

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

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

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

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

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

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

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

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

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

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

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

Auteur(s)	Graffigny, Henry de (1863-1934)
Titre	La télégraphie sans fil
Adresse	Paris : E. Bernard et Cie, imprimeurs-éditeurs, 1900
Collection	Petite encyclopédie scientifique et industrielle
Collation	1 vol. (159 p.) : ill. ; 18 cm
Nombre d'images	163
Cote	CNAM-BIB 12 Sar 322
Sujet(s)	Télégraphie sans fil
Thématique(s)	Technologies de l'information et de la communication
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	21/01/2021
Date de génération du PDF	20/01/2021
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?12SAR322



LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

Courbevoie. — E. BERNARD et Cie, Imprimeurs-Editeurs.
Bureaux : 29, Quai des Grands-Augustins. — Paris.

San. 3^{er}

PETITE ENCYCLOPÉDIE
Scientifique et Industrielle

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE

Henry de GRAFFIGNY
INGÉNIEUR CIVIL

LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

Illustré de 45 figures



P A R I S

E. BERNARD ET Cie, IMPRIMEURS-ÉDITEURS
29, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 29

—
1900

PRÉFACE

La plus grande barrière qui ait été dressée de tout temps devant les progrès de la civilisation et le développement de la fraternité des peuples, est un obstacle fait de rien : c'est la distance, l'éloignement séparant les nations qui retarde souvent la progression des idées généreuses et pacifiques.

Aussi, à toutes les époques, les inventeurs se sont-ils ingénierés à réduire cet obstacle, et à rapprocher les républiques et les empires par des communications de plus en plus rapides. Depuis deux siècles surtout, ces moyens de correspondance ont suivi une marche ascendante et sans arrêt. On a d'abord tracé de bonnes routes pour faciliter la circulation de véhicules de plus en plus perfectionnés, puis les chemins de fer sont venus et ont causé une véritable révolution, que l'automobile est en train d'achever ; enfin, les moyens de locomotion se sont multipliés, mettant les peuples en relations étroites et constantes, et la vitesse des transports n'a cessé de s'accélérer de plus en plus.

Parallèlement à cette extension continue des procédés de traction, les moyens de transmettre, non plus des objets matériels, mais la pensée même, ont été l'objet des patientes investigations des chercheurs. Après les signaux

par cris convenus ou bûchers allumés sur les montagnes est venu le télégraphe aérien, que l'électricité n'a pas tardé à détrôner et à remplacer, et qui enserre maintenant le globe d'un réseau de câbles et de fils. Le télégraphe a surgi ensuite du cerveau inventif des Américains, et aujourd'hui une découverte plus extraordinaire encore succède à l'étonnant appareil des Bell et des Hughes, les câbles deviennent inutiles : les signaux peuvent être transmis à travers l'espace sans aucun autre support que l'hypothétique éther, et des instruments spéciaux, d'une merveilleuse sensibilité, impressionnés par ces vibrations invisibles, les enregistre au fur et à mesure de leur envoi. Une nouvelle invention est réalisée, et la télégraphie sans fil étonne le monde par son aspect encore mystérieux.

Il y a peu de mois que M. Marconi a exécuté ses expériences qui ont attiré l'attention du monde entier sur ces procédés, et déjà la télégraphie par les ondes électriques a une histoire dont chaque étape a été marquée par un succès.

C'est cette histoire que nous avons voulu résumer dans le présent opuscule, dont le seul but est de fournir, sous la forme la plus condensée possible, tous les renseignements relatifs à cette application de la science, à ce perfectionnement aux méthodes de télégraphie actuellement en usage.

Procédant du simple au composé, après avoir rappelé les conditions générales auxquelles sont soumises les forces dans la nature, et retracé l'histoire de l'art des signaux aux différentes époques, nous entrons de plain-

pied dans notre sujet, en décrivant l'appareillage employé et les expériences réalisées par Marconi, Popoff, Ducretet et tous ceux qui se sont occupés d'apporter leur pierre à l'édifice commencé par Hertz. Tous les moyens d'inter-communication par vibrations transmises à distance ont été successivement passés en revue, et chaque fois que cela a été possible, la gravure est venue en aide au texte descriptif.

Nous pensons donc que ce petit livre, dans son format modeste, pourra, cependant rendre quelques services aux personnes qui désirent se tenir au courant des progrès scientifiques, sans cependant exiger des démonstrations purement techniques et mathématiques. Nous avons surtout cherché à être un historien fidèle et sincère, en nous efforçant de n'omettre aucun fait intéressant se rapportant à ce genre de correspondance. Aussi espérons-nous que cette œuvre de vulgarisation, résumant sous une forme synthétique tout ce qui a rapport à la télégraphie sans conducteur pourra être de quelque utilité aux lecteurs cherchant à être exactement renseignés sur les récentes conquêtes de la science sur la nature.

H. DE GRAFFIGNY.

1^{er} janvier 1900.

LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

CHAPITRE PREMIER

Le mouvement dans la Nature.

Ce n'est que depuis ces dernières années que l'on parvient à se faire une idée à peu près exacte de la constitution générale de l'univers et de l'essence intime des forces naturelles que nos sens nous permettent de reconnaître ainsi que de leur nature et de leur mode d'action. Jusqu'à notre époque, les théories étaient demeurées, fort incomplètes, et il a fallu de nombreuses découvertes pour que l'on pût coordonner une foule de données éparses et édifier sur ce faisceau d'observations une conception rationnelle du plan d'ensemble de la nature. Certes, la tâche demeure encore considérable pour expliquer d'une façon irréprochable certains phénomènes constatés depuis fort longtemps mais, suivant une parole célèbre, la vérité est en marche, et la lueur de son flambeau ne tardera pas à dissiper les erreurs du passé et jeter une claire lumière sur ce que ces phénomènes, présentent encore de mystérieux pour notre ignorance.

Quoi qu'il advienne, et malgré ce que nous apprendra la science de demain, on peut dire qu'aujourd'hui les savants sont généralement d'accord pour reconnaître qu'il n'existe, dans le monde physique, que deux choses fondamentales, qui sont la *Matière* et l'*Energie*.

En physique, la matière est la partie constitutive de tous les corps ; on la suppose formée de particules extrêmement petites, (mais non divisibles cependant à l'infini), appelées *atomes* et dont les divers groupements constituent des *molécules*. Ces molécules ne sont pas accolées intimement ; même dans les substances les plus denses, il existe entre elles des distances qui, eu égard à la dimension si faible des atomes, sont comparables à celles qui séparent les astres entre eux. En outre, on a été forcé d'admettre qu'il existe dans tout l'univers, dans les espaces interplanétaires comme dans les espaces intermoléculaires, une substance gazeuse qu'on désigne sous le nom d'*éther* et qu'on suppose composée d'atomes libres, c'est-à-dire non agglomérés en molécules. Nous ne pouvons percevoir la matière que par les impressions qu'elle produit sur tel ou tel de nos sens, et ces impressions n'existent que comme conséquence des mouvements dont les molécules sont constamment agitées. Ainsi, un corps nous paraît froid parce que ses molécules vibrent moins rapidement que celles de notre propre corps ; un autre nous semble chaud parce que ses molécules vibrent plus rapidement. Ce n'est qu'une question de rapidité de vibration : tout est mouvement dans la nature, mais nous percevons différemment ces mouvements, suivant leur genre et leur amplitude, et en raison du fonctionnement des sens qu'ils affectent. Quant à la cause des vibrations, c'est ce qu'on appelle l'Énergie. C'est donc une erreur de dire que la matière est la cause du mouvement ; la matière subit le mouvement, elle le manifeste, mais elle ne le produit pas, sinon par réaction et en vertu de sa force d'inertie qui la fait résister à l'action.

Il est donc admis que la matière est un composé d'atomes insécables et indestructibles, tous semblables et de mêmes dimensions, et les corps ne se distinguent les uns des autres que par le nombre d'atomes composant leurs molécules. La matière est donc une dans son essence, et il en est de même pour la

force, ou, pour mieux dire, pour toutes les forces que nous connaissons, dont nous recevons la sensation, lumière, chaleur, électricité, son, magnétisme, etc., ou qui se développent autour de nous, sans que nous en ayons conscience, n'étant pas organisés, n'ayant pas de sens particulier pour en être impressionnés. Toutes ces forces, connues et inconnues, ne diffèrent entre elles que par l'amplitude et la rapidité des vibrations dont elles agitent la matière, sous la double influence des circonstances dans lesquelles elles ont pris naissance et des conditions du milieu où elles se propagent. Il y a donc une forme spéciale de mouvement qui, suivant son intensité et sa vitesse de propagation, nous donne la sensation de lumière ou d'ombre, un autre qui impressionne notre tympan et produit le son, un autre l'électricité, un autre la chaleur, etc. Absorption (ou condensation), et réflexion telles nous apparaissent les deux fonctions principales des corps à l'égard de la force, mais, par rapport à eux-mêmes, ces corps transforment l'énergie selon la condition des milieux qui les constituent. Ainsi, un même mode vibratoire de l'éther, l'électricité par exemple, restera électricité dans un conducteur métallique, deviendra chaleur dans un fil résistant de platine ou de charbon, sera lumière dans un milieu gazeux, tel que l'air interposé entre les deux charbons d'une lampe à arc, se transformera en magnétisme dans le champ d'un aimant, en travail moléculaire dans la rondelle d'un téléphone, etc. C'est toujours la même vibration, mais avec des manifestations différentes et résultant de la constitution particulière des corps sur lesquels elle agit.

Rien ne se perd, rien ne se crée dans la nature, c'est là un axiome inflexible : il y a toujours autant d'atomes et la même quantité d'énergie en action dans l'Univers d'aujourd'hui qu'il en existait déjà il y a des milliers de siècles, quand la terre n'existait pas, et qu'il y en aura dans des millions d'années, alors

que la planète qui nous porte sera tombée dans les abîmes de l'éternité. Une vibration quelconque, venue du dehors par l'intermédiaire de l'éther, se transformera donc dans le corps qui l'aura reçue ; elle en sortira sous une forme nouvelle, appropriée à la nature du milieu dont elle émane, ou elle sera simplement réfléchie à la surface de ce corps sans y pénétrer, mais de toute façon elle sera modifiée à sa sortie.

Ce phénomène, qui a été constaté pour le son, la chaleur, la lumière et l'électricité, est désigné par les physiciens sous le nom de *polarisation*, et des instruments ont été construits pour l'étudier, mais la lumière seulement a été analysée par cette méthode, et on s'est peu occupé de la polarisation des autres modes de vibration bien qu'on sache qu'elle existe. La seule différence que l'on puisse trouver entre la réflexion et la réémission des vibrations, c'est que la polarisation est moins complète dans le premier cas, quoiqu'elle existe certainement.

Ainsi donc, en résumé, on rapporte actuellement en dernière analyse tous les phénomènes par lesquels la nature se manifeste à nos sens, à une source unique qui est le mouvement. Le son est une vibration, de même que la lumière et la chaleur : les beaux travaux de Young et de Fresnel l'ont démontré d'une manière irrécusable, et l'on a admis, pour expliquer la propagation de ces vibrations, l'existence d'une substance particulière remplissant les vides planétaires de même que les espaces intermoléculaires des corps, substance qu'on a désignée sous le nom d'*éther*, et qui est en somme encore peu connue, bien qu'on ait une idée nette de ses propriétés.

De même que le son et la lumière, l'électricité est un mouvement vibratoire se propageant à travers l'éther. On sait que, pour étudier les ondes sonores, on se sert de la méthode suivante : on promène un résonateur acoustique aux différents points de la salle où se produit le son. En certains endroits, l'intensité de ce

son diminue, en d'autres, elle finit par s'annuler. Le physicien en peut donc conclure qu'il a affaire à un mouvement ondulatoire : en effet, si le son s'éteint en certains points, — que l'on retrouve périodiquement à des distances égales — c'est qu'une vibration a été annulée par une autre née plus tard et arrivée au même but par une voie plus courte. C'est ainsi que Savara put déterminer exactement les *nœuds* des ondes stationnaires, résultant des ondes sonores directes avec les ondes réfléchies par un mur.

Le physicien allemand Hertz appliqua le même procédé pour l'étude des ondes électriques. Il opérait dans une grande salle, à l'une des extrémités de laquelle était disposé un excitateur statique à axe vertical. A l'autre extrémité se trouvait une large feuille de métal reliée au sol, à la surface de laquelle venaient se refléchir les mouvements vibratoires provoqués par l'excitateur. Les ondes réfléchies interférent avec les ondes directes, donnaient naissance à des ondes stationnaires séparées par des nœuds fixes. De même qu'en acoustique, on a pu ainsi déterminer la longueur d'onde : il suffit de mesurer la distance de deux nœuds consécutifs. Si l'on connaît le temps d'une vibration, on en déduit l'espace parcouru en une seconde en divisant la longueur d'onde par ce temps. On trouve ainsi un nombre très voisin de celui des ondes lumineuses, et cette démonstration corrobore les données déjà connues sur la vitesse de propagation de l'électricité dans des fils conducteurs.

Si, frappé par cette analogie avec la lumière, nous voulons maintenant savoir si les ondes électriques sont transversales ou longitudinales, plaçons le résonateur électrique, formé d'un simple fil rectiligne interrompu, dans deux positions différentes au même endroit de la salle. Si les ondes sont longitudinales, l'action est indépendante de la direction ; si elle ne se manifeste que dans un sens, c'est que les ondes sont transversales et c'est,

en effet, ce dernier fait que l'on constate. Ainsi donc, on s'est encore rapproché du but par l'expérience seule, et toute théorie devient superflue si, au moyen des ondes électriques, on parvient à reproduire des phénomènes semblables à ceux de la lumière. C'est à quoi on réussit en réfléchissant ces ondes sur une surface métallique plane comme a fait Hertz, ou en les réfractant à travers de gros prismes d'asphalte ou de poix. Enfin en plaçant, sur le trajet des ondes une sorte de grillage métallique, nous verrons le résonateur émettre des étincelles plus ou moins longues ou rester au repos en obéissant aux mêmes lois géométriques qui régissent les variations d'éclat d'un rayon lumineux traversant un appareil à polarisation.

Nous nous trouvons donc maintenant dans le domaine de l'optique et nous parlons le langage de cette science. On ne dit plus que des courants traversent les conducteurs ou que des électricités de noms contraires se combinent : nous ne voyons plus que des ondulations, dont l'espace est plein et qui se traversent, se séparent, se réunissent, se renforcent ou s'affaiblissent. Partis de l'électricité nous voici arrivés aux phénomènes optiques! L'identification de la lumière et de l'électricité est établie définitivement ; elle est devenue non seulement intelligible à l'esprit, mais perceptible aux sens ; les deux ordres de phénomènes se confondent et les champs de la science électrique et de l'optique nous paraissent, du même coup, considérablement agrandis. L'optique n'est plus limitée à des ondulations de l'éther de quelques fractions de millimètre, elle comprend des ondes qui se mesurent en décimètres, en mètres, en kilomètres, et l'intervalle diminue insensiblement entre les ondes lumineuses les plus longues et les ondes électriques les plus courtes mesurées jusqu'à présent. L'optique n'est plus qu'un appendice et la lumière qu'une manifestation de l'électricité. Quant à celle-ci, voici ce que Hertz a écrit :

« Nous voyons désormais l'électricité en mille circonstances où nous ne la soupçonnions pas auparavant. Chaque flamme, chaque atome lumineux devient un phénomène électrique. Même lorsqu'un corps ne répand pas de lumière, pourvu qu'il rayonne de la chaleur, il est le foyer d'actions électriques. Le domaine de l'électricité s'étend donc réellement sur toute la nature. »

Ainsi, les diverses forces dont nous constatons l'existence sont donc des formes différentes sous lesquelles un principe unique : l'Énergie, dont la matière est le substratum, devient sensible à nos sens. C'est à travers ce milieu homogène et élastique appelé *éther* que se propage cette énergie, sous forme de radiations ou d'ondes d'amplitude et de fréquence diverses, et qui influencent tel ou tel de nos organes. C'est en recevant les ondes lumineuses que notre œil transmet à notre cerveau la sensation de la lumière et des couleurs ; notre oreille est sensible aux ondes sonores et nous fait, par suite, percevoir les sons ; tout notre corps est sensible aux ondes calorifiques, et, dans certaines circonstances, aux radiations électriques. Mais à côté de ces vibrations qui s'entre-croisent dans l'Univers et nous sont familières, à côté de ces ondulations de longueur et de fréquence variables qui nous parviennent, combien d'autres que nous ignorons absolument et qui, cependant, n'en existent pas moins, mais que nous ne pouvons connaître n'ayant pas d'organe particulier pouvant être impressionné par ces modes divers de mouvement ! On peut penser que ces modalités sont innombrables, qu'il existe infiniment de genres de vibrations et que nous ne connaissons encore presque rien des formes multiples que peut revêtir l'énergie. Toutefois un coin de voile est levé, grâce aux efforts patients et obstinés des chercheurs de tous les pays. On commence à entrevoir la vérité et les découvertes s'ajoutent montrant que l'on a enfin pénétré une partie de ces mystères. L'avenir fera le reste et complétera la tâche

ardue entreprise; désormais les jalons sont posés, et on peut aller hardiment de l'avant sans crainte de s'égarer, car la voie est solidement assise sur des fondements rationnels et inébranlables.

On a dressé le diagramme des vibrations que nos sens connaissent ou que des appareils spéciaux permettent d'enregistrer. Elles se succèdent comme suit :

1° *Vibrations sonores.* Ce sont des vibrations longitudinales, des ondes sphériques se propageant avec une vitesse de 340 mètres par seconde dans l'air, 1.270 mètres dans l'hydrogène, 1.435 mètres dans l'eau, de 3.400 à 4.000 dans les solides. Le nombre minimum de vibrations perceptibles à l'oreille est de 16 vibrations doubles par seconde et le nombre maximum de 36.850. Au-dessus et au-dessous de ces chiffres, le sens auditif n'est plus impressionné.

2° *Vibrations lumineuses.* Ce sont des ondulations transversales (puisque elles interfèrent) dont la vitesse de propagation est de 310.000 kilomètres par seconde. Les longueurs d'onde, évaluées en millionièmes de millimètre, ou millièmes de micron, varient de 423 à 620, pour un nombre de 109 à 480 trillions de vibrations par seconde, suivant les couleurs du spectre.

3° *Vibrations calorifiques.* La chaleur et la lumière sont dues à une seule et même cause : la vibration des molécules des corps transmises par l'éther. Il n'y a, entre les vibrations qui produisent la chaleur et celles qui produisent la lumière qu'une différence entre les longueurs d'onde et la vitesse de propagation ; c'est la même différence qui existe, en acoustique, entre les vibrations lentes produisant les sons graves, et les vibrations rapides donnant naissance aux sons aigus.

Auprès de ces vibrations lumineuses auxquelles l'œil est sensible et de ces vibrations calorifiques obscures que le corps humain tout entier perçoit, viennent se placer une série de radiations invisibles, que décèle la plaque photographique, et qui sont

les radiations chimiques et probablement les fameux rayons X, dont la nature intime la longueur d'onde et la fréquence sont encore inconnues à l'époque où nous écrivons.

4° *Vibrations électriques.* Nous avons montré plus haut l'identité existant entre les vibrations lumineuses et les vibrations électriques, dont la vitesse de propagation est sensiblement égale, et dont les longueurs d'onde varient de quelques centimètres à un mètre et plus. Il y a une grande analogie entre ces diverses radiations, aussi peut-on dire, en résumé, que nous connaissons les oscillations comprises entre 16 vibrations doubles et 750 trillions par seconde, quoique avec certaines lacunes entre chaque série d'ondulations, lacunes dues à l'insuffisance de nos organes sensitifs seulement, à n'en pas douter.

Ainsi donc, encore une fois, tout dans la nature se rapporte au mouvement, ou mieux, à l'Énergie dont le mouvement n'est qu'un aspect. Tel est du moins l'état actuel des connaissances humaines sur ces questions à peine approfondies. Il reste deux problèmes difficiles à résoudre pour avoir une vue nette et définitive des modes divers d'action de cette énergie : celui des conditions géométriques du mouvement, problème dont la solution s'éclaire de jour en jour, ensuite celui de l'essence intime des forces elles-mêmes, électriques, magnétiques et autres qui produisent le mouvement, ce qui est bien le problème de la nature et des propriétés de la substance qui remplit l'espace : l'éther. C'est à cette dernière question qu'aboutissent l'histoire de la nature et l'étude de la physique.

Nous sommes bien loin, semblera-t-il au lecteur, de la télégraphie sans fil. Les grands problèmes que nous venons d'effleurer nous y conduisent cependant tout droit sans qu'il y paraisse, et il nous a semblé essentiel, avant que d'entrer dans le vif du sujet étudié dans ce petit livre, de rappeler sur quels principes fondamentaux sont appuyées les applications scientifiques que nous

examinerons dans les chapitres suivants. Il était utile, à notre avis, de montrer de quelles théories sont partis les chercheurs qui ont ajouté ce fleuron : la télégraphie sans fil, à la couronne de découvertes dont s'enorgueillit notre siècle, pour arriver à produire à volonté des mouvements vibratoires particuliers que, seuls des appareils spéciaux permettent de recevoir, d'analyser et d'enregistrer. Cette application toute récente des démonstrations de Maxwell et de Hertz, découle directement de la connaissance, acquise avec beaucoup de peines et d'efforts, des propriétés de l'Énergie et du mouvement, dont certaines formes sont désormais cataloguées, déterminées dans tous leurs détails, et que l'on sait reproduire et employer au mieux des résultats en vue.

Ce point de départ étant élucidé, nous arriverons à l'historique des divers procédés imaginés pour établir des communications à distance en utilisant telle ou telle catégorie d'ondes ou de vibrations.

CHAPITRE II

Historique de l'art des signaux.

L'art des signaux est aussi vieux que le monde. Dès que l'homme eut quitté les cavernes préhistoriques, sa première habitation, pour se lancer à la chasse des animaux sauvages ou même de ses congénères bipèdes, il imagina des moyens qui ne pouvaient être que très simples, des cris convenus probablement, pour annoncer son retour à sa famille ou à sa tribu. Plus tard, quand la civilisation fut assez avancée pour que l'art de la guerre fût convenablement perfectionné, des bûchers élevant leurs flammes sanglantes vers le ciel, servirent à transmettre au loin une nouvelle ou un ordre aux amis ou alliés. De là à l'invention des phares il n'y a qu'un pas, et il fut franchi trois siècles avant notre ère par un roi d'Egypte : Ptolémée Philadelphe, qui fit élever une tour portant un feu signal dans l'île de Pharos (d'où le nom général donné par la suite à ces monuments).

Le premier procédé de communication à distance, de *télégraphie* en un mot, fut imaginé 150 ans plus tard par Polybe. Il se composait de deux murailles entre lesquelles le stationnaire prenait place. En faisant apparaître au-dessus de chaque muraille un nombre déterminé de flambeaux, il désignait au poste, avec lequel il était en relation, une lettre d'un alphabet que les deux postes possédaient. Ce signal était transmis ainsi de proche en proche jusqu'à la station d'arrivée.

D'après Polybe lui-même, un autre chercheur à peu près à la même époque, Æneas, avait imaginé un autre dispositif réelle-

ment des plus ingénieux, et consistant en deux vases, de dimensions identiques, possédant une tubulure de même ouverture et placés aux deux stations entre lesquelles on voulait correspondre. Des flotteurs identiques, surmontés de tiges portant des lettres ou des signes conventionnels surnageaient sur le liquide contenu dans les deux vases. Pour transmettre une dépêche de l'un des postes, on y découvrait une torche au même instant où l'on ouvrait la tubulure du vase ; cette tubulure était refermée en même temps que l'on masquait la source lumineuse lorsque le signe marqué sur la tige du flotteur et correspondant au signal à envoyer, arrivait en face d'un index spécial. Au poste récepteur, on ouvrait la tubulure du vase au moment où l'on apercevait la lueur de la torche, et on la refermait à l'instant même où, la torche étant masquée, cette lueur disparaissait ; il est facile de comprendre qu'à ce moment, l'écoulement du liquide étant le même dans les deux vases, l'index indiquait sur la tige du flotteur le même signe qu'au poste expéditeur. Il suffisait alors de remplir de nouveau les vases à chaque station pour recommencer la même suite d'opérations. Ainsi qu'on le voit, cette première tentative était, comme le télégraphe Hughes moderne, bâtie sur le synchronisme.

