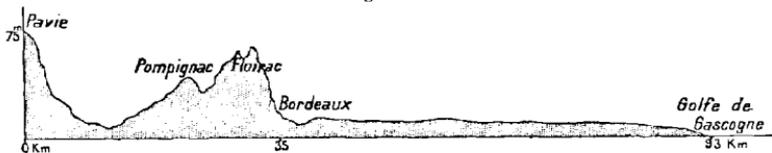
— Nous avons eu l'occasion, en 1902, d'installer des dispositifs de prévision d'orage que nous allons décrire. Cette installation, qui a été faite sous les auspices du Syndicat agricole de Saint-Émilion (Gironde), avait pour but principal de compléter les moyens de défense contre la grêle par le tir au canon, moyens que les propriétaires de Saint-Émilion emploient avec quelque succès, paraît-il, depuis plus de 8 ans.

L'antenne était soutenue au moyen d'un mât disposé au point le plus élevé du domaine de Château-Pavie au sommet d'un tertre contre lequel était disposé le poste d'observation.

Le choix du point culminant de Château-Pavie était particulièrement heureux. Dans la région de Bordeaux, en effet, les

orages affectent une direction assez constante. En nous référant aux observations des orages de cette région réunies avec un très grand soin et pendant de nombreuses années par Lespiault, doyen de la Faculté des Sciences de Bordeaux, nous savions que les orages se déplacent d'une manière presque constante dans la direction de l'O. S. O.-E. N. E. En particulier les orages qui assaillent le plus ordinairement Saint-Émilion naissent vraisemblablement dans le golfe de Gascogne, abordent la côte vers Arcachon, traversent Bordeaux se dirigeant sur Libourne, Saint-Émilion pour se perdre dans le département de la Dordogne. L'orage met en moyenne 2 heures pour traverser le département de la Gironde, d'Arcachon à Saint-Émilion. Afin de nous rendre compte des obstacles qui se trouvent placés sur le trajet habituel de l'orage, nous avons tracé la coupe du terrain dans la direction O. S. O.-E. N. E. depuis le mât disposé à Château-Pavie jusqu'à la mer. Le pied du mât de Pavie se trouve à 75^m au-dessus du niveau de la mer et, ainsi que le montre le graphique représentant cette coupe de terrain (*fig. 180*) sur une longueur de 93^{km} environ,

Fig. 180.



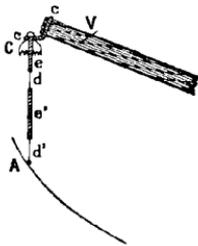
Coupe du terrain dans la direction O. S. O.-E. N. E.

un seul coteau (Cenon), de peu de largeur d'ailleurs et d'altitude inférieure à celle de Pavie (68^m), se trouve interposé. Il n'était donc pas à craindre que les ondes d'origine atmosphérique soient assez notablement absorbées par d'importants rideaux d'arbres et de coteaux. Il semble, au contraire, qu'elles peuvent atteindre l'antenne disposée à Pavie, et cela dès leur production dans le golfe de Gascogne. A ce point de vue, la station choisie pour disposer l'antenne pouvait être considérée comme très favorablement placée.

Le mât, d'une hauteur de 15^m, permettait de hisser à son

sommet une vergue de 7^m de longueur, à l'une des extrémités de laquelle était fixée l'antenne. Cette fixation est faite avec de très grandes précautions d'isolement. A cet effet, une cloche de porcelaine C à fort isolement (*fig. 181*) est fixée par un col-

Fig. 181.



Suspension de l'antenne.

Fig. 182.

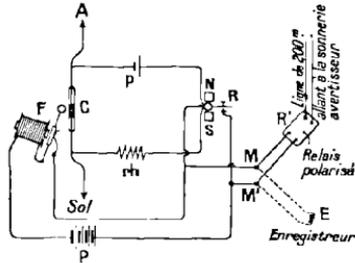


Schéma des connexions du poste.

lier *c* à l'extrémité de la vergue *V*. Une tige d'ébonite *e* est soudée au soufre dans l'axe de la cloche; cette tige soutenait une cordelette paraffinée *d* qui retient une seconde tige d'ébonite *e'* de 30^{cm} de longueur à laquelle est attachée l'extrémité du conducteur *A* servant d'antenne, au moyen d'une cordelette paraffinée *d'*.

L'antenne a été constituée successivement par un fil de cuivre nu de 2^{mm} de diamètre, et par une bande de toile métallique de 50^{cm} de largeur. L'élévation de la vergue soutenant l'antenne, et la disposition du poste d'observation au-dessous du terte au sommet duquel le mât était fixé permettait de donner à l'antenne une longueur de 28^m. L'antenne pénétrait dans le poste en passant à travers une glace de 50^{cm} de hauteur et de 38^{cm} de largeur, au centre de laquelle elle est fixée par deux pièces de cuivre formant écrou, à chacune desquelles est soudé le fil conducteur.

Les appareils installés dans le poste d'observation, qui constituaient le dispositif récepteur des ondes d'origine atmosphérique, sont représentés schématiquement dans la figure 182.

L'antenne *A* était reliée à l'une des électrodes d'un cohéreur *C* dont l'autre électrode était reliée au sol. Cette commu-

nication avec le sol était assurée au moyen d'un câble de paratonnerre enterré dans le sol et qui aboutit au fond d'un puits situé à 80^m environ du poste. Ce paratonnerre, établi avec toutes les précautions usuelles, constituait une condition de sécurité indispensable, un coup de foudre pouvant, en effet, frapper l'antenne.

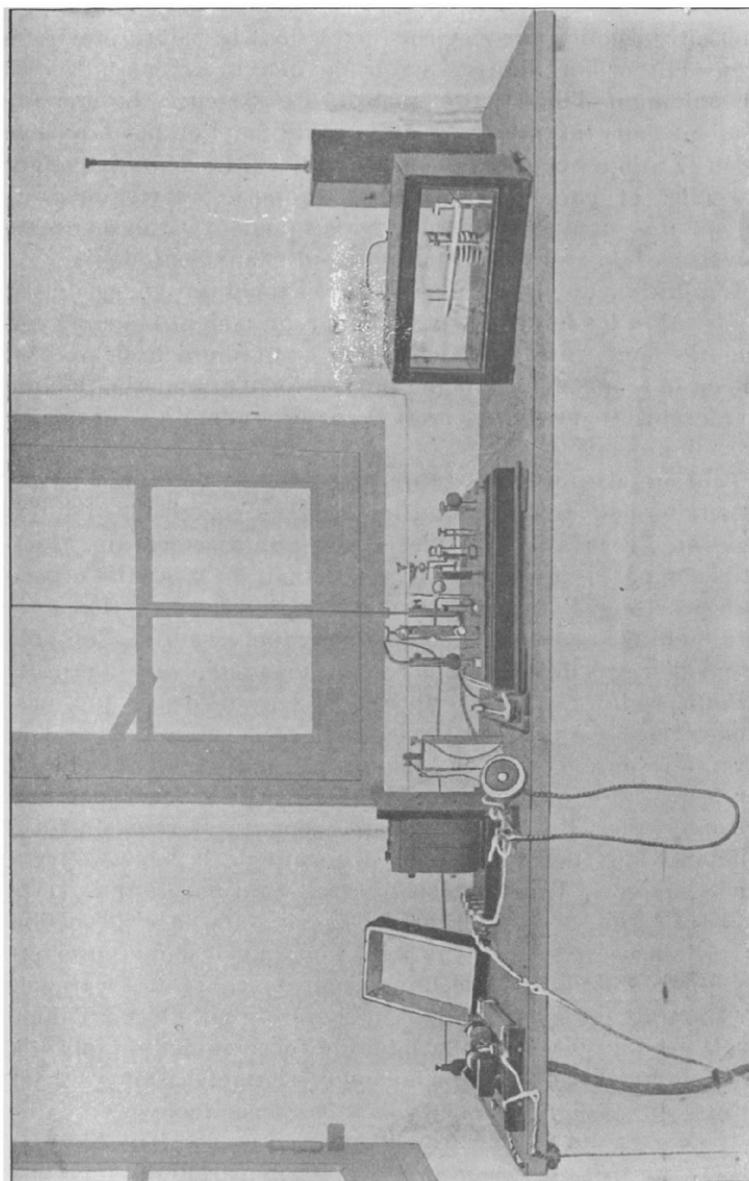
En dérivation sur le cohéreur était inséré un circuit comprenant un élément de pile p et le cadre mobile d'un relais Claude R. Lorsque le relais était actionné, sa palette fermait le circuit d'une pile P qui actionnait le frappeur F, chargé de décoherer par choc le cohéreur.

Cette même pile P était chargée de faire fonctionner l'avertisseur.

Comme le poste d'observation se trouvait assez éloigné des habitations, il était nécessaire que l'avertisseur soit disposé assez loin de ce poste. Cet avertisseur était constitué par une forte sonnerie reliée au poste par une ligne télégraphique de 200^m environ. Le relais Claude commandait un relais polarisé R' qui lui-même mettait en action la sonnerie. On ne pouvait songer, en effet, à actionner directement la sonnerie par le relais Claude, étant donnée la délicatesse du contact de ce relais et l'intensité du courant nécessaire au fonctionnement de la sonnerie avertisseur qui donnait naissance, à chaque rupture, à une assez forte étincelle.

Chaque fois que le cohéreur était influencé par une décharge atmosphérique lointaine la sonnerie avertisseur était actionnée. En général, tant que les appels étaient peu fréquents et non prolongés, ils correspondaient à un orage assez éloigné, et ne devaient faire qu'attirer l'attention. S'ils devenaient fréquents et prolongés ils correspondaient à un orage qui se rapprochait et qui, vraisemblablement, atteindrait le lieu d'observation. On pouvait se débarrasser des appels isolés qui sont susceptibles de déranger inutilement les personnes chargées de surveiller l'avertisseur. Il suffisait, à cet effet, de faire commander la sonnerie par un dispositif spécial qui ne la mettait en action que lorsque le cohéreur était impressionné d'une manière fréquente et prolongée. On y arrivait aisément de la manière suivante : chaque chute de résistance du cohéreur

Fig. 183.



Appareils du poste.

mettait en action un électro-aimant dont la palette ouvre un très petit orifice d'un réservoir de mercure et permet ainsi l'écoulement d'une petite quantité de mercure. Ce mercure tombait dans un entonnoir effilé porté par l'un des bras d'un fléau de balance convenablement équilibré. Le fléau ne pouvait basculer, et par là actionner la sonnerie avertisseur, que lorsqu'une quantité de mercure correspondant à trois ou quatre ouvertures du réservoir, était contenue dans l'entonnoir.

L'inflexion du fléau et par suite l'appel ne se produisait donc que si les impressions du cohéreur avaient été assez fréquentes pour que l'entonnoir, dont était muni le fléau, n'ait pas eu le temps entre chaque impression d'évacuer la quantité de mercure reçue du réservoir et correspondant à l'impression précédente.

Tout en laissant le cohéreur susceptible d'actionner l'avertisseur on pouvait également le charger d'inscrire les impressions qu'il recevait. Cette inscription qui, associée aux dispositifs d'appel ci-dessus décrits, constituait un très utile organe d'un prévisseur d'orages disposé dans le but de protection agricole, peut être considéré comme l'organe essentiel d'un prévisseur d'orages destiné à des recherches météorologiques.

Pour produire cette inscription dans le dispositif que nous avons organisé à Château-Pavie, nous nous sommes servi d'un baromètre enregistreur de Richard. L'enregistrement se faisait sur le cylindre même qui sert à l'inscription des pressions barométriques. Un style commandé par un électro-aimant E relié aux deux bornes MM' du dispositif de la figure 3, trace sur le papier de l'enregistreur un trait continu. Ce trait, sorte de ligne de foi, dessine un arc de la circonférence de section du cylindre enregistreur, et cela tant que le cohéreur n'est pas impressionné. Chaque impression du cohéreur se traduit par un trait perpendiculaire à la ligne de foi. On peut donc savoir par l'inspection de la ligne de foi, combien de fois et à quels moments le cohéreur a été impressionné. Il est intéressant de faire en sorte que les courbes tracées par le style du baromètre et par celui de l'électro-aimant se correspondent. L'observation d'un très grand nombre de courbes parallèles ainsi tracées peuvent permettre, sans nul doute, d'utiles comparaisons.

Les divers appareils que nous venons de décrire sont représentés tels qu'ils ont été disposés dans le poste d'observation de Pavie, dans la figure 183.

La figure 184 donne une vue de l'ensemble de l'installation.

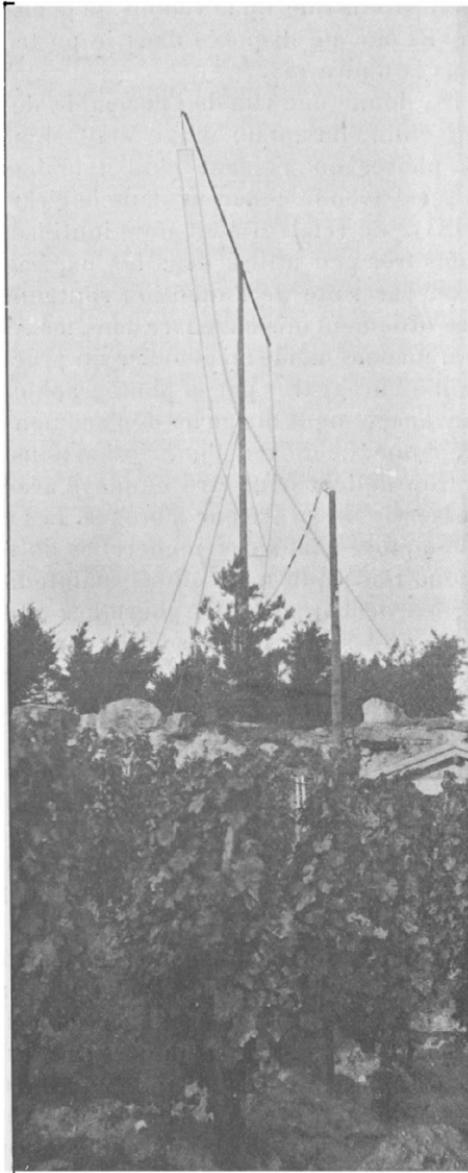
On pouvait enfin, lorsqu'un orage était signalé, en suivre les diverses phases en s'aidant d'un téléphone seulement intercalé en série avec le cohéreur dans le circuit de la pile p (fig. 182 et 183). Le relais R était alors inutilisé. Ce procédé, que nous avons très peu utilisé dans les expériences faites à Château-Pavie, par suite de l'attention soutenue qu'il nécessite, peut être utilement mis en œuvre dans les recherches météorologiques. On peut même lui associer un procédé d'inscription consistant à enregistrer par la photographie d'un faisceau lumineux convenablement dirigé les déplacements de la membrane du téléphone. Ce moyen d'inscription nous paraît cependant un peu trop délicat pour être employé avec un cohéreur chargé de desservir un prévisseur d'orages. Les cohéreurs qui doivent être employés dans ces recherches doivent répondre à certaines conditions que nous allons maintenant examiner.

En réalité, les décharges atmosphériques que le cohéreur d'un dispositif prévisseur d'orages est chargé de déceler peuvent être comparées aux décharges que l'on produit entre les deux sphères d'un transmetteur de télégraphie sans fil, à cela près que ces décharges atmosphériques se produisent avec une mise en jeu d'énergie extrêmement grande, comparée à celle utilisée dans les dispositifs de télégraphie sans fil.

On est donc amené à se servir pour les prévisseurs d'orages de cohéreurs bien moins sensibles que ceux utilisés en télégraphie sans fil.

Les cohéreurs très sensibles sont, en effet, capables de déceler des décharges atmosphériques par trop lointaines pour être rapportées à des orages susceptibles d'atteindre le lieu d'observation. De plus, ils offrent l'inconvénient qu'alors même que l'orage est encore assez éloigné, l'action des décharges est assez violente pour mettre hors d'usage le cohéreur qui doit être tenu d'autant mieux à l'abri des puissantes décharges qu'il est plus sensible. Cet effet nuisible de l'orage sur les

Fig. 184.



Vue de l'installation.

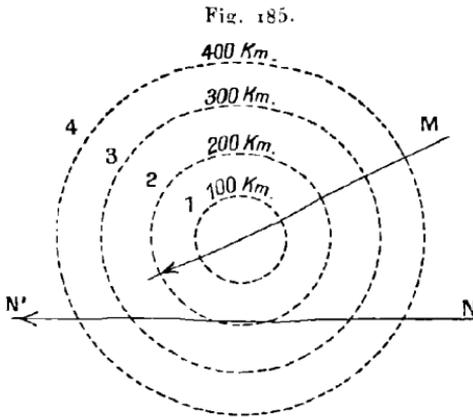
cohérents, qu'ils soient sensibles ou non, explique le fait suivant, fréquemment observé : quand un cohérent a fonctionné pour signaler un orage et qu'il n'a pas été soustrait suffisamment à temps aux décharges atmosphériques, par son insertion dans un étui métallique, on constate qu'il a perdu toute sensibilité. On doit donc vérifier la sensibilité du cohérent après chaque orage en le soumettant, par exemple, aux ondes produites par un radiateur portatif constitué par un simple trembleur.

Nous avons utilisé avec le plus de succès le cohérent magnétique de M. Tissot, tel que le construit M. O. Rochefort. On le disposait sur un des récepteurs de télégraphie sans fil, que cet habile constructeur a réalisé pour le service de la marine et que M. O. Rochefort avait très aimablement mis à notre disposition. Ce récepteur est muni d'un frappeur convenablement shunté. Il est représenté dans la figure 179 au-dessous de la glace dont le centre est traversé par l'antenne. Dans le circuit du cohérent se trouve intercalé un rhéostat qui permet de donner au circuit une résistance convenable.