Ce dispositif lent et sujet à erreur fut embelli, sinon amélioré au moyen âge par de nombreux inventeurs, tels que Becher, Robert Hooke, Gaspard Schott et autres, mais aucun d'eux ne parvint à fournir une solution satisfaisante et réellement pratique. C'est au savant français Amontons que revient l'honneur d'avoir le premier exécuté des essais véritablement sérieux en 1690, mais il ne parvint pas à faire adopter son appareil, et c'est seulement en 1792 que Claude Chappe présenta à l'Assemblée Nationale le télégraphe aérien qui reçut, comme chacun sait, une vaste utilisation qui ne prit fin que par l'invention et l'adoption générale du télégraphe électrique. L'appareil de Chappe est trop

connu pour qu'il soit nécessaire de le décrire en détail. Il était constitué par trois bras articulés, dont les positions relatives formaient des signes conventionnels ; le stationnaire du poste voisin suivait, au moyen d'une lunette d'approche, les mouvements de ces bras mobiles et inscrivait les signaux avant de les répéter pour les transmettre au poste suivant. Contrairement à beaucoup d'autres systèmes contemporains, le télégraphe de Chappe ne pouvait fonctionner que le jour ; les essais faits par l'inventeur pour rendre possibles les communications de nuit en munissant de lampes les bras mobiles, ne donnèrent que des résultats peu avantageux.

Chappe avait d'abord essayé un système de télégraphe basé sur le synchronisme et constitué par deux roues identiques revêtues de signes à leur circonférence et animées d'un mouvement isochrone ; un signal optique fait à l'un des postes, au moment où un index indiquait le signe que l'on voulait transmettre permettait à l'autre poste de faire sur sa roue la lecture du signe correspondant, mais la difficulté était d'obtenir une concordance parfaite dans la rotation des deux disques.

Pendant de longues années le système d'intercommunication de Chappe demeura en usage, bien qu'il ne fût pas sans présenter de graves défauts, notamment d'interrompre subitement son fonctionnement dès qu'un brouillard ou une brume même légère s'interposait entre deux postes. Puis le télégraphe électrique vint, par sa supériorité, détrôner le système optique, et ce n'est que dans ces dernières années qu'on y a songé de nouveau : l'art militaire s'en est emparé, et les guerres coloniales de Tunisie, puis du Tonkin, ont montré le parti que l'on pouvait tirer de ce procédé d'avertissement à distance. Les appareils sont toutefois totalement différents de ceux qu'employait Chappe, et nous les décrirons en détail dans le chapitre suivant.

La première idée de la télégraphie par les courants voltaïques remonte à l'année 1811, et on l'attribue au physicien Sœmmering qui présenta son système à l'Académie de Munich. Ce procédé reposait sur le phénomène de la décomposition de l'eau par la pile. Il y avait trente-cinq tubes à eau représentant chacun un signe ou une lettre et, lorsque, à la station de départ on envoyait le courant dans l'un ou l'autre de ces tubes, le gaz qui se dégageait indiquait la lettre transmise. On conçoit que ce système était fort peu pratique, et qu'on peut le placer sur la même ligne que le télégraphe statique de Lesage, dans lequel des balles de sureau voltigeaient au moment du passage d'une décharge électrique et indiquaient ainsi un signal.

Lorsque Ørsted eut observé, en 1820, le fait fondamental qui a donné naissance à la science de l'électro-magnétisme, Ampère reconnut la possibilité d'utiliser, pour les communications à distance, les actions des aimants sur les courants et des courants sur eux-mêmes. Schweiger ayant alors imaginé son multiplicateur ou galvanomètre qui agit par induction sur l'aiguille aimantée, des essais furent faits, notamment en Russie par le baron Schilling, et par Richter et Alexander en Angleterre. Toutefois le premier appareil vraiment pratique n'apparut qu'en 1837, et ce fut Wheatstone qui l'imagina. Le manipulateur ou transmetteur était composé de boutons d'ivoire poussant des ressorts destinés à établir et à lancer le courant dans le circuit de plusieurs galvanomètres indépendants. Après Wheatstone, Steinheil simplifia le dispositif et n'employa qu'un seul circuit avec un galvanomètre unique. Il supprima le fil de retour indispensable jusqu'à et le remplaça par la terre, simplifiant ainsi considérablement l'installation des lignes télégraphiques.

C'est également dans le courant de l'année 1837 que l'Américain Morse imagina le télégraphe qui porte son nom, et c'est depuis cette époque que la télégraphie électrique a fait des pro-

grès immenses et que les lignes de transmission ont entouré le monde entier d'un réseau de câbles mettant en communication tous les pays de la terre.

Citons, parmi les modèles de télégraphes les plus remarquables, ceux de Bréguet, à cadran, portant les lettres de l'alphabet à la place des heures, et où les signaux sont déchiffrés à lecture directe ; le système Morse, universellement employé, dont le récepteur imprime sur une bande de papier sans fin, une série de traits et de points dont la combinaison représente les lettres composant la dépêche, le télégraphe électro-chimique de Bain, perfectionné ensuite par Bonelli ; le pantélégraphe autographique de Caselli, qui reproduit le fac-similé de la dépêche expédiée, le télégraphe imprimeur de Hughes qui, au lieu de traits et de points, frappe sur la bande de papier que déroule un mouvement d'horlogerie, des caractères d'imprimerie ; le siphon-recorder et le galvanomètre de Thomson indispensables pour la télégraphie à grande distance, notamment sur les lignes sous-marines ; enfin le système Baudot, permettant par une combinaison mécanique très ingénieuse d'envoyer ou de recevoir à la fois quatre ou six signaux simultanément sur une ligne unique.

En résumé, on peut classer les appareils de télégraphie électrique, suivant la nature des signaux échangés, en plusieurs groupes qui sont :

1^o *Appareils optiques.* La transmission est constituée par une série de signaux ne laissant aucune trace : appareils à aiguille, à cadran et alphabet et galvanomètre à miroir de Thomson.

2^o *Appareils acoustiques.* Ce sont les *sounders*, très employés en Amérique : la dépêche se lit au son d'après l'alphabet conventionnel imaginé par Morse.

3^o *Appareils imprimeurs.* La dépêche est inscrite en carac-

tères ordinaires sur une bande de papier sans fin ; le type est le télégraphe Hughes, mentionné plus haut.

4° *Appareils enregistreurs.* La dépêche est inscrite en caractères conventionnels sur une bande de papier ; le type est le système Morse.

5° *Appareils autographiques.* Ils reproduisent à l'arrivée l'écriture et les dessins tels qu'ils ont été transmis au départ. Types : Caselli, Meyer, Edison, etc.

6° *Appareils multiples.* Ils peuvent se grouper, à deux ou quatre, sous le même fil et permettre d'échanger des signaux dans les deux sens et simultanément. Tels sont les appareils duplex, diplex, quadruplex et Baudot.

7° *Appareils automatiques.* Les dépêches sont préparées d'avance sur une bande de papier que les employés perforent, en suivant les conventions alphabétiques, de points et de traits Morse. Ces bandes de papier ainsi perforées passent très rapidement dans le transmetteur qui les expédie avec une rapidité cinq ou six fois supérieure à celle que pourrait atteindre un télégraphiste exercé. Le type est le jacquard électrique de Wheatstone.

Le rendement des appareils de télégraphie électrique varie suivant leur modèle. Tandis qu'un employé habile ne peut envoyer que 25 dépêches de 10 mots en moyenne par heure, le Hughes en peut inscrire 60, le jacquard Wheatstone duplex 160 et le Baudot à 6 claviers 240. L'écart est donc assez sensible, comme on voit, aussi a-t-on tout avantage, sur les lignes très encombrées, à utiliser des appareils de transmission et de réception rapides permettant d'augmenter le nombre de dépêches expédiées ou reçues pendant une heure, et d'obtenir le meilleur rendement, la meilleure utilisation économique possible de la ligne.

La télégraphie électrique a été également utilisée pour les communications d'ordre militaire en temps de guerre, mais le

fil de ligne posé à la volée sur les flancs d'un corps d'armée ou aux avant-postes présente l'inconvénient d'être apparent et de pouvoir, par suite, être capté par l'ennemi, et devenir ainsi un funeste agent de la fausse nouvelle ou de l'ordre donné à faux. Aussi, pendant le siège de Paris notamment, les moyens de supprimer ce fil hantèrent bien des cerveaux. C'est ainsi que l'on tenta de se servir de la terre et du cours de la Seine comme conducteurs électriques. MM. Bourbouze et Desains notamment firent des essais de ce genre entre le pont National et Saint-Denis à l'aide d'une batterie de piles, d'un manipulateur Morse et d'un galvanomètre, le téléphone étant alors inconnu ; les résultats furent assez satisfaisants pour que M. d'Almeida partît quelque temps après en ballon pour faire communiquer par cette méthode Paris avec la province, mais la signature de l'armistice, survenue sur ces entrefaites, vint arrêter les expériences. Depuis lors le professeur américain Graham Bell a fait d'intéressants essais dans la même voie, mais la priorité appartient sans conteste aux savants français du siège de Paris.

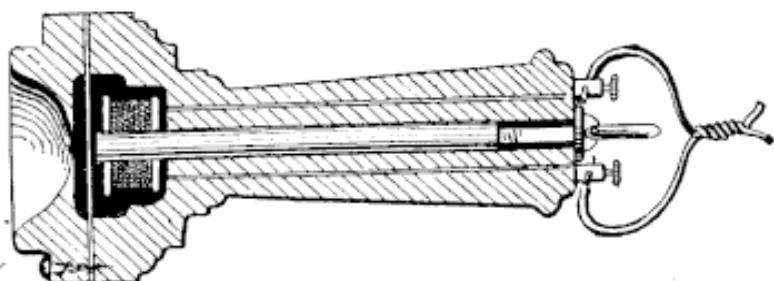


Fig. 1. — Coupe du téléphone Graham Bell.

On en revint donc, pour les communications militaires, à la télégraphie par procédés optiques qui était expérimentée dès cette même époque par MM. Maurat, professeur au lycée Saint-Louis, Lissajoux et le colonel du génie Laussedat. Nous verrons dans le chapitre suivant ce qui a été réalisé dans cet ordre d'idées.

Mais les moyens d'utiliser au mieux l'électricité dont la transmission est si rapide demeurait à l'ordre du jour, et c'est de l'année 1877 que date l'invention du premier appareil transportant la parole à distance : le téléphone, imaginé par le professeur américain Graham Bell. Dans ce premier système, il n'était fait usage toutefois d'aucune source étrangère d'électricité : le transmetteur et le récepteur étaient identiques et se composaient (fig. 1) d'un électro-aimant agissant sur une rondelle ou une plaque de tôle mince : les phénomènes de l'induction seuls étaient mis à profit.

C'est peu de temps après que l'électricien Hughes, inventeur du télégraphe-imprimant qui porte son nom, mettant à profit une observation faite en 1856 par le comte du Moncel sur les variations de conductibilité du charbon de cornue suivant la pression, imagina le *microphone* qui constitue un excellent transmetteur téléphonique.

Aujourd'hui, tous les systèmes de téléphones en usage : de Bell, d'Edison, d'Ader, de Corneloup, d'Ochorowickz, pour ne citer que les meilleurs, utilisent un courant de pile pour transmettre la parole et influencer le récepteur placé à la station d'arrivée. Lorsqu'un réseau est très étendu, comme c'est le cas dans les grandes villes, tous les abonnés sont reliés à un ou plusieurs bureaux centraux où des employés sont occupés, à relier les circuits suivant les demandes qui leur en sont faites, pour permettre à deux abonnés de correspondre. Le système est trop connu pour que nous insistions davantage.

De même que pour la télégraphie, on a essayé de simplifier les procédés de transport des ondes sonores au moyen de l'électricité. Tout d'abord, on a tenté de supprimer un fil, en prenant la terre comme retour du courant, mais les résultats ont été plutôt mauvais, en raison des actions inductrices qui s'exercent et sont dues à l'effet des courants telluriques et des courants

transportés pour les besoins de l'industrie. L'audition n'est plus nette, grâce à ces perturbations, et la portée de perception des sons est considérablement réduite. Il a donc fallu se plier à la nécessité d'avoir deux fils, et l'on est obligé de prendre des précautions spéciales, surtout sur les lignes à grande distance, pour diminuer les effets fâcheux de l'induction.

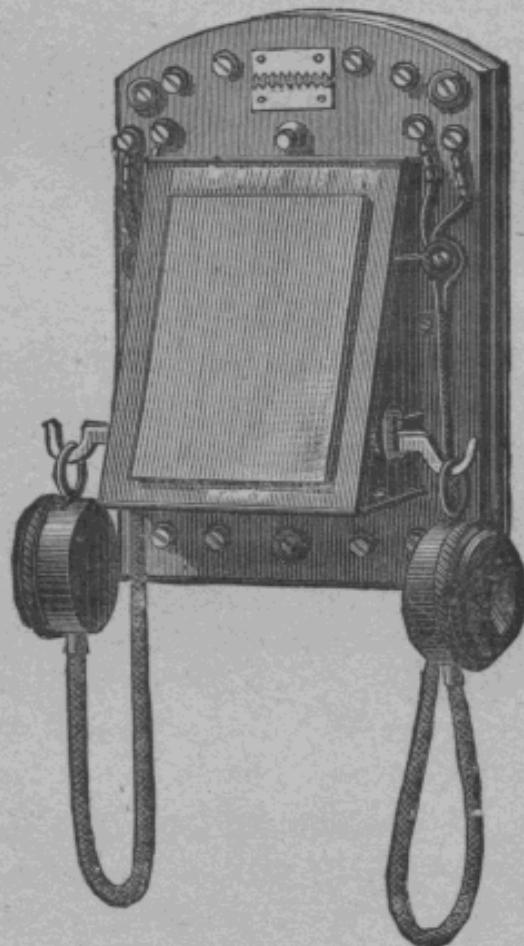


Fig. 2. — Poste microtéléphonique mural avec récepteurs forme montre.

M. Graham Bell est parvenu à supprimer totalement les fils, en utilisant les propriétés du sélénium, métal dont la conductibilité électrique varie suivant qu'il est ou non éclairé par une source de lumière quelconque. Le sélénium est placé au

foyer d'un réflecteur parabolique recevant un faisceau de lumière projeté par un autre appareil placé au poste de départ. C'est donc la lumière qui sert de transmission aux ondes électriques actionnant le récepteur très justement nommé *photophone*. Malheureusement la portée est très restreinte, et cet ingénieux système est demeuré un appareil de démonstration et de laboratoire qui n'a pu détrôner le téléphone ou le télégraphe optique.

Tels sont les procédés de correspondance et de signaux imaginés depuis les premiers âges de l'humanité ; ce sont d'eux que découlent les méthodes perfectionnées que nous étudierons dans le cours de cet ouvrage.

CHAPITRE III

La Télégraphie sans fil par ondes lumineuses.

Par un concours de circonstances plus fréquent qu'on ne le pense, c'est de recherches absolument théoriques et pacifiques qu'est sorti le principe de la télégraphie optique militaire. Les géodésiens, les astronomes, Leverrier notamment, avaient senti le besoin de pouvoir faire exécuter par des postes d'observateurs placés à grande distance les uns des autres, ces observations simultanées dont M. le colonel Perrier a tiré un si grand parti pour ses travaux. On songea à les avertir par des signaux lumineux qui sont presque instantanés ; puis on convint de signaux particuliers voulant dire : « commencez ; cessez ; à droite ; à gauche ; êtes-vous prêt ? » etc... La télégraphie optique était trouvée ; de là à produire des signaux réguliers, à les grouper en longues et en brèves, à peindre en lettres de feu aux yeux de l'observateur l'ingénieux alphabet Morse, il n'y avait qu'un pas qui fut vite franchi. Le principe de la télégraphie optique peut, en effet, se formuler ainsi : « Projeter à distance un faisceau homogène de rayons lumineux et produire sur ce faisceau, au moyen d'un obturateur, des interruptions alternantes correspondant aux signaux de l'alphabet Morse. » Avec une bougie, un réflecteur quelconque et une boîte de carton percée d'un trou, on pourrait faire ainsi de la télégraphie optique dans un appartement.

Avec deux lampes Carcel, des réflecteurs de lanternes de voitures et un volet percé, des propriétaires ruraux pourraient communiquer la nuit entre deux propriétés situées déjà à une

respectable distance. Pour les opérations militaires, c'est de très longues distances, de plusieurs kilomètres qu'il s'agit ; il faut de plus pouvoir communiquer aussi bien le jour que la nuit. Le problème se pose donc ainsi : 1^o Approprier une source lumineuse intense en vue de l'intercommunication ; 2^o projeter un faisceau lumineux homogène provenant de cette source dans une direction déterminée.

C'est à Leseure, inspecteur des lignes télégraphiques en France, mort en 1864, que l'on doit le premier appareil optique répondant à ces conditions, ainsi que le constate le lieutenant R. van Wetter, dans son intéressant traité de télégraphie optique. Il employa de prime abord les rayons solaires réfléchis au moyen d'un appareil analogue à l'héliotrope de Gauss. Le problème repris en 1870, a reçu une solution plus complète, comme nous le verrons, grâce à l'emploi des sources lumineuses artificielles.

MM. Laussedat, Lissajoux, Hioux, Maurat, Cornu, Brion et Malot furent désignés à cette époque pour former une commission chargée de rendre praticable ce procédé d'intercommunication. Ils purent correspondre ainsi entre les forts de Nogent et du Mont-Valérien, distants d'environ 20 kilomètres, mais c'est vainement que MM. Lissajoux et Hioux essayèrent ensuite d'établir des communications entre Paris assiégé et la province. La guerre terminée, la commission continua de fonctionner et réalisa, avec l'aide du commandant Mangin, des appareils de télégraphie optique puissants, mais non portatifs, qui furent placés à poste fixe dans certains forts. Enfin, en 1873, le colonel Laussedat fit construire par M. Ducretet un appareil portatif qui, légèrement modifié par le colonel Mangin, fut adopté par l'armée et n'a guère subi depuis que quelques modifications de détail.

Il existe deux catégories d'appareils de télégraphie optique que l'art militaire emploie couramment. Ce sont les appareils *télécopiques à miroir*, pour les places et les appareils *à lentilles*

ou de campagne. Nous les décrirons successivement. Ces instruments peuvent comporter des sources lumineuses variables et qui sont : le soleil, la lumière électrique et le pétrole.

Les appareils à miroirs, lourds et puissants, sont composés (fig. 3 et 4) d'une caisse parallélépipédique en tôle contenant deux miroirs, l'un parabolique ou mieux *aplanétique*, l'un de grandes dimensions placé au fond de la caisse, l'autre situé à l'autre extrémité.

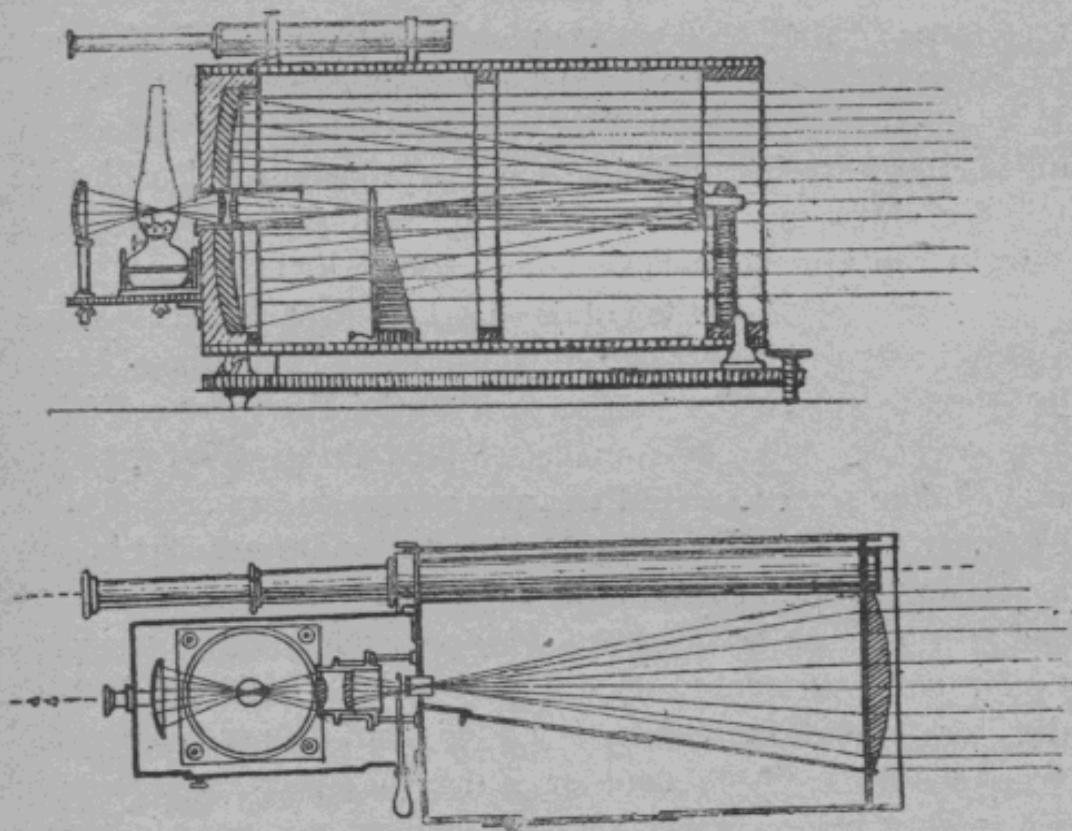


Fig. 3 et 4. — Appareil télescopique à miroirs.

Ces deux calottes, parallèles mais non concentriques, se font face ; la plus grande est percée en son centre d'une ouverture circulaire laissant le passage libre au faisceau de lumière condensé par un système de lentilles. Ce faisceau, réfléchi par le petit

miroir, est renvoyé par celui-ci sur le miroir du fond qui le renvoie dans la direction opposée, comme l'indiquent les flèches sur la gravure.

Il existe trois grandeurs d'appareils télescopiques : le plus petit modèle, mesurant 0^m,35 de diamètre, a une portée de 50 à 60 kilomètres la nuit avec une lampe à pétrole, cette portée s'abaissant à 15 kilomètres pendant le jour. Le type de 0^m,48 d'ouverture porte à 25 kilomètres le jour et 80 kilomètres la nuit, avec éclairage au pétrole ; enfin le type de 0^m,60 a une portée pouvant atteindre jusqu'à 120 kilomètres par temps clair. Il est à prévoir que ces modèles ne resteront pas en vigueur, et qu'on leur substituera avant peu des appareils à lentilles de grandes dimensions analogues aux appareils de campagne, cette substitution présentant l'avantage d'unifier les modèles.

La distance à laquelle le faisceau lumineux projeté par un appareil télescopique est encore perceptible à l'aide d'une bonne lunette peut encore être accrue par l'emploi d'une source d'éclairage puissante, telle que l'arc électrique. C'est ainsi qu'en Algérie, où l'air est en général très peu chargé de vapeur d'eau, les généraux Perrier et Ibanez ont pu correspondre pendant la nuit à près de 300 kilomètres de distance.

Les appareils à lentilles sont des appareils de campagne portatifs. En cette qualité ils ont joué un rôle actif pendant les dernières guerres, toutefois, il a fallu leur donner des dispositions spéciales afin de faciliter leur réglage, cette opération se renouvelant incessamment pour eux, tandis que, pour les appareils de place à miroirs le repérage est effectué une fois pour toutes et n'a pas de raison d'être recommencé.

Ces appareils comportent donc, comme le montrent les figures 6 et 7, au lieu des miroirs aplanétiques en verre argenté, une lentille biconvexe à échelons, semblable aux lentilles en usage pour les lanternes de phares, ou une lentille biconvexe

et une lentille plano-convexe accolées. Le but de ces lentilles est de réunir en un faisceau cylindrique, le faisceau conique de

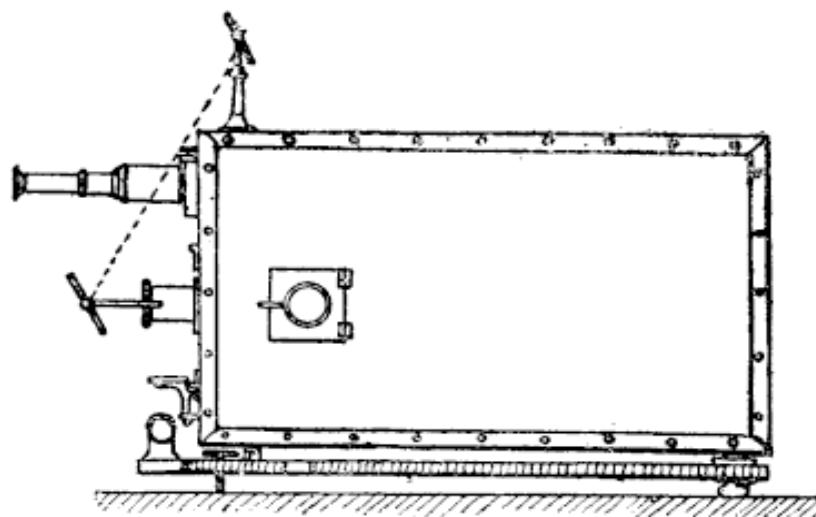


Fig. 5. — Appareil télescopique de 0°,45.

rayons produits par la source de lumière. L'appareil, qui affecte la forme d'une boîte rectangulaire en bois ou en tôle mince, est

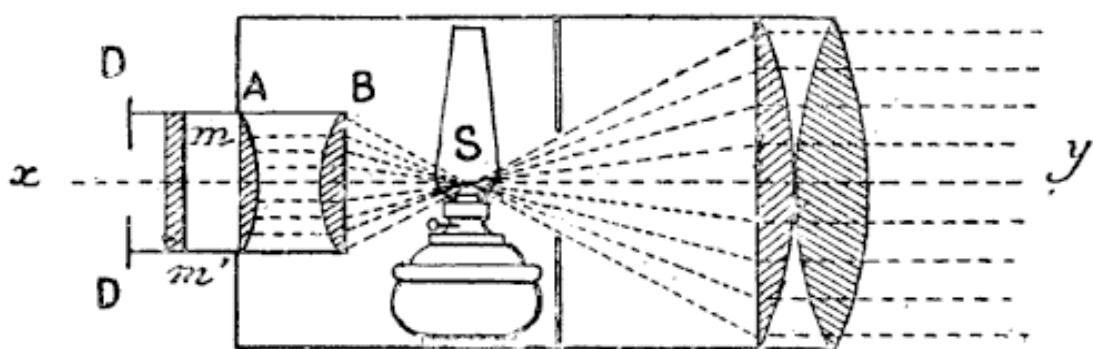


Fig. 6. — Appareil à lentilles (coupe).

complété par une lunette servant à distinguer les signaux envoyés par le poste correspondant, un manipulateur pour la pro-

duction et l'envoi des signaux, et une source lumineuse variable suivant le cas. Cette source est ordinairement, pendant le jour, la lumière solaire, et, la nuit ou lorsque le soleil, pendant le jour, ne brille pas, une lampe à pétrole à mèche plate. Cette lampe est enfermée dans une boîte spéciale qui s'accroche à la partie postérieure de la caisse de tôle, et le tout est porté par un support en forme de trépied.

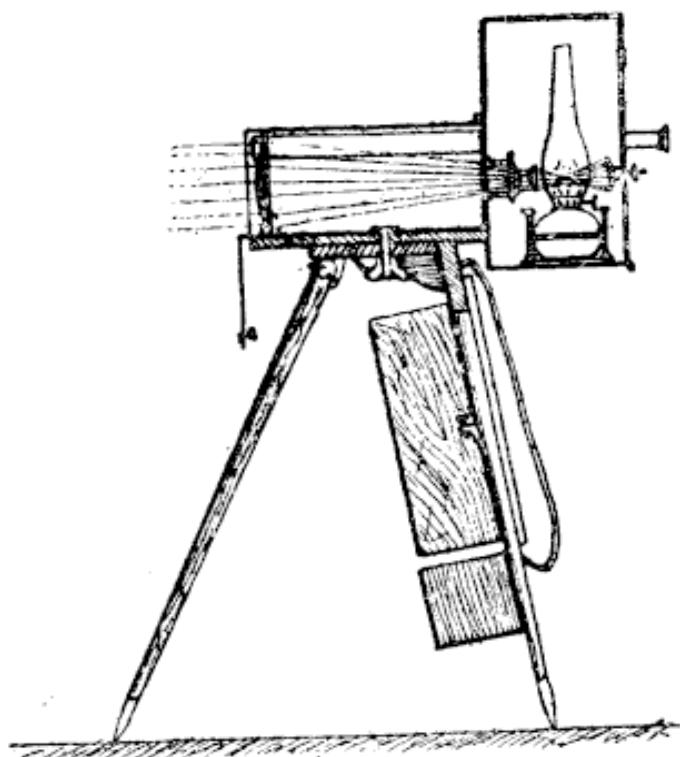


Fig. 7. — Appareil optique de campagne monté (coupe).

Les appareils de campagne sont catégorisés d'après le diamètre de leur objectif d'émission évalué en centimètres. On a ainsi des appareils de 14, 24, 30, 40, et 50, dont les portées sont respectivement de 8 à 40 kilomètres pendant le jour avec éclairage au pétrole, et de 30 à 120 kilomètres le jour avec le soleil ou la nuit avec le pétrole.

A dix centimètres environ en avant du foyer lumineux formé par la lampe ou le soleil, se trouve une cloison en tôle séparant la caisse en deux parties, et qui est percée d'une ouverture circulaire dont le diamètre est calculé de façon à être un peu supérieur à celui du faisceau lumineux émis par la lampe, lequel est conique en ce point.

Entre cette cloison et la lampe se met le *manipulateur*, constitué par un écran en aluminium strié, commandé par un petit levier à pédale A (fig. 8), sur lequel on presse pour le

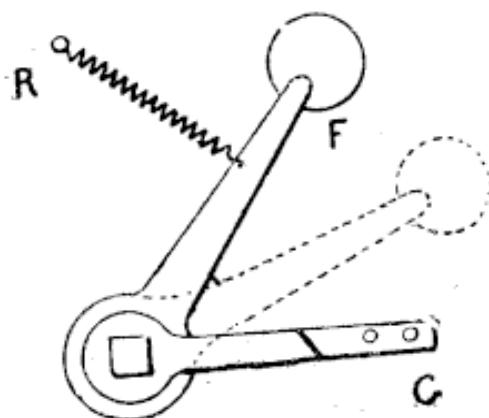


Fig. 8. — Schéma du manipulateur.

faire mouvoir, et qui est rappelé à sa position première par un ressort antagoniste R. En appuyant sur la pédale, on démasque l'ouverture circulaire de la cloison, et on laisse passer un éclat lumineux. Quand le ressort rappelle le levier, l'écran F vient de nouveau obturer cette ouverture et l'obscurité se produit ; on réalise ainsi en signaux lumineux les longues et les brèves du télégraphe Morse. Un petit verrou placé sur le levier G permet de tenir l'écran F abaissé en permanence et de faire *feu fixe* suivant l'expression consacrée.

La lunette réceptrice est établie parallèlement à l'axe d'émission, et un dispositif micrométrique permet de rétablir ce parallélisme, quand il a été dérangé par une cause quelconque.

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, on emploie pour les signaux de nuit, ou de jour lorsque le temps est couvert, une lampe à pétrole à mèche plate, mais chaque fois que la chose est possible, on préfère utiliser la lumière solaire qui permet d'échanger des communications à de bien plus grandes distances.

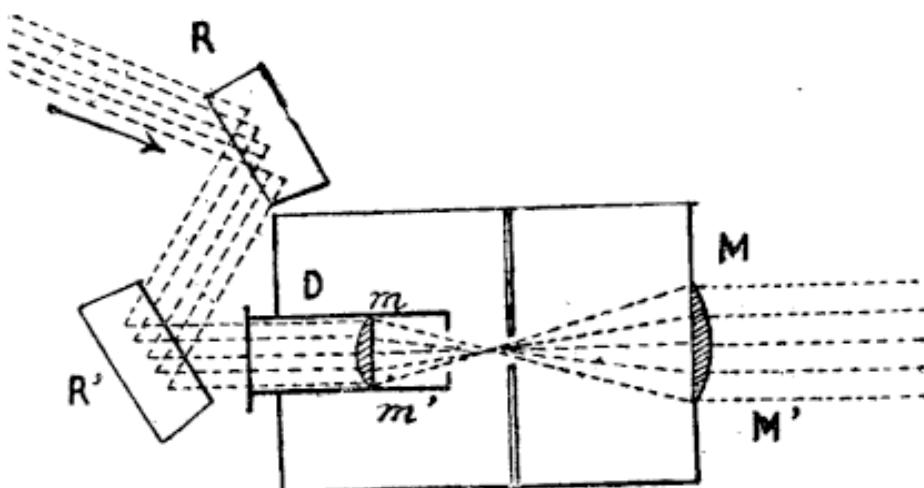


Fig. 9. — Marche des rayons avec les miroirs plans.

Les rayons du soleil sont reçus et projetés suivant l'axe optique de l'appareil par deux moyens : 1^o des miroirs plans conjugués ; 2^o un héliostat. Dans le premier cas (fig. 9), les rayons sont reçus sur un miroir plan incliné, supporté par la boîte, ils sont réfractés sur un autre miroir plan incliné, lequel est porté par une douille dont l'axe coïncide avec l'axe optique de l'appareil. Le faisceau des rayons ainsi concentrés est rendu convergent par

une lentille contenue dans la douille, puis dirigé sur l'objectif d'émission. Sur son trajet, il rencontre l'écran et le manipulateur que nous venons de décrire. En raison du déplacement continu du soleil, dans ce dispositif, la position du premier miroir doit être modifiée toutes les trois minutes environ, ce qui s'obtient en faisant tourner à la main, d'un petit angle, la douille avec le miroir qu'elle porte.

Dans le but d'éviter à l'opérateur le soin de déplacer ainsi constamment le miroir, on a combiné un appareil mû par un mécanisme d'horlogerie automatique et connu sous le nom d'*héliostat*. Cet héliostat, dans sa forme la plus ordinaire, se compose de deux miroirs circulaires, du modèle dit « psyché », de même diamètre, exactement centrés sur l'axe d'un mouvement d'horlogerie renfermé dans une sorte de petit tambour cylindrique. Son axe est disposé de façon à faire avec le plan horizontal un angle égal à la latitude du lieu où l'on opère. Une règle divisée sert de base et de support à l'héliostat et doit être orientée à l'aide d'une boussole suivant le méridien; il en résulte que l'axe du miroir se trouve par suite de ces deux déterminations, parallèle à l'axe de la terre. Le mouvement d'horlogerie étant construit et réglé de façon que l'héliostat fasse exactement un tour en 24 heures, il en résulte que cet appareil possède la même vitesse angulaire que le soleil et conserve toujours la même position par rapport à cet astre. Le rayon solaire incident est donc constamment réfléchi d'un

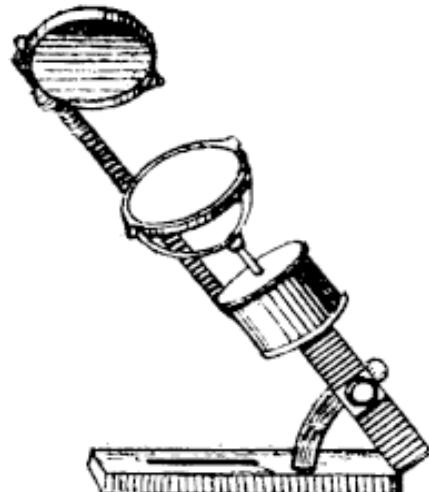


Fig. 10. — Héliostat.

miroir à l'autre de l'héliostat, puis sur le miroir plan rectangulaire renvoyant le faisceau dans une direction parallèle à l'axe de l'objectif d'émission de façon à projeter au loin ce faisceau.

La télégraphie sans fil, par les procédés que nous venons d'énoncer, est donc fondée essentiellement sur la projection à distance de vibrations lumineuses recueillies, au poste d'arrivée, simplement par le sens visuel que ces vibrations impressionnent. Elle présente donc le fâcheux inconvénient d'être entravée par la brume, le brouillard ou une fumée même légère. Aussi le fonctionnement de la lampe à pétrole, qui sert le plus souvent pour l'échange des signaux, demande-t-il des soins particuliers, la fumée qu'elle peut émettre pouvant former un léger nuage qui suffit cependant à empêcher ou à interrompre la communication. On doit donc veiller avec soin sur le tirage et la coupe de la mèche, et régler la hauteur de la flamme ainsi que la position du miroir réflecteur de la lumière, pour avoir une lumière vive et claire.

Deux télégraphistes sont nécessaires pour desservir un appareil de télégraphie optique. L'un lit les signaux à haute voix, au fur et à mesure que, l'œil à la lunette réceptrice braquée sur le poste correspondant, il les reçoit ; l'autre enregistre ces signaux et les écrit. Deux postes de campagne se trouvant en présence à distance commencent tout d'abord par établir dans l'espace une ligne d'intercommunication ; ce n'est pas toujours chose facile, et, pour un service de ce genre en face de l'ennemi, il faut un sang-froid et un courage dont les équipes de télégraphistes français ont donné de nombreuses preuves dans nos dernières campagnes. Lorsque les deux postes se sont rencontrés dans l'espace et que, par suite, la communication se trouve établie, chacun d'eux fait *feu fixe*, c'est-à-dire que l'écran du manipulateur est maintenu baissé d'une façon permanente au moyen du verrou dont nous avons parlé en décrivant le manipulateur. Le poste

qui désire communiquer fait alors les attaques réglementaires de l'alphabet Morse (1) jusqu'à ce que le poste en correspondance ait répondu en masquant son feu. La manipulation doit être lente et saccadée, les intervalles entre les mots sont volontairement exagérés. Lorsqu'une erreur se produit, le poste récepteur interrompt la communication de son correspondant en faisant un feu fixe d'une durée d'environ 10 secondes. Le correspondant, qui, tout en manipulant, tient l'œil à la lunette, s'arrête lorsqu'il voit le feu fixe et reprend immédiatement le mot interrompu. Dès que la transmission est terminée, le poste qui a reçu le télégramme en donne réception en collationnant, suivant l'usage, le numéro, les chiffres, les noms propres et les mots les plus importants. La transmission une fois terminée, les correspondants font de nouveau feu fixe. Aussitôt que l'un d'eux masque son feu, il indique qu'il a un télégramme à transmettre ; le second poste répond en masquant à son tour son feu et le travail commence. Après chaque lettre, ce dernier envoie un éclat lumineux qui indique qu'elle a été bien lue. Si l'une d'elles lui échappe, il coupe son correspondant en envoyant un faisceau lumineux. Le télégraphiste du poste transmetteur, ayant l'œil à la lunette, s'interrompt et répète le dernier mot transmis.

Ces règles de service, ainsi que quelques autres de moindre importance, permettent d'éviter toute confusion et tout retard. On peut apprécier l'intérêt patriotique et humanitaire que présentent de semblables transmissions, quand il s'agit de transmettre avec une exactitude parfaite l'orthographe des noms et des prénoms, la liste des morts et des blessés dans un combat livré autour du drapeau national sur la terre étrangère (2).

En temps de manœuvres ou de guerre, par suite des change-

1. Des traits et des points alternants répétés plusieurs fois.

2. Max de Nansouty : *Télégraphie optique*.

ments fréquents et rapides des corps d'armée auxquels ils appartiennent, les télégraphistes ignorent presque toujours la position exacte de leur correspondant ; aussi la recherche des poste constitue-t-elle une des parties les plus importantes de ce service. Dans ce but, chaque poste est muni d'une carte, d'une boussole et d'un rapporteur. La carte étant orientée sur le terrain au moyen de la boussole, on calcule, avec le rapporteur, l'angle formé par la ligne N-S du méridien avec celle qui se dirige vers le point visé ; en tenant compte de la déclinaison et en donnant à l'appareil la même déviation que la ligne de visée, on arrive infailliblement à trouver le correspondant.

L'opération est plus compliquée lorsqu'il s'agit de deux postes mobiles ignorant leur position réciproque. Les deux correspondants divisent alors le terrain à étudier en secteurs, et visitent avec la lunette les points sur lesquels ils supposent le poste établi. Pendant cette recherche, l'appareil pivote autour de son axe, et le faisceau lumineux est projeté sur le terrain environnant. Le champ de la lunette étant presque double de celui de l'appareil, les deux postes arrivent à se trouver en divisant le terrain en demi-secteurs.

Un des principaux inconvénients de ce genre de télégraphie réside dans le fait que les signaux émis sont fugitifs et qu'il ne reste aucune trace des correspondances échangées. S'il s'agit d'un poste mobile de campagne, cet inconvénient est compensé par l'avantage qu'il y a à ne laisser tomber entre les mains de l'ennemi, qui peut surprendre et s'emparer du poste, aucune dépêche. Mais l'inconvénient apparaît dans le cas où un télégramme mal transmis ou mal collationné laisse subsister une ambiguïté sujette à contestations. On peut craindre également que l'ennemi ne se substitue au poste correspondant et n'abuse de cette situation pour transmettre des avis destinés à désorganiser ou à entraver les mouvements entrepris.

Les dépêches mal transmises ou mal interprétées, par suite de l'inattention ou de la fatigue des télégraphistes, ne peuvent être corrigées, puisqu'elles ne laissent aucune trace matérielle de leur envoi ou de leur réception. On conçoit donc qu'il y a un intérêt capital à combiner un dispositif enregistrant automatiquement, au départ et à l'arrivée, les télégrammes transmis. Plusieurs systèmes ont été proposés pour favoriser ce résultat, et tout d'abord celui consistant à relier la clé du manipulateur de l'appareil optique à un manipulateur d'appareil Morse ordinaire, ce qui permet de conserver sur une bande de papier en caractère Morse, le texte de la dépêche envoyée. Il est certain que l'étendue occupée sur le papier par une dépêche serait considérable, mais cet inconvénient n'est que de médiocre importance ; l'objection principale réside dans le surcroît de travail musculaire imposé par ce dispositif au télégraphiste. Obligé d'avoir l'œil à la lunette réceptrice avec une attention soutenue, en même temps qu'il joue du manipulateur ou qu'il épèle à haute voix les signaux reçus, l'opérateur a besoin de trouver ce manipulateur très sensible et d'échapper à toute surcharge extérieure morale et physique. Aussi n'existe-t-il qu'un seul appareil basé sur ce principe et ayant fourni des résultats satisfaisants : c'est celui qui est construit par M. Ducretet.

Dans ce dispositif, l'appareil Morse supplémentaire, qui peut naturellement être placé sur le support même du télégraphe optique ou à distance, est relié à ce dernier par des conducteurs de longueur appropriée.

Une autre disposition équivalente consiste à placer un électro-aimant sous le levier du manipulateur commandant l'écran du télégraphe optique ; cet électro est alimenté, et par suite, le levier attiré et l'écran déplacé, en même temps que l'électro-aimant d'un appareil enregistreur Morse par le jeu d'un manipulateur Morse ordinaire.

M. Ducretet a simplifié beaucoup cette disposition dans un nouvel appareil construit en 1887; il a supprimé, en effet, l'intervention du courant électrique nécessaire dans l'appareil primitif pour actionner le Morse et qui constituait une complication regrettable, surtout pour les appareils transportables et remplacé la communication par un dispositif purement mécanique et entièrement automatique.

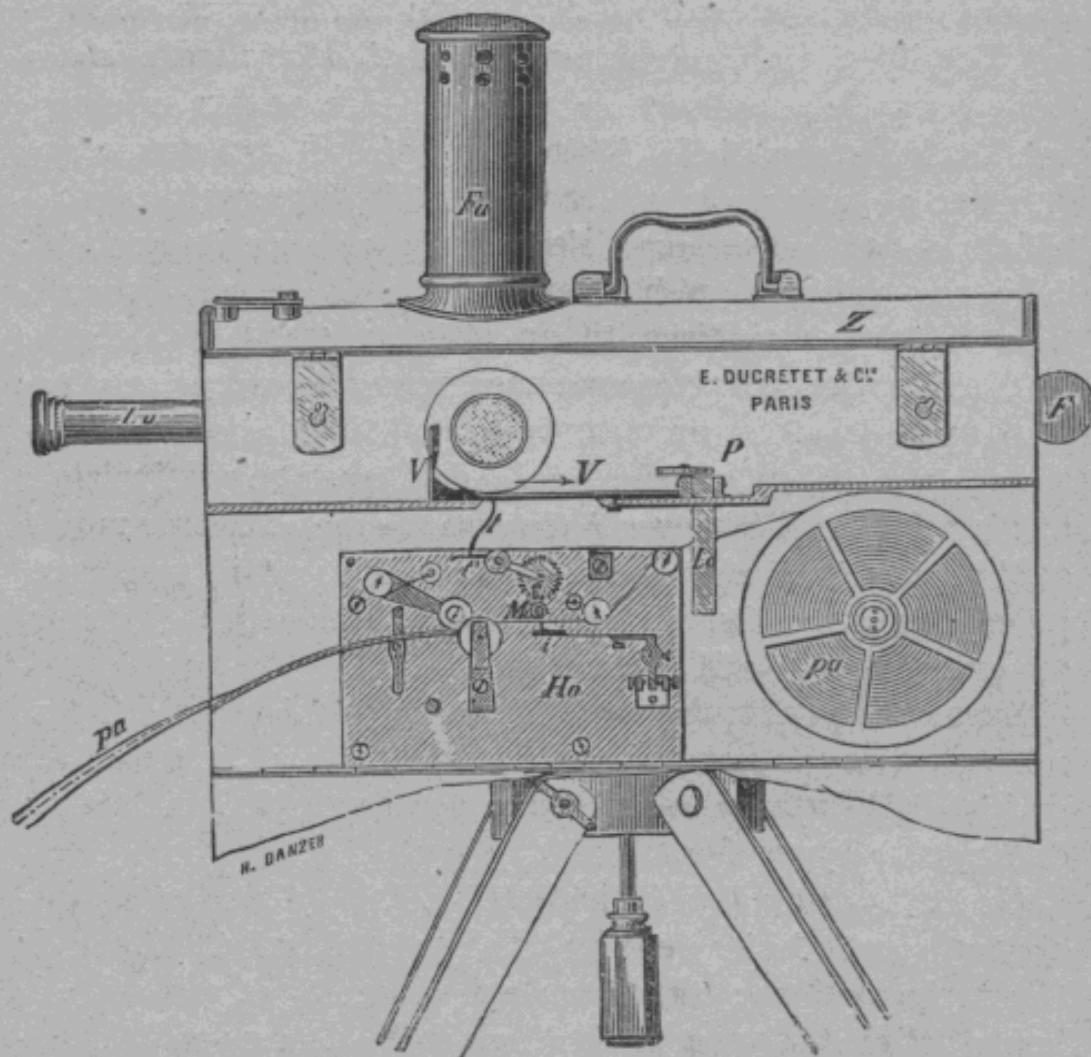


Fig. 11. — Coupe verticale longitudinale de l'appareil enregistreur de télégraphie optique de M. Ducretet.

Cet appareil est représenté en coupe verticale longitudinale par la figure 11, en coupe verticale transversale par la figure 12 et en coupe horizontale par la figure 13. La pédale manipulatrice p agit, par l'intermédiaire d'une tige articulée, sur un système de leviers combinés pour produire automatiquement le déclenchement du mouvement d'horlogerie qui entraîne le ruban de papier ; en même temps, elle démasque la source lumineuse et produit l'impression du signal bref ou long.

Tous ces organes sont solidaires ; ils sont commandés automatiquement d'un seul coup par le jeu d'une pièce en forme de verrou V produisant la mise en marche ou l'arrêt.

Au repos, l'appareil est toujours dans la position du feu fixe, c'est-à-dire que sa source lumineuse se trouve démasquée ; le verrou V est alors poussé à fond, enrayant le mouvement d'horlogerie H_0 , ainsi que la pédale manipulatrice p ; de plus, par l'action de la tige t sur t' , le tampon encreur du Morse se trouve éloigné de la molette imprimeuse.

Pour transmettre un télégramme après le signal convenu, on tire le verrou V et, comme pour l'arrêt, ce seul mouvement provoque automatiquement la mise en marche de l'appareil ; il actionne l'écran E qui ferme l'ouverture X et intercepte par suite l'émission des rayons lumineux ; en même temps, le mouvement d'horlogerie se trouve débrayé et laisse défiler la bande de papier ; enfin, la pédale p est rendue libre et le tampon encreur se met en contact avec la molette M_0 .