Le procédé d'inscription que nous avons décrit ci-dessus peut être utilisé non seulement pour permettre de savoir si le cohérent a été impressionné, mais encore pour suivre d'une manière au moins approchée la marche d'un orage. Il faut alors disposer un certain nombre de cohérents de sensibilité différente et qui vont en croissant. Tous ces cohérents ont l'une de leurs électrodes réunie à l'antenne et l'autre au sol. Au lieu d'utiliser un nombre de relais égal à celui des cohérents on peut se servir d'un galvanomètre aperiodique sensible dont les déviations sont d'autant plus grandes que le nombre des cohérents impressionnés est lui-même plus grand. Il est aisé de faire en sorte que ces déviations différentes soient utilisées pour actionner au moyen d'un nombre convenable d'électro-aimants autant de styles inscripteurs qu'on utilise de cohérents.

Si l'on emploie quatre cohérents que nous désignerons par 1, 2, 3 et 4 et dont les sensibilités sont telles qu'ils puissent être impressionnés par des décharges d'origine atmosphérique se produisant à 100^{km} , 200^{km} , 300^{km} , 400^{km} du poste d'observa-

tion, on conçoit que l'observation des tracés produits par les quatre styles inscripteurs correspondant aux quatre cohéreurs permettent de savoir si l'orage annoncé comme éclatant à 400^{km} du lieu d'observation s'approche du lieu d'observation en se dirigeant sur lui ou s'il suit une direction qui ne l'en approche que momentanément. Si l'orage suit la direction MM' (fig. 181), les cohéreurs 4, 3, 2, 1 seront successivement impressionnés et ces impressions successives seront annoncées par l'observation des tracés correspondant à ces quatre cohéreurs. Ces tracés présenteront des indices d'impression à des époques différentes et de plus en plus rapprochées à partir du tracé relatif au cohéreur 1 jusqu'au tracé relatif au cohéreur 4. Si l'orage a cheminé suivant NN' (fig. 181), la lecture des tracés relèvera l'impression succes-



sive des cohéreurs 4, 3, 2, puis 3 et enfin 4, indiquant ainsi que l'orage, après s'être approché du prévisseur jusqu'à entrer dans la zone comprise entre 100^{km} et 200^{km}, s'en est ensuite éloigné.

Pour terminer cette étude de l'application du cohéreur à la prévision des orages, nous indiquerons les résultats que nous avons obtenus à l'aide du dispositif qui a été installé à Saint-Émilien.

Les accidents qui sont inévitables dans toute période d'installation et d'essai ne nous ont pas permis de pouvoir observer

tous les orages qui se sont produits dans la région depuis l'installation faite à Château-Pavie le 19 juin 1902. Sur cinq orages qui, dans la période s'étendant du 19 juin 1902 au 5 août 1902, ont atteint Saint-Émilion, trois seulement se sont produits alors que le prévisseur était en état de les déceler. Ces trois orages ont été prévus 4 heures, 3 heures et 2^h30^m avant leur arrivée au poste d'observation. De plus, deux orages qui, sans atteindre le poste, se sont produits à quelque distance, ont pu être décelés durant le temps pendant lequel ils étaient le plus rapprochés du lieu d'observation.

Parmi ces diverses observations nous signalerons en particulier celle qui a été faite le jour même où le prévisseur venait d'être installé. A 11^h30^m du matin, l'installation était à peine achevée que le cohéreur était fortement impressionné et nous crûmes tout d'abord devoir rapporter ce fait à une sensibilité exagérée du dispositif. Le ciel, en effet, était très serein et sans aucun nuage à l'horizon. A midi, une sonnerie ininterrompue se fit encore entendre pendant quelques instants. A 1^h, nous entendîmes un premier coup de tonnerre lointain. De 2^h à 3^h de l'après-midi, de fréquents appels se firent entendre. A 4^h l'orage éclatait sur Pavie, et peut-être l'artillerie du domaine et des domaines environnants, qui depuis quelques instants canonisait sans interruption les nuées, prévint-elle la chute de grêle qui paraissait imminente. Au moment où l'orage atteignait le poste, le cohéreur fut placé hors circuit et l'antenne mise en relation directe avec le sol par mesure de sécurité. Lorsque l'orage eut commencé à s'éloigner, il fut possible, en remettant le cohéreur dans le circuit, de suivre son éloignement pendant plus de 1 heure.

Seconde série d'expériences. — Au cours des recherches que nous avons poursuivies dans le but de rendre aussi pratique et aussi complète que possible l'observation des orages par le cohéreur, nous avons étudié les particularités que présente le fonctionnement de plusieurs cohéreurs réunis à une même antenne et associés soit en série, soit en dérivation.

Le fait particulier qui se dégage de cette étude est la bien plus grande sensibilité que présente un cohéreur, toutes

choses égales d'ailleurs, lorsqu'il est en circuit fermé que lorsqu'il est en circuit ouvert.

En utilisant convenablement ce fait expérimental dans le cas de plusieurs cohéreurs associés on peut, en particulier, l'appliquer à la détermination commode et rapide de l'ordre de sensibilité de plusieurs cohéreurs associés en dérivation. Cette détermination a son application immédiate dans la constitution de dispositifs permettant de suivre la marche des orages.

I. OBSERVATION DES ORAGES. — Les dispositifs qui nous avaient servi en 1902, à Saint-Émilien, ont été utilisés en 1903, après avoir subi plusieurs perfectionnements, à l'observation d'orages à l'Observatoire du Puy de Dôme.

Le cohéreur, en actionnant le relais sous l'influence d'une émission d'ondes d'origine atmosphérique, mettait en mouvement, par l'intermédiaire d'un électro-aimant, une plume d'inscripteur qui, disposée parallèlement à celle d'un baromètre enregistreur Richard, permet l'inscription de chaque décharge atmosphérique sur la bande même du baromètre, au-dessous de l'indication de la pression à cet instant. Quand les décharges se succèdent à intervalles très rapprochés, leurs tracés se confondent par suite de la lenteur avec laquelle tourne le cylindre enregistreur. On peut mettre alors le relais en communication avec un électro-aimant inscripteur dont la plume tracera les décharges sur la bande d'un anémomètre qui se déroule d'un mouvement bien plus rapide.

Dans le but de suivre les déplacements mêmes de l'orage, nous avons songé à employer une série de cohéreurs associés et choisis de sensibilités différentes. L'utilisation d'une telle association était légitimée par une étude préalable complète du fonctionnement de cohéreurs voisins et associés.

Ayant déterminé l'ordre de sensibilité de six cohéreurs associés en dérivation, nous pouvions nous rendre compte du nombre de ces cohéreurs, qui se trouvent cohérés après une décharge d'origine atmosphérique, d'après la valeur de l'intensité du courant qui parcourt un galvanomètre sensible, établi dans le circuit comprenant les six cohéreurs en dériva-

tion. Le circuit se trouvait alors comprendre les six cohéreurs en dérivation, dont les six électrodes d'un côté se trouvaient réunies d'une part à l'antenne et d'autre part à un rhéostat de résistance variable ($R = 8000^{\omega}$), à la suite duquel se place le galvanomètre sensible dont la seconde borne est reliée aux six électrodes restées libres des cohéreurs.

Dans ces conditions, l'intensité du courant qui circule dans le galvanomètre, lorsqu'un seul cohéreur est cohéré, ne diffère pas sensiblement de celle qui parcourt le galvanomètre lorsque les six cohéreurs sont cohérés. Cela tient à ce que la résistance d'un cohéreur cohéré est pratiquement négligeable par rapport à la résistance de réglage R de 8000^{ω} . On eût donc été astreint à établir, dans chacune des six dérivations comprenant un cohéreur, une résistance de réglage de 8000^{ω} environ. Cela nécessite six rhéostats de 8000^{ω} à 10000^{ω} chacun et complique le dispositif en le rendant assez coûteux. Nous avons préféré ne nous servir que d'un seul rhéostat, successivement mis en circuit avec chacun des six cohéreurs. Les cohéreurs sont alors disposés de manière à n'être en général cohérés par la décharge atmosphérique qu'en circuit ouvert. Cela diminue beaucoup leur sensibilité, ce qui est un avantage, étant donné que les cohéreurs à limaille sont, en général, plutôt trop sensibles pour l'observation des orages que pas assez sensibles.

Un contact tournant met alors successivement en circuit les six cohéreurs utilisés. L'état de conduction que présentent les cohéreurs peut être connu par la valeur de l'intensité du courant qui parcourt chaque fois le galvanomètre. Cette valeur est enregistrée photographiquement par les déplacements du spot lumineux dû au miroir du galvanomètre sur une bande de papier sensible qui se déroule d'un mouvement continu.

Lorsque chaque cohéreur a été alors interrogé par le passage du contact tournant, on doit produire la décohération des cohéreurs, afin d'être assuré que la décohération relevée au cours d'une nouvelle consultation des cohéreurs est bien due à l'action d'une nouvelle décharge atmosphérique. Non seulement on doit assurer l'efficacité de cette décohération, mais il est essentiel d'être renseigné, au moment où l'on va

relever à nouveau l'état électrique des cohéreurs, sur leur conduction et d'être assuré qu'ils ont bien été décochés, sans quoi les cohérations relevées pourraient être attribuées à l'effet de décharges antérieures. Il arrive en effet, fréquemment, que des décharges atmosphériques cohèrent assez fortement des cohéreurs pour que la frappe, même énergique, se montre impuissante à produire la décohération. Il est essentiel d'être averti du moment où ce phénomène se produit, moment à partir duquel le dispositif cesse de fournir des indications certaines.

La figure 182 montre par quel mécanisme simple le dispositif imaginé peut fournir les divers renseignements en question.

Fig. 186.

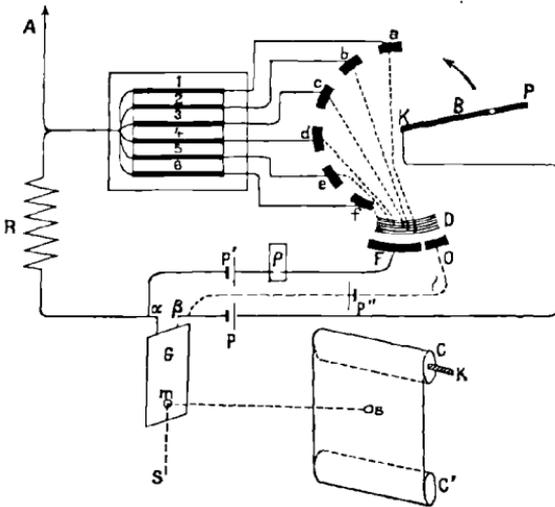


Schéma du dispositif de M. Turpain pour l'étude des orages.

Le galvanomètre utilisé G était du type Chauvin et Arnoux, très sensible et pouvant assez aisément donner le $\frac{5}{1000}$ de microampère. Ce galvanomètre était enfermé dans une chambre noire ainsi qu'un dévidoir à papier sensible formé de deux cylindres parallèles à axes horizontaux C, C' mus par un mouvement d'horlogerie et qui permettent de faire passer une

bande de papier imprégné de bromure d'argent de l'un des cylindres sur l'autre. L'axe K de l'un des cylindres entraîne le contact tournant B qui passe sur huit contacts échelonnés sur le pourtour d'une circonférence. Six de ces contacts *a, b, c, d, e, f* correspondent à la consultation successive des six cohéreurs 1, 2, 3, 4, 5, 6, associés en dérivation. La durée du contact avec les touches successives *a, b, ...* est très légèrement supérieure au temps que met l'aiguille du galvanomètre à aller du zéro de la graduation à l'extrémité de l'échelle. De cette manière, les cohéreurs sont successivement mis en circuit le moins de temps possible. Lorsque le contact B a épuisé les six touches de cohéreurs, il arrive en communication avec une touche D formée de six lames conductrices isolées les unes des autres par une lame d'ébonite. Ces six lames sont reliées respectivement aux six touches *a, b, c, d, e, f*. Ce n'est pas, à proprement parler, le contact B qui est en communication avec D, mais un pont conducteur P qui se trouve dans la direction même du bras mobile B, faisant corps avec lui, mais isolé de B. Ce pont mobile P établit la communication entre D et F, de telle sorte que, si l'un quelconque des cohéreurs 1, 2, 3, 4, 5, 6 se trouve cohéré, le courant de la pile p' qui le parcourt actionne le relais Claude ρ , lequel provoque la mise en action du frappeur de décohération qui vient heurter la planchette sur laquelle se trouvent disposés les cohéreurs. La durée de la réunion de P et de F est un peu supérieure à celle nécessaire pour provoquer la décohération de cohéreurs assez fortement cohérés. Avant de revenir sur la touche *a*, le bras mobile B amène le pont P en relation avec les deux touches D et O, de manière à fermer le circuit $p''ODR\alpha\beta p''$. Si l'un des cohéreurs se trouve alors cohéré, un courant de sens contraire aux courants précédemment admis dans le galvanomètre G parcourt ce galvanomètre dans le sens $\alpha\beta$ et le spot lumineux *s*, provenant de l'envoi du rayon lumineux, émis par une source S, sur le miroir *m* du galvanomètre, indique ainsi que la décohération a été incomplète.

Si donc le tracé du spot lumineux *s* sur la bande sensible présente des portions situées à gauche de la ligne de foi (les consultations des cohéreurs se traduisent par des élongations

inscrites à droite de la ligne de foi), les indications données par l'appareil après cette incursion du spot à gauche doivent être rejetées, car on n'est plus sûr que les cohéreurs se soient tous complètement décohéérés. Le tracé de la ligne de foi est très nettement produit sur la bande pendant tout le temps que met le bras mobile à aller de D à a . On peut donner à la vitesse de rotation du bras B une valeur telle que chaque tour dure de 2 minutes 30 secondes à 3 minutes; la durée des contacts avec les touches a, b, \dots n'a pas besoin d'excéder 5 secondes; elle peut d'ailleurs être encore réduite. De cette manière, les cohéreurs ne demeurent en circuit que 30 à 35 secondes par tour, c'est-à-dire pendant le $\frac{1}{3}$ du temps. On a donc cinq chances contre une pour qu'une décharge atmosphérique ne se produise pas lorsqu'un des cohéreurs est en circuit fermé. Si toutefois la chose a eu lieu, il est aisé, au dépouillé de la bande, de le reconnaître. En particulier, si un des cohéreurs b, c, d, e, f se montre cohéré alors que a ne l'est pas, et en général si un cohéreur se trouve cohéré alors que ceux qui sont plus sensibles que lui ne le sont pas, c'est qu'il l'a été à la faveur de la coïncidence entre sa mise en circuit fermé et l'époque de la décharge qui l'a cohéré. D'ailleurs il est toujours possible d'interpréter les résultats trouvés au dépouillement, en ayant soin d'établir l'exacte concordance entre le temps marqué par l'appareil et celui qu'indique un enregistreur à cohéreur unique (plus sensible que le plus sensible des cohéreurs 1 à 6). Toutes les décharges étant enregistrées, quelles que soient leurs distances, par l'enregistreur à cohéreur unique (bande d'anémomètre par exemple), on peut toujours savoir à quel point de son parcours se trouvait le bras B lors de la décharge considérée et ne tenir compte que des décharges s'étant produites alors que B était entre O et a . La comparaison des inscriptions provenant de plusieurs décharges successives produites durant cet intervalle de temps favorable permettra de savoir si le météore s'est éloigné ou approché du lieu d'observation.

Résultats. — Les expériences qui ont été faites à l'Observatoire du Puy de Dôme, où M. Brunhes, l'aimable directeur

de l'Observatoire, nous a offert une large hospitalité, ont nécessité deux antennes : l'une E de 16^m de hauteur disposée à l'est de la tour, la seconde O de 15^m,50 disposée à l'ouest. L'antenne O aboutit directement à une des électrodes du cohéreur, dont l'autre est mise au sol par l'intermédiaire d'un câble relié au paratonnerre de la tour; l'antenne E arrive à la même électrode après avoir contourné une partie de la tour. De cette façon, l'une au moins des antennes se trouvait toujours directement frappée par les ondes et l'on supprimait ainsi l'obstacle que formait la tour.

Le dispositif récepteur se composait d'un récepteur ordinaire de télégraphie sans fil, dans lequel on a remplacé le Morse par un électro-aimant, qu'on fait inscrire sur le tambour d'un baromètre enregistreur à coquilles, de façon que les deux courbes se correspondent. De cette manière, on pouvait observer directement les variations de la pression atmosphérique pendant les manifestations orageuses.

On a pu enregistrer un grand nombre d'orages plus ou moins éloignés. On a enregistré des orages, deux et quelquefois même trois jours avant qu'on en observe directement les décharges, et de cette façon on a pu ainsi être averti très longtemps à l'avance du début d'une période orageuse.

Malheureusement, l'enregistreur demande une surveillance constante et sa sensibilité doit être vérifiée journallement. Pour l'observation d'orages éloignés, on est en effet obligé de rendre le récepteur très sensible; il suffit alors d'une onde un peu plus intense que les autres pour cohérer la limaille, d'une façon telle que le frappeur est insuffisant pour la décohérer. Dans ce cas, il passe alors un courant continu dans les électro-aimants inscripteurs et les piles sont très rapidement polarisées; il faut alors leur laisser un repos assez long pour qu'elles puissent fonctionner de nouveau normalement.

On peut obvier à cet inconvénient en rendant intermittente la mise en circuit du cohéreur et en observant les orages à l'aide d'un cohéreur disposé en circuit ouvert qui ne soit fermé sur le relais que pendant un intervalle de temps suffisant à l'inscription.

C'est dans ce but que nous avons imaginé et fait construire

l'appareil inscripteur à sensibilités graduées que nous venons de décrire. Malheureusement, la très grande humidité qui règne à l'Observatoire du Puy de Dôme ayant fait jouer les boiseries de notre appareil, malgré leur parfaite confection, nous n'avons pu nous livrer qu'à un certain nombre d'essais, mais non pas l'établir d'une manière permanente.

A titre d'indications, nous donnons le relevé suivant fait à l'Observatoire du Puy de Dôme concernant les orages du 17 juin au 13 juillet 1903 :

Dans le *Bulletin* du Bureau central météorologique du 18, on signale un orage de la veille à Biarritz, qui doit probablement correspondre à l'enregistrement du 17.