Tous les signaux, brefs ou longs, communiqués à la pédale manipulatrice p et par suite à l'écran E, sont alors imprimés sur la bande de papier destinée à les recevoir. Une fois le télégramme complètement transmis, on pousse à nouveau le verrou V et tout rentre dans la position du repos.

Aux deux postes, transmetteur et récepteur, tout se réduit donc à un seul mouvement pour l'arrêt et la mise en marche.

Le mécanisme se trouve entièrement renfermé et seul le ruban de papier dans sa partie imprimée est visible et donne exactement les signaux transmis, ce qui constitue un contrôle des plus importants.

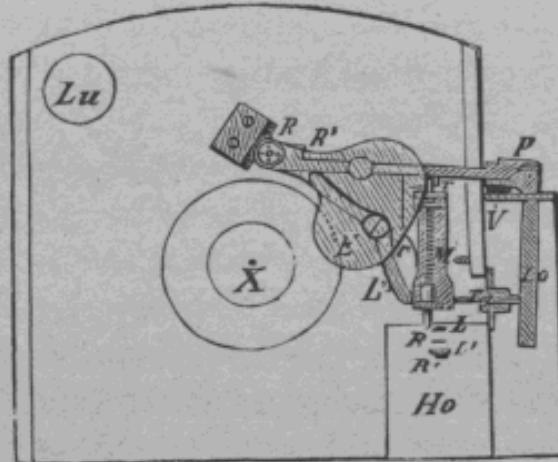


Fig. 12 — Coupe verticale transversale de l'appareil enregistreur de télégraphie optique de M. Ducretet.

Avec cet appareil, l'inscription ne s'effectue évidemment qu'au poste transmetteur ; pour l'inscrire également au poste récepteur, là où cette inscription présente le maximum d'utilité, il faut que ce poste récepteur répète les signaux reçus qui sont alors observés par le poste transmetteur. Cette répétition constitue un excellent moyen de contrôle, et la perte de temps qu'elle entraîne est largement compensée par la sécurité qui en résulte.

On a pourtant cherché à effectuer au poste récepteur l'enregistrement entièrement automatique des signaux transmis par le poste transmetteur afin d'obtenir une sécurité encore plus grande ; l'œil humain, sujet à des erreurs provenant parfois de la fatigue et du surmenage, ne peut, en effet, jamais atteindre la sécurité d'un mécanisme purement automatique et ne nécessitant pas son intermédiaire.

Les systèmes proposés reposent sur l'action des rayons lumineux soit sur une préparation sensible, soit sur le sélénium, soit

enfin sur un radiomètre. Disons toutefois que par suite du peu d'intensité du rayonnement qui, diminue naturellement avec la distance, aucun résultat réellement pratique n'a pu encore être obtenu.

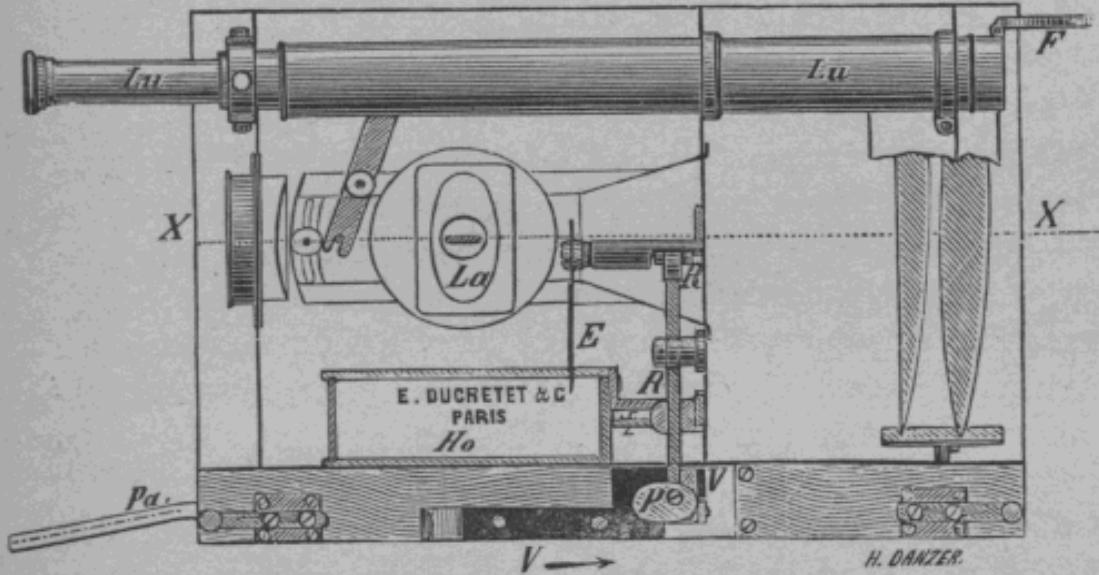


Fig. 13. — Coupe horizontale de l'appareil enregistreur de télégraphie optique de M. Ducretet.

M. Gillet indique l'emploi d'un morceau de sélénium ; ce sélénum, mauvais conducteur de l'électricité dans l'obscurité, devient plus conducteur sous l'influence des rayons lumineux ; M. Gillet proposa donc de placer au poste récepteur un morceau de sélénium qui, sous l'influence des radiations lumineuses émises par le poste transmetteur, devenait conducteur et laissait passer un courant électrique qui actionnait un Morse. La difficulté résidait dans l'obtention d'un courant assez puissant pour actionner le Morse ; pour y remédier, l'inventeur essaya l'emploi d'un relais très sensible formé d'un galvanomètre dont l'aiguille, en venant buter contre un contact, fermait un courant électrique assez puissant pour agir sur l'enregistreur ; l'aiguille du galvanomètre-relais laissée libre dévait bien sous l'influence du faible courant

qui traversait le sélénium ; mais, pour rompre le contact ainsi obtenu, il fallait employer un ressort antagoniste dont l'action ne pouvait plus être surmontée et qui, par suite, immobilisait l'aiguille.

La même difficulté se présente dans l'emploi du radiomètre ; des expériences faites par M. Mareschal à ce sujet, il résulte qu'une première déviation pouvant effectuer un contact électrique s'obtient assez aisément avec un radiomètre à palette libre ; mais l'action du ressort antagoniste nécessaire pour rompre ce contact dès qu'il s'est produit, est trop considérable pour être ensuite surmontée par les faibles radiations émises par le poste transmetteur et parvenant au récepteur. Il faut compter aussi avec la fatigue du sélénium dont les propriétés électriques s'atténuent rapidement et la difficulté d'obtenir des effets mécaniques suffisants avec les faibles forces mises en jeu.

Signalons enfin les tentatives faites pour recevoir l'impression lumineuse sur une bande préparée au gélatino-bromure d'argent comme les plaques photographiques. M. Mareschal a établi un mécanisme composé d'une chambre noire portant une lentille concentrant en un point les rayons lumineux envoyés par le poste transmetteur ; en ce point se déroule un ruban de papier sensibilisé entraîné par un mouvement d'horlogerie ; au développement, ce ruban révèle les impressions lumineuses reçues. Avec ce système, la portée maximum ne dépasse pas 6 kilomètres, et ce chiffre montre bien la difficulté du problème à résoudre quand il s'agit d'enregistrer automatiquement les signaux échangés entre les postes. Toutefois, les premiers jalons sont posés, et il est permis d'espérer que l'opiniâtreté des savants qui se sont engagés dans cette voie, obtiendra enfin le résultat cherché, et que méritent bien de si patriotiques et persévérandts efforts.

Les projecteurs à miroirs et lentilles employés dans la marine ont été utilisés pour les communications optiques, lorsque les

deux postes sont séparés par un obstacle les empêchant de braquer leurs appareils l'un vers l'autre. MM. Sautter, Harlé et C^{ie}, les célèbres constructeurs électriciens, ont ajouté à leur projecteur bien connu des dispositions particulières permettant d'effectuer des occultations, à intervalles convenables, du foyer lumineux. Voici en quoi consistent ces adjonctions :

Le principe est le suivant : lorsque le projecteur a son axe dirigé vers les nuages, et dans la direction occupée par un poste correspondant, également muni d'un projecteur, les occultations de la source lumineuse placée au foyer de l'appareil, produisent sur le nuage, lequel constitue une sorte d'écran opaque, une série d'extinctions et de mises en lumière alternantes. On peut donc, avec ce dispositif, et en ayant recours, comme d'habitude, aux signes conventionnels de l'alphabet Morse établir ainsi une communication optique à grande distance. L'usage du projecteur, dont le principal inconvénient est de supposer, par hypothèse, un ciel nuageux, permet, même à deux observateurs dont le relief du sol empêche la vue directe, de communiquer facilement à 60 ou 80 kilomètres de distance.

L'appareillage adopté par MM. Sautter et Harlé permet donc de faire les signaux de trois manières différentes : sur les nuages servant d'écran, à petite distance par faisceau lumineux projeté horizontalement, suivant des signes conventionnels déterminés, et sur tout l'horizon par l'éclairage d'un disque blanc suspendu dans la mâture ; ces signaux sont visibles sur tout l'horizon. Ces diverses méthodes sont donc réellement fort ingénieries, mais elles sont dépendantes de l'état de l'atmosphère et ne paraissent guère devoir être imitées en dehors de la flotte.

La marine fait également usage, pour les communications optiques de navire à navire pendant le jour, de pavillon de formes et de couleurs différentes, flammes, trapèzes ou pavillons carrés. Entre les navires et la terre, on emploie les signaux dits

sémaphoriques, réalisés au moyen d'un mât vertical muni de trois bras et d'un disque placé à la partie supérieure. Les combinaisons de signes que l'on obtient ainsi, et qui sont analogues en principe, à celles du télégraphe Chappe, permettent de communiquer à distance d'une façon satisfaisante.

A bord, par assimilation, on utilise des signaux dits à bras dans le genre de ceux dont se sert l'armée de terre pour l'intercommunication entre les corps de troupes. L'usage du téléphone et la généralisation des procédés de la télégraphie optique aux sémaphores apporteront sans doute dans l'avenir, des modifications utiles à ces anciens errements. Il faut noter cependant la difficulté sérieuse qu'il y a à faire d'un navire, flotteur essentiellement mobile quelles que soient ses dimensions, un poste fixe commode à utiliser pour la télégraphie optique.

Pour les communications de nuit, la Marine fait usage de fanaux correspondant aux pavillons de jour, de fusées et aussi de rayons lumineux projetés à distance au moyen de réflecteurs et interceptés au moyen d'écrans qui rentrent absolument dans la généralité des appareils optiques de l'armée de terre comme principe et comme fonctionnement.

M. le capitaine Gaumet a fait connaître, sous le nom de *télélogue* un appareil de communication optique dont le principe repose sur la *visibilité* des objets colorés ou lumineux et sur la possibilité de percer le rideau opaque constitué par l'atmosphère entre l'œil de l'observateur et un signal, en utilisant la *différence d'éclat* qui existe entre cet objet et l'atmosphère. Il s'agit donc de donner à cette différence d'éclat son maximum d'intensité. Pour y arriver, le capitaine Gaumet propose d'employer des signaux argentés sur fond noir. Il se sert simplement des lettres de l'alphabet, sauf à introduire la cryptographie dans les communications. Son appareil a la forme d'un grand album collé par le dos à un pupitre incliné; chaque lettre argentée collée sur un

fond de drap noir, se détache sur le registre ouvert ; une sorte de répertoire, placé latéralement comme dans les registres de commerce, permet de découvrir à volonté et rapidement telle ou telle lettre. Tel est le *manipulateur* de l'appareil.

Le récepteur consiste en une longue-vue fixée à la planchette de bois qui porte le registre. Pour une portée de 4 kilomètres, l'appareil complet, avec manipulateur de 40×30 centimètres et lunette, pèse seulement 2 kilogrammes. Pour une portée de 8 kilomètres, avec manipulateur de 70×50 et lunette d'un grossissement de 40 diamètres, le poids total est de 6 kilogrammes. Les appareils de grande portée peuvent, au dire de l'inventeur, s'employer jusqu'à 12 kilomètres.

Pour le fonctionnement de nuit, le manipulateur est éclairé soit par une lampe, soit par deux lampes à réflecteur placées latéralement contre lui.

Cet appareil, bien que connu et ayant été l'objet d'expériences publiques, n'a pas, à notre connaissance, reçu d'applications. Au point de vue militaire, sa faible portée ne lui permet évidemment pas de lutter avec les appareils de télégraphie optique proprement dits. Peut-être pourra-t-il rendre plutôt des services pour les communications privées entre des localités peu éloignées les unes des autres et séparées par des obstacles naturels, car il est peu coûteux, d'un maniement facile et dispense des autorisations, parfois difficiles à obtenir, que nécessite l'établissement de la correspondance privée par le télégraphe électrique (1).

Parmi les divers systèmes de télégraphie sans fil par ondes lumineuses inventés dans le cours de ces dernières années, citons le système basé sur les phénomènes de polarisation de la lumière. Le transmetteur est constitué par une source lumineuse projetant ses rayons au travers d'un polariseur supporté par un cadran mobile portant sur son pourtour les lettres de l'alphabet : le

1. Nansouty, *La Télégraphie optique*, op. cit.

récepteur est constitué par un cadran semblable muni d'un analyseur. Lorsque le polariseur et l'analyseur se trouvent dans la position voulue pour éteindre les rayons lumineux qui les traversent, des index indiquent la même lettre sur les deux cadans; si l'on change cette lettre indiquée par l'index au poste transmetteur en tournant le disque qui porte le polariseur, il sera nécessaire de faire tourner d'un angle identique le disque portant l'analyseur pour obtenir à nouveau l'extinction des rayons lumineux : ce mouvement ramène donc en face de l'index la même lettre qu'au poste expéditeur. On peut ainsi indiquer successivement les différentes lettres d'un mot et d'une phrase. Ce système est fort ingénieux, malheureusement la distance à laquelle il permet de correspondre est très faible, et c'est ce qui a empêché son application pratique.

Comme nous l'avons montré tout à l'heure, il n'est pas indispensable que les deux postes désirant communiquer s'aperçoivent; on peut échanger des signaux par méthode indirecte, soit en employant des projecteurs de lumière électrique, comme dans la marine, soit des ballons lumineux, captifs ou libres ainsi que plusieurs personnes l'ont proposé. On s'est occupé de la question en Allemagne et en Angleterre en 1884, le major Buchholz dans le premier de ces pays, et M. Bruce dans l'autre.

Un ballon, tel qu'on peut l'employer dans ce cas, étant incapable d'élever dans les airs le générateur électrique nécessaire à l'obtention d'un foyer puissant, il faut relier le foyer au sol par deux câbles, et employer un ballon captif. Le 13 avril 1886, on fit, à Schoenberg, aux environs de Berlin, une série d'expériences intéressantes. Le ballon ayant été enlevé à une hauteur de 60 mètres, le régulateur placé dans la nacelle fut mis en communication avec une dynamo Siemens; on avait la facilité de projeter les rayons dans toutes les directions et d'observer le terrain qui devenait visible dans tous ses détails à une assez grande distance.

Ces expériences, faciles en temps de paix, le deviendraient beaucoup moins en campagne : les conditions d'installation sont plus difficiles ; de plus, le foyer lumineux et le ballon lui-même sont des points de repère pour l'armée ennemie, en même temps qu'ils forment un but parfaitement visible. Pour remédier à cet inconvénient, on peut ne faire les observations que pendant un temps très court, et redescendre pour se mettre à l'abri des projectiles ennemis ou explorer par intermittences très irrégulières.

Vu sa faculté précieuse de s'élever verticalement à une hauteur assez considérable, le ballon captif permet à deux observateurs, que la conformation topographique du terrain empêche de se voir lorsqu'ils sont sur le sol, de se transmettre des signaux, surtout pendant la nuit car, à ce moment l'aérostat peut s'élever sans être aperçu de l'ennemi.

Dès l'année 1875, M. Léard mit en communication, par ce procédé, Alger et Fort-National, distants d'une centaine de kilomètres et séparés par une montagne élevée, et cette expérience fut recommencée en France vers 1885 par l'aéronaute Gabriel Mangin.

Les moyens à mettre en pratique pour produire les signaux sont de plusieurs sortes : le foyer lumineux peut être suspendu au-dessous du ballon, comme le proposait l'ingénieur Yon ; les éclats de lumière longs et brefs sont donnés à l'aide d'un manipulateur Morse, et l'on peut combiner une série de signes conventionnels d'après un alphabet arrêté à l'avance. La source fournissant le courant alimentant la lampe est une dynamo actionnée mécaniquement par un moteur demeurant sur le sol, ou une batterie de piles ou d'accumulateurs placée dans la nacelle, si le ballon est libre. Ce dernier cas implique alors une source lumineuse de puissance restreinte mais visible de tous les points de l'horizon, car on ne peut maintenir le ballon dans une position déterminée et invariable par rapport à son axe.

M. Mangin avait donc imaginé le système suivant en 1884 : il suspendait à l'intérieur d'un ballonnet en papier ou en soie vernissée, une lampe à incandescence renfermée dans un vase plein d'eau ou suffisamment isolée par un moyen quelconque, du gaz contenu dans l'aérostat ; on conçoit que, si l'on réunit cette lampe par un câble à une batterie primaire ou secondaire, elle va s'allumer et illuminer la masse entière du ballon, lui donnant l'aspect d'un globe lumineux que ses dimensions permettent de distinguer de fort loin. Un simple commutateur permet d'obtenir des lueurs brèves ou longues et de composer un alphabet de signaux.

L'inventeur a répété à diverses reprises ses expériences à Paris, de 1883 à 1885, notamment chez le chimiste Egasse à la Chapelle. Lors de la dernière expérience, un vent assez fort n'a permis au ballonnet de s'élever qu'à 80 mètres environ, mais la démonstration n'en a pas moins bien réussi.

Les signaux de l'alphabet télégraphique Morse avaient été adoptés ; le courant envoyé dans la lampe au moyen d'un manipulateur produisait, au gré de l'opérateur, des interruptions de lumière et des éclats lumineux servant à former les signaux. Les mots et les phrases transmis ont été lus avec la plus grande facilité, non seulement par les personnes compétentes de l'assistance, mais aussi par des observateurs placés sur la butte Montmartre.

L'expérience était conduite par MM. Mangin, aéronaute et Royer, de la maison Jablochkoff. Une lampe Swan, de dix bougies, exigeant 40 volts et 1 ampère, était suspendue à la souffleuse et occupait le centre du ballon ; elle était reliée par deux fils en cuivre isolés, au générateur d'électricité (pile Jablochkoff) placé dans une salle de l'usine, où se trouvait également l'opérateur. Celui-ci ne pouvait voir la reproduction des signaux : il était exactement dans la situation du télégraphiste, qui, assis dans son bureau, transmet un télégramme à son correspondant, éloigné de plusieurs centaines de kilomètres.

Vu le peu d'importance du matériel employé, le résultat obtenu quoique satisfaisant, ne pouvait être que relatif, et les organisateurs de cette expérience eussent dû en tenter une beaucoup plus importante en ascension libre (¹).

On a également proposé un système analogue à celui qui est employé pour les signaux de nuit dans la marine de guerre. Il consiste à suspendre au-dessous de la nacelle une série de petits ballons dans chacun desquels est placée une lampe à incandescence ; chacune de ces lampes est allumée par un commutateur spécial, ce qui permet de composer un alphabet ou une série de signaux visibles à grande distance. Ils ont sur le ballon lumineux l'avantage de ne pas être visibles de tous les points de l'horizon, si l'on prend les précautions nécessaires, ce qui permet d'expédier une dépêche sans que l'ennemi puisse la surprendre.

D'après ce qui précède, on voit, qu'en résumé, la télégraphie sans fil par ondes lumineuses a déjà rendu et rendra encore dans certaines circonstances, de très réels services. Elle n'a contre elle, comme inconvénient capital, que sa sensibilité à l'état atmosphérique ; un brouillard léger, une simple brume rendant toute

1. Nous avons eu l'honneur d'être, en 1883, le collaborateur de M. Gabrie Mangin dans ses recherches sur la télégraphie optique militaire au moyen de ballons captifs ou libres éclairés à la lumière électrique. Le matériel employé consistait en une lampe à incandescence de Swan, placée à l'intérieur d'une double enveloppe de sécurité remplie d'eau, et reliée par deux fils à une source d'électricité qui fut d'abord une batterie de piles « impolarisables » de Cloris-Baudet puis une série de piles au bichromate à un seul liquide que nous avions combinées. La lampe, dans son enveloppe, était suspendue au centre du ballon et un manipulateur Morse intercalé sur le trajet de l'un des fils, permettait de produire à volonté les éclats lumineux longs ou brefs composant les signaux Morse. Les résultats furent assez satisfaisants pour que l'on pût espérer que ce système fut adopté par le génie militaire, mais il eut été nécessaire de répéter l'expérience en ballon libre, ce qui ne put être fait, en raison de la difficulté de construire à cette époque une batterie assez énergique et puissante pour être placée dans la nacelle, et aussi, faut-il le dire, faute des fonds nécessaires. Cette application tomba ainsi dans l'oubli et il n'en a plus été question depuis.... sinon à l'étranger.

communication matériellement impossible, ce qui rappelle la phrase traditionnelle de certaines dépêches transmises par l'ancien télégraphe aérien : « Interrompu par cause de brouillard ».

Il fallait donc chercher mieux, et la substitution des ondes électriques aux ondes lumineuses semble être la voie qui conduira le plus sûrement à la meilleure solution du problème. Toutefois, avant de parler de la transmission des signaux télégraphiques par les ondes électro-magnétiques et électriques, il est bon de dire un mot d'un nouveau système proposé par M. Zickler, et qui repose sur certaines propriétés des rayons ultra-violets du spectre lumineux.

Quoique ce procédé utilise des radiations invisibles pour l'œil humain, il doit naturellement rentrer dans le présent chapitre consacré à l'étude des transmissions télégraphiques par ondes lumineuses. Ces rayons ultra-violets sont, en effet, analogues aux rayons de la lumière, et ils ne s'en distinguent que par une longueur d'onde différente, d'où résultent des propriétés particulières.

Les différents systèmes de télégraphie optique que nous venons d'examiner présentent un grand inconvénient au point de vue militaire ; les signaux étant en effet visibles peuvent être facilement interceptés et traduits par l'ennemi ; ils ne permettent pas, en un mot, de conserver le secret absolu de la correspondance. C'est dans le but de remédier à ce grave inconvénient que M. K. Zickler a imaginé le procédé suivant utilisant les radiations invisibles ultra-violettes :

Les rayons lumineux et surtout les rayons ultra-violets, possèdent, comme l'a démontré M. Hertz, la propriété de faciliter les décharges électriques. Si l'on éloigne les branches d'un excitateur relié à une bobine de Ruhmkorff à tel point que les décharges ne se produisent plus et si l'on projette ensuite sur cet excitateur et sur la ligne de décharge un faisceau de radia-

tions riches en rayons ultra-violets, les étincelles jailliront à nouveau. On conçoit donc que l'on puisse établir des communications en envoyant d'un poste transmetteur des faisceaux de rayons ultra-violets, interrompus de manière à reproduire les signaux de l'alphabet Morse ; ces rayons peuvent, en effet, déterminer des décharges électriques pouvant être perçues et enregistrées dans un appareil convenablement construit, disposé à la station réceptrice. Il est indispensable cependant, dans le but de rendre secrète la communication, que l'apparition et la disparition de ces rayons ultra-violets ne soient accompagnées d'aucune émission ou disparition de rayons lumineux visibles. Le professeur Zickler a proposé de résoudre ce problème de la manière suivante :

L'appareil de la station expéditrice est constitué par une lampe à arc à point fixe L (fig. 14) disposée dans une chambre G ; il est en effet indispensable d'employer comme source lumineuse l'arc électrique qui est très riche en rayons ultra-violets. Les rayons lumineux dirigés vers la station réceptrice par l'ouverture α peuvent être concentrés dans cette direction, soit par une lentille, soit par un réflecteur, soit, enfin, par l'une et l'autre (comme le montre la figure 14). Il est toutefois absolument nécessaire que les lentilles soient faites en quartz et non en verre, cette dernière substance absorbant fortement les rayons ultra-violets. Il est, par suite, évident qu'en manœuvrant l'écran pour intercepter les radiations, ultra-violettes, on produira des signaux qui ne seront pas visibles pour l'œil, le faisceau lumineux ne subissant aucun changement d'intensité appréciable.

L'appareil de la station réceptrice consiste en une boîte r en verre (fig. 15 et 16), hermétiquement close et possédant une fenêtre obstruée par une lame de quartz p . Deux électrodes métalliques e_1 et e_2 , recouvertes d'une couche de platine, traversant les parois de la boîte ; une de ces électrodes a la forme d'une sphère de

quelques millimètres de diamètre, et l'autre celle d'un disque plat, incliné à 45° sur l'axe de la boîte, de telle sorte qu'il est facile de diriger sur lui tout le faisceau de rayons qui traversent la fenêtre en quartz p ; la distance entre les électrodes est de 10 millimètres. Pour renforcer le faisceau de rayons qui tombent sur la fenêtre p , on dispose devant cette dernière une lentille l_1 ,

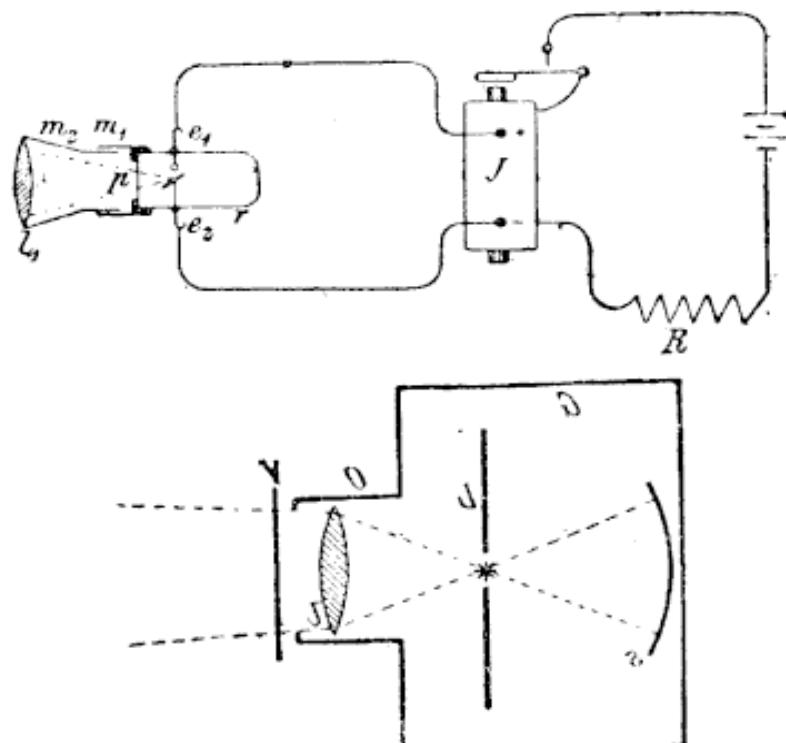


Fig. 14 et 15. — Récepteur et transmetteur Zickler (Schéma).

également en quartz et qui se déplace le long de l'axe de l'appareil à l'aide d'une crémaillère agissant sur les tubes m_1 et m_2 . Les électrodes e_1 et e_2 sont reliées avec l'enroulement secondaire de la petite bobine de Ruhmkorff J , de manière que e_1 sert d'anode et e_2 de cathode. Dans le circuit primaire de la bobine, qui ne doit pas donner des étincelles de plus de 1 à 2 centimètres, se trouve intercalée la résistance R pour régler l'intensité du courant primaire. Cette résistance doit être réglée de ma-

nière que la tension entre les électrodes soit un peu plus faible que le potentiel nécessaire à la décharge.

Dès que les rayons ultra-violets frapperont les électrodes de l'appareil, les étincelles jailliront entre elles. Ces étincelles rendent ainsi visibles les signaux du poste transmetteur; elles répandent dans l'espace entourant l'appareil récepteur de faibles ondes électriques que l'on peut enregistrer à l'aide d'un radio-conducteur Branly (¹) actionnant une sonnerie ou un récepteur Morse. Le professeur Zickler emploie également pour enregistrer les signaux un relais spécial, directement intercalé dans l'enroulement secondaire d'une bobine de Ruhmkorff. On pourrait également percevoir les signaux à l'aide d'un récepteur téléphonique.

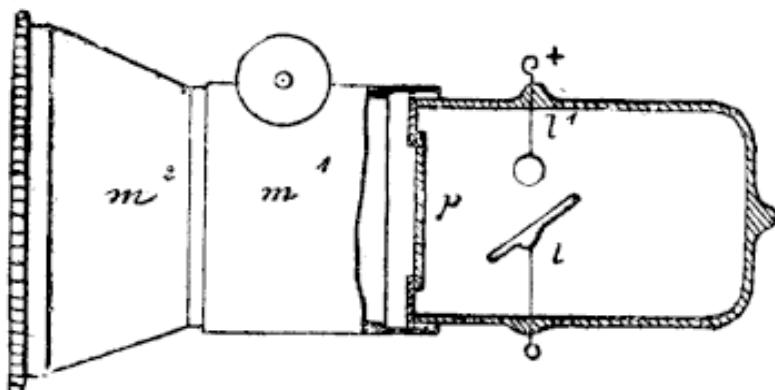


Fig. 16. — Coupe du récepteur Zickler.

M. Zickler a commencé ses expériences avec un petit régulateur de Siemens et Halske, donnant avec 10 ampères et 41 volts un arc de 1,5 à 2 millimètres de longueur, sans réflecteur et sans lentille. Les rayons tombaient sur l'appareil récepteur,

1. Cet appareil est décrit plus loin dans le chapitre sur la transmission par ondes électriques.

placé à 2 mètres de distance du régulateur ; cette distance fut ensuite poussée à 10 mètres en plaçant devant le récepteur de rayons (fig. 15 et 16) une lentille de quartz de 4 millimètres de diamètre et 15 centimètres de foyer. Comme il fallait s'y attendre, Zickler constata que le degré de raréfaction de l'air dans l'appareil récepteur exerce une grande influence sur les résultats de l'expérience ; il s'arrêta à une pression de 200 millimètres qu'il conserva dans toutes les expériences successives qu'il fit durant l'été de 1898, sur des distances de 100 à 200 mètres. Comme source de lumière, il employa alors un régulateur relativement grand, donnant, avec 29 ampères et 54 volts, un arc de 10 millimètres de longueur. Ces expériences ont pleinement réussi, quoiqu'elles se firent dans des conditions défavorables ; la journée était nuageuse, le baromètre ne marquait que 740 millimètres et l'humidité atteignait 73 %.

Ce n'est qu'à la fin de 1898 que Zickler put employer pour ses expériences un puissant projecteur de Schuckert. Cet appareil était pourvu d'un réflecteur parabolique de 80 centimètres de diamètre et 20 centimètres de foyer ; les charbons étaient disposés le long de l'axe du réflecteur afin de diminuer sensiblement la perte de lumière ; l'arc était alimenté par un courant de 6 ampères et 47 volts. L'appareil récepteur fut placé à 450 mètres d'une tour très haute sur laquelle fut installé le projecteur ; ce récepteur était pourvu d'une lentille de quartz. Les communications furent faites avec une pression à l'intérieur du récepteur de 320 millimètres de mercure. Le professeur Zickler constata qu'avec une plus grande raréfaction de l'air dans l'appareil récepteur, la distance entre la station d'expédition et celle d'arrivée, pouvait être sensiblement augmentée. En effet, avec une pression de 200 millimètres dans le récipient, il a été possible d'établir la communication à 1.500 mètres de distance. Malheureusement, le récepteur employé pour ces expériences

subit quelques avaries qui mirent fin un peu brusquement à ces intéressants essais (¹).

Comme la plupart des appareils précédemment décrits, l'instrument de Zickler projetant des rayons servant aux signaux dans une direction rigoureusement déterminée, ne peut guère être utilisé par les communications entre les navires, ou entre un navire à la côte, par suite du mouvement continual de ces navires. Toutefois, pour de petites distances n'excédant pas quelques kilomètres, le système du professeur Zickler pourrait être, après certains perfectionnements, employé pour la télégraphie militaire. En tout cas, il constitue une invention des plus intéressantes, possédant un réel avenir, et à ce double titre il méritait d'être décrit ici.

1. J.-T. Breton, *Revue scientifique de l'Année 1899*, E. Bernard et C^{ie}, éditeurs.

CHAPITRE IV

La télégraphie sans fil par les ondes électro-magnétiques

La télégraphie à travers l'espace, sans fils conducteurs, est basée sur l'action d'un *transmetteur* qui produit des ondes électriques traversant l'espace pour venir agir sur le mécanisme d'un appareil sensible à cette catégorie de vibrations, et qui est désigné sous le nom générique de *récepteur*.

Chaque jour voit augmenter le nombre de ces appareils révélateurs de vibrations que nos sens sont impuissants à saisir et même à deviner. Un savant italien, le docteur Pochetino, a eu l'idée de dresser une classification rationnelle des procédés actuellement connus pour révéler, avec plus ou moins de commodité ou de simplicité, la présence de ces ondes électriques. Il n'en a pas trouvé moins de vingt et un, et la liste n'est pas close, pensons-nous. Voici l'énumération de ces procédés :

RÉVÉLATEURS A ÉTINCELLES

EFFETS LUMINEUX

- A la pression ordinaire.* — 1. Résonateur de Hertz.
2. Miroir de Righi.

EFFETS CHIMIQUES

- A faible pression . . .* 3. Tube de Geissler.
4. Milieu explosif.

IONISATION DE L'AIR

A la pression ordinaire. — 5. Papier sensible à l'iodure de potassium.

Ionisation de l'air

A PRESSION ORDINAIRE	6. Pile et sonnerie.
	7. Pile sèche et électroscope.
	8. Condensateur et téléphone.
<i>A faible pression.</i>	9. Tube de Zehner avec accumulateurs.
	10. Tubes de Zehner avec pile sèche et électroscope.
	11. Tube de Righi.

RÉVÉLATEURS SANS ÉTINCELLES

EFFETS PHYSIOLOGIQUES. — 12.

— PONDÉROMOTEURS. —	13. électrostatiques.
	14. électro-magnétiques.
— MAGNÉTIQUES	15.
— THERMIQUES	16. Dilatomètre.
	17. Bolomètre.
	18. Pile thermo-électrique.

DIMINUTION DE LA RÉSISTANCE AU CONTACT

(cohéreurs)	19. Contact métallique.
	20. Réseau.
	21. Tubes à limailles.

Voici quelques indications succinctes sur chacun de ces révélateurs :

- (1). Résonateur classique de Hertz.
- (2). L'étincelle jaillit sur une plaque de verre entre les lèvres d'une fente microscopique faite avec une pointe en diamant sur

une lame d'argent déposée sur une plaque de verre. La sensibilité de ce révélateur est extraordinaire, les étincelles jaillissent à la surface d'un diélectrique à une distance explosive très faible.

(3). Un tube de Geissler est intercalé dans le circuit du résonateur et s'illumine sous l'action des ondes électriques. On peut également employer une lampe à incandescence dont le filament est brisé. Une étincelle jaillit au point de rupture.

(4). Dispositif approprié à l'enseignement : on fait jaillir l'étincelle dans un mélange de chlore et d'hydrogène ou d'oxygène et d'hydrogène.

(5). On fait jaillir l'étincelle au voisinage d'une feuille de papier sensible à l'iodure de potassium.

(6). On met à profit l'*ionisation* de l'air, c'est-à-dire sa diminution de résistance momentanée sous l'influence des ondes électriques pour fermer le circuit d'une pile sur une sonnerie électrique.

(7). Même phénomène en utilisant une pile sèche et un électroscope.

(8). On relie un condensateur à un résonateur de Hertz rectangulaire par le milieu du côté opposé à la rupture où se produit l'étincelle. En dérivation sur l'armature de ce condensateur est un téléphone qui rend un son distinct à chaque passage de l'étincelle. (Expériences de M. Birkeland.)

(9 - 10). Tube à quatre électrodes, dont deux sont reliées à un résonateur et les deux autres, disposées à angle droit, reliées à une batterie d'accumulateurs ou à une pile sèche et un électroscope. Au moment où le tube est sous l'influence des ondes électriques, le tube s'illumine ou l'électroscope dévie.

(11). Un tube de Righi est disposé pour que les électrodes établissent, au moment où le tube est sous l'influence des ondes électriques, deux circuits conducteurs que l'on utilise pour for-

mer un circuit électrique quelconque et réaliser ainsi un révélateur.

(12). Expérience de Ritter servant à montrer à un public nombreux les contractions d'une grenouille préparée suivant les indications de Galvani.

(13). Expériences de Blyth et Franke.

(14). Expériences de Hertz.

(15). Expériences de Rutherford.

(16). Expériences de Gregory.

(17). Expériences de Rubens.

(18). Expériences de Klemeneik et Lebedew.

Tous ces dispositifs expérimentaux n'ont pas encore, jusqu'à ce jour, reçu d'application à la télégraphie à travers l'espace, mais on conçoit qu'ils puissent être au moins théoriquement, utilisés dans ce but. En fait, ce sont les *cohéreurs* ou *radio-conducteurs* formant le dernier groupe (19), (20), (21) qui ont rendu possible cette télégraphie, grâce aux travaux de Calzecchi, Branly, Lodge, Popoff et Marconi.

On a essayé cependant, à une époque où les propriétés des limailles étaient absolument inconnues, de faire de la télégraphie en utilisant les ondes électro-magnétiques, lesquelles sont différentes des oscillations électriques proprement dites. En effet, dans cette application, la transmission s'opère par l'utilisation des courants induits dans un conducteur par un courant électrique d'intensité variable parcourant un autre conducteur parallèle au premier. Ce phénomène est connu depuis les travaux de Faraday. On conçoit donc que, si l'on dispose dans l'espace deux fils conducteurs parallèles, dont l'un sera parcouru par une série de courants électriques, l'autre sera traversé par des courants induits capables d'agir sur un appareil récepteur ; il est facile, de cette manière, de transmettre des signaux à travers l'espace qui sépare les deux fils sans que ceux-ci soient réunis par aucun lien matériel.

Il n'en est pas de même avec les ondes électriques. D'après M. Breton, lorsque l'électricité parcourt un circuit à l'état cinétique et forme un courant, il se produit un champ magnétique dans le milieu environnant, et les variations dans ce courant, qui peut naître, cesser, augmenter ou diminuer, forment dans ce champ magnétique, des ondes *électro-magnétiques*. Lorsqu'au contraire, l'électricité se trouve emmagasinée à l'état potentiel à la surface d'un corps, il se forme, dans le milieu ambiant, un champ électrique, et toutes variations dans la charge électrique provoque dans ce champ des *ondes électriques* concentriques. Il y a donc une différence très notable entre ces deux catégories de vibrations.

Toutefois tous les physiciens n'admettent pas cette différence, et d'après que M. Rankin Kennedy, électricien bien connu en Angleterre, le titre même donné à ce procédé de télégraphie à travers l'espace, est inexact, la *wireless telegraphy* (télégraphe sans fil) ne serait pas sans fil. Voici l'explication qu'il a fournie dans une remarquable étude, récemment publiée par l'*Electrical Review*, de ce genre de phénomènes :

Le long fil vertical disposé au poste de transmission et au poste de réception est l'élément primordial, indispensable à la production du phénomène qui se réduit à une action réciproque entre les deux fils, action clairement et facilement explicable par les lois qui régissent les phénomènes électro-magnétiques, sans faire intervenir les ondulations hertziennes auxquelles il sera toujours temps d'avoir recours lorsque les théories acceptées jusqu'ici ne suffiront plus à l'explication des faits.

La science de la télégraphie à fil vertical — c'est ainsi que M. Rankin Kennedy désigne la télégraphie à travers l'espace — est la même que celle du transformateur ordinaire, de la bobine d'induction, ou celle de la télégraphie magnétique par boucle ou par bobine. Dans ce dernier cas, nous disposons en A

une bobine primaire et en B une bobine secondaire qui doit être influencée par A : l'espace qui la sépare est le circuit magnétique, circuit plus long que celui des transformateurs ordinaires et d'une plus grande section que celui des transformateurs à noyau.

Si l'on considère une bobine de N spires traversée par un flux Φ qui passe de zéro à sa valeur Φ (en webers) avec une fréquence ω (en périodes par seconde), la force électromotrice moyenne E induite dans cette bobine sera, d'après la formule bien connue de l'induction :

$$E = N \cdot \omega \cdot \Phi \cdot 10^{-8} \text{ volts.}$$

Mais si l'on employait un transformateur dont le secondaire serait placé à plusieurs kilomètres de distance du primaire, ce secondaire ne recevrait qu'une très faible partie du flux produit par ce primaire, et cette faible partie ne serait elle-même que très peu efficace, car elle induirait les deux éléments opposés de la bobine dans la même direction et neutraliserait ainsi presque complètement l'action. Il faut donc remplacer la bobine par un fil unique, et, comme le flux transmis à distance est faible, le seul moyen dont on dispose pour obtenir une force électromotrice suffisante est d'accroître la fréquence ω . Plus cette fréquence est grande, plus la distance entre le primaire et le secondaire pourra être augmentée.

Mais les grandes fréquences et les enroulements sont incompatibles, car l'accroissement de la self-induction résultant du bobinage d'un circuit oppose une impédence énorme au courant, aussi la méthode de la boucle ne peut-elle s'appliquer qu'aux courtes distances, et pour que le courant inducteur soit intense, il faut supprimer tout bobinage, toute boucle même, et faire usage, tant au primaire qu'au secondaire, d'un conducteur rectiligne.

Mais ici se pose la question :

Comment faire passer un courant dans un conducteur rectiligne dont un seul bout est relié à la source sans faire une boucle ? Le problème, insoluble pour un courant continu, est des plus simples avec les courants alternatifs de grande fréquence. Il suffit de disposer une capacité électrostatique à l'extrémité du fil vertical et d'une source alternative à grande fréquence à l'autre extrémité, cette source étant, d'autre part, reliée à la terre. C'est le courant de charge et de décharge de la capacité qui traverse ainsi le primaire et produit un champ électromagnétique rapidement variable lequel développe à son tour une force électromotrice dans le circuit secondaire. Grâce à la capacité disposée à l'extrémité supérieure du conducteur secondaire vertical dont l'autre extrémité est reliée à terre, il se développe dans ce circuit un faible courant alternatif de grande fréquence que révèle le radioconducteur de Branly, grâce à sa merveilleuse sensibilité, ce que ne saurait faire aussi bien aucun appareil électrique ou magnétique connu, à cause de la grande fréquence.

La transmission à travers l'espace ne serait donc pas autre chose qu'une application particulière des phénomènes électro-magnétiques et électrostatiques connus, avec utilisation d'un relais sensible, le radioconducteur ou cohéreur, par une action encore inexpliquée, aux faibles courants de la fréquence.

Si les vues de M. Rankin Kennedy sont exactes, ajoute M. Hospitalier, qui a reproduit ces théories dans son journal *l'Industrie Electrique*, il n'est pas nécessaire d'avoir recours aux procédés complexes de production d'ondulations hertziennes pour réaliser la télégraphie à travers l'espace : tout dispositif capable de développer des courants de haute fréquence donnerait des résultats satisfaisants, et, dans ces conditions, l'interrupteur électrolytique Wehnelt, associé à un système à décharges

oscillantes constituerait un progrès important dans la question. Pour nous, ajoute-t-il, nous n'oserions nous porter garant des vues si originales exposées par l'électricien anglais, mais elles offrent une si séduisante simplicité qu'on est très porté à les partager. Il serait intéressant de voir poursuivre, par les personnes qui ont à leur disposition les moyens de répéter les expériences de transmission à travers l'espace, des recherches en vue de confirmer ou d'infirmer l'explication dont nous venons de résumer les parties essentielles. La télégraphie sans fil se trouverait ainsi considérablement simplifiée et son extension serait facilitée.

Pour en revenir à la transmission par les phénomènes de l'induction d'un fil sur l'autre, nous dirons que cette méthode n'a pu être utilisée pratiquement qu'à la suite de l'invention du téléphone, qui constitue un récepteur excessivement sensible et permet de percevoir de très faibles courants induits traversant le fil.

M. Preece, ingénieur en chef du *Post-Office* de Londres a particulièrement étudié ce genre de transmissions. Ayant observé, en 1884, que des télégrammes envoyés par des fils isolés placés dans des tubes en fer, enterrés dans les rues de Londres, pouvaient être recueillis à l'aide d'un récepteur téléphonique relié aux circuits téléphoniques supportés par des poteaux de bois fixés sur le toit des maisons et situés parallèlement à 25 mètres de distance des premiers. M. Preece institua une série d'expériences démontrant que les circuits télégraphiques produisaient des perturbations dans des circuits téléphoniques disposés parallèlement à des distances allant de 400 jusqu'à 1500 mètres et plus. Il fallut se rendre à l'évidence ; il ne s'agissait pas de dérivations à la terre, mais bien de phénomènes d'induction résultant de l'action des ondes électro-magnétiques.

Quelques années plus tard, en 1889, le gouvernement autri-

chién étudia un moyen d'intercepter les dépêches militaires à l'aide d'un fil disposé parallèlement à la ligne télégraphique de l'ennemi, et dans lequel se trouve intercalé un récepteur téléphonique ; on peut ainsi surprendre les secrets de l'adversaire sans qu'il puisse s'en apercevoir. Enfin, en 1892, on utilisa pratiquement cette action des ondes électro-magnétiques pour envoyer des dépêches, transmises très distinctement, d'un rivage à l'autre du canal de Bristol à 5.300 mètres de distance.

Au début de l'année 1895, le câble sous-marin entre Oban et l'île de Mull s'étant brisé et la commission ne trouvant pas de bateau pour le réparer, elle décida de rétablir la communication télégraphique au moyen des ondes électro-magnétiques. A cet effet, on établit sur chaque rive, disposé parallèlement l'un à l'autre, un conducteur dont les deux extrémités étaient mises à la terre ; dans chacun de ces conducteurs se trouvaient intercalés : une batterie de 100 éléments Leclanché, un interrupteur tournant provoquant 260 interruptions par seconde, un manipulateur Morse ordinaire, ces différents instruments formant l'appareil transmetteur, et enfin, d'autre part, un appareil récepteur constitué par un simple récepteur téléphonique.

Chacun des deux fils, distants de plus de 9 kilomètres, servait tour à tour de fil inducteur pour transmettre les signaux et de fil induit pour les recevoir. Pour télégraphier de l'une des rives il suffisait simplement d'effectuer les signes brefs et longs de l'alphabet Morse à l'aide du manipulateur correspondant ; lorsque par le jeu de ce manipulateur, le courant produit par les éléments Leclanché et rendu oscillatoire par l'interrupteur tournant, passait dans l'un des fils, chacune des 260 oscillations provoquait dans l'autre fil un très faible courant induit et l'ensemble de ces courants induits agissant sur le récepteur téléphonique permettait de percevoir nettement les signaux transmis.

Au mois d'août 1896, on tenta, avec moins de succès, d'éta-

blir une communication télégraphique entre la côte et le bateau-phare North-Sand-Head (Goodwin). Les mouvements du bateau, sous l'influence des marées, rendaient, en effet, difficile l'établissement d'un câble direct entre lui et la côte ; on chercha à tourner cette difficulté en disposant au fond de la mer une énorme bobine de fil embrassant tout l'espace dans lequel se déplaçait le bateau-phare, celui-ci possédait, enroulée à sa partie inférieure, une autre bobine : ces deux bobines devaient tour à tour servir d'inducteur et d'induit pour transmettre ou enregistrer les signaux. Toutefois, quoique la distance qui les séparait, environ 400 mètres, fut relativement très faible, quoique la longueur des conducteurs fut d'autre part considérable et malgré l'emploi d'un relais extrêmement sensible construit par MM. Evershed et Vignoles toute communication fut impossible. Cet insuccès s'explique par la présence de l'eau de mer et de la coque métallique du bateau-phare formant écran et absorbant dans l'induction de courants parasites inutilisables toute l'énergie des courants primaires.

M. Whitehead, dans une note présentée à la *Physical Society*, le 11 juin 1897, s'étonne de cet insuccès ; une recherche mathématique l'a pourtant amené à évaluer à 54 % la perte par l'eau de mer pour une épaisseur de 10 mètres et à 79 % la perte par l'eau de mer pour une épaisseur de 20 mètres. Il nous semble, par suite, très explicable que pour une profondeur de 400 mètres, qui, d'après les chiffres indiqués par M. Preece, était la distance séparant les deux bobines de North-Sand-Head, la perte soit assez considérable pour rendre difficile la perception des signaux même à l'aide d'un relais très sensible. Quoiqu'il en soit, il est maintenant établi, grâce aux expériences de M. Preece, que l'on peut établir des communications télégraphiques à l'aide d'ondes électro-magnétiques chaque fois qu'il

est possible d'établir aux deux postes à réunir deux lignes parallèles de longueur suffisante.