Dans le *Bulletin* du 19, on signale des orages à Nancy et Rochefort qui doivent probablement correspondre à l'enregistrement du 19, à 6^h du matin.

Le *Bulletin* du 20 mentionne les orages observés le 19, à l'est de Clermont, vers 5^h du soir, et d'autres dans le Midi.

Le *Bulletin* du 21 signale des orages la veille à Paris, Nancy, Besançon et le mont Mounier : enregistrés au Puy de Dôme.

Le *Bulletin* du 22 ne mentionne pas d'orage, mais seulement des pluies de l'Est.

Le 24 juin, on enregistre un orage entre 6^h et 8^h du matin. Le *Bulletin* du Bureau central du 25 en mentionne un la veille à Perpignan.

Le 28 juin, orages dans l'Ouest : non enregistrés.

Le 29, orages locaux faibles : enregistrés.

Le 30, à 6^h du matin, orage signalé au Sud-Ouest, à l'Aigoual : enregistré. Dans la journée, orages voisins : enregistrés.

Le 2 juillet, orage signalé à Biarritz, probablement enregistré au Puy de Dôme.

Le 3, orages locaux très violents, avec nombreuses chutes de foudre et personnes foudroyées : enregistrés.

Le 4, enregistrement d'orages signalés le 5 dans le *Bulletin* comme produits à Aigoual.

Le 5, orages enregistrés et produits à l'Aigoual, Lyon, Perpignan.

Le 6, orage enregistré et non signalé.

Le 8, orage enregistré et non signalé.

- Le 9, orage enregistré et non signalé.
- Le 11, orage enregistré et non signalé.
- Le 12, orages locaux.
- Le 13, orages locaux.

II. ÉTUDE DU POTENTIEL DE L'AIR. — Nous avons appliqué un dispositif du même genre, mais beaucoup plus simplifié, à l'inscription du potentiel en un point de l'atmosphère à divers instants successifs.

On met l'antenne, convenablement isolée et qui doit être terminée par une pointe, en communication avec une sphère soigneusement isolée. Cette sphère acquiert un certain potentiel, de telle sorte qu'elle se trouve chargée. De temps en temps, à des intervalles de temps égaux par exemple, on décharge cette sphère dans le circuit d'un cohéreur. L'état de conduction dans lequel cette décharge met le cohéreur, état fourni par la déviation (enregistrée photographiquement) d'un galvanomètre sensible, peut fournir une indication du potentiel auquel la sphère est amenée au moment où on la décharge. Ici encore, on a soin, entre deux mises en communication successives de la sphère et du cohéreur, de produire la décohération du cohéreur et de s'assurer que la décohération a bien été complète.

Les cohéreurs dont on doit faire usage dans cette recherche peuvent être très sensibles, alors qu'au contraire ceux destinés à l'observation des orages sont choisis d'une sensibilité plutôt médiocre. Il est bon de ne faire passer dans le circuit comprenant le cohéreur qu'une partie de la décharge fournie par la sphère, ce qui s'obtient aisément par un shuntage convenable.

En définitive, l'emploi d'une sphère isolée, reliée à l'antenne, constitue une réédition de l'expérience première et bien connue de Saussure. L'usage du cohéreur permet d'obtenir une graduation très étendue des états électriques différents auxquels se trouve amenée cette sphère. De plus, ce dispositif simple, se prêtant à la réalisation d'un isolement très complet, permet d'éviter la dissémination graduelle de l'électricité atmosphérique captée.

Nous avons essayé de déterminer par ce procédé le potentiel de l'air en un point de la cour de la Faculté des Sciences de Poitiers, et les résultats obtenus nous font bien augurer de la mise en pratique de ce procédé, qui nous semble devoir fournir des indications très sûres.

Dispositif d'enregistrement d'orages à bolomètre de M. Turpain. — Récemment, nous avons combiné un dispositif pour étude des orages qui nous paraît, d'après les expériences que nous avons faites, devoir constituer un appareil vraiment pratique et définitif. Ce dispositif emprunte le bolomètre. A l'insécurité que présente tout cohéreur qui, même fût-il constitué comme ceux à aiguille de M. Fenyi par des contacts bien définis, ne reste jamais semblable à lui-même, il substitue l'échauffement d'un fil fin de platine pur qui demeure rigoureusement semblable à lui-même au début de chaque réception.

Les indications d'un galvanomètre disposé dans le pont d'un dispositif bolométrique sont alors rigoureusement proportionnelles à la racine carrée de l'intensité des décharges atmosphériques reçues par l'antenne. On peut donc, en comparant les indications des décharges successives, avoir des renseignements sur leurs valeurs respectives et dans bien des cas en tirer des indications sur la marche de l'orage.

Le schéma du dispositif est donné par la figure 183. Les fils bolométriques identiques b_1 , b_2 sont disposés côte à côte dans un vase de Dewar, vase à air liquide qui constitue une enceinte pratiquement adiabatique. Les résistances non inductives β_1 et β_2 qui s'opposent au passage des ondes électriques dans le reste du circuit et les localisent dans le fil bolométrique b_1 sont plongées côte à côte dans une cuve d'huile. Les deux bobines de fil de maillechort B et B' destinées à compenser le pont sont également plongées côte à côte dans une cuve d'huile.

L'équilibre du pont est obtenu par la manœuvre du contact C qu'on peut mouvoir au moyen d'une vis micrométrique.

L'arrivée d'ondes dans le fil b_1 produit, par l'échauffement du fil qu'elles occasionnent, un déséquilibre du pont qui se traduit par une élongation du galvanomètre. Cette élongation,

proportionnelle à l'intensité du courant, est donc proportionnelle à la racine carrée de la puissance reçue par l'antenne.

Fig. 187.

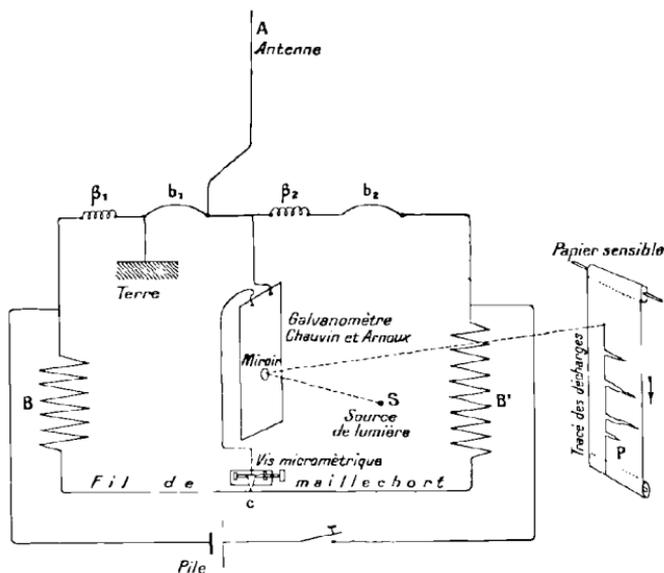


Schéma du dispositif d'enregistrement des orages à bolomètre de M. Turpain.

Les elongations du galvanomètre enregistrées photographiquement et automatiquement sur la bande de papier P sont rigoureusement proportionnelles aux racines carrées des intensités des décharges reçues par l'antenne.

C'est cette elongation qu'on enregistre, au moyen du déplacement du spot lumineux fourni par le miroir du galvanomètre, sur une bande photographique sensible animée d'un mouvement de déplacement uniforme.

Le dispositif nous a donné en laboratoire des résultats d'une telle sensibilité et d'une telle constance dans l'enregistrement que nous avons fait d'orages factices constitués par les décharges d'une bobine d'induction placée à quelques mètres, que nous nous proposons d'en faire incessamment l'essai dans un observatoire météorologique.



CHAPITRE XII.

COURANTS DE HAUTE FRÉQUENCE.

Supposons qu'un fil conducteur formant une boucle circulaire soit animé d'un mouvement de rotation uniforme autour d'un des diamètres de la boucle, et que ce mouvement s'effectue dans un champ magnétique uniforme dont l'intensité est dirigée perpendiculairement à ce diamètre. Dans ces conditions le mouvement de la boucle déterminera dans le circuit qu'elle forme la production d'un courant électrique dont le sens se trouve périodiquement renversé. L'intensité du courant qui parcourt la boucle varie à chaque instant et s'annule périodiquement, à chaque inversion du courant.

On dit que la boucle est parcourue par un courant *alternatif*.

On désigne sous le nom de *fréquence* du courant alternatif la moitié du nombre d'inversions par seconde. Un courant alternatif de fréquence 10 est un courant qui change de sens dans le circuit qu'il parcourt vingt fois par seconde.

Pour augmenter la fréquence d'un courant alternatif on peut augmenter la vitesse des parties mobiles des appareils (*alternateurs*) qui produisent le courant; on peut encore y arriver en multipliant le nombre des pôles d'aimants dont les alternateurs sont munis.

Pour rendre très élevée la fréquence d'un courant alternatif on peut agir à la fois sur ces deux facteurs de la fréquence : vitesse des parties mobiles, nombre des pôles d'aimant.

L'augmentation de la fréquence par ces moyens est évidemment limitée et par la résistance des pièces mobiles des alternateurs dont la vitesse de rotation ne peut dépasser un certain nombre de tours par seconde, et par les difficultés de construc-

tion qu'il y a à augmenter de plus en plus le nombre des pôles de l'alternateur.

Alternateur à haute fréquence de M. Tesla ⁽¹⁾. — Ce procédé de production de courants de haute fréquence a été employé par M. Tesla, qui a construit un alternateur pouvant fournir un courant dont la fréquence atteint 15000.

Les pièces polaires qui sont au nombre de 480 forment un anneau à l'intérieur duquel tourne l'induit.

L'induit forme également un anneau, tourné extérieurement, et présentant un espace ménagé pour un enroulement de fil de fer doux recuit constituant le noyau des bobines induites qui sont en nombre égal à celui des protubérances polaires de l'inducteur.

Les bobines induites sont reliées entre elles en série et aboutissent aux anneaux de prise de courant sur lesquels frottent les balais. La vitesse de rotation peut atteindre de 1600 à 1800 tours par minute, soit près de 30 tours par seconde.

On peut établir la machine de deux façons en enroulant le circuit exciteur de telle sorte que les pôles magnétiques soient alternés, ou bien en faisant en sorte que les protubérances polaires soient de même polarité.

M. Tesla a aussi construit des alternateurs à haute fréquence dans lesquels l'armature induite est fixe et le champ mobile. Dans ces machines, l'enroulement exciteur est fixe et la partie mobile ne se compose que du noyau en fer forgé.

Production des courants de haute fréquence au moyen des décharges oscillantes. — En dehors de ce mode de production des courants de haute fréquence par des alternateurs à grand nombre de pôles et à grande vitesse, mode qui utilise des moyens mécaniques, il existe un procédé physique consistant à employer les décharges électriques oscillantes.

C'est par la mise en œuvre de ce procédé que la production des courants de haute fréquence devient une application des ondes électriques.

(1) TESLA (*Electrical Engineer* de New York), 18 mars 1891.

Non seulement ce second moyen ne nécessite pas un appareil de construction délicate et coûteuse, mais il offre encore sur le premier l'avantage d'obtenir des courants de fréquence bien plus élevée.

En principe, ce moyen consiste à relier en dérivation sur les deux conducteurs d'un excitateur de Hertz l'un des circuits d'un transformateur dont l'autre circuit se trouve être le siège de courants de très haute fréquence.

Si l'on applique la théorie de lord Kelvin à l'étude de la décharge du condensateur électrique que forme l'excitateur et qu'on suppose les conditions de la décharge oscillante réalisées, on est conduit au résultat suivant :

Les deux conducteurs qui forment le condensateur de capacité C constituent dans leur ensemble une certaine résistance électrique R . Le circuit formé par ces conducteurs possède un certain coefficient d'induction propre L .

La décharge est oscillante si l'on a

$$R^2 < \frac{4L}{C}.$$

La durée d'une période T est donnée par la formule

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{R^2}{4L^2}}}.$$

Désignons par ω l'expression suivante :

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{R^2}{4L^2}}.$$

Si l'on désigne par Q_0 la valeur de la charge initiale que possède le condensateur, on trouve que l'intensité du courant de décharge à l'instant t est

$$i = \frac{Q_0}{\omega LC} e^{-\frac{Rt}{2L}} \sin \omega t,$$

c'est-à-dire que ce courant est alternatif.

La fréquence f de ce courant de décharge, qui est l'inverse

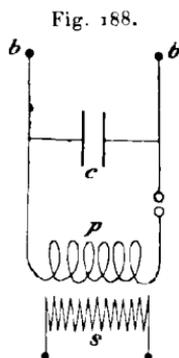
de sa période, est

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{\sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{R^2}{4L^2}}}{2\pi}.$$

On peut donc, en faisant varier les quantités R , L , C , faire varier la fréquence.

Dispositifs de M. Tesla. — M. Tesla a le premier indiqué un dispositif permettant d'obtenir des courants de haute fréquence au moyen des ondes électriques.

Premier dispositif. — Aux deux bornes b, b d'une bobine d'induction sont réunies les deux armatures d'un condensateur C (fig. 188). Ces deux armatures sont respectivement



Courants de haute fréquence. — Dispositif de M. Tesla.

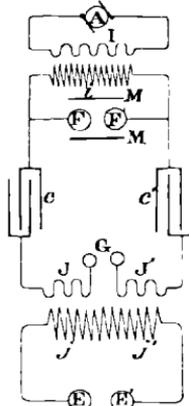
reliées à deux boules métalliques entre lesquelles éclate l'étincelle de décharge. Alors que l'une des boules est directement en communication avec l'une des armatures du condensateur, l'autre boule est reliée à l'autre armature par l'intermédiaire du circuit primaire p d'un transformateur. Ce circuit, constitué par un fil de gros diamètre, se trouve ainsi parcouru par un courant de très haute fréquence. Le courant induit dans le secondaire s du transformateur, formé d'un fil très fin, est de fréquence correspondante. Une énorme différence de potentiel existe entre les extrémités du secondaire, comme le prouvent

les longues étincelles produites entre les bornes de cet enroulement.

Le transformateur qu'utilise M. Tesla comprend un enroulement primaire formé d'un gros fil (2^{mm} à 3^{mm} de diamètre) formant 12 à 15 spires et disposé à l'intérieur d'un cylindre isolant. L'enroulement secondaire a pour support ce cylindre et est formé d'un fil fin constituant une seule couche de 100 à 120 spires environ; les spires sont séparées les unes des autres par un fil de soie enroulé à côté du fil secondaire. Le cylindre isolant et les deux enroulements extérieur et intérieur qu'il sépare sont immergés dans l'huile.

Le condensateur, dont la décharge oscillante traverse le primaire du transformateur, est formé par une bouteille de Leyde. Ce condensateur se trouve, d'après le schéma décrit ci-dessus, placé en dérivation sur les conducteurs reliant la bobine d'induction au transformateur. On peut considérer ce condensateur comme un excitateur de Hertz dont l'une des tiges de communication avec les boules de décharge serait remplacée par le circuit à gros fil du transformateur.

Fig. 189.



Courants de haute fréquence. — Second dispositif de M. Tesla.

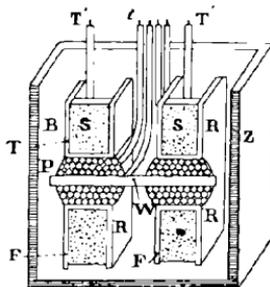
Second dispositif. — Le schéma de la figure 189 indique un dispositif un peu différent réalisé également par M. Tesla.

Les pôles du circuit induit i d'une bobine d'induction sont reliés aux armatures de deux condensateurs C et C'. En dérivation sur les conducteurs issus des pôles est disposé un excitateur à sphères F, F' entre lesquelles se produit la décharge des condensateurs. Les armatures libres des condensateurs C et C' sont reliées aux extrémités de l'enroulement primaire d'un transformateur de Tesla, sans fer. Cet enroulement primaire est divisé en deux portions égales J et J' aboutissant chacune à l'une des boules d'un petit excitateur G. L'enroulement secondaire à fil fin se termine en E et E'; c'est dans ce circuit que circule un courant à haute fréquence et de tension très élevée.

Soufflage de l'étincelle. — Pour augmenter l'effet du courant d'air produit par l'étincelle, on place de part et d'autre des sphères de l'excitateur de grandes feuilles de mica MM.

Ces feuilles de mica entourant les sphères de l'excitateur ont pour effet de provoquer un courant d'air plus intense sur la production de l'étincelle. Il y a avantage à ce que l'étincelle soit rompue à peine a-t-elle été produite. La décharge n'est en effet oscillante que pendant les premiers instants de la

Fig. 190.



Transformateur de haute fréquence.

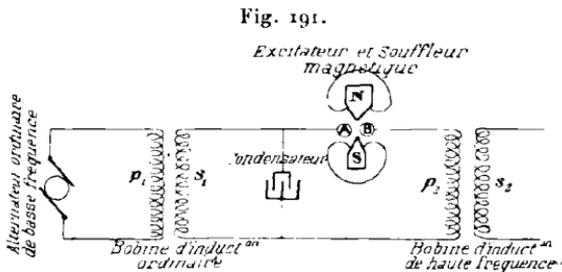
durée de l'étincelle. Aussi les effets produits sont-ils d'autant plus puissants que le soufflage de l'étincelle est plus énergique.

Le transformateur de haute fréquence est représenté en

coupe par la figure 190. La bobine comprend deux parties symétriques R, R maintenues à 10^{cm} de distance par des boulons et des écrous en ébonite; chacune se compose d'un tube T d'environ 8^{cm} de diamètre intérieur et 3^{mm} d'épaisseur, sur lequel se visent les joues FF, de 24^{cm}², espacées l'une de l'autre d'environ 3^{cm}. Le fil secondaire S de chaque demi-bobine est du fil fin, très bien isolé à la gutta, et fait 260 tours (26 couches de 10 spires chacune). Les deux demi-bobines sont enroulées en sens opposés et reliées en série.