Malheureusement, si les courants induits dans le second fil par les pulsations électriques parcourant le premier sont très intenses lorsque les deux lignes sont rapprochées, ils diminuent rapidement d'intensité au fur et à mesure que croît la distance qui les sépare. Pour que ces courants induits gardent une puissance suffisante et puissent agir sur les appareils récepteurs, il est indispensable d'augmenter la longueur des fils parallèles à mesure qu'augmente leur éloignement.

Pratiquement, il est nécessaire de donner aux conducteurs parallèles une longueur à peu près double de la distance qui les sépare; c'est ainsi que, pour transmettre des signaux à une distance de 10 kilomètres il serait nécessaire de disposer à chaque poste un fil d'environ 20 kilomètres de long; d'où il résulte que ce mode de télégraphie sans fil nécessite l'établissement d'une ligne quatre fois plus longue que celle exigée par les systèmes télégraphiques ordinaires. On voit par là que, malgré son intérêt, ce procédé n'est guère pratique et ne peut supplanter, que dans quelques cas très spéciaux, les systèmes de télégraphie actuellement utilisés et dans lesquels il suffit de réunir les deux postes par un seul fil. Il est toutefois bon de faire remarquer que d'autres éléments influent sur la facilité de communiquer par les ondes électro-magnétiques et qu'en modifiant ces éléments on pourrait certainement diminuer dans de notables proportions les longueurs nécessaires de fils parallèles.

L'intensité du courant primaire joue naturellement un certain rôle; mais son action est toutefois bien moins importante que celle de la fréquence des oscillations de ce même courant; l'intensité des courants induits est d'autant plus grande que les interruptions ou variations du courant inducteur sont plus fréquentes. C'est ainsi que, dans l'établissement des communications

entre Oban et l'île de Mull dont il a été question plus haut, on reconnut que les courants induits étaient aussi intenses en utilisant comme courant inducteur le courant oscillatoire fourni par les 100 éléments Leclanché et présentant, grâce à l'interrupteur tournant, 260 interruptions par seconde, que lorsque l'on employait le courant produit par un alternateur de deux chevaux et demi, mais de petite fréquence. Il est évident que la quantité d'énergie mise en jeu dans le second cas était considérablement supérieure à celle utilisée dans le premier ; c'est donc uniquement grâce à la fréquence infiniment plus grande des oscillations que la puissance d'induction était néanmoins aussi considérable que dans le premier cas.

Ce fait n'a d'ailleurs en lui-même rien qui doive surprendre, car on connaît la puissance d'induction des courants à haute tension et de grande fréquence. L'usage de ces courants permet de restreindre au minimum la longueur des fils parallèles ; il y aurait même des expériences intéressantes à faire à ce sujet, et nous pouvons croire que c'est dans cet ordre d'idées que les inventeurs devront se diriger pour perfectionner, améliorer et simplifier les méthodes de transmission actuellement en usage dans ce système de communications.

CHAPITRE V

La télégraphie sans fil par les ondes électriques.

La télégraphie sans fil au moyen des ondes électriques est encore dans la phase de son évolution du début, mais il ne faut pas la confondre avec les autres procédés que nous avons décrits dans les chapitres précédents. Nous avons vu qu'il était possible de télégraphier sans fil, en se servant pour transmettre le courant sur une partie de son parcours, d'un fleuve ou d'un bras de mer. On peut encore recevoir ce courant sans communication appréciable en se servant de l'induction; il n'y a pour cela qu'à tendre un fil téléphonique pour surprendre tous les secrets des dépêches envoyées.

Mais cette fois, c'est autre chose, et l'origine des expériences vient en droite ligne des recherches du Dr Heinrich Hertz, mort le 5 janvier 1894, après avoir brillamment indiqué la voie à suivre dans l'étude des phénomènes électriques.

Maxwell avait soupçonné l'identité de la lumière et de l'électricité, mais les expériences qui devaient mettre en évidence cette identité n'étaient point faites. C'est au Dr Hertz qu'en était réservée la démonstration. Grâce à son excitateur et à son résonateur, tout un nouveau champ inexploré s'est ouvert devant les électriciens, et la première conquête a été l'unité des forces physiques, rêve soupçonné et tant de fois caressé par le P. Secchi. Lumière, chaleur, électricité, ne sont que des ondulations plus ou moins rapides et, pour mieux les comprendre,

nous pouvons nous servir des lois de l'acoustique qui règlent les ondulations de l'air.

Quand l'excitateur de Hertz entre en fonction, l'espace est envahi par une perturbation électro-magnétique, et tous les objets conducteurs qu'il contient peuvent donner des étincelles qui seront d'autant plus vives, pour une distance donnée, que la période d'oscillation électrique de l'objet d'où on les tire s'approche davantage de la période électrique de l'excitateur. C'est ainsi que, lorsque nous émettons un son dans une chambre, tous les objets qui s'y trouvent subissent l'effet de l'ondulation de l'air, mais quelques-uns, un violon par exemple, entrera en vibration si sa période est la même que celle du son émis.

On a vérifié encore que ces radiations électriques suivent les lois de la lumière pour la réflexion et la diffraction, toutefois, avec une différence qui est à noter. L'action de l'excitateur de Hertz se transmet dans l'espace en traversant les corps électriques ou non conducteurs, comme les murs, les portes, mais une surface conductrice arrête ces radiations, forme obstacle et projette une ombre électrique derrière elle, ce qui vérifie l'autre hypothèse de Maxwell que les diélectriques sont transparents (à l'électricité) et les conducteurs opaques. Les expériences de MM. Sarrasin et de La Rive ont donné, en 1893, la confirmation expérimentale de ces idées. Nous y retrouvons les lois de la lumière, mais quant à la *nature* des écrans traversés ou impénétrables, il semble que nous nous rapprochons davantage des rayons X.

Or, ces radiations électriques spéciales sont la base de la nouvelle invention.

La première tentative faite pour utiliser ces radiations à la transmission de signaux est due à Edison qui disposa, à la partie supérieure d'un mât, une grande sphère métallique isolée et reliée à un générateur spécial permettant de lui donner une charge

électrique intermittente à très haut potentiel. Un second mât, placé à une certaine distance, portait une sphère identique, reliée à la terre par un fil sur lequel se trouvait intercalé un téléphone ; chaque charge ou décharge de la première sphère agissait par influence sur la seconde et provoquait dans le récepteur téléphonique des sons facilement perceptibles, nous ignorons toutefois quelle fut la portée maximum qui put être atteinte.

Quant aux dernières expériences entreprises depuis lors par MM. Preece, Marconi, Popoff et divers que nous décrirons plus loin, elles reposent entièrement sur les phénomènes d'oscillations électriques étudiées, en 1887, par le physicien allemand Hertz. Il nous paraît donc indispensable d'expliquer quelles sont ces oscillations et de dire un mot des propriétés qu'elles possèdent, avant de parler des applications qui en ont été réalisées pour les transmissions des signaux à moyenne distance.

Nous ne saurions mieux faire, afin d'expliquer plus clairement le mécanisme des oscillations électriques, que d'emprunter à une conférence de M. Popoff, savant russe, qui s'est beaucoup occupé de la question de télégraphie à travers l'espace, le très intéressant exposé que voici :

Considérons une oscillation quelconque non électrique, par exemple celle d'un pendule. Si nous le mettons hors de son état d'équilibre, nous lui communiquons, en le soulevant, une énergie potentielle qui, lorsque le pendule retombe et commence à se mouvoir, se transforme graduellement en énergie cinétique ; lorsque le pendule remonte de l'autre côté, l'énergie cinétique se transforme de nouveau en énergie potentielle et ainsi de suite. Quelles sont les circonstances qui favorisent et celles qui tendent à diminuer la durée de ce phénomène ? Il est évident que la quantité d'énergie originelle, c'est-à-dire la hauteur à laquelle fut soulevé le pendule déterminant son élan, ainsi que la masse du pendule jouent ici un rôle principal. On comprend que l'éner-

gie cinétique se transformerait immédiatement en énergie calorique au lieu de potentielle ; si, par exemple, nous faisions mouvoir le pendule dans l'eau, et nous n'obtiendrions presque pas d'oscillations par suite du frottement considérable de l'eau.

Afin que les oscillations ne s'interrompent pas en peu d'instants il faudrait, au contraire, que les obstacles opposés au mouvement mécanique soient aussi insignifiants que possible ; que par exemple le pendule se mouve dans le vide et que les frottements au point d'attache soient réduits au minimum. Ces circonstances accompagnent toute oscillation, sans exception, quel que soit le genre du mouvement que nous considérons.

Nous allons voir notamment que ces considérations s'appliquent parfaitement bien aux oscillations électriques.

Comment peut-on d'abord réaliser la transformation de l'énergie potentielle en énergie cinétique dans les phénomènes électriques ? Si nous prenons deux corps bien isolés et chargés l'un d'électricité négative et l'autre d'électricité positive, ces corps peuvent conserver leur charge pendant un temps indéterminé. Ils possèdent l'électricité sous forme d'énergie potentielle. Si nous relierons ces deux corps par un conducteur rectiligne, il se formera un courant électrique en donnant lieu à un genre particulier d'énergie cinétique.

La figure 17 représente deux sphères reliées par un conducteur rectiligne interrompu. Le courant se forme dès que la charge des sphères atteint la différence de potentiel nécessaire

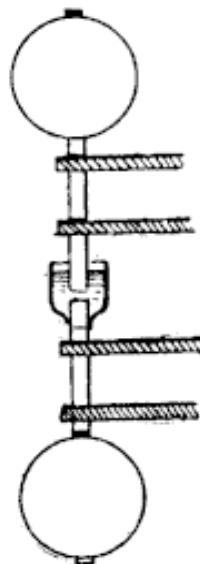


Fig. 17.

pour vaincre la résistance de l'isolant qui sépare les deux extrémités en présence du conducteur interrompu. Tant que la résistance de cet isolant n'est pas vaincue, la décharge n'a pas lieu et l'électricité s'accumule sous forme d'énergie potentielle. Lorsque la décharge se produit, le courant qui se forme établit autour du conducteur rectiligne un champ magnétique dont les lignes de force sont disposées en cercles concentriques autour de ce conducteur. Ce champ magnétique constitue une certaine forme de l'énergie potentielle.

Dès que les potentiels des sphères seront devenus égaux, le courant devrait s'interrompre en même temps que la cause qui le produisait ; mais comme cela a lieu dans le pendule au moment où, étant arrivé au bas de sa course, la pesanteur cesse d'agir sur lui, le mouvement ne s'arrête pas ; le courant est en effet prolongé par l'énergie accumulée en forme de champ magnétique et continue à se produire en chargeant les sphères dans la direction opposée à leur charge précédente. Ensuite, comme dans le pendule, tous les phénomènes se répèteront, de telle sorte qu'au moment où nous voyons jaillir l'étincelle, il peut se produire plusieurs milliers de ces oscillations.

L'appareil devant produire des oscillations électriques qui ne s'arrêtent pas rapidement doit remplir, toujours comme pour le pendule, certaines conditions. Aux extrémités du conducteur, dans lequel on excite les oscillations, on place des sphères ou des feuilles ayant une capacité électrique assez considérable. Pour que la provision de l'énergie soit grande, il faut produire une grande différence de potentiel, et pour que la décharge oscillante produite par les transformations successives des énergies se prolonge, il faut naturellement que les pertes secondaires d'énergie soient aussi petites que possible. Chaque fois que le courant passe par le conducteur, une partie de l'énergie se transforme en calorique, et, pour cette raison, le conducteur doit présenter

une résistance aussi petite que possible. Pour qu'on perde peu de force dans l'étincelle, celle-ci ne doit pas non plus dépasser une certaine longueur. Aussi, pour accumuler beaucoup d'énergie potentielle, on augmente la durée de l'interruption pendant laquelle se produit la décharge, il peut arriver, si l'on vient à dépasser une certaine limite, qu'on n'obtienne plus d'oscillations. C'est le physicien Federsen qui démontra expérimentalement ce caractère oscillant des décharges électriques, produites dans les conditions qui viennent d'être indiquées, en les examinant au moyen d'un miroir tournant, donnant une série d'images distinctes dont l'éclat va en décroissant. Cette nature oscillante des décharges a également été mise en évidence par M. Paalzow, qui a fait jaillir des étincelles dans un tube de verre cylindrique, dans lequel l'air était raréfié au degré du vide de Geissler, et qui était disposé parallèlement aux deux pôles d'un électro-aimant en U. Lorsque la décharge ne se produit que dans un seul sens, la lueur produite, attirée par un pôle et repoussée par l'autre, prend l'apparence d'un S allongé ; si le sens de cette décharge vient à être changé, l'S formé par la lueur change également de sens, la partie attirée par l'un des pôles de l'électro-aimant étant alors repoussée et réciproquement. Enfin, lorsque par suite des oscillations, la charge est, en réalité, formée d'une suite de décharges successives et de sens opposé, la lueur traversant le tube, tantôt attirée, tantôt repoussée par l'un et l'autre pôle de l'électro, prend alors la forme de deux S accolées, c'est-à-dire d'un 8. Tel est du moins le résultat des observations de M. Paalzow.

Si l'on modifie dans des proportions convenables la capacité électrique des sphères métalliques, la résistance du circuit et la longueur de l'étincelle de décharge, comme a fait M. Lodge, on peut obtenir une gamme d'oscillations électriques dont les périodes varient de un cent millionième à un cinq centième de se-

conde. M. Bose, de Calcutta, en réduisant la capacité de l'oscillation, a obtenu des ondes de très courte période dont il a estimé le nombre à 50.000 millions par seconde. Cependant on peut faire remarquer que, même en admettant ce chiffre élevé, on est encore bien loin de la rapidité des vibrations lumineuses, dont le nombre est évalué, comme nous l'avons dit, à 500 trillions par seconde.

Pour en arriver à la télégraphie sans fil par les ondes électriques, disons de suite qu'elle repose entièrement sur l'application de deux principes fondamentaux, découverts, le premier par Hertz, et le second par le professeur français Branly. Hertz a montré que, par des méthodes très simples, les courants électriques pouvaient prendre la forme ondulatoire et que les ondes électriques pouvaient se réfléchir, se réfracter et se polariser comme les ondes lumineuses. Il a ainsi donné une base expérimentale solide aux hypothèses de Maxwell sur la théorie électromagnétique de la lumière. Ces expériences n'ont eu, pendant longtemps, qu'un intérêt purement théorique ; l'idée de recueillir ces ondes à distance pour les transformer en signaux a dû sans doute germer dans l'idée de bien des inventeurs, mais les résonateurs Hertz ne révèlent l'existence des ondes électriques qu'à quelques mètres de distance de leur source, et ne donnent plus rien si on les éloigne davantage. Le difficile était d'imaginer un appareil sensible aux ondes électriques à plusieurs kilomètres de distance de la source les produisant. Cette remarquable découverte est due, ainsi qu'il vient d'être dit, à M. Edouard Branly, et nous la décrirons tout à l'heure.

L'appareil combiné par Hertz comprenait l'*oscillateur* produisant les ondes électriques, et le *résonateur* permettant de révéler à distance la présence de ces ondes et d'étudier leur mode de propagation. L'*oscillateur* était constitué par deux petites sphères métalliques, entre lesquelles jaillissaient les décharges

oscillantes, et qui se trouvaient en communication avec deux plateaux métalliques formant capacité électrique et reliés par des conducteurs aux deux bornes du circuit secondaire d'une bobine d'induction de Ruhmkorff. Les étincelles jaillissant entre les deux sphères sont d'un blanc éblouissant et crépitent fortement ; elles sont le siège d'une série d'oscillations électriques dont la fréquence est déterminée par la capacité électrique des surfaces conductrices en présence.

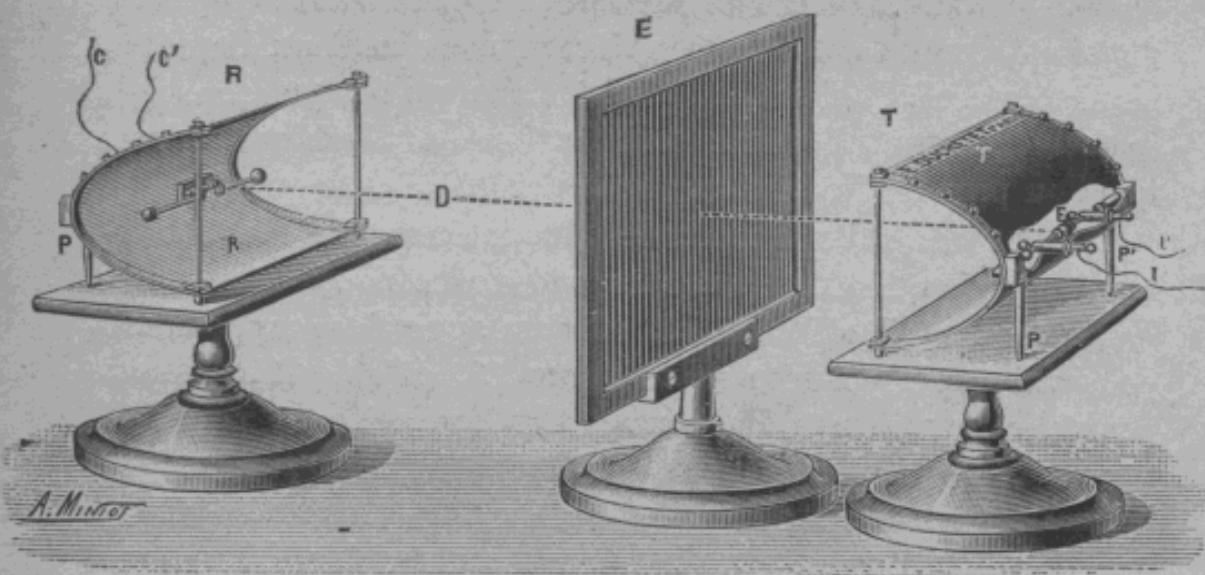


Fig. 18. — Expériences de Hertz.

Le révélateur d'ondes, que Hertz avait appelé résonateur, par analogie avec les résonateurs d'Helmholtz qui décèlent les ondes sonores, était composé d'un circuit circulaire présentant une petite interruption où jaillissent des étincelles lorsque cet appareil est placé dans la zone d'influence de l'oscillateur, zone qui peut s'étendre à 20 ou 25 mètres de ce dernier, même s'il est situé de l'autre côté d'un obstacle tel qu'un mur en briques.

Hertz montra que l'on peut obtenir des résultats beaucoup plus avantageux en *accordant* l'oscillateur et le résonateur,

c'est-à-dire en munissant les deux parties de ce dernier de feuilles d'étain de dimensions convenables, augmentant la capacité électrique et synchronisant le fonctionnement des deux instruments. Il existe donc un rapport entre les capacités électriques de l'oscillateur et du résonateur, pour lequel l'action des ondes électriques émises par le premier, présente un effet maximum sur le second ; il se produit dans ce cas un phénomène analogue aux phénomènes de résonance observés en acoustique et que l'on démontre dans les cours de physique à l'aide de deux diapasons donnant la même note. On fait vibrer l'un de ces deux diapasons ainsi accordés à l'unisson, et aussitôt celui qui n'a pas été excité, se met également à vibrer sous l'action des vibrations sonores que l'on peut rendre visibles par des procédés classiques.

Dans une série d'expériences des plus intéressantes, Hertz montra l'analogie qui existe entre les ondes électriques et les ondes lumineuses, et il utilisa à cet effet un appareil se rapprochant de celui que représente notre figure 18, et qui est construit pour les expériences de cours. Cet appareil est constitué par deux miroirs identiques, de forme cylindro-parabolique, mesurant 45 centimètres de longueur sur 30 centimètres d'ouverture et supportés par deux pieds à hauteur variable. L'un de ces miroirs reçoit sur sa ligne focale un petit oscillateur de Hertz à trois sphères, relié à une source d'électricité à haut potentiel donnant des étincelles d'au moins 2 millimètres de longueur. Un arrachement dans le miroir T permet d'apercevoir cet oscillateur.

L'autre miroir reçoit sur sa ligne focale un résonateur Hertz ou un radioconducteur Branly, qui est plus sensible, et que l'on relie à un circuit contenant une pile et une sonnerie. Rappelons en passant que, lorsque les ondes électriques parviennent au radioconducteur, celui-ci devient conducteur, le courant de la pile passe et la sonnette fonctionne ; un léger choc ramène les choses à leur premier état, et la sonnette s'arrête.

Voici maintenant les différentes expériences que l'on peut réaliser avec cet appareil complété par trois écrans en bois dont deux sont entièrement recouverts d'une feuille d'étain et le troisième revêtu simplement de bandes d'étain collées parallèlement et formant un réseau.

Si l'on place les deux miroirs l'un en face de l'autre à une distance d'environ un mètre, comme l'indique la figure 9, dès que l'étincelle jaillit entre les sphères de l'oscillateur, les ondes électriques agissent sur le radioconducteur et la sonnerie entre en fonction.

Si l'on intercale entre les deux miroirs une plaque de bois, de verre, d'ébonite ou d'un corps isolant quelconque, la sonnerie entrant encore en fonction démontre que les ondes électriques ne sont pas arrêtées par ces corps ; si au contraire l'on met un des écrans revêtus d'une feuille de métal ou une plaque métallique quelconque, le non fonctionnement de la sonnerie démontre que les ondes sont arrêtées par les surfaces métalliques et prouve en même temps que ces ondes se propagent en ligne droite, puisqu'elles ne peuvent contourner l'obstacle qui leur est opposé. Si enfin on interpose l'écran de bois portant des bandes d'étain, la sonnerie fonctionnera au cas où les bandes sont disposées verticalement, et non lorsqu'elles seront horizontales et parallèles au plan focal des miroirs.

La réflexion des ondes électriques peut être mise en évidence en disposant les miroirs T, R comme l'indique la figure 19, de telle façon que leurs axes soient perpendiculaires et en plaçant en E' perpendiculairement à la bissectrice de l'angle de ces axes un écran métallique jouant le rôle de miroir plan ; la sonnerie entre en action dès que jaillit la décharge, démontrant ainsi la réflexion des ondes électriques, puisque l'écran E'', disposé spécialement, empêche toute action directe. Si l'écran E' se trouve déplacé dans un sens quelconque la sonnerie ne fonctionne pas,

les ondes n'étant plus réfléchies sur le radioconducteur. Si l'on place en E' l'écran portant les bandes d'étain les ondes sont réfléchies si les bandes sont horizontales, non si elles sont verticales, partiellement si elles sont faiblement inclinées sur l'horizontale.

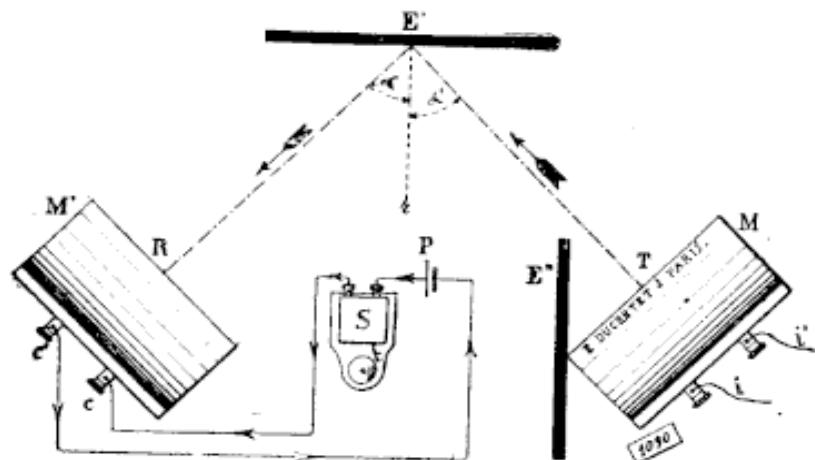


Fig. 19.

Si enfin l'on place le miroir T verticalement en face du miroir R restant horizontal, la sonnerie ne tinte pas et cette expérience correspond aux expériences de polarisation obtenues en optique à l'aide de deux prismes de Nicol, qui placés parallèlement, donnent un champ lumineux qui s'éteint lorsqu'ils sont croisés à 90° ; lorsque l'on place une tourmaline convenablement orientée entre les deux nicols croisés, le champ s'illumine à nouveau; de même lorsque l'on dispose entre nos deux miroirs placés perpendiculairement l'un à l'autre l'écran portant les bandes métalliques la sonnette sonne lorsque ces bandes sont disposées à 45° , si au contraire les bandes sont horizontales ou verticales, elle ne sonne pas.

On voit par là des analogies qui existent entre les ondes électriques et les ondes lumineuses; il est donc naturel que l'on puisse utiliser les premières comme les secondes à la transmission de signaux à travers l'espace. Pour résoudre ce problème, il suffit

de créer un oscillateur produisant des ondes électriques de grande puissance et surtout un résonateur de grande sensibilité pour pouvoir être impressionné par des ondes ayant traversé un grand espace et arrivant par suite très affaiblies à l'appareil récepteur.

C'était surtout le récepteur qui laissait à désirer dans les expériences de Hertz. On comprend, en effet, facilement que l'appareil disposé comme il a été dit ne pouvait être bien sensible et que, de plus, sa façon de décaler les ondes électriques était assez difficile à saisir, aussi, passé quelques mètres, on n'obtenait plus aucun résultat. MM. Egoroff, Zehnder et Righi modifièrent le résonateur de Hertz en faisant jaillir la décharge non plus à l'air libre mais dans un petit tube de Geissler qui s'illuminait lorsqu'il était exposé aux radiations électriques. Ainsi transformé et amélioré, le résonateur acquérait une sensibilité beaucoup plus considérable, et les observations ainsi faites dans l'obscurité étaient beaucoup plus faciles et plus précises. Cependant la portée demeurait encore très limitée, et l'enregistrement des ondes à moyenne distance était toujours aussi impossible par ce procédé. C'est donc en partant d'un principe tout différent que M. Branly a pu arriver à ce résultat qui a fait entrer la télégraphie électrique sans fil dans le domaine de la pratique.

On répète dans les cours de physique une expérience qui peut aider à comprendre le fonctionnement du *radioconducteur* inventé par M. Branly. Voici en quoi elle consiste (fig. 20) : un conducteur métallique dans lequel sont intercalés quelques éléments de piles et une sonnette, possède à ses extrémités deux

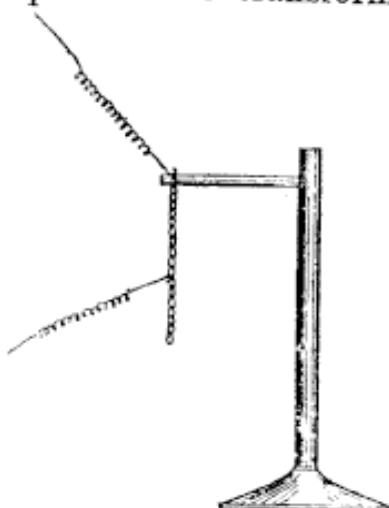


Fig. 20.
Disposition de la chainette.

lames métalliques ; lorsque ces lames sont en contact, le circuit se trouve formé et la sonnette vibre sans discontinue. Si l'on dispose ces lames sur une tablette, à quelques millimètres l'une de l'autre, et qu'on les relie entre elles par une traînée de fine limaille métallique, le circuit est fermé, mais la sonnette reste muette, la résistance que la limaille présente au passage du courant étant très élevée. Mais alors, si l'on fait éclater à quelque distance, une étincelle de haute tension, soit à l'aide d'une machine statique de Wimshurt munie de son condensateur, soit au moyen d'une bobine d'induction et d'un oscillateur de Hertz, la limaille devient brusquement conductrice et demeure conductrice après que l'étincelle a cessé. On a ainsi le phénomène d'une substance qui n'était pas conductrice de l'électricité, et qui le devient de façon persistante sous l'influence d'une décharge électrique à distance.

M. Popoff explique ce phénomène par une autre expérience : il intercale dans un circuit deux éléments de pile, une sonnerie et une petite chaînette métallique suspendue à une potence. En augmentant progressivement le nombre des chainons de la chaîne intercalés dans le circuit, il arrive un moment où la résistance se trouve être suffisante pour que la sonnette cesse de fonctionner. Si, à ce moment, on tire sur la chaînette, les contacts des chainons, entre eux deviennent immédiatement plus parfaits et la sonnette retentit à nouveau ; si l'on cesse cette traction et que l'on secoue la chaîne, la résistance augmente, et la sonnerie s'arrête de nouveau. D'après MM. Lodge et Popoff, les grains de la limaille, dans la première expérience citée agissent d'une façon analogue à celle des maillons dans la chaînette, suivant l'expression créée par M. Lodge lui-même, ils *cohèrent*, et leur ensemble oppose une résistance beaucoup moins grande au passage du courant ; une légère secousse suffit ensuite pour *décohérer* cette limaille lorsqu'elle ne se trouve plus sous l'in-

fluence des radiations électriques, elle revient ainsi à son état primitif et redevient, par suite, apte à être de nouveau influencée par ces radiations.

Dans sa communication à l'Académie des Sciences, M. Branly s'est exprimé comme suit (¹) :

Une limaille métallique est évidemment une substance *discontinue* ; elle consiste en grains de métal, indépendants, séparés par des intervalles d'air isolants. La conductibilité produite dans la limaille s'établira encore, dans les mêmes circonstances, si l'on y remplace l'air par un autre isolant comme le soufre ou la résine en proportion suffisamment petite. Tel est le cas d'une *pastille* solide obtenue en agglomérant de la résine en poudre et de la limaille à la température de fusion de la résine.

Les substances discontinues, très variées, qui jouissent de la propriété de passer ainsi de l'état d'isolant à l'état de conducteur, sont dites des *radioconducteurs* ; ce nom rappelle que leur conductibilité s'établit sous l'influence du rayonnement électrique qui émane d'une étincelle.

L'action des étincelles décroît quand la distance augmente, mais on l'observe avec la plus grande facilité à 25 ou 50 mètres, soit à l'air libre, soit à travers des cloisons et des murs, avec une épaisseur de 1 à 2 millimètres de limaille d'aluminium, de bronze d'aluminium, de maillechort, convenablement tamisée et comprise entre deux tiges métalliques. Marconi, en 1897, dans ses remarquables essais de télégraphie sans fil, l'a observée à 14 kilomètres.

Un radioconducteur (fig. 21) intercalé dans un circuit de pile se comporte d'abord comme un isolant et maintient le circuit

1. EDOUARD BRANLY : *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 24 novembre 1890, 12 janvier 1891, 12 février 1894; *Bulletin de la Société française de physique*, avril 1891; *Journal la Lumière électrique*, 1^{er} semestre 1891.

ouvert ; dès qu'une étincelle éclate, il devient conducteur et ferme le circuit. De là le moyen de déterminer à distance, sans fil intermédiaire, à un instant donné, les divers effets du courant.

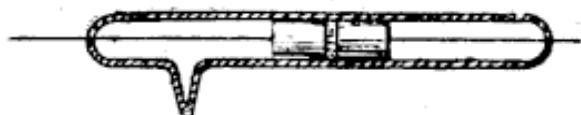


Fig. 21. — Radioconducteur (coupe).

L'effet que je viens de décrire, déviation d'un galvanomètre, était faible ; le courant était dû à un élément de pile et, bien que la résistance du radioconducteur fut parfois très réduite, par l'action de l'étincelle, l'intensité du courant qui le traversait ne dépassait pas une fraction d'ampère. On peut produire des effets beaucoup plus puissants et l'intensité du courant qui traverse un radioconducteur, après l'action de l'étincelle, peut dépasser 20 et 25 ampères. Composons, par exemple, un circuit avec une batterie de 12 à 15 accumulateurs, un fil de platine iridié de 1 mètre, et une couche de quelques millimètres de limaille d'aluminium contenue dans un tube de verre à larges électrodes métalliques. La limaille intercepte le courant et l'ouverture se fait à un godet de mercure dans le circuit sans apparition d'étincelle. Si l'on vient à décharger un condensateur à distance, le fil de platine rougit vivement. On peut opérer de même l'allumage de lampes à incandescence ; on peut encore voir un électro-aimant s'animer subitement, attirer et maintenir soulevé un lourd boulet de fonte ; une bobine d'induction fonctionner et illuminer des tubes de Geissler, un moteur électrique entrer en travail ; une pièce d'artifice faire explosion. Dans tous les cas, une étincelle détermine au loin de puissantes actions.

Dans les applications des tubes à limaille, il ne faut pas per-

dre de vue que le diamètre des grains et leur tassemement doivent être en rapport avec la force électromotrice de la pile, car cette force électromotrice exerce par elle-même, pour faire passer le courant, un effort d'autant plus efficace qu'elle est plus élevée. Pour une même limaille, le diamètre des grains et leur tassemement doivent diminuer quand la force électromotrice augmente. Pour des limailles différentes, diverses autres conditions interviennent et spécialement le degré d'oxydation. Enfin, la section de la partie utile du tube se règle d'après l'intensité du courant ; les petites sections, suffisantes pour de faibles courants, font place à de fortes sections pour des courants forts, afin que la résistance du radioconducteur ne diminue pas dans une trop importante mesure l'intensité du courant mis en circulation.

En pratique, même pour produire de grands effets, il n'est pas nécessaire de faire traverser un radioconducteur par des courants intenses, si, au circuit qui le comprend et qui contient seulement un élément de pile, on ajoute un *électro-aimant*. Quand une étincelle éclate, le circuit du radioconducteur se ferme, l'électro-aimant s'aimante, son contact de fer doux entraîne une pièce métallique qui ferme un deuxième circuit, le circuit principal ; celui-ci comprend une batterie d'accumulateurs.

Jusqu'ici, pour produire à distance les divers effets de courant, on avait recours à un électro-aimant dont le contact de fer doux servait à fermer le circuit principal. L'électro-aimant faisait partie d'un premier circuit relié à la station de départ par deux longs fils métalliques. En appuyant sur une manette on fermait le premier circuit et, par l'électro-aimant et son contact, le circuit principal se fermait en même temps à la station d'arrivée. L'électro-aimant se désaimantait en cessant d'appuyer sur la manette, son contact s'éloignait et le circuit principal s'ouvrait. C'est cette aimantation intermittente qui a conduit aux applications si variées des électro-aimants et en particulier à la télé-

graphie ordinaire, car pour une transmission de signaux, il suffit qu'on puisse ouvrir et fermer un circuit à intervalles rapprochés.

L'emploi d'un radioconducteur et sa propriété de devenir conducteur par l'étincelle permettent de *supprimer les deux fils de communication* de l'électro-aimant avec la station de départ. A cette station, on dispose un appareil à étincelles qui agit sans fil à distance. Par une étincelle les circuits se ferment. Pour qu'ils s'ouvrent, on supprime la conductibilité du radioconducteur, on y parvient par le *choc*.

Pour montrer l'action du choc, répétons l'expérience fondamentale en formant un circuit avec un élément de pile, un tube à limaille et un galvanomètre. Une étincelle éclate, le galvanomètre est dévié. En frappant sur le tube, on fait disparaître sa conductibilité. La conductibilité d'un radioconducteur est donc à volonté *intermittente*.

Pratiquement, pour supprimer à un moment donné la conductibilité, il n'est pas nécessaire de placer un opérateur chargé de produire les chocs auprès des appareils qu'une étincelle a mis de loin en action ; ce serait, en effet, perdre l'avantage de l'effet à distance. A l'aide de dispositions spéciales, familières aux électriciens, on fait en sorte que le courant mis en circulation par la conductibilité du radioconducteur agisse d'une façon automatique sur un marteau qui frappe le tube, le rend isolant et ouvre ainsi le circuit. Une nouvelle étincelle le ferme, un nouveau choc l'ouvre, et ainsi de suite.

A cause de leur extrême impressionnabilité à distance, les radioconducteurs sont jusqu'ici les plus sensibles des *révélateurs* des ondes électriques ; leur emploi comme *récepteurs* dans les expériences de télégraphie sans fil de Popoff en 1896, et de Marconi en 1897, montre combien leur importance pratique peut être grande ».

Si nous en revenons encore à l'expérience de la chaînette décrite tout à l'heure, nous remarquerons que la quantité de mailles intercalées dans le circuit pour arrêter la sonnette actionnée par deux éléments de pile, sera insuffisante pour l'arrêter si l'on emploie davantage de piles, donnant une force électromotrice plus élevée, il faut donc proportionner le nombre de mailles suivant la force électromotrice du courant ; il faudrait également avoir soin d'employer plusieurs chaînettes parallèles si l'intensité du courant était trop forte pour une seule.

De même, quand on répète l'expérience avec la limaille, la longueur et la section de sa couche doivent être exactement déterminées pour obtenir le maximum de sensibilité suivant l'intensité et la force électromotrice du courant. Le diamètre des grains et leur tassemement jouent également un rôle important ; pour une même limaille, ces deux facteurs : diamètre et tassemement doivent diminuer à mesure que la force électromotrice augmente.

Ainsi que nous l'avons dit, M. Lodge donna le nom de *cohéreur* à l'appareil inventé par M. Branly, en raison de l'explication du phénomène dérivant de la chaînette, mais M. Branly, qui se refuse à admettre la théorie de M. Lodge, continue à préférer le nom de *radioconducteur* qui indique bien la propriété de devenir conducteur sous l'influence des radiations électriques.

M. Branly contrairement à MM. Lodge et Popoff, est donc persuadé qu'il ne se produit aucun mouvement mécanique dans la limaille soumise à l'action des ondes électriques, et il base son opinion sur les expériences qu'il a faites en agglomérant par fusion des poudres métalliques avec des isolants solides.

Les propriétés de la limaille, dont les particules sont ainsi immobilisées, restent en effet les mêmes ; les variations de résistance se présentent dans les mêmes conditions et la conductibi-

lité disparaît de même sous l'action du choc et de la chaleur. M. Branly expérimenta ainsi des agglomérés de limailles et de résines, gomme-laque, baume, collodion, gélatine, celluloïd, etc.; il put, dans ses essais, obtenir des mélanges qui, aussitôt qu'ils n'étaient plus soumis à l'influence des ondes électriques, revenaient sans choc à leur résistance primitive. On peut penser, d'ailleurs, que s'il se produit cependant, sous l'action des radiations électriques, un déplacement des particules de limaille qui s'orientent et deviennent adhérentes les unes aux autres pour constituer une série de petites chaînettes parallèles, si en somme il se produit une action analogue à celle que l'on sait sur la limaille de fer par l'approche d'un aimant, on doit pouvoir constater ce mouvement à l'observation microscopique. Aussi pour vérifier le bien fondé de cette supposition, M. J.-L. Breton a examiné au microscope sous différents grossissements la façon dont se comportent les limailles métalliques sous l'action des ondes électriques.

Le dispositif suivant a été adopté par l'examinateur (fig. 22) : en B se trouve la bobine d'induction dont les deux bornes *bb* du circuit secondaire sont reliées aux deux branches *oo'* d'un oscillateur de Hertz destiné à produire les ondes ; des feuilles de clinquant *ff* sont destinées à augmenter la capacité électrique de cet oscillateur. Le microscope M, placé à une distance plus ou moins grande de l'oscillateur, reçoit sur sa platine P un petit radioconducteur très simplement constitué par deux feuilles d'étain collées sur une de ces petites lames de verre que l'on emploie pour les préparations microscopiques, et laissant entre elles un petit intervalle dans lequel on place la limaille à examiner. Ces lames sont représentées en *a* sur la gravure ; elles varient de l'une à l'autre par la forme des électrodes et la distance les séparant. Pour distinguer dans le champ du microscope les deux électrodes et toute la limaille active, on colle une feuille

d'étain sur la lame de verre et on l'entaille, de deux traits en \times au moyen d'un rasoir ou d'un canif bien affilé ; la limaille est versée dans ces solutions de continuité.

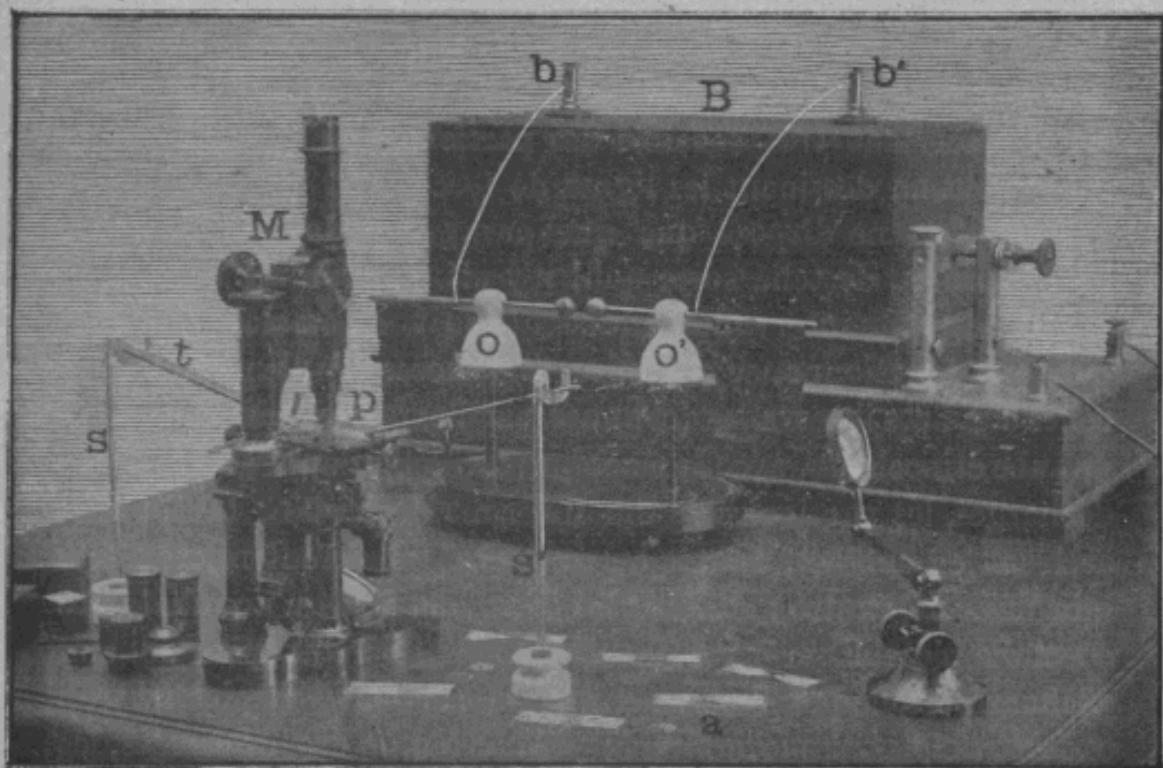


Fig. 22. — Dispositif de M. J.-L. Breton pour l'étude de l'action des ondes électriques sur les limailles métalliques.

Afin d'augmenter l'action des radiations électriques sur la limaille, M. Breton dispose sur les deux électrodes, par l'intermédiaire de tiges de cuivre appuyées sur des supports isolants, des feuilles de clinquant de grandeur appropriée. Il harmonise ainsi son résonateur avec l'oscillateur, et augmente l'intensité des ondes agissant sur la limaille.

Dans ces expériences, la bobine employée pouvait donner des étincelles de 30 centimètres de longueur, ce qui constituait des conditions très suffisantes pour obtenir une action énergique.

Malgré cela, l'observateur n'a pu constater, sous l'influence des radiations, aucun mouvement des particules de limaille, qui apparaissaient cependant très nettement dans le champ du microscope, grâce au fort grossissement choisi. Cependant, lorsqu'on faisait usage de la limaille de fer, l'approche d'un aimant à quelques centimètres sous la platine du microscope, déterminait un déplacement très sensible des particules de limaille qui se groupaient en dessinant les lignes de force.

Lorsqu'on ne dispose que quelques grains de limaille entre les électrodes, de telle sorte qu'il n'y ait pas contact entre tous et que de petits intervalles subsistent, on voit, aussitôt que l'oscillateur fonctionne, se produire une succession de petites étincelles dans ces intervalles (connues par l'expérience du carreau et du tube étincelants, avec la machine statique). Sous l'action de ces décharges, les particules de limaille sont déplacées : tantôt elles arrivent en contact, tantôt au contraire, elles sont rejetées très loin l'une de l'autre ; et, dans les deux cas, soit qu'une chaînette continue s'établisse entre les électrodes donnant passage aux décharges, soit que l'espace entre les particules devienne trop considérable pour permettre la production de ces décharges, les étincelles prennent très rapidement fin. Un léger choc, modifiant la disposition des particules, rétablit pour quelques instants très courts la production d'étincelles.

« Toutefois, ajoute M. Breton, il n'y a rien dans tout cela de surprenant et qui ne pouvait être prévu, Hertz ayant déjà constaté que sous l'action des ondes électriques, des étincelles pouvaient jaillir dans la petite interruption d'un conducteur placé à proximité de l'oscillateur ; quant au déplacement irrégulier des particules de limaille, qui, sous l'action des étincelles ainsi produites, se meuvent au hasard, se rapprochant ou s'éloignant les unes des autres suivant la manière dont elles sont frappées par les décharges, il semble démontrer que les ondes élec-

triques ne possèdent même pas une tendance à orienter, d'une façon nettement déterminée, ces particules. Par conséquent, nous pouvons avancer que les variations de conductibilité que l'on observe dans un radioconducteur soumis à l'influence des ondes électriques ne peuvent être attribuées à une action mécanique, à un déplacement, à un rangement spécial des particules de limaille, et voici comment il semble que l'on puisse expliquer l'action physique qui régit ce phénomène.

« A l'état ordinaire la limaille intercalée dans un circuit parcouru par un courant de faible force électromotrice présente une résistance trop considérable pour se laisser traverser par ce courant ; les ondes électriques qui agissent sur l'appareil développent, au contraire, dans le circuit, interrompu par l'intercalation du radioconducteur, une différence de potentiel assez considérable, dans certains cas, pour donner lieu à une étincelle dans le résonateur de Hertz, et qui peut, par suite, vaincre la résistance infiniment moindre opposée par la limaille ; (c'est justement pour cette raison que là où le résonateur Hertz ne donne plus aucun résultat, le tube à limaille dont le circuit est bien moins résistant se laisse traverser par les courants induits par les ondes électriques) ; en traversant la limaille, les décharges ainsi produites, quoique d'intensité négligeable, détruisent en partie la résistance, ouvrent pour ainsi dire la porte au courant de la pile locale, entraînent si l'on veut (quoique cette comparaison soit en réalité peu exacte) ce courant comme dans l'injecteur Giffard le courant d'eau à haute pression jaillissant à travers les deux tubulures tronconiques entraîne une grande masse d'eau de pression nulle. Les ondes électriques procurent, en somme, la force électromotrice nécessaire pour vaincre la résistance primitivement opposée par la limaille.

« On a vu plus haut que, pour certain mélange de limaille, Branly put obtenir des radioconducteurs revenant d'eux-mêmes

sans choc, à leur résistance primitive dès que cesse l'action des ondes électriques ; dans la plupart, au contraire, il faut un choc pour interrompre le courant qui, sous l'action des ondes, se fraye un chemin à travers la limaille. Le fait suivant, connu de tous les électriciens, nous donnera facilement l'explication de ce phénomène ; on sait, en effet, que lorsque l'on rompt un circuit électrique traversé par un courant d'assez grande intensité et tension, un circuit d'éclairage par exemple, il se forme, dès la rupture, un petit arc entre les deux extrémités du circuit ainsi ouvert ; si ces extrémités restent à une très faible distance cet arc ainsi formé se maintient pendant un temps assez long et on peut le faire disparaître par un soufflage ou un choc ; or, il est évident que la force électromotrice du courant serait tout à fait insuffisante pour faire jaillir cet arc entre les deux pièces métalliques en présence, mais une fois créé, une fois la première résistance vaincue, il se maintient ; c'est même pour empêcher l'action funeste de ces arcs sur les pièces des interrupteurs que l'on utilise des interrupteurs à rupture brusque. Si au lieu de former cet arc par rupture du circuit on l'obtient par l'élévation de la force électromotrice du courant, le résultat sera le même ; c'est ainsi que, si dans un circuit interrompu par un intervalle assez grand pour empêcher la décharge de se produire on élève la différence de potentiel d'une façon suffisante pour vaincre la résistance de la couche d'air ou d'isolant interposé, un arc jaillit et se maintient même dès que le courant est revenu à sa tension primitive. Ce dernier cas est donc bien analogue au phénomène observé dans le radioconducteur et donne quelque poids à notre explication. Plusieurs expériences pourraient d'ailleurs être faites pour confirmer cette explication, mais nous n'avons malheureusement pas eu le temps matériel de les réaliser.