Le fil primaire P est enroulé par moitié et en sens opposé sur une bobine de bois W, et ses quatre extrémités sortent de la cuve remplie d'huile, où plonge la bobine, au travers de tubes d'ébonite *t, t*. Chaque enroulement primaire comprend quatre couches de 24 spires, soit 96 tours de fil isolé par une guipure de coton.

Soufflage magnétique de l'étincelle de décharge. — Au lieu de disposer, comme dans le schéma de la figure 110, deux excitateurs F et G, il y a avantage, quand la bobine d'induction T est alimentée par un courant de basse fréquence, à disposer un champ magnétique intense à angle droit sur le parcours de la décharge de l'excitateur. Ce champ magnétique sert à souffler l'arc entre les boules. On produit le champ magnétique à l'aide d'un fort électro-aimant NS (fig. 191) dont



Dispositif de production des courants de haute fréquence avec soufflage magnétique de l'étincelle de décharge.

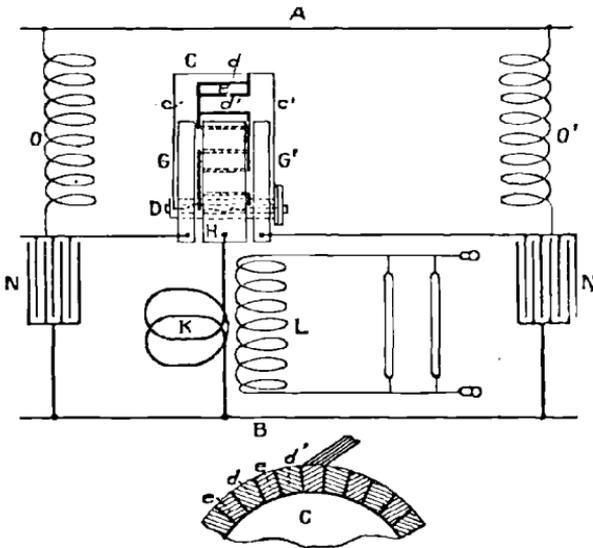
les pièces polaires mobiles sont de forme convenable pour concentrer le champ entre les boules de décharge. Ces pièces

peuvent être munies de feuilles protectrices de mica d'épaisseur suffisante pour empêcher la décharge d'éclater entre les boules et l'électro-aimant. La disposition générale des appareils est représentée par la figure 191, qui rappelle le premier dispositif.

Dispositif de M. Tesla sans bobine d'induction (1). — M. Tesla a indiqué un dispositif permettant d'obtenir des courants de haute fréquence avec une source de courant continu et sans employer une bobine de Ruhmkorff.

Entre deux conducteurs rectilignes parallèles A, B (fig. 192),

Fig. 192.



Courants de haute fréquence. — Dispositif de M. Tesla sans bobine d'induction.

respectivement reliés aux deux bornes de la source de courant continu, sont disposées deux dérivations comprenant chacune

(1) TESLA, *Electrical Engineer* (N. Y.), 1897.

une bobine de self-induction et un condensateur réunis en série. Les bobines de self-induction O , O' sont reliées au conducteur A . Les armatures des condensateurs N , N' , qui ne communiquent pas avec ces bobines, sont reliées au conducteur B .

Un commutateur tournant de construction spéciale supporte trois balais G , H , G' , dont les deux extrêmes G et G' sont reliés à des conducteurs aboutissant respectivement entre chaque bobine O , O' et le condensateur qui y est relié. Ces balais G , G' appuient sur les portions non découpées c , c' de deux bandes cylindriques conductrices entourant l'axe du commutateur tournant, dont elles sont séparées par un cylindre isolant qu'elles enserment. Les portions découpées de ces bandes forment des dents rectangulaires d , d' chevauchant l'une à côté de l'autre et séparées chacune de la suivante par un intervalle isolant rectangulaire de même largeur que chaque dent. Le balai médian H appuie sur la partie du cylindre occupée par ces dents. La portion du commutateur tournant qui frotte sur le balai H est représentée en bas de la figure. On y voit la dent d en communication par c avec le balai G et la bande d' en contact par c' avec le balai G' . Les bandes e , e sont isolées. Les traits pleins du dessin représentent l'isolant. Pendant que le commutateur tourne, le balai H est donc successivement mis en communication avec le balai G , puis isolé, puis mis en communication avec le balai G' , de nouveau isolé, puis il revient en communication avec le balai G , et ainsi de suite. Ce balai H est relié à l'extrémité du primaire K d'un transformateur de Tesla, dont l'autre extrémité communique avec le conducteur B .

Lorsque le commutateur tourne, le circuit primaire de ce transformateur est parcouru successivement par les décharges des condensateurs C et C' , qui sont rechargés grâce à la différence de potentiel existant entre les deux fils A et B , reliés aux deux bornes de la source de courant continu.

Dispositifs de M. Elihu Thomson (1). — Le dispositif em-

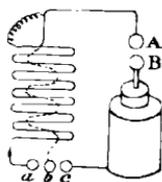
(1) ELIHU THOMSON, *Electrical World*, 2 avril 1892.

ployé par M. Elihu Thomson ne diffère pas sensiblement de celui indiqué par M. Tesla.

Deux enroulements à gros fil, l'un comprenant 12 spires, l'autre 20 spires, sont placés, le premier à l'intérieur, le second à l'extérieur d'un cylindre isolant qui leur sert de support. Le tout baigne dans l'huile.

Une des extrémités de chaque enroulement est réunie à un conducteur terminé par une sphère métallique A (fig. 193), si

Fig. 193.



Courants de haute fréquence. — Dispositif de M. Elihu Thomson.

bien que les deux enroulements communiquent entre eux par une de leurs extrémités. L'extrémité libre du circuit intérieur au cylindre isolant est reliée à la boule médiane *b* d'un système de trois boules conductrices *a*, *b*, *c* disposées côte à côte à quelques millimètres les unes des autres. La boule *a* est réunie à l'extrémité libre du circuit extérieur au cylindre, alors que la boule *c* est en communication avec l'armature extérieure d'une bouteille de Leyde, dont l'armature intérieure est reliée à une sphère B voisine de A.

La bouteille de Leyde est chargée au moyen d'une machine de Holtz.

Soufflage de l'étincelle. — L'étincelle de décharge qui éclate entre les deux sphères A et B est soufflée non plus en utilisant le champ magnétique d'un puissant électro-aimant, comme dans le dispositif de M. Tesla, mais à l'aide d'un violent courant d'air provenant d'une soufflerie et dirigé entre les deux sphères au moyen d'une tuyère.

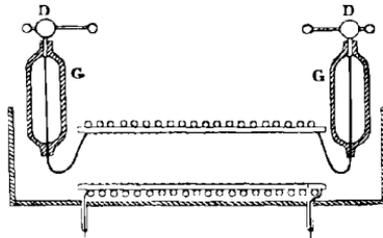
Bobines de haute fréquence. — M. Elihu Thomson a également utilisé un dispositif en tout point analogue au dispo-

sitif de M. Tesla et dans lequel le soufflage magnétique de l'étincelle de décharge est remplacé par le soufflage à l'aide d'un fort courant d'air.

Dans ce dispositif, M. E. Thomson a utilisé deux bobines de haute fréquence dont la construction très simple et relativement peu coûteuse mérite d'être décrite.

Petit appareil. — Un petit modèle est contenu à l'intérieur d'une auge en bois assez étanche pour retenir de l'huile (*fig. 194*).

Fig. 194.



Bobine de haute fréquence de M. Elibu Thomson. — Petit appareil.

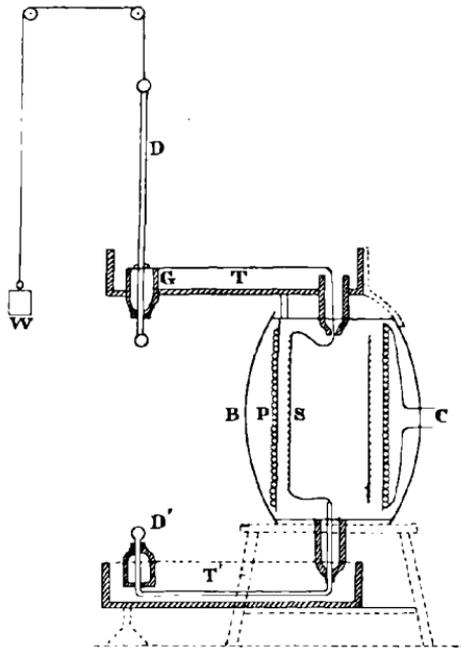
Le circuit secondaire, qui comprend 150 spires de fil fin couvert de soie, est enroulé sur un cylindre de papier fort ou de carton qui se loge à l'intérieur d'un cylindre de verre servant de support au circuit primaire. Ce circuit repose sur le fond de l'auge, et ses deux extrémités traversent deux tubes de verre fixés au fond de l'auge et à l'intérieur desquels le fil primaire est mastiqué. Le fil primaire de gros diamètre forme des spires de 12^{cm} à 15^{cm} de diamètre et au nombre de 15 à 20 spires. Ce fil est simplement isolé au coton.

Les extrémités du fil secondaire sortent de l'auge par deux vases de verre G remplis d'huile et portant les boules D qui servent de pôles à l'appareil. Ces vases peuvent être obtenus en accolant deux bouteilles dont le fond est enlevé. Leur présence empêche que la décharge se produise à la surface de l'huile.

Grand appareil. — Un modèle très puissant permettant

d'obtenir des décharges de très hautes tensions peut également être construit d'une manière assez simple (*fig. 195*).

Fig. 195.



Bobine de haute fréquence de M. Elihu Thomson. — Grand appareil.

Les deux enroulements primaire et secondaire sont disposés verticalement à l'intérieur d'un tonneau B rempli d'huile lubrifiante. Chacune des bobines primaire et secondaire est enroulée sur un cylindre de carton. Les diamètres des deux cylindres diffèrent d'environ 8^{cm}, le plus petit ayant 33^{cm} de diamètre. Il est recouvert de deux couches de soie sur lesquelles sont enroulées 500 spires de fil fin (0^{mm},45 de diamètre) couvert de coton. Cette couche de fil occupe 50^{cm} de la longueur du cylindre.

Le circuit primaire P consiste en 15 tours d'un conducteur

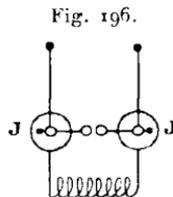
composé de cinq fils assez gros dont les extrémités sortent par la bonde du tonneau en C.

L'extrémité inférieure de l'enroulement secondaire aboutit à une tringle qui traverse un vase en verre planté dans le fond du tonneau et plongeant dans un bac rempli d'huile T'. La tringle métallique se prolonge jusqu'à la boule D' qui constitue un des pôles de l'appareil. L'autre extrémité est en communication avec le second pôle par une disposition analogue. Le tube de laiton D qui porte ce pôle est équilibré par un contre-poids W qui sert à le déplacer dans la glissière G. Ce tube de laiton de 2^{cm} à 3^{cm} de diamètre est muni à sa partie supérieure d'une grosse sphère métallique polie pour empêcher les décharges latérales dans l'air.

L'étincelle de décharge que peut fournir cet appareil ne mesure pas moins de 80^{cm} (écartement maximum qu'on pouvait donner aux pôles de l'appareil).

Le condensateur employé avec cet appareil était composé de 16 bouteilles de Leyde d'environ 5^l, associées en quantité.

Dispositifs de M. d'Arsonval. — M. d'Arsonval a également utilisé le dispositif imaginé par M. Tesla en lui faisant subir quelques modifications (*fig.* 196).



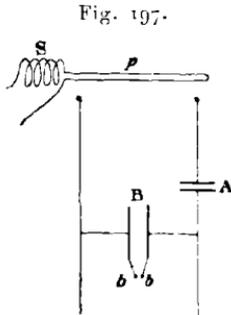
Courants de haute fréquence. — Premier dispositif de M. d'Arsonval.

Les deux extrémités du secondaire d'un transformateur, entrete nu par un courant alternatif d'une fréquence égale à 42, sont reliées aux armatures internes de deux condensateurs constitués par de grandes jarres cylindriques J, J, de 50^{cm} de hauteur. Les armatures extérieures des jarres sont réunies par un solénoïde de gros fil de cuivre nu comprenant 20 tours.

Un excitateur à sphères de laiton est disposé entre les armatures internes des condensateurs.

Le solénoïde de cuivre se trouve parcouru par des courants de très haute fréquence.

Une autre disposition des deux condensateurs a été également utilisée par M. d'Arsonval. Les deux jarres sont disposées comme l'indique le schéma ci-contre (*fig. 197*). L'un des



Courants de haute fréquence. — Second dispositif de M. d'Arsonval.

condensateurs **A** est intercalé sur le conducteur issu d'un des pôles du transformateur, alors que le second condensateur **B** est placé en dérivation sur les fils reliant les pôles du transformateur au circuit où l'on utilise les courants de haute fréquence. Les armatures de ce dernier condensateur sont reliées à deux boules *b, b*, entre lesquelles se produit la décharge oscillante. Les capacités des deux condensateurs doivent être soigneusement réglées l'une par rapport à l'autre.

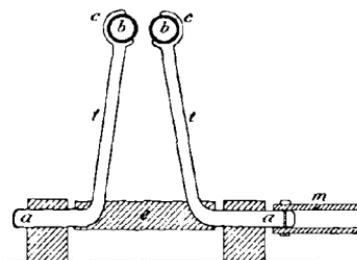
Soufflage de l'étincelle. — Dans les dispositifs de M. d'Arsonval, le soufflage de l'étincelle de décharge qui, dans toutes ces expériences, est nécessaire pour obtenir des courants de haute fréquence, n'est obtenu ni par un champ magnétique, comme dans les dispositifs de M. Tesla, ni par un courant d'air, comme dans ceux de M. E. Thomson. Il suffit d'introduire, dans le primaire *p* du transformateur (*fig. 197*) utilisé, une bobine de self-induction **S** convenablement réglée. La

présence de cette bobine produit le même effet qu'un soufflage parfait de l'étincelle.

Exploseur rotatif. — Lorsqu'on veut produire de puissants courants de haute fréquence, il est nécessaire de réaliser un soufflage très énergique de l'étincelle.

Au cours d'expériences récentes, M. d'Arsonval ⁽¹⁾ a effectué le soufflage de l'étincelle par l'air. Pour des courants puissants ce procédé est le plus avantageux; il refroidit en effet les boules entre lesquelles se produit la décharge et prévient ainsi une détérioration prématurée de l'exploseur. Si on le produit au moyen d'une soufflerie, ce moyen exige une très grande dépense d'énergie. Le travail nécessité par le fonctionnement de la soufflerie est en effet de beaucoup supérieur à celui employé à la rupture de l'étincelle par le jet d'air. Pour obvier à cet inconvénient, M. d'Arsonval a eu l'heureuse idée suivante : au lieu de laisser immobiles les boules de l'exploseur et de chasser violemment l'air entre elles à l'aide d'une soufflerie, ce sont les boules de l'exploseur qu'on déplace au sein de l'air d'un mouvement assez rapide pour que le souf-

Fig. 198.



Exploseur rotatif.

flage de l'étincelle se produise. De cette façon on ne dépense pour le soufflage qu'une énergie mécanique à peine supérieure

(1) D'ARSONVAL, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 17 avril 1900.

à celle réellement nécessaire pour produire cet effet. Les avantages du soufflage par l'air sont conservés; seuls les inconvénients disparaissent.

Deux tiges métalliques t, t (*fig.* 198) portent les boules b, b de l'exploseur. Ces boules sont disposées aux extrémités des tiges dans des cavités c, c , qui, formant genou, les retiennent et permettent d'utiliser successivement les différentes parties de la surface des sphères pour faire jaillir l'étincelle. Les tiges sont reliées à un axe aa , dont la partie médiane c est en ébonite. Cet axe est rendu solidaire de celui d'un petit moteur (machine dynamo) au moyen d'un manchon d'ébonite m . On peut ainsi communiquer à l'ensemble des boules et de leur support un mouvement de rotation qui fait décrire aux sphères des circonférences dont les diamètres varient de 30^{cm} à 2^{m} suivant la longueur donnée aux tiges t, t .

Ce dispositif produit un soufflage très énergique entre les deux boules. Lorsque l'exploseur en mouvement fonctionne on aperçoit une traînée lumineuse circulaire et les étincelles produisent un bruit strident très intense.

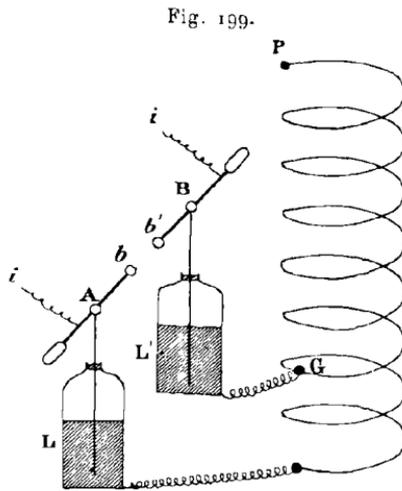
Les condensateurs utilisés par M. d'Arsonval avec cet exploseur étaient constitués par des plaques de micanite (mica et gomme laque) de 2^{mm} d'épaisseur, 365^{mm} de longueur et 285^{mm} de largeur séparant des armatures formées de minces feuilles de fer-blanc. Chaque feuille de micanite dépasse chaque armature de 5^{mm} . On employait deux condensateurs formés chacun d'un empilement de 20 plaques conductrices ainsi disposées. Chaque condensateur présentait une capacité de $0^{\mu 7,01}$ et les deux étaient plongés dans une cuve remplie de pétrole lampant. Les plaus des lames conductrices et diélectriques étaient verticaux, de manière que les interstices compris entre les lames fussent rapidement remplis de liquide isolant.

Les condensateurs ainsi disposés ne présentèrent aucun échauffement (¹).

(¹) M. d'Arsonval s'est également servi de l'exploseur rotatif pour souffler l'étincelle d'un transformateur réalisant le dispositif de M. E. Thomson (*voir* p. 347 et *fig.* 195) et qui présentait les dimensions suivantes : le circuit inducteur comprenait un tube de cuivre de 13^{cm} de diamètre intérieur et de

Dispositif de M. le Dr Oudin (1). — Le dispositif de M. le Dr Oudin ne diffère du premier dispositif de M. d'Arsonval que par les relations établies entre les armatures externes des jarres et la spire de gros fil dans laquelle circulent les courants de haute fréquence.

Comme dans le dispositif de M. d'Arsonval, les armatures intérieures A, B (fig. 199) de deux jarres de 50^{cm}² de surface



Courants de haute fréquence. — Dispositif de M. le Dr Oudin.

active sont reliées aux pôles d'une bobine d'induction. Elles sont d'autre part en communication avec les deux sphères *b*, *b'* d'un excitateur disposées dans l'huile et entre lesquelles éclatent des étincelles de décharge.

Un fil non isolé d'environ 60^m de longueur, de 3^{mm} de dia-

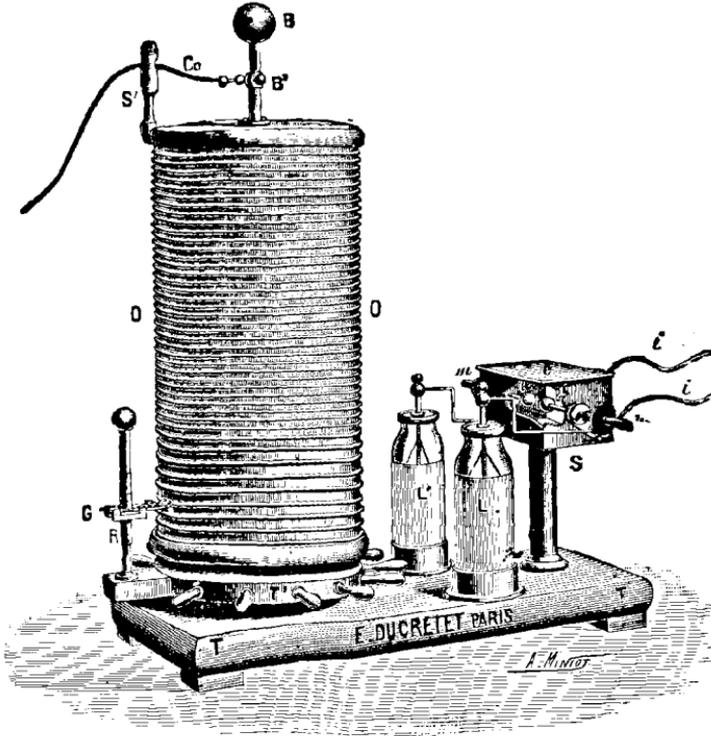
1^{mm} d'épaisseur formant 12 spires. Ce serpentín avait 80^{cm} de longueur et 50^{cm} de diamètre intérieur.

Le circuit induit, concentrique et intérieur au circuit inducteur, était formé d'un fil de cuivre nu de 0^{mm},5 de diamètre et formant 400 tours. Ce fil était enroulé sur la surface extérieure d'un cylindre d'ébonite de 0^m,80 de longueur et 0^m,38 de diamètre, dans l'épaisseur duquel on avait creusé une hélice de 2^{mm} de pas et qui formait une gouttière contenant le fil induit.

(1) OUDIN, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 6 juin 1898.

mètre, forme un solénoïde enroulé sur un cylindre de bois paraffiné; l'écartement des spires est de 1^{cm}. L'axe du cylindre est vertical et l'extrémité inférieure du solénoïde qui s'y trouve enroulé est reliée à l'armature extérieure de l'une des jarres.

Fig. 200.

Ensemble du dispositif de M. le D^r Oudin.

Un galet G qui peut se déplacer en restant en contact avec le fil du solénoïde suit les spires inférieures; il est réuni par un fil souple à l'armature extérieure de la seconde jarre. Enfin l'extrémité libre du solénoïde est reliée à une boule P qui forme l'un des pôles de l'appareil, dont le galet mobile G constitue l'autre pôle.

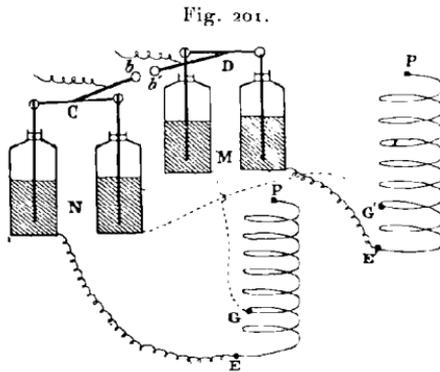
On sépare ainsi le solénoïde en deux parties qui se font suite l'une à l'autre et dont on peut faire varier les longueurs par le jeu du galet G.

L'isolement complet des spires du solénoïde n'offre aucun intérêt. Quand le réglage de l'appareil est parfait, on voit de son extrémité libre et de la dernière spire seulement jaillir les effluves dus à la tension élevée que produit l'appareil.

Il n'est pas indispensable de faire jaillir des étincelles au sein de l'huile. On peut les faire éclater dans l'air. Les sphères de l'exploseur peuvent être recouvertes de platine sur les portions des surfaces entre lesquelles éclatent les étincelles. On assure ainsi à l'exploseur une plus longue durée.

La figure 200 représente l'ensemble du dispositif; les fils i, i' sont reliés aux deux pôles d'une bobine d'induction.

Appareils dits bipolaires. — M. O. Rochefort a associé deux des dispositifs de M. le D^r Oudin et réalisé ainsi ce qu'il nomme un *résonateur bipolaire*.



Dispositif de M. le D^r Oudin. — Appareil bipolaire de M. O. Rochefort.

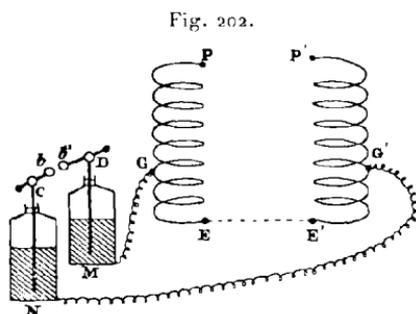
Les condensateurs (bouteilles de Leyde) sont au nombre de quatre, reliés deux à deux en batterie. Les armatures intérieures de l'un des couples C (*fig. 201*) communiquent avec une des sphères b de l'exploseur; celles de l'autre couple D sont reliées avec la seconde sphère b' . Quant aux

externes, elles sont reliées chacune à deux solénoïdes, semblables au précédent décrit, de la manière suivante :

L'une des armatures externes du couple N est reliée à l'extrémité inférieure E de l'un des solénoïdes. De même l'une des armatures externes du couple M est reliée à l'extrémité inférieure E' du second solénoïde. La seconde armature externe du premier couple N est reliée au galet G' du second solénoïde, alors que la seconde armature externe du deuxième couple M est reliée au galet G du premier solénoïde.

Les extrémités libres P, P' forment les deux pôles du dispositif. Ces pôles sont chacun, comme dans le cas du dispositif du Dr Oudin, le siège d'effluves qui deviennent très puissants lorsqu'on règle convenablement la position des galets G, G' sur les spires inférieures des solénoïdes.

Si l'on rapproche l'un de l'autre les fils reliés aux deux pôles, on constate que les deux effluves produits s'attirent et l'on obtient ainsi de très longs effluves. Les effluves se repoussent au contraire si l'on change les connexions des solénoïdes avec les armatures externes des condensateurs, si l'on met en G' le fil qui était relié à E' et en E' celui qui était relié à G'.



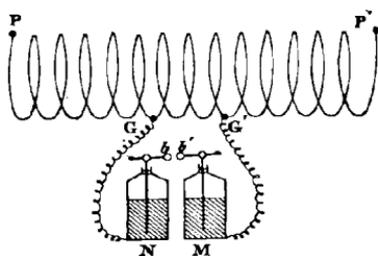
Second dispositif d'appareil bipolaire.

On peut supprimer les deux fils NE, ME' qui réunissent les extrémités des solénoïdes aux condensateurs, et réunir entre eux les deux solénoïdes; c'est le dispositif représenté par la figure 202. On utilise alors deux bouteilles de Leyde au lieu de quatre.

En employant un transformateur Wydts-Rochefort pouvant donner 50^{cm} d'étincelle, M. Rochefort a obtenu avec une dépense de 144 watts (24 volts-6 ampères) des effluves de 50^{cm} de longueur entre les deux pôles de l'appareil.

M. Lebailly a réalisé également un dispositif qu'il appelle *résonateur bipolaire* en ne se servant que d'un seul solénoïde (*fig. 203*) dont les extrémités P, P' sont libres et forment les

Fig. 203.



Appareil bipolaire de M. Lebailly.

pôles du dispositif. Deux galets G, G', mobiles le long des spires, sont disposés près de la spire médiane et séparés l'un de l'autre par quelques spires seulement. Par un réglage convenable on obtient aux deux pôles de l'appareil des effluves puissants qui s'attirent mutuellement.

Transformateur à haut voltage à survolteur cathodique de M. P. Villard ⁽¹⁾. — M. P. Villard a indiqué en 1901 un dispositif des plus ingénieux permettant d'éliminer une des alternances qui se produisent entre les bornes du circuit induit d'un transformateur alimenté par un courant alternatif. Nous indiquons ici ce dispositif à cause de l'intérêt qu'il présente pour l'obtention des courants de haute fréquence lorsqu'on ne dispose que d'une distribution par courants alternatifs.

Souape cathodique. — Ce dispositif utilise les propriétés que présente un des tubes à vide, de construction si ingé-

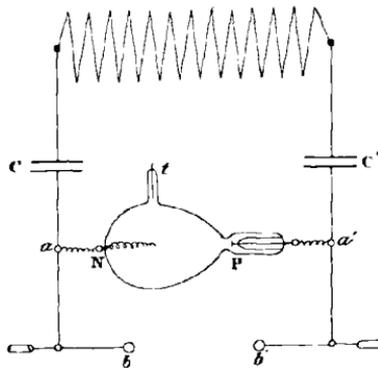
⁽¹⁾ P. VILLARD, *Journal de Physique*, janvier 1901.

nieuse, que M. Villard a imaginés : la *soupape cathodique* ⁽¹⁾. Une ampoule de 400^{cm}³ de capacité porte deux électrodes : l'une N est formée par une spirale assez longue faite d'un fil d'aluminium, l'autre est un disque P de quelques millimètres de diamètre engagé dans un tube étroit, légèrement étranglé en avant du disque de manière à gêner l'afflux d'alimentation cathodique. Lorsqu'on fait fonctionner un semblable tube en prenant N pour cathode, l'étincelle extérieure équivalente au tube ne mesure que 1^{mm} alors qu'elle atteint 15^{mm} lorsque, toutes choses égales d'ailleurs, on prend P pour cathode.

On obtient donc avec ce tube, en alternant ses pôles, à volonté, le phénomène de Geissler ou celui de Hittorf.

Pour éliminer une des alternances à l'aide de la soupape cathodique, M. P. Villard indique le moyen suivant. Les extrémités du circuit induit du transformateur sont reliées chacune à l'une des armatures d'un condensateur à micanite C, C' (fig. 204). Les deux autres armatures sont respectivement

Fig. 204.



Transformateur à survolteur cathodique de M. P. Villard.
Élimination d'une des alternances.

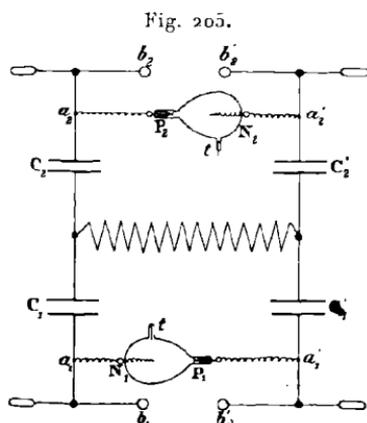
reliées aux boules *b*, *b'* de l'exploseur. Le tube formant soupape est disposé entre *a* et *a'*. Dans ces conditions, lorsque N

(1) P. VILLARD, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 17 avril 1899.

est cathode, le tube offre une cohésion diélectrique insignifiante; lorsque au contraire N devient anode, le tube se montre capable de résister à une différence de potentiel de 60000 volts. L'une des alternances passe donc par le tube, alors que l'autre y trouve un obstacle qu'elle ne peut surmonter et passe par l'exploseur en formant étincelle entre les boules b , b' .

Si l'on ne fait pas usage de la soupape, on obtient entre les deux boules b , b' une étincelle de 9^{cm} seulement. En insérant le tube entre les conducteurs a , a' , on peut produire entre b et b' une étincelle de 18^{cm}. Cette étincelle atteint 24^{cm} si on la fait éclater entre deux points.

Pour donner plus d'élasticité aux soupapes il est bon d'en relier deux en série entre a et a' . L'entretien de ces soupapes est très simple. Elles sont munies sur le côté d'un tube de platine t qu'il suffit de chauffer dans une flamme pour introduire dans la soupape un peu d'hydrogène. L'utilité de cette opération se reconnaît à ce que les rayons cathodiques émanés de N deviennent assez énergiques pour produire la fluorescence du verre de l'ampoule.



Transformateur à survoltage cathodique de M. P. Villard.
Séparation des deux alternances.

On peut, comme le montre la figure 205, disposer aux pôles du même transformateur deux exploseurs entre lesquels on

obtient d'une part des étincelles dues à l'une des alternances, d'autre part des étincelles dues à l'autre alternance. On constate que ces exposeurs fonctionnent indépendamment l'un de l'autre, si bien qu'on peut obtenir une longue étincelle entre les deux boules de l'un alors qu'on produit une étincelle courte entre les pôles de l'autre.



CHAPITRE XIII.

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A L'ÉCLAIRAGE.

La production de phénomènes lumineux au moyen des ondes électriques peut être obtenue soit par l'utilisation directe de champs d'oscillations produits par de simples excitateurs hertiens, soit encore par la mise en œuvre des divers dispositifs permettant de produire des courants de haute fréquence.

Les effets lumineux produits à l'aide des ondes électriques sont de deux sortes. Les premiers consistent dans l'incandescence de filaments de lampes électriques ordinaires, incandescence obtenue en utilisant les courants de haute fréquence produits eux-mêmes par les ondes électriques. Les seconds sont des phénomènes de luminescence obtenus en disposant d'une manière convenable des tubes à gaz raréfié dans un champ d'oscillations électriques.

I. — ENTRETIEN DE LAMPES A INCANDESCENCE PAR LES COURANTS DE HAUTE FRÉQUENCE.

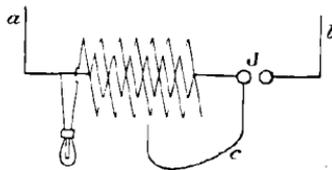
Expériences de M. Elihu Thomson (1). — M. E. Thomson a fait servir les dispositifs que nous avons décrits au Chapitre précédent à l'entretien de l'incandescence de lampes à filaments. Les dispositions des expériences sont assez diverses; elles peuvent être rapportées à deux genres différents suivant que les circuits comprenant les lampes sont reliés ou non aux conducteurs sièges des courants de haute fréquence produits par la décharge oscillante.

(1) ELIHU THOMSON, *Electrical Engineer*, New York, février 1892.

PREMIÈRE DISPOSITION. — *Lampes placées en dérivation sur les circuits parcourus par les courants de haute fréquence.* — A ce genre de disposition doit être rapportée l'expérience suivante, dans laquelle M. E. Thomson utilise un dispositif rappelant celui décrit page 345 (*fig. 189*).

Comme l'indique le schéma du montage représenté par la figure 206, les deux bobines à gros fils comprenant l'une

Fig. 206.



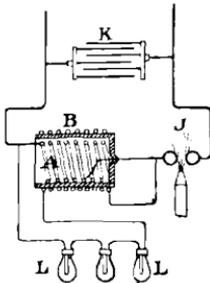
Lampe placée en dérivation sur un circuit parcouru par des courants de haute fréquence.

12 spires, l'autre 20 spires, communiquent par une de leurs extrémités. L'extrémité libre de la bobine intérieure est reliée à l'une des boules d'un excitateur J. Les fils *a*, *b*, reliés aux armatures d'un condensateur, permettent de faire passer la décharge à travers la bobine intérieure. Un conducteur *c*, issu de la boule en relation avec la bobine intérieure, peut être relié à l'une quelconque des spires de l'enroulement extérieur. La bobine extérieure se trouve ainsi, en totalité ou en partie, placée en dérivation sur le circuit comprenant la bobine intérieure. C'est sur le circuit de la bobine extérieure qu'est intercalée une lampe à incandescence. Lorsque le condensateur se décharge et qu'on fait arriver en J un jet d'air sur l'étincelle de décharge, on constate que le filament de la lampe L devient incandescent. En faisant varier le point d'attache du fil *c* sur l'enroulement extérieur on constate que l'éclairement de la lampe L varie, et l'on peut ainsi soit exagérer l'incandescence du filament et le rendre éblouissant, soit diminuer l'éclairement produit par la lampe jusqu'à le rendre nul.

Une disposition analogue à la précédente est représentée

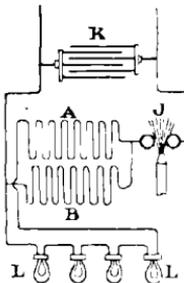
par la figure 207. L'enroulement extérieur B, comprenant 20 spires, est encore placé en dérivation sur l'enroulement intérieur. Comme dans l'expérience précédente, les lampes L,

Fig. 207.



Éclairage par les courants de haute fréquence. Dispositif de M. Elihu Thomson.

Fig. 208.



Éclairage par les courants de haute fréquence. Lampes placées en dérivation sur le circuit des courants.

au nombre de trois, sont placées dans le circuit de l'enroulement extérieur. Mais ici on fait varier le nombre de tours de la bobine intérieure A, au moyen du contact glissant qu'on voit sur la figure. Les lampes sont très brillamment illuminées lorsque l'étincelle de décharge du condensateur K qui se produit en J est soufflée par un violent courant d'air.

On obtient les mêmes effets en plaçant les lampes L dans le circuit de la bobine A qui contient moins de tours (12 spires) de fil que la bobine extérieure B. La figure 208 indique le montage des lampes dans ce cas.

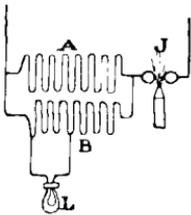
Enfin, en utilisant les courants de haute fréquence qui parcourent les bobines A et B, M. E. Thomson a pu produire l'incandescence du filament d'une lampe de 100 volts placée, comme l'indique la figure 209, en dérivation sur quelques spires de la bobine B.

Il a pu également produire l'incandescence de quatre lampes en ne se servant que d'une bobine A. Comme le montre la figure 210, les lampes sont placées en dérivation sur la bobine A. Cette bobine comprend 15 à 20 tours de gros fil d'à peu près

7^{mm} de diamètre; les spires de la bobine ont un diamètre de 16^{cm}.

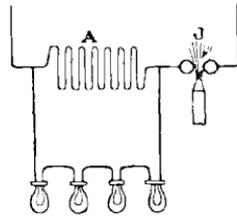
Dans toutes ces expériences, les effets lumineux produits

Fig. 209.



Lampe placée en dérivation sur quelques spires d'une bobine parcourue par des courants de haute fréquence.

Fig. 210.



Emploi d'une seule bobine. Lampes placées en dérivation sur les bornes de la bobine.

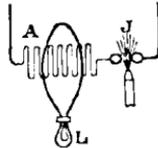
sont d'autant plus brillants que le condensateur employé *K* a une capacité plus grande, que l'étincelle de décharge qui se produit entre les boules de l'excitateur *J* est plus longue et que le jet d'air qui sert à souffler cette étincelle est plus vigoureux.

SECONDE DISPOSITION. — *Lampes disposées sur un circuit voisin du circuit de décharge.* — On peut également produire l'incandescence de lampes disposées sur un circuit parallèle à celui dans lequel se produit la décharge oscillante du condensateur. Il n'y a plus alors aucune communication métallique entre le circuit comprenant les lampes et celui dans lequel on produit les courants de haute fréquence. Le circuit des lampes joue le rôle de circuit secondaire par rapport à celui de la décharge considéré comme circuit primaire.

C'est ainsi qu'on peut produire l'incandescence du filament d'une lampe *L* (*fig. 211*) en reliant les deux extrémités d'une spire placée dans le voisinage de la bobine *A*. Dans une expérience de M. E. Thomson, une lampe de 25 volts ainsi disposée manifestait le même éclairement que celui que lui eût donné un courant continu de 2 ampères fourni par une source de 25 volts. La lampe s'allume dès que le jet d'air est en action

en J; elle s'éteint si l'étincelle de décharge qui se produit en J n'est pas soufflée.

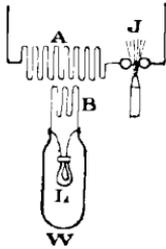
Fig. 211.



Second dispositif. — Lampe reliant les extrémités d'une spire voisine du circuit parcouru par les courants de haute fréquence.

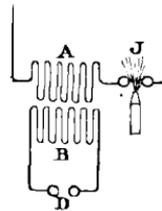
Les mêmes phénomènes sont observés en disposant la lampe un peu différemment dans le circuit parallèle à la bobine A. Ce circuit se compose de quelques spires de fil et la petite bobine B ainsi formée est fermée sur elle-même à l'aide d'un gros fil à faible résistance W. La lampe L (fig. 212) est établie

Fig. 212.



Lampe disposée sur un circuit voisin de celui parcouru par les courants de haute fréquence.

Fig. 213.



Dispositif de production d'un arc par les courants de haute fréquence.

sur un pont joignant les points d'attaches des extrémités de la bobine B avec le fil W. Dans ces conditions la lampe s'allume si l'étincelle de décharge J est soufflée. Les effets sont pratiquement nuls si l'on arrête le jet d'air en J.

L'expérience suivante semble montrer qu'il serait possible d'entretenir une lampe à arc en activité, en utilisant les mêmes phénomènes par des appareils plus puissants.

Autour de la bobine A (*fig. 213*), comprenant 10 spires, dans le circuit de laquelle se produit la décharge, est enroulée une bobine B de 20 spires, dont les extrémités sont reliées à deux boules D. L'étincelle de décharge étant violemment soufflée en J, on obtient en D de grosses étincelles dont la longueur peut atteindre 2^m. Dans cette expérience la distance entre les boules de l'excitateur J est de 7^{mm}.

De même que pour les expériences réalisées avec la première disposition, les effets lumineux produits sont d'autant plus marqués que le condensateur K a une plus grande capacité et que l'étincelle en J est plus longue et le jet d'air plus vigoureux.

Aussi M. E. Thomson propose-il de faire en sorte que la décharge, au lieu de se produire entre deux boules seulement, comme dans les dispositifs précédents, se produise entre toute une série de boules placées côte à côte (*fig. 214*), chaque

Fig. 214.



Dispositif de souffleur à plusieurs tuyères.

intervalle compris entre deux boules consécutives étant muni d'une tuyère dirigeant un violent jet d'air. Dans ces conditions les appareils producteurs des courants de haute fréquence doivent être rendus plus puissants.

II. — ILLUMINATION DES TUBES A GAZ RARÉFIÉ PRODUITE PAR LES ONDES ÉLECTRIQUES.

Si l'on approche d'une des plaques d'un excitateur de Hertz en activité un tube à gaz raréfié, tube de Geissler, radiomètre de Crookes, lampe à incandescence, l'intérieur de ces appareils s'illumine. L'illumination est d'autant plus forte que le tube est plus voisin de la plaque d'excitateur.

L'approche d'un conducteur, ou même de la main, de la

paroi extérieure du tube à gaz raréfié augmente l'illumination produite.

Le même phénomène d'illumination des tubes à gaz raréfié s'observe quand on approche ces appareils des fils concentrant le champ hertzien produit par un exciteur en activité. M. Zehnder, puis M. Lecher ont, comme nous l'avons vu, utilisé ce phénomène à la recherche des ventres et des nœuds successifs qui se produisent dans un champ d'oscillations concentré par deux fils conducteurs parallèles.

Expériences de M. Tesla (1). — S'il est possible de produire l'illumination de tubes à gaz raréfié en les disposant dans le champ produit par un exciteur en activité, l'intensité des effets lumineux ainsi produits est relativement faible et l'éclairage qui en résulte des plus précaires.

En utilisant les dispositifs qu'il a imaginés pour produire des courants de haute fréquence au moyen des ondes électriques, M. Tesla est parvenu à produire une illumination très intense de tubes à gaz raréfié convenablement excités.

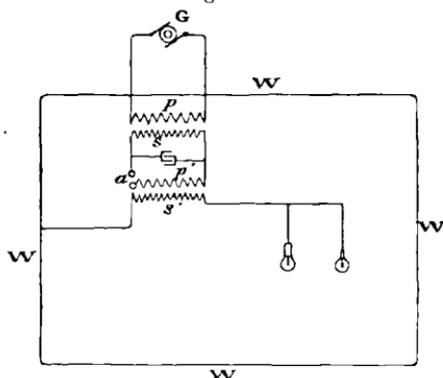
Les dispositions adoptées par M. Tesla au cours de ces expériences sont de deux sortes. Dans les premières, les tubes ou lampes, dans l'intérieur desquels un vide avancé a été fait, contiennent un conducteur qui est mis en relation avec l'un des pôles de la bobine à haute fréquence servant à produire les phénomènes. Dans les secondes, les tubes ou lampes sont complètement isolés des appareils qui produisent leur illumination.

PREMIÈRE DISPOSITION. — *Tubes mis en relation avec l'un des pôles de la bobine à haute fréquence.* — Les tubes ou lampes utilisés par M. Tesla contiennent à leur intérieur une boule ou un fil conducteur. Ce conducteur communique avec une borne extérieure à la lampe, qui ne possède ainsi qu'un seul pôle, d'où le nom de *lampe unipolaire* donné par M. Tesla à cet appareil.

(1) TESLA, Institut américain des Ingénieurs électriciens de Columbia (New-York, 20 mai 1893).

Comme l'indique le schéma de la figure 215 qui reproduit pour plus de clarté le dispositif de production des courants de haute fréquence, les lampes unipolaires (au nombre de deux dans la figure) sont reliées à l'un des pôles du transformateur

Fig. 215.



Illumination de lampes unipolaires par les ondes électriques.
Dispositifs de M. Tesla.

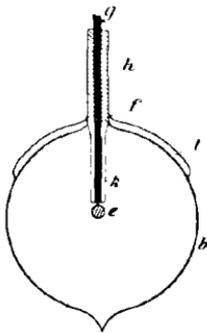
de M. Tesla. L'autre pôle demeure isolé. On obtient une illumination plus brillante des lampes en reliant le pôle libre du transformateur aux murs de la pièce où l'on fait l'expérience. Dans ce cas les murs doivent être recouverts de substances métalliques (feuilles d'étain), afin d'être suffisamment conducteurs.

Lampes unipolaires de M. Tesla. — Les lampes de M. Tesla peuvent être construites de différentes manières. Nous décrivons les dispositions suivantes :

La lampe représentée par la figure 216 se compose d'une ampoule *b* dans laquelle on a fait le vide et au centre de laquelle se trouve une boule conductrice *e* en communication avec un fil métallique soudé dans le verre et qui est relié à la borne de la lampe. Hors de l'ampoule le fil est protégé par un isolant *h*; à l'intérieur le fil de suspension est isolé par un tube *k* en matière réfractaire (terre de pipe). Un réflecteur métallique *l* est figuré à l'extérieur de la lampe.

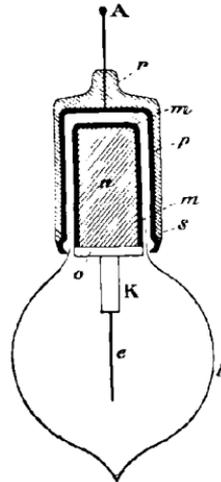
Un autre type de lampe (*fig. 217*) contient une tige de charbon *e* reliée par l'intermédiaire de la pièce *K* et du plateau conducteur *o* à un cylindre *m* métallique entourant un mandrin isolant *n*. Le tout est situé à l'intérieur du col cylindrique

Fig. 216.



Lampe unipolaire de M. Tesla.

Fig. 217.

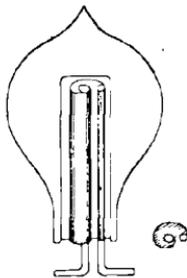
Lampe unipolaire de M. Tesla.
Second dispositif.

de l'ampoule de verre *b*. Ce col se fixe dans une monture en matière isolante *r, p* garnie intérieurement d'une feuille métallique *s* communiquant avec le pôle *A* de la source. La garniture métallique *s* et le tube *m* forment ainsi les armatures d'un condensateur.

Enfin, dans le but d'avoir à l'intérieur de la lampe une surface bien réfléchissante, M. Tesla la forme d'un tube de verre fermé à un bout et pénétrant dans une ampoule de lampe à incandescence. L'extrémité ouverte du tube est soudée au col de l'ampoule (*fig. 218*); à l'intérieur du tube une feuille de cuivre enroulée en spirale communique avec un des pôles de la source. La dernière spire de la feuille de cuivre est recouverte d'une mince couche d'argent qui la rend bien réfléchissante.

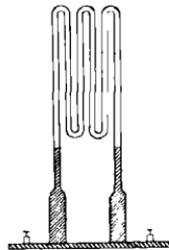
Ces divers modèles de lampes, reliés à l'un des pôles de la bobine à haute fréquence, s'illuminent. Il en est de même d'un tube à gaz raréfié tel que celui de la figure 219. Dans un

Fig. 218.



Lampe unipolaire à pôle formant surface réfléchissante.

Fig. 219.



Dispositif de tube à gaz raréfié

semblable tube l'éclat va en diminuant depuis l'extrémité reliée au pôle de la source jusqu'à l'autre extrémité. Il suffit toutefois de relier cette extrémité libre à un corps conducteur de surface convenable pour que l'éclat du tube présente la même intensité dans toute son étendue. Il en est de même d'une lampe munie de deux tiges ou de deux perles de charbon au lieu d'une seule (fig. 220). Si l'on relie d'abord l'une des

Fig. 220.



Lampe bipolaire de M. Tesla.

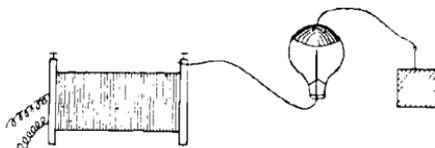
tiges à l'un des pôles de la bobine, cette tige devient fortement incandescente et la lampe s'illumine tandis que la seconde tige s'éclaire moins fortement. Mais il suffit de relier le second charbon à une surface conductrice convenable pour voir les

deux charbons briller également et la lampe s'illuminer dans toute son étendue.

M. Tesla est parvenu à rendre l'illumination des ampoules qu'il emploie encore plus intense soit en disposant à l'intérieur des matières phosphorescentes, sulfure de calcium, yttria, etc., soit en les formant de tubes de verre enduits à leur surface interne de substances phosphorescentes.

Comme nous venons de le voir, une lampe à deux charbons s'illumine d'une manière plus régulière si l'on relie le deuxième charbon avec une plaque formant capacité. De même, l'illumination qui se produit dans une des lampes unipolaires précédemment décrites (*fig. 216 et 217*) est plus complète si l'on a soin de recouvrir une portion de l'ampoule d'une calotte métallique mise en communication avec une capacité. Les connexions sont représentées par la figure 221.

Fig. 221.



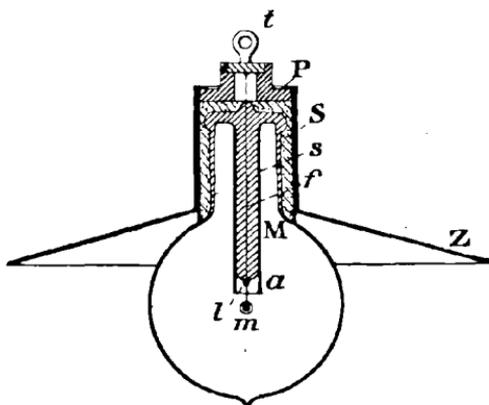
Dispositif représentant les connexions d'une lampe unipolaire à calotte métallique.

Cette propriété remarquable permet de faire varier à volonté l'éclat d'une lampe unipolaire. M. Tesla a très heureusement profité de la nécessité d'ajouter une capacité à chaque lampe pour en augmenter la puissance en faisant jouer le rôle de capacité à un abat-jour *Z* servant de réflecteur (*fig. 222*).

Dans ce modèle de lampe unipolaire, *m* est le bouton de carbone rendu incandescent (charbon préparé à la façon des filaments de lampes ordinaires à incandescence ou *carborundum*). Le filament qui sert de support à cette boule *m* est représenté en *l*; il est attaché au fil conducteur *f* traversant la tige isolante *s* et aboutissant à la borne *t* de la lampe. Une feuille mince de mica *M* entoure la tige *s* et supporte un tube mince d'aluminium *a* dont le rôle serait, d'après M. Tesla, de localiser l'effet radiant sur le bouton *m* et de servir d'écran

protecteur au filament L . Un tube métallique S cimenté autour du col de l'ampoule porte l'abat-jour condensateur Z . Une douille isolante P sépare le tube S de la borne de la lampe.

Fig. 222.



Lampe unipolaire à réflecteur.

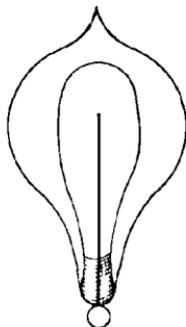
SECONDE DISPOSITION. — *Tubes isolés placés dans un champ de haute fréquence.* — Non seulement les tubes construits par M. Tesla s'illuminent lorsqu'ils sont mis en relation avec l'une des bornes du transformateur à haute fréquence, mais une illumination d'un éclat notable se produit dans ces appareils lorsqu'ils sont au voisinage d'un pôle du transformateur. Cette illumination s'accroît si le pôle du transformateur est mis en communication avec une plaque métallique de large surface et que le tube ou la lampe unipolaire est approché de cette surface.

L'illumination se produit encore à une distance assez grande de la plaque (15^{cm} à 20^{cm}). Elle s'accroît par tous les dispositifs qui augmentent l'éclat des lampes dans la première disposition : mise en communication de la lampe ou de la calotte conductrice la recouvrant avec une capacité, présence de substances phosphorescentes à l'intérieur des tubes à gaz raréfié.

Une lampe à double ampoule, l'une intérieure à l'autre

(fig. 223), l'espace intermédiaire étant raréfié à un degré moindre que l'ampoule interne, s'illumine avec beaucoup d'éclat dans le champ entourant une plaque métallique reliée à l'un des pôles du transformateur de M. Tesla.

Fig. 223.



Lampe unipolaire à double ampoule.

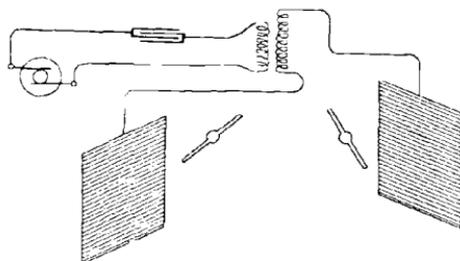
Mais il n'est pas nécessaire que les tubes ou lampes à gaz raréfié qu'on dispose ainsi dans le champ produit par les dispositifs de M. Tesla soient munis d'électrodes. Des tubes qui ont simplement été purgés d'air avec beaucoup de soin et fermés à la lampe s'illuminent dès qu'ils sont placés dans le champ.

En suspendant une plaque métallique d'environ 3^m de longueur et 35^{cm} de largeur à 2^m, 50 du sol, et en la reliant à l'un des pôles du transformateur dont l'autre pôle est mis en communication avec le sol, on forme un champ très intense dans lequel des tubes de 1^m de long, sans électrodes, simplement tenus à la main, s'illuminent dans toute leur longueur d'une fleur assez intense pour produire l'éclairage.

M. Tesla, s'appuyant sur les résultats de ces très intéressantes expériences, préconise comme mode d'éclairage d'une pièce la production à l'intérieur de cette pièce d'un champ d'actions du genre de celles que produit son transformateur. Ce champ devrait être suffisamment intense pour que l'appareil éclairant utilisé pût être déplacé et restât allumé, quelle que fût sa place, sans être lié par aucun conducteur.

La disposition représentée par le schéma de la figure 224 indique le moyen d'obtenir l'illumination de tubes à gaz raréfié

Fig. 224.



Illumination de tubes à gaz raréfié par les courants de haute fréquence.

placés dans l'intervalle compris entre deux plaques métalliques reliées chacune à un pôle du transformateur. Si la surface de ces feuilles est convenablement déterminée, les tubes à gaz s'illuminent dans tout l'espace qu'elles comprennent.

Expériences de M. Mac Farlan Moore ⁽¹⁾. — En utilisant des procédés analogues à ceux mis en œuvre par M. Tesla, M. Mac Farlan Moore est arrivé à éclairer une salle garnie de tentures blanches et pouvant contenir cinquante spectateurs. L'éclairage était produit par quatorze tubes à gaz raréfié disposés aux angles de la salle, au plafond et au centre. Les murs étaient également garnis de motifs lumineux formant décoration.

La répartition des tubes produisait une lumière très uniforme et suffisamment intense pour permettre aux spectateurs de lire sans difficulté ni fatigue.

Comparaison des effets de luminescence et d'incandescence.

— En résumé, les courants de haute fréquence permettent de produire certains effets lumineux qui peuvent être rapportés à deux catégories distinctes :

(¹) MAC FARLAN MOORE, *Annales du laboratoire de Newark*, New Jersey, 1897.

1° Les effets de *luminescence* qui se produisent à l'intérieur d'ampoules dont l'atmosphère est amenée à un degré convenable de raréfaction. Ce sont ces effets lumineux qui ont été obtenus pour la première fois par M. Tesla.

2° Les effets d'*incandescence* consistent dans l'entretien de lampes à incandescence au moyen de courants de haute fréquence. L'incandescence de filaments de lampes par ces courants a été obtenue pour la première fois par M. E. Thomson.

M. Turpain a cherché si l'emploi des divers appareils (transformateur, condensateur, excitateur) qui composent un dispositif de production de courants à haute fréquence était nécessaire pour obtenir les effets lumineux ci-dessus et quels étaient ceux de ces appareils dont l'emploi est nécessaire. Les résultats auxquels conduit cette analyse expérimentale sont les suivants :

Les effets de *luminescence* peuvent être produits dans les mêmes conditions et avec la même intensité alors qu'on supprime successivement le transformateur, le condensateur et même l'exploseur ou excitateur. Une bobine d'induction en activité suffit seule à les produire. Ils doivent être rapportés à de simples phénomènes d'induction susceptibles d'être rapprochés des effets d'illumination produits dans les tubes de Geissler.

Les effets d'*incandescence* nécessitent l'utilisation des dispositifs de production des courants à haute fréquence. Une seule bobine d'induction ne permet pas de les reproduire. Alors même que le transformateur et le condensateur sont adjoints à la bobine, si l'exploseur ou excitateur est supprimé, le phénomène d'incandescence disparaît; seule la luminescence persiste. Les effets d'incandescence nécessitent la production d'ondes électriques dont l'organe essentiel de production paraît être l'exploseur ou excitateur (1).

Le problème de l'éclairage par les ondes électriques. — Si l'on peut considérer le mode de communication au moyen des

(1) A. TURPAIN, *Association française pour l'avancement des Sciences : Congrès de Montauban*, 8 août 1902.

ondes électriques, préconisé par M. Marconi, comme définitivement pratique et susceptible d'être exploité industriellement, il n'en est pas encore de même de l'application des ondes électriques à l'éclairage.

Les expériences de M. Tesla, les essais d'éclairage de M. Mac Farlan Moore, ne semblent pas susceptibles, sans perfectionnements nouveaux, de permettre l'utilisation pratique de ces procédés à l'éclairage. En dehors de la difficulté qu'il y aurait à créer dans chacune des pièces d'un appartement un champ d'actions suffisamment intense pour y permettre l'entretien de tubes à gaz raréfié, les modes de production actuels des courants de haute fréquence ne semblent pas permettre, sans pertes énormes, le transport de ces courants en des points éloignés des appareils qui les produisent.

Mais, en admettant même que la transformation des courants utilisés actuellement dans l'industrie en courants de haute fréquence soit opérée au voisinage des lieux à éclairer, les procédés décrits au Chapitre précédent permettant de produire ces courants semblent encore bien coûteux si on les compare à ceux qui permettent l'éclairage électrique ordinaire. Les expérimentateurs qui ont fait des essais d'éclairage en employant ces procédés nouveaux ne paraissent pas s'être rendu compte de la dépense d'énergie électrique nécessitée par leurs expériences. Il eût été intéressant de comparer cette dépense avec celle qu'aurait nécessitée la mise en œuvre des procédés usuels (arcs, lampe à incandescence) pour produire un éclairage de même intensité sensiblement égal.

Il est à croire que dans les expériences de M. Tesla la dépense faite était de beaucoup supérieure à celle qu'eût nécessitée un éclairage de même intensité produit par les procédés ordinaires. La connaissance du rapport existant entre les deux dépenses, tant en ce qui concerne les expériences de M. Tesla qu'en ce qui concerne les expériences plus récentes de M. Mac Farlan Moore, eût permis de se rendre compte si les dispositions employées par ce dernier expérimentateur réalisaient un progrès sur celles indiquées par le promoteur de ce nouvel éclairage électrique.

Quant au procédé d'éclairage par incandescence au moyen

des courants de haute fréquence, préconisé par M. Elihu Thomson, il se heurte dans la pratique aux mêmes difficultés que celui d'illumination des tubes à gaz raréfié (impossibilité de transporter, sans pertes énormes, les effets loin des appareils producteurs; difficulté de produire les effets sans grande dépense). De plus, ce mode d'éclairage ne rendrait pas la lampe complètement indépendante de tout appareil électrique.

Quoi qu'il en soit, et bien que les expériences de M. Tesla et de M. Elihu Thomson doivent être regardées comme des recherches de laboratoire, il semble cependant qu'elles peuvent être considérées comme contenant en germe une application des ondes électriques susceptible, grâce à d'heureux perfectionnements, de devenir pratique.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
Préface de la première édition	V
Préface de la deuxième édition	IX

CHAPITRE I^{er}.

PRODUCTION ET OBSERVATION DES ONDES ÉLECTRIQUES.

Expériences de Hertz. — Ondes électriques	1
Ondes électriques stationnaires	4
Ondes électriques le long des fils	5
Résonance multiple	6
Diverses formes d'excitateurs	7
Excitateurs de Hertz	7
Perfectionnement de MM. Sarasin et de la Rive	8
Excitateur de M. Blondlot	9
» de M. Lodge	10
» de M. Righi	10
» de M. Lebedew	10
» de M. Bose	10
Divers modes d'observation de la résonance électrique	12
Résonateur de Hertz	12
» de M. Blondlot	14
Emploi de l'électromètre	14
Résonateur à coupure	15
Emploi du téléphone	15
» du galvanomètre	16
» des tubes à gaz raréfié	17
Détermination des concanérations par la méthode du pont	17
Tubes radio-conducteurs ou cohéreurs	20
Cohéreur de M. Branly	20
» de M. Lodge	20
» de M. Popoff	21
» de M. Marconi	21

	Pages.
Cohéreur régénérable de M. Blondel	22
» autodécohérable de M. Tommasina	23
» à cohérotation magnétique de M. Tissot	24
» de M. Castelli	25
» de M. J. Fényi	26
Détecteur d'ondes de M. Blondel	26
Anticohéreurs autodécohérables	27
Détecteurs d'ondes	30
Détecteur magnétique	30
Dispositif Wilson	30
» Marconi	31
Détecteurs thermiques	32
Dispositif Fessenden	32
Dispositifs holométriques	32
Dispositif Tissot	33
Détecteurs électrolytiques	33
Dispositif Schloemich	34
Sensibilité comparée des divers détecteurs d'ondes	36

CHAPITRE II.

ENTRETIEN D'UN EXCITATEUR EN ACTIVITÉ. — SOURCES D'ÉLECTRICITÉ.
MACHINES ÉLECTRIQUES. — BOBINES D'INDUCTION ET INTERRUPTEURS.

Machines électriques	37
Machine de Holtz	38
» de M. Wimshurst	40
» de Voss	44
» de M. Bonetti	45
» de M. Pidgeon	45
Bobines d'induction	47
Bobine d'induction de M. A. Apps	47
Système de cloisonnement du circuit secondaire de M. A. Davis	49
Bobine d'induction de M. Elihu Thomson	51
Transformateur à haute tension de MM. Wydts et de Rochefort	53
Transformateur unipolaire	55
Transformateur de M. Klingelfuss	56
Dispositif de M. Gresson	59
Emploi du courant alternatif. Transformateurs pour courants alternatifs.	60
Génératrice de M. Villard, spéciale à la télégraphie sans fil	61
Interrupteurs	62
Interrupteurs du genre Foucault	63
a) Interrupteurs à trembleur	63
Interrupteur de MM. Wydts et de Rochefort	63
» électromagnétique de M. P. Villard	65

	Pages.
Rupteur atonique de M. Carpentier	70
b) Interrupteurs rotatifs	71
Interrupteur de MM. Ducretet et Lejeune.....	71
» de M. Hofmeister	72
Perfectionnement de M. Hauswald.....	73
» de MM. Wydts et de Rochefort.....	73
» de M. le D ^r Guilloz	74
» de M. Lacroix	74
Perfectionnement de M. le D ^r Bergonié	76
» rapide de M. Turpain.....	77
c) Interrupteurs à jet de mercure	79
Interrupteur de M. Webster	79
» de M. Max Levy	80
» de l'A. E. G.	82
Remarques.....	83
Interrupteur-inverseur de M. V. Crémieu	85
» de M. Turpain	89
Interrupteurs du genre Wehnelt	91
Interrupteur de M. Wehnelt.....	91
Dispositifs divers de l'électrode active.....	93
Dispositif de M. Carpentier	93
Formes diverses de l'interrupteur de M. Wehnelt	94
Interrupteur de M. Simon.....	95
» de M. Caldwell.....	97
Fonctionnement de l'interrupteur de M. Wehnelt	100
Régimes divers de l'interrupteur	101
Irrégularités des interruptions	102
Comparaison des interrupteurs du genre Foucault et du genre Wehnelt	105

CHAPITRE III.

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA TÉLÉGRAPHIE.

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL.

Historique et principe. Premiers dispositifs.....	108
Télégraphe de Morse	108
La télégraphie sans fil avant l'utilisation des ondes électriques	110
La télégraphie sans fil par ondes électriques. Les précurseurs de M. Marconi	111
Télégraphe de M. Marconi.....	113
Description générale	113
Relais télégraphique	114
Description sommaire d'une station de télégraphie sans fil	115
Poste transmetteur	116
Poste récepteur.....	117
Poste complet	121

CHAPITRE IV.

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA TÉLÉGRAPHIE. — TÉLÉGRAPHIE
SANS FIL (suite). — DÉTAILS DES DISPOSITIFS DE TÉLÉGRAPHIE SANS
FIL.

	Pages.
Types généraux de montage	122
Classification	122
Antennes. Rôle de la terre	125
Diverses formes d'antenne	125
Observations relatives aux antennes	127
Nécessité de l'antenne	127
Longueur de l'antenne	127
Loi des antennes de M. Marconi	128
Direction de l'antenne	128
Communication de l'antenne avec la terre	130
Isolément des antennes	130
Nature, forme et capacité de l'antenne	131
Diverses explications du rôle de l'antenne	132
Première explication	132
Explication basée sur la conduction du sol	132
Rôle de la terre	133
Explication basée sur la conductibilité de l'air	133
» » sur la considération des lignes de force	134
Conclusions	137
Dispositifs particuliers que présentent les principaux postes de télégraphie sans fil	137
Dispositifs de M. Marconi	137
Premiers dispositifs	137
Seconds »	138
Troisième »	140
Détails du récepteur à cohéreur de M. Marconi	141
Dispositifs de M. Braun	142
Dispositifs de M. Slaby	143
Dispositif d'émission	143
» de réception	143
Dispositifs Telefunken	148
Récepteur type Slaby-Arco	148
» Telefunken	149
Dispositifs de M. de Forest	150
Dispositif d'émission	150
» de réception	150
Dispositif de M. Tissot	152
» de M. Rochefort	152
» de M. Maskelyne	153
Dispositif de réception	153

	Pages.
Dispositifs de M. Ferrié	154
Dispositifs à détecteur.....	155
Dispositif de réception à détecteur. Connexions directes.....	156
Dispositif de réception à détecteur. Connexions indirectes : première catégorie.....	157
Dispositif de réception à détecteur. Connexions indirectes : seconde catégorie.....	157
Dispositifs de M. Magri.....	158
» de M. Artom.....	159
» de M. Poulsen.....	160

. CHAPITRE V.

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA TÉLÉGRAPHIE. — TÉLÉGRAPHIE SANS
FIL (suite). — LONGUEURS D'ONDE ET AMORTISSEMENT. — LEURS MESURES.
— ACCOUPLEMENT.

Réglage des postes de télégraphie sans fil.....	163
Longueur d'onde des oscillations d'une antenne.....	164
Détermination de la longueur d'onde λ par le calcul.....	165
» » par la mesure de la période T.....	167
Mesure directe de la longueur d'onde λ	167
Utilisation du champ hertzien concentré par un fil unique.....	168
Ondemètre à nappe hélicoïdale de M. Turpain.....	170
Utilisation du champ hertzien concentré par deux fils.....	172
Ondemètres.....	172
Ondemètre de Slaby, dit <i>bobine multiplicatrice</i>	172
» de M. Dœnitz.....	173
» de M. Fleming, dit <i>kummètre</i>	173
» de M. Ferrié.....	174
Amortissement des ondes électriques.....	174
Mesure des amortissements.....	177
Méthode de M. Tissot par la courbe de résonance de M. Bjerknes.....	177
Mesure de l'amortissement au moyen de l'ondemètre sans tracé de la courbe de résonance.....	180
Décramètre de M. Tissot.....	182
Accouplement des circuits.....	187
Résultats.....	189

CHAPITRE VI.

APPLICATIONS DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA TÉLÉGRAPHIE. — TÉLÉGRAPHIE
SANS FIL (suite). — LE PROBLÈME DE LA SYNTONIE. — SOLUTIONS PROPOSÉES
— PRODUCTION DES ONDES ÉLECTRIQUES ENTRETENUES.

Le problème de la syntonie. Solutions proposées. Production des ondes électriques entretenues.....	190
---	-----

	Pages.
Problème de la syntonie.....	193
Le problème de la syntonie et l'amortissement des ondes électriques...	194
Problème restreint de la syntonie.....	195
Principes de la syntonie.....	195
I. Identité des circuits transmetteurs et récepteurs.....	195
Système Lodge et Muirhead.....	195
» Marconi.....	196
» Braun.....	197
» Ascoli.....	198
» Stone.....	198
» Tissot.....	200
II. Utilisation des propriétés des champs interférents.....	201
Système Slaby.....	203
» Artom.....	204
» Magri.....	204
III. Dispositifs mécaniques de syntonie.....	206
Système Blondel.....	206
» Anders Bull.....	207
IV. Emploi de l'arc électrique et de l'arc chantant. Production d'ondes entretenues.....	207
Expériences de M. Valbreuze.....	208
» de M. Cooper Hewitt.....	208
» de MM. Simon et Reich.....	208
» de M. Campos.....	209
» de M. Poulsen.....	212
Résultats.....	214
Avantages du système Poulsen.....	215
Inconvénients du système Poulsen.....	216
Conclusions.....	219

CHAPITRE VII.

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA TÉLÉGRAPHIE.

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL (suite). — PROGRÈS DE LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL.

Progrès des applications de la télégraphie sans fil.....	223
Emploi de dispositifs à connexions directes.....	223
Premières expériences de M. Marconi.....	223
Expérience de M. Slaby.....	227
» de M. Voisenat.....	228
» de M. Tissot.....	228
» de M. Popoff.....	229
Seconde série d'expériences de M. Tissot.....	230
Emploi des dispositifs dits <i>syntones</i>	231
Expériences de M. Braun.....	231

	Pages.
Seconde série d'expériences de M. Marconi.....	231
Expériences de double communication de M. Slaby.....	232
Expériences de M. Ferrié.....	233
Utilisation des expériences de M. Tissot par la télégraphie navale....	234
Récents expériences de la marine française.....	234
Expériences de M. Poulsen.....	237
Essais de communications intercontinentales. Stations de télégraphie sans fil très puissantes.....	238
Stations allemandes puissantes de Nauen, près Berlin, et Norddeich, à l'embouchure de l'Elbe.....	240
Station de la tour Eiffel.....	242
Autres stations puissantes.....	243
Perturbations apportées par les phénomènes d'électricité atmosphérique.	243
Importance du problème de la télégraphie dite <i>sans fil</i>	244

CHAPITRE VIII.

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA TÉLÉGRAPHIE (suite).
TÉLÉPHONIE SANS FIL.

Téléphonie sans fil sans l'emploi d'ondes électriques.....	248
Téléphonie sans fil par induction.....	248
Téléphonie sans fil par ondes lumineuses.....	249
Téléphonie sans fil par ondes électriques.....	249
Utilisation d'ondes électriques d'intensité constante et de fréquence variable.	249
Dispositif de M. Guillen Garcia.....	249
Utilisation d'ondes électriques d'intensité variable et de fréquence constante.	250
Dispositif de M. Collins.....	250
» de M. Ruhmer.....	251

CHAPITRE IX.

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA TÉLÉGRAPHIE (suite).
TÉLÉGRAPHIE AVEC CONDUCTEUR.

Énoncés de quelques problèmes de télégraphie.....	255
Transmission duplex.....	255
» diplex.....	256
» quadruplex.....	256
» multiplex. Multicommutation.....	257
Télégraphie multiple.....	257
Télégraphie multiplex.....	259
Télégraphie et téléphonie simultanées.....	260
Multiplex et <i>multicommutateur téléphonique</i>	261
Principes sur lesquels reposent l'emploi des ondes électriques à la télégraphie avec conducteur.....	261

	Pages.
Champ ordinaire à deux fils de Hertz et champ interférent.....	261
Transformation d'un champ ordinaire en champ interférent et transformation réciproque.....	265
Utilisation de ces phénomènes pour impressionner à volonté un résonateur placé à distance.....	266
Fonctionnement d'appareils télégraphiques quelconques au moyen des ondes électriques.....	268
A pplication des ondes électriques à la solution des problèmes de télégraphie précédemment énoncés.....	270
Transmission simple. Emploi du résonateur complet.....	270
» Emploi du résonateur à coupure.....	270
Transmission duplex par ondes électriques.....	271
Premier dispositif.....	271
Généralité de la solution.....	273
Second dispositif.....	274
Transmission diplex par ondes électriques.....	276
Duplex et diplex.....	277
Second dispositif : Diplex à ondes électriques.....	277
Transmission quadripex par ondes électriques.....	279
Transmission multiplex par ondes électriques.....	280
Autre dispositif récepteur.....	282
Multicommutateur à ondes électriques.....	285
Utilisation d'enceintes métalliques fermées.....	286
Téléphonie et télégraphie simultanées.....	287
L a multicommutation en téléphonie.....	289

CHAPITRE X.

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA COMMANDE A DISTANCE.

Appareil de commande à distance de M. Hulsmeyer.....	291
Dispositif de M. Branly pour commandes à distance avec contrôle des actions produites.....	293
Dispositif de MM. Axel Orling et Georg Braunerhjelm pour actionner les gouvernails au moyen des ondes calorifiques, lumineuses ou électriques..	295
Dispositif de MM. W. Jammeson et J. Trotter pour la manœuvre des torpilles par les ondes hertziennes.....	297
Dispositif de commande à distance dit « télékino » de M. Torrès.....	299
Dispositif de télé mécanique sans fil de M. Gabet.....	301
Dispositif de commande à distance par ondes hertziennes de M. Devaux ...	304

CHAPITRE XI.

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A L'ÉTUDE DES ORAGES.

Premières observations de Popoff.....	309
Expériences de M. Boggio Lera.....	309

TABLE DES MATIÈRES.

385

	Pages.
Expériences de M. Tommasina.....	312
» de M. Fenyi.....	314
» de M. Turpain. Première série d'expériences.....	315
» » Seconde série d'expériences.....	325
» » I. Observation des orages.....	326
» » II. Étude du potentiel de l'air.....	332
Dispositif d'enregistrement d'orages à bolomètre de M. Turpain.....	334

CHAPITRE XII.

COURANTS DE HAUTE FRÉQUENCE.

Courants de haute fréquence.....	336
Alternateur à haute fréquence de M. Tesla.....	337
Production des courants de haute fréquence au moyen des décharges oscillantes.....	337
Dispositif de M. Tesla.....	339
Premier dispositif.....	339
Second dispositif.....	340
Soufflage de l'étincelle. Son importance.....	341
Soufflage magnétique de l'étincelle de décharge.....	342
Dispositif de M. Tesla sans bobine d'induction.....	343
Dispositifs de M. Elihu Thomson.....	344
Soufflage de l'étincelle.....	345
Bobines de haute fréquence.....	345
Petit appareil.....	346
Grand appareil.....	346
Dispositifs de M. d'Arsonval.....	348
Soufflage de l'étincelle.....	349
Exploseur rotatif.....	350
Dispositifs de M. le docteur Oudin.....	352
Appareils dits <i>bipolaires</i>	354
Transformateur à haut voltage à survolteur cathodique de M. P. Villard...	356
Soupape cathodique.....	356

CHAPITRE XIII.

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A L'ÉCLAIRAGE.

Entretien de lampes à incandescence par les courants de haute fréquence..	360
Expériences de M. Elihu Thomson.....	360
Première disposition : Lampes placées en dérivation sur les circuits parcourus par les courants de haute fréquence.....	361
Seconde disposition : Lampes disposées sur un circuit voisin du circuit de décharge.....	363

	Pages.
Illumination des tubes à gaz raréfié produite par les ondes électriques.....	365
Expériences de M. Tesla.....	366
Première disposition : Tubes mis en relation avec l'un des pôles de la bobine à haute fréquence.....	366
Lampes unipolaires de M. Tesla.....	367
Seconde disposition : Tubes isolés placés dans un champ à haute fréquence.	371
Expériences de M. Mac Farlan Moore.....	373
Comparaison des effets de luminescence et d'incandescence.....	373
Le problème de l'éclairage par les ondes électriques.....	374

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

TABLE ALPHABÉTIQUE.

A

	Pages.
Accouplements des circuits.....	187
Alternateur de haute fréquence.....	337
Amortissement des ondes électriques.....	7, 174
» (mesures des).....	177
Antenne.....	125, 132
» (capacité de l').....	131
» (direction de l').....	128
» (dimensions de l').....	131
» (forme de l').....	131
» (isolement de l').....	130
» (lois des).....	128
» (longueur de l').....	127
» (mise à la terre de l').....	125, 133
» (nature de l').....	131
» (nécessité de l').....	127
» (observations relatives aux).....	127
Anticohéreurs.....	27
Appareils bipolaires.....	354
Application des cohéreurs à la prévision des orages.....	308
» des ondes électriques à l'éclairage.....	360
» » à la manœuvre d'appareils à distance.....	291
» » à la télégraphie....	108, 122, 163, 190, 223, 248, 255
» des propriétés du champ interférent au fonctionnement d'un résonateur à distance.....	266
» du résonateur à coupure.....	268
Atmosphériques (influences).....	243

B

Bipolaires (appareils).....	354
» (lampe).....	369
Bipolaires (résonateur).....	354
Bobines de haute fréquence.....	347
Bobines d'induction.....	47
» de M. Apps.....	47
» de M. Elihu Thomsen.....	51
Bolomètre.....	32

	Pages.
Capacité de l'antenne.....	131
Cathodique (souple).....	336
» (survolteur).....	336
Champ hertzien.....	5
» interférent.....	260
» » (application du).....	266
» ordinaire.....	264
» en champ interférent (transformation du).....	265
Classement des détecteurs d'ondes.....	30
Classification des dispositifs de télégraphie sans fil.....	122
Cloisonnement du circuit secondaire.....	49
Cohéreur.....	20
» (application des) à la prévision des orages.....	308
» autodécohérents.....	23
» de M. Branly.....	20
» de M. Castelli.....	25
» à cohérence magnétique de M. Tissot.....	24
» de M. J. Fouyi.....	26
» de M. Lodge.....	20
» de M. Marconi.....	21
» de M. Popoff.....	21
» régénérable de M. Blondel.....	22
Commande à distance.....	291 à 304
Communications intercontinentales.....	238
Comparaison des interrupteurs du genre Foucault et du genre Wehnelt....	105
• Complet (résonateur).....	270
Concavités (détermination des).....	17
Concentration du champ hertzien.....	9
Courbe de résonance.....	177
Coupage (application du résonateur à).....	270
» (résonateur à).....	15
Courant alternatif (fréquence d'un).....	336
» » (interrupteurs pour).....	65, 85, 89
» » (transformateurs pour).....	60
» » de haute fréquence.....	336
» » « » (applications des).....	360

D

Décharge oscillante.....	2
» » (courants de haute fréquence par les).....	337
Décimètre de M. Tissot.....	182

	Pages.
Duplex (transmission).....	255
» » par ondes électriques	271
Duplex et diplex.....	277

E

Éclairage par les ondes électriques.....	360,	374
Électrodynamique (mode) de concentration du champ hertzien.....		9
Électromagnétique (interrupteur).....		65
Électromètre (emploi de l').....		14
Électrostatique (mode) de concentration du champ hertzien.....		9
Enceintes métalliques fermées (utilisation d').....		286
Étincelle oscillante		337
» (soufflage de l').....	34 v, 345,	349
Excitateur d'ondes électriques	2,	7
» (diverses formes d').....		7
» (entretien d'un) en activité.....		37
» monochromatique		281
» de M. Blondlot.....		9
» de M. Bose.....		12
» de Hertz.....		7
» de M. Lebedew.....		11
» de M. Lodge.....		10
» de M. Righi.....		10
» de MM. Sarasin et de la Rive.....		8
Expériences de M. Boggio Lera.....		309
» de M. Braun.....		231
» de M. Fenyi.....		314
» de M. Ferrié.....		233
» de Hertz.....		1
» de M. Marconi.....	223,	231
» de la marine française.....		234
» de M. Moore (Mac Farlan).....		373
» de Popoff.....		229
» de M. Poulsen.....		237
» de M. Slaby.....	227,	232
» de syntonie.....	195 à	215
» de syntonisation (résultats des).....		214
» de M. Tesla.....		366
» de M. Thomson (Elihu).....		360
» de M. Tissot.....	228, 230,	234
» de M. Tommasina.....		312
» de M. Turpain.....		315
» de M. Voisenat.....		228
Exploseur rotatif.....		350

F

	Pages.
Fonctionnement de l'interrupteur de M. Wehnelt.....	100
Formule de lord Kelvin.....	2, 338
Fréquence (courants de haute).....	336
» d'un courant alternatif.....	336
» d'un interrupteur.....	63

G

Galvanomètre (emploi du).....	16
Gaz raréfié (emploi des tubes à).....	17
» (illumination des tubes à) par les courants de haute fréquence.....	365
Génératrice de M. Villard pour télégraphie sans fil.....	61

H

Haute fréquence (bobines de).....	344
» » (courants de).....	336, 360
Haute tension (transformateur à).....	53
» » (pôle de).....	56
Haut voltage (transformateur à).....	356

I

Illumination des tubes à gaz raréfié.....	365
Incandescence et luminescence (comparaison).....	373
Influences atmosphériques.....	243
Interférent (champ).....	264
» (application du champ).....	266
Interrupteurs.....	62
» pour courants alternatifs.....	65, 85
» (fréquence d'un).....	63
» du genre Foucault.....	63
» du genre Wehnelt.....	91
» à jet de mercure.....	79
» rotatifs.....	71
» à trembleur.....	63
Interrupteur de l'A. E. G.....	82
» de M. Cadwel.....	97
» de M. Carpentier.....	70
» de M. Crémieu.....	85
» de MM. Ducretet et Lejeune.....	71
» de M. le D ^r Guilloz.....	74
» de M. Hofmeister.....	72

	Pages.
Interrupteur de M. Lacroix	74
» de M. Lévy (Max)	80
» de M. Simon	95
» de M. Turpain	77, 89
» de M. Villard	65
» de M. Webster	79
» de M. Wehnelt	91
» de MM. Wydts et de Rochefort	63, 73
Interruptions (irrégularités des)	102

J

Jigger	139
--------------	-----

L

Lampe à incandescence (entretiens des) par les courants de haute fréquence.	360
Lampes unipolaires de M. Tesla	367
» bipolaires	369
Limaille (tubes à)	20
Lois des antennes	128
Longueur d'onde	5, 164
» » (détermination de la)	165
Luminescence et incandescence (comparaison)	373

M

Machines électriques	37
» de M. Bonetti	45
» de Holtz	38
» de M. Pidgeon	45
Machine de M. Voss	44
» de M. Wimshurst	40
Magnétique (cohéreur)	24, 284
» (soufflage)	342, 345
Manœuvre d'appareils à distance	291
» des torpilles	297
Méthode du pont	18
Micromètre	13
Mise à la terre de l'antenne	130
Modes d'observation de la résonance électrique	12
» électrodynamique de concentration du champ hertzien	9
» électrostatique	9
Monochromatique (excitateur)	281

TABLE ALPHABÉTIQUE.

393

	Pages.
Multicomunication	257
» en téléphonie.....	261, 289
Multicommutateur à ondes électriques.....	285
Multiple (télégraphie).....	257
» (résonance).....	6
Multiplex (transmissions).....	257
» » par ondes électriques	280

N

Nodale (section)	4
------------------------	---

O

Observation de la résonance électrique (divers modes d').....	12
Observations relatives aux antennes.....	127
Onde (longueur d').....	5
Ondes électriques.....	1
» » (amortissement des).....	7, 174
» » (application des) à l'éclairage.....	360
» » » à la manœuvre d'appareils à distance.....	291
» » » à la télégraphie. 108, 122, 163, 190, 233, 248,	255
Ondemètres.....	172
» de M. Dœnitz.....	173
» de M. Ferrié.....	174
» de M. Fleming.....	175
» de M. Slaby.....	172
» de M. Turpain.....	170
Ondes électriques (classement des détecteurs d').....	30
» » (détecteur d').....	30
» » entretenues.....	207
» » (excitateur d').....	2, 7
» » le long des fils.....	5
» » (multicommutateur à).....	285
» » (transmission duplex par).....	276
» » (transmission duplex par).....	271
» » (transmission multiplex par).....	280
» » (transmission quadruplex par).....	279
» » stationnaires.....	4
Orages (application des cohéreurs à l'étude des).....	309
Ordinaire (champ).....	264
Oscillante (décharge).....	2
» (étincelle).....	337
Oscillations électriques (période des).....	2

	Pages.
P	
Période des oscillations électriques.....	2
Pôle de haute tension.....	56
» de petite tension.....	56
Pont (méthode du).....	18
Poste complet.....	121
» récepteur.....	117
» transmetteur.....	116
Précurseurs de M. Marconi (les).....	111
Problème de l'éclairage par les ondes électriques.....	374
» de la syntonie (le).....	193
Problèmes de télégraphie (énoncé de).....	255
» de la télégraphie dite <i>sans fil</i>	244
Q	
Quadruplex (transmission).....	256
» » par ondes électriques.....	279
R	
Radioconduction (théories de la).....	28
Radioconducteurs.....	20
Récepteur (poste).....	117
Réglage des postes de télégraphie sans fil.....	163
Relais.....	114
Résonance multiple.....	6
» (courbe de).....	177
» (divers modes d'observation de la).....	12
Résonateur bipolaire.....	354
» complet (emploi du).....	270
» à coupure.....	15
» » (emploi du).....	196, 270
» (micromètre du).....	13
» de M. Blondlot.....	14
» de Hertz.....	3, 12
Rôle de l'antenne.....	132
Rôle de la terre.....	133
Rotatif (exploseur).....	350
» (interrupteurs).....	71
Rupteur atonique de M. Carpentier.....	70
S	
Section nodale.....	4
» ventrale.....	4

TABLE ALPHABÉTIQUE.

395

	Pages.
Sensibilité comparée des détecteurs d'ondes.....	36
Soufflage de l'étincelle.....	341, 345, 349
» magnétique.....	342, 345
Soupape cathodique.....	355
Sources d'électricité.....	37
Stations très puissantes.....	238, 243
» » de Nauen.....	240
» » de Norddeich.....	240
» » de la tour Eiffel.....	242
Survolteur cathodique.....	356
Syntonie (dispositifs de) de M. Anders Bull.....	207
» de M. Ascoli.....	198
» de M. Blondel.....	206
» de M. Braun.....	197
» de M. Campos.....	209
» de M. Cooper Hewitt.....	208
» de MM. Lodge et Muirhead.....	195
» de M. Magri.....	204
» de M. Marconi.....	195
» de M. Poulsen.....	212
» de MM. Simon et Reich.....	208
» de M. Slaby.....	203
» de M. Stone.....	198
» de M. Tissot.....	200
» de M. de Valbrouze.....	208
» (le problème de la).....	193, 195
» en télégraphie sans fil.....	195, 201, 206, 207, 219
Système de cloisonnement du circuit secondaire.....	49

T

Télégraphe de Morse.....	108
» de M. Marconi.....	113
Télégraphie (application des ondes électriques à la).....	108, 122, 163, 190,
	223, 248, 255
» avec conducteur.....	254, 261
» (énoncé de quelques problèmes de).....	255
» multiple.....	257
» multiplex.....	259
» et téléphonie simultanée.....	260, 287
Télégraphie sans fil avant l'utilisation des ondes électriques.....	110
» » par ondes électriques.....	111
» » (dispositifs de).....	137
» » (importance du problème de la).....	260
» » (syntonie en).....	195, 201, 206, 207, 219
Télégraphique (rolais).....	114

	Pages.
Téléphono (emploi du).....	15, 175
Téléphonie sans fil.....	248 à 251
Téléphonique (multicommutation).....	261, 289
Théories de la radioconduction.....	28
Terre (mise à la) de l'antenne.....	130
Torpilles (manœuvre des).....	297
Transformateur de M. Klingelfuss.....	56
» à haute tension de MM. Wuydts et de Rochefort.....	53
» à haut voltage de M. Villard.....	356
» pour courants alternatifs.....	60
» unipolaire.....	55
Transformation du champ ordinaire en champ interférent.....	265
Transmetteur (poste).....	116
Transmission diplex.....	256, 276
» duplex.....	255, 271
» quadruplex.....	256, 279
» multiplex.....	257, 280
Trembleur (interrupteurs à).....	63
Tubes à limaille.....	20
» à gaz raréfié (illumination des).....	365

U

Unipolaires (lampes) de M. Tesla.....	367
» (transformateur).....	55

V

Ventrale (section).....	4
-------------------------	---