« La dernière forme donnée par Branly à ses radioconducteurs est la suivante : il renferme la limaille métallique dans une

chambre étroite en ébonite, disposée verticalement ; cette limaille se trouve comprise entre deux tiges métalliques, dont l'une peut être plus ou moins rapprochée ou écartée à l'aide d'une vis de pression. Pour amener l'appareil à son maximum de sensibilité, on comprime légèrement la limaille en tournant la vis jusqu'au moment où le miroir d'un galvanomètre très sensible, intercalé dans le circuit, se trouve légèrement dévié ; l'appareil se trouve alors à son maximum de sensibilité et, sous l'action d'ondes électriques, sa conductibilité augmente dans une grande mesure et la déviation du miroir du galvanomètre devient très accentuée ; si, en tournant la vis, on dépassait la mesure et que la déviation primitive obtenue fût trop considérable, un léger choc suffirait, sans détourner la vis, à ramener au zéro le galvanomètre.

« L'action des étincelles oscillantes sur ces radioconducteurs décroît naturellement quand la distance augmente ; on peut toutefois l'observer avec la plus grande facilité à une cinquantaine de mètres et nous verrons tout à l'heure qu'elle est encore sensible à plusieurs kilomètres.

M. Branly a démontré que les courants traversant des radioconducteurs convenablement disposés pouvaient être considérables ; il atteignit, en effet, des intensités de 25 ampères. Il composa, par exemple, un circuit avec une batterie de 12 à 15 accumulateurs, un fil de platine iridié de un mètre et une couche de quelques millimètres de limaille d'aluminium contenue dans un tube de verre à larges électrodes métalliques. La limaille intercepte le courant et l'ouverture du circuit peut se faire sans la moindre étincelle ; mais, sous l'influence d'ondes électriques, le courant passe immédiatement et le fil de platine rougit aussitôt. On peut par le même procédé, provoquer l'allumage de lampes à incandescence, faire entrer en action un gros électro-aimant, mettre en route un moteur électrique, etc., et tout cela à distance sous la simple influence d'ondes électriques. On voit par là, qu'en

dehors de la télégraphie, ces appareils sont susceptibles de nombreuses applications.

Pour produire de grands effets il n'est d'ailleurs pas nécessaire de faire traverser le radioconducteur employé par un courant intense et il suffit de faire agir le faible courant qui le parcourt sur un relais sensible qui ferme un second circuit, lequel peut recevoir un courant d'intensité illimitée.

Mis à l'intérieur d'une boîte métallique hermétiquement close le radioconducteur n'est plus influencé par des ondes électriques ; mais la plus petite fissure suffit à laisser passer les ondes électriques qui agissent sur la limaille. C'est ainsi que si l'on renferme dans une caisse métallique étanche un radioconducteur avec une pile et une sonnerie, celle-ci reste silencieuse à proximité d'un oscillateur en fonction ; elle entre au contraire en action si une légère ouverture livre passage aux ondes électriques.

CHAPITRE VI

Les expériences de Marconi.

Si l'on base les antériorités des découvertes scientifiques sur des documents certains et authentiques, sans s'en rapporter aux affirmations verbales ou écrites des chercheurs sur l'origine de leurs travaux, il semble établi que la priorité matérielle de l'idée de la télégraphie sans fil au moyen des ondes électriques appartienne plutôt à M. Popoff, professeur russe. Le brevet anglais de M. Marconi date en effet, du 2 juin 1896, tandis que la publication du mémoire de M. Popoff, dans le tome XXVIII du *Journal de la Société physico-chimique russe*, remonte au mois de décembre 1895.

Nous donnerons, dans un chapitre spécial, le résumé des recherches de M. Popoff ; pour le moment nous ne nous occuperons que des expériences réalisées jusqu'à l'heure actuelle par le jeune physicien italien.

D'après un remarquable article de M. Albert Battandier dans le *Cosmos*, M. Marconi serait né à Bologne en 1874, et il fit dans cette ville ses premières études de physique et de sciences naturelles. Etant allé à Londres, en 1896, pour affaires d'intérêt privé, il parla des expériences qu'il avait faites sur la transmission électrique sans fil, et les résultats déjà obtenus. Il ne voulait pas encore mettre sa découverte dans le public, la considérant comme insuffisamment mûrie et incomplète ; l'enfant — s'il est permis de parler ainsi — n'était encore qu'au maillot, et il voulait se présenter adulte, mais les Anglais, ayant du premier coup d'œil compris la portée de ces études, s'en sont emparé et ont obtenu

de lui qu'il les donnât telles quelles. Aussitôt, M. Preece, chef des télégraphes anglais, donna une conférence sur ce sujet et fit connaître au public émerveillé les résultats obtenus par le jeune physicien italien.

Il n'a pas découvert, il faut le dire, une nouvelle force de la nature, mais la possibilité de mieux se servir d'une force existante. Nous avons vu que les radiations issues de l'excitateur Hertz pouvaient passer à travers des diélectriques, mais sont arrêtées par les corps conducteurs qui ont, de plus, le pouvoir de les réfléchir. De plus, leur effet ne se produisait que dans un rayon assez restreint, une cinquantaine de mètres au maximum ; en un mot, il les a fait sortir de ce cercle étroit.

Nous entrons dans le champ de l'invention nouvelle, et il ne faudra pas s'étonner si les explications données par M. Marconi aux personnes qui l'ont interviewé dans les débuts ont paru un peu obscures. La faute en a été à la réserve de l'interviewé et à l'inexpérience électrique de l'intervieweur.

M. Marconi a d'abord cherché et trouvé quelque chose de plus sensible que le résonateur de Hertz ; il a constaté ainsi que l'effet des radiations électriques se faisait sentir beaucoup plus loin et il affirme qu'il a pu le reconnaître à une distance de plusieurs kilomètres. De plus, les radiations hertziennes, bien qu'elles traversent des corps diélectriques, comme un mur, une porte, ne les traversent pas tous ou sous une grande épaisseur. Les plaques métalliques les réfléchissent, mettant ainsi un obstacle à leur propagation. Il a trouvé le moyen de les renforcer à ce point qu'il leur fait traverser des amas de terre, de telle sorte que deux points séparés par une montagne peuvent être en communication, la radiation ou oscillation électrique se transmettant à travers le massif montagneux avec presque autant de facilité qu'au travers de l'air.

Mais ces radiations à cette distance et à travers toutes les résis-

tances accumulées sur leur trajet devaient nécessairement devenir de plus en plus faibles et on ne pouvait constater au poste de réception qu'un courant incapable de produire une action quelconque. M. Marconi a renoncé à l'inscription directe de ces vibrations trop faibles, mais il se sert de leur action pour mettre en mouvement une pile qui, étant insérée dans le circuit d'un télégraphe, le fait agir. En un mot, c'est le système du relais télégraphique.

Ainsi que le lecteur peut s'en rendre compte, les explications données au début par l'inventeur se réduisaient à peu de chose, mais il faut bien admettre, après la conférence de M. Preece, qu'il est arrivé au résultat qu'il annonçait à l'assemblée. Ceci posé, quelles seront les conséquences de cette découverte ?

Il est clair qu'on ne peut pas prévoir ce qu'elle deviendra plus tard. Quand on commença à se servir du téléphone, son action ne se faisait sentir utilement qu'à un nombre très restreint de kilomètres, et maintenant, on téléphone couramment à travers les 863 kilomètres qui séparent Paris de Marseille. Il faut donc raisonnablement s'attendre à un développement similaire de la nouvelle découverte ; telle qu'elle est cependant, dans son état embryonnaire, elle n'est pas sans intérêt immédiat.

Quand, sur mer, la pluie ou le brouillard empêche les éclairs du phare d'arriver au navire, ce dernier étant à quatre ou cinq kilomètres du phare, que nous supposons muni d'un excitateur Hertz, il pourra, grâce à son résonateur, être électriquement averti de son approche. Ce résonateur mettra en branle une cloche d'alarme ou bien servira à communiquer télégraphiquement avec le phare.

En cas de guerre, deux corps séparés par une montagne et dont la distance sera moindre de 4 kilomètres pourront se trouver en communication électrique et, par conséquent, combiner leur action sans pose de fils, sans qu'aucun obstacle naturel

puisse empêcher l'émission du courant. Ce sera un grand avantage toutes les fois qu'il s'agira de relier deux postes qui se trouvent à courte distance, mais en dehors du rayon visuel. Et si l'imagination voulait se donner libre carrière, il ne serait pas lointain le jour où les journaux pourraient recevoir leurs dépêches sans payer les tarifs élevés des Compagnies télégraphiques et téléphoniques et, ce qui est mieux, sans passer par les fourches caudines d'un pouvoir qui retient leurs télégrammes quand ils ne leur conviennent pas, ou les transmet d'abord à d'autres qu'à l'intéressé.

Les Anglais ont accueilli avec enthousiasme cette nouvelle invention et nous devons lui faire bon visage en France, car elle nous assure actuellement en partie une parcelle de ces libertés que l'on nous a promises, sans nous les donner, en 89 : celle de correspondre sans entraves et sans contrôle avec nos semblables. C'est probablement pour cette raison que les gouvernements lui feront une guerre aussi acharnée qu'impuissante, car les radiations Hertz ne pourront pas être soumises aux droits de douane et ne seront pas astreintes à passer par les bureaux.

Quoi qu'il en soit, les procédés de Marconi ont été l'objet d'un accueil des plus flatteurs en Angleterre, et une Société n'a pas tardé pas à être constituée au capital de deux millions 500.000 francs pour le développement et l'exploitation de ces procédés de télégraphie. Et tandis que, sur le continent, les chercheurs poursuivaient sans relâche leurs études pour les amener à la perfection, et que les Académies discutaient ; de l'autre côté du détroit, on passait immédiatement à la pratique et des postes de télégraphie par ondes électriques étaient organisés et outillés sans perdre de temps. Voici en quoi consiste le matériel employé par M. Marconi :

Transmetteur. — Le transmetteur Marconi n'est pas autre chose que le radiateur de Hertz sous la forme que lui a

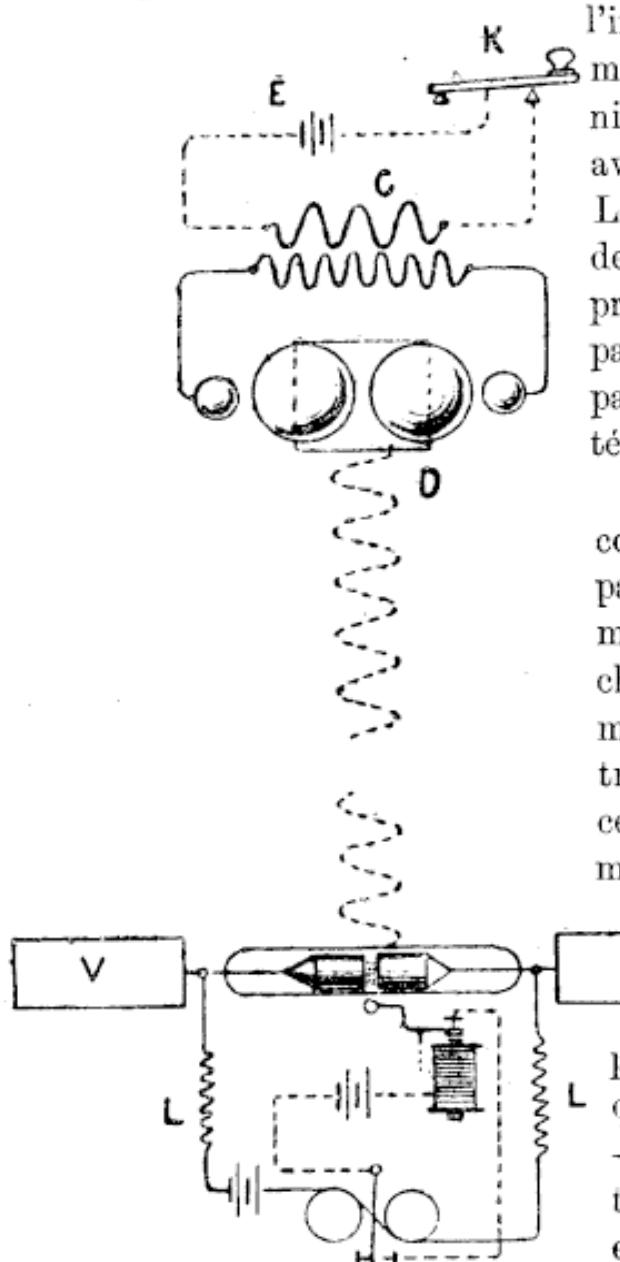
donnée le professeur Righi. Deux sphères *solides* de laiton de 10 centimètres de diamètre sont fixées dans une caisse étanche isolante, de telle façon qu'une moitié de sphère seulement soit exposée à l'air, l'autre moitié étant plongée dans un bain d'huile de vaseline. Cette huile a pour avantage de maintenir électriquement propres les surfaces des sphères, en évitant le fréquent polissage exigé par les sphères de Hertz ; elle donne aux ondulations excitées par les sphères une forme régulière et constante ; elle tend à réduire la longueur d'onde, qui se mesure en centimètres, tandis que les ondes de Hertz se mesuraient en mètres. Pour toutes ces raisons, la distance à laquelle des effets se produisent se trouve augmentée. M. Marconi utilise généralement des ondes de 120 centimètres de longueur. Deux petites sphères sont fixées en regard des grandes et reliées aux extrémités du circuit secondaire d'une bobine d'induction C dont le circuit primaire est excité par une batterie E, reliée ou non à ce circuit à l'aide d'une clé de Morse K.

Chaque fois que l'on appuie sur la clé K, des étincelles se produisent entre les boules, et comme le système formé par les sphères renferme de la capacité et de l'inertie électrique (self-induction), des oscillations très rapides, dont la fréquence est d'environ 250 millions par seconde, prennent naissance et se propagent suivant la ligne Dd.

La distance à laquelle des oscillations aussi rapides propagent leur action dépend principalement de l'énergie de la décharge. Une bobine de 15 centimètres d'étincelle agit jusqu'à plus de 6 kilomètres, pour des distances plus grandes, il faut des étincelles plus longues, jusqu'à 50 centimètres de longueur. La distance augmente avec la grosseur des sphères, et se trouve doublée en prenant ces sphères pleines et non creuses.

Récepteur. — Le relais de M. Marconi est formé d'un petit tube de verre de 4 centimètres de longueur, dans lequel deux

conducteurs cylindriques en argent sont scellés à la lampe ; ils sont séparés par une distance d'environ un demi-millimètre, et



l'intervalle est rempli par un mélange de fine limaille de nickel et d'argent, mélangée avec une trace de mercure. Le tube est amené à un vide de 4 millimètres (de mercure probablement) et scellé. Il fait partie d'un circuit complété par une pile locale et un relais télégraphique sensible.

Normalement, ce tube ainsi constitué est un isolateur ; les particules de limaille sont péle-mêle, en désordre, et se touchent très irrégulièrement : mais lorsque des ondes électriques tombent sur la limaille, ces particules sont polarisées, mises en ordre, rangées, et, sui-

tant l'expression du professeur Olivier Lodge, — expression probablement inexacte ainsi que nous l'avons vu plus haut, — elles *cohèrent* : des contacts électriques s'établissent et le courant passe. La résis-

Fig. 23. — Schéma du système Marconi. Tance d'un relais Marconi, qui est pratiquement infinie, s'abaisse quelquefois à moins de 5 ohms sous l'action d'ondes électriques intenses.

Cet effet de réduction de la résistance électrique des substances finement divisées sous l'influence d'ondes électriques est bien connu. En 1866, M. S.-A. Varley a réalisé un parafoudre formé d'une boîte en bois renfermant du charbon en poudre et monté en dérivation sur l'appareil à protéger. Il agissait effectivement ; mais la cohésion obtenue rendait le remède pire que le mal et on dut en abandonner l'emploi. Des effets de cohésion analogues se produisent dans le microphone d'Hannings à granules de charbon, et il faut souvent l'agiter pour ramener les particules à leur état de désordre initial. En 1890, M. E. Branly a montré que la limaille de cuivre, d'aluminium ou de fer agit de même. C'est le professeur Olivier Lodge qui a perfectionné cet appareil et lui a donné le nom de *cohéreur*.

M. Marconi *décohère* la limaille en utilisant le circuit local pour faire vibrer rapidement la tête d'un petit marteau contre le tube de verre, et ces chocs répétés produisent un son qui rend facile la lecture des caractères Morse. Le même courant utilisé pour décohérer le récepteur peut également actionner un télégraphe Morse imprimant des signaux sur une bande. Le tube se termine par deux volets métalliques VV' dont les dimensions sont ajustées pour accorder électriquement le transmetteur et le récepteur. Les bobines de self-induction L et L' ont pour effet de s'opposer au passage des ondes électriques en dehors du radioconducteur.

Les oscillations électriques produites par le transmetteur arrivent sur le récepteur accordé à l'unisson avec elles, la cohérence de la limaille se produit, le courant passe par le radioconducteur dans les relais et des signaux sont ainsi reçus.

Dans l'espace libre, entre deux points visibles l'un pour l'autre, il ne faut rien de plus ; mais, lorsque des obstacles se trouvent interposés entre les deux postes, il est nécessaire d'employer des mâts très élevés, des cerfs-volants ou des ballons pour enlever à

la hauteur voulue le fil radiateur à la station d'expédition des dépêches et le fil collecteur des ondes à la station d'arrivée.

Des miroirs augmentent les effets des appareils leur portée, cependant on a abandonné leur emploi à cause de leur prix très élevé.

Une remarque qui s'offre aussitôt à l'esprit c'est que les collines et les obstacles du sol ne paraissent offrir qu'une assez faible résistance à la propagation des ondes électriques. Les lignes de force semblent échapper à ces causes d'obstruction ; le temps ne semble avoir également qu'une influence assez minime : pluie, brouillard, neige et vent, ne causent aucun retard, aucune perturbation dans la transmission.

Les volets métalliques ajoutés au radioconducteur (ou cohéreur) peuvent fort bien être supprimés sans inconvenient. Un pôle du récepteur peut être relié à la terre et l'autre amené jusqu'au sommet d'un mât, ou fixé à un ballonnet par un fil. Ce fil et le ballon ou le cerf-volant qui le soutient, recouverts de papier d'étain, font l'office de volet ou de « plaque de ciel », mais dans ce cas, il faut également relier à la terre un des pôles du transmetteur. Plusieurs messages peuvent être transmis en même temps dans plusieurs directions à la fois ; il suffit d'accorder les transmetteurs et les récepteurs pour la même fréquence.

Marconi, s'appuyant sur l'analogie avec les radiations lumineuses, avait d'abord mis ses appareils — oscillateur ou cohéreur — au foyer de miroirs cylindriques paraboliques en métal. Le miroir devait avoir une ouverture au moins double de la longueur d'onde employée. Ce procédé ne permit pas à l'inventeur de communiquer à plus de 4 kilomètres ; il est aujourd'hui complètement abandonné. La seule disposition que l'on adopte et qui a donné les meilleurs résultats est de connecter une extrémité du tube à la terre, tandis que l'autre est liée à un fil suspendu dans l'air. Ce fil, très bien isolé, que l'on appelle

l'« antenne », est souvent terminé à sa partie supérieure par une plaque métallique nommée « plaque de ciel ». L'oscillateur de l'autre est pourvu du même dispositif.

La terre joue ici, sans doute, le rôle de grande capacité, et l'antenne, constitue une surface qui augmente d'autant la source de radiations. De la même façon, l'antenne du poste récepteur recueillera les ondes qui l'atteignent. Donc, plus l'antenne sera longue et plus on pourra recevoir à une grande distance. Il y a cependant là un rôle encore inexpliqué, car on remarque que l'on reçoit mieux avec l'antenne verticale ou légèrement inclinée, et qu'il n'est pas nécessaire d'élever la plaque de ciel au-dessus d'une certaine limite. A ce sujet, les conclusions de M. Tissot sont aussi intéressantes. Dans des expériences faites entre la côte de Bretagne et la mer, il a indiqué que l'orientation de l'antenne de l'excitateur devait être normale à la direction de propagation : il a également remarqué que la capacité ne paraissait pas jouer un grand rôle, contrairement à ce qui se passerait s'il y avait une véritable résonance.

Chaque poste télégraphique comprend un transmetteur et un récepteur. Pour empêcher, pendant la transmission, les ondes de l'oscillateur d'atteindre le cohéreur du même poste — ce qui le détériorerait — on place tous les organes du récepteur, sauf le Morse, dans une caisse métallique. MM. Gustave Le Bon et Branly qui ont étudié la transparence des corps pour les ondes hertziennes ont reconnu, en effet, l'opacité des corps conducteurs sous toutes les épaisseurs. Les autres corps ont une transparence plus ou moins grande et absorbent toujours une partie des ondes sous une grande épaisseur. Il en résulte que l'interposition d'un gros obstacle pourrait arrêter les radiations ; cependant on peut remarquer que la diffraction, qui est d'autant plus sensible que les ondes sont grandes, permettrait encore la communication en tournant l'obstacle. Toutefois, on s'explique ainsi qu'il vaut mieux, dans ce cas, avoir un poste situé sur une hauteur.

La première expérience réalisée par M. Marconi en Angleterre, a été faite entre Penarth et Brean Down près de Westonsuper-Mare, à la fin de l'année 1896. La distance séparant ces deux villes, situées de chaque côté du canal de Bristol, était de près de 9 milles, soit 14 kilomètres et demi.

Les résultats obtenus dans ces premières tentatives furent assez satisfaisants pour que, peu de temps après, une communication permanente entre l'île de Wight et Bournemouth à 23 kilomètres de distance, fut établie. Aux deux stations d'expédition et de réception des dépêches, sont plantés deux grands mâts portant un fil relié, tantôt au récepteur, tantôt au transmetteur, suivant que c'est l'un ou l'autre de ces deux appareils qui travaille. Le mât élevé à Bournemouth mesure 35 mètres de hauteur ; aucun obstacle ne sépare les deux mâts de départ et d'arrivée, si bien que l'installation se trouve faite dans les conditions les plus avantageuses. Aussi la transmission des signaux s'opère-t-elle d'une façon absolument régulière.

Au cours de l'année 1898, la distance des deux stations se trouva augmentée et portée à 26 kilomètres par suite du transfert du poste de Bournemouth, de Madeira house Soult chiff, à l'hôtel Haven Pole. Dans cette installation, les fils supportés par les mâts sont en cuivre de 7 dixièmes de millimètre, isolés par une double couche de caoutchouc et de coton. Les bobines d'induction employées donnent des étincelles de 25 centimètres de longueur, elles sont alimentées par un courant de 6 à 9 ampères sous 14 volts. L'oscillateur de Righi à bain d'huile, primitivement employé par M. Marconi, a été remplacé par un oscillateur plus simple dans lequel les décharges jaillissent à l'air libre entre deux sphères de 25 millimètres de diamètre, distantes d'environ un centimètre.

Citons encore quelques installations réalisées pendant ces derniers temps par M. Marconi. Au mois de mai 1898, il installa

au nord de l'Irlande, à Bally-Castle et à Rathlin Island, deux nouveaux postes distants d'environ 11 kilomètres, dont 4 sur terre et le reste sur mer. A Rathlin, le fil vertical est supporté par le phare d'une hauteur de 80 mètres, à la station de Bally-castle il est suspendu à un mât de 21 mètres de hauteur ; toutefois, cette hauteur ayant été reconnue insuffisante fut portée ensuite à 30 mètres.

Au mois de juillet, à la demande du journal *Daily Express* de Dublin, qui voulait être immédiatement prévenu des résultats des régates de Kingstown, lesquelles avaient lieu en pleine mer, on relia provisoirement par un double poste de télégraphie sans fil Kingstown et le vapeur *Flying-Huntress* qui suivait les évolutions des yachts. Le mât de la station de Kingstown avait une hauteur de 33 mètres, le fil du poste du navire suspendu au mât principal avait 23 mètres de longueur. On put ainsi recevoir les dépêches transmises du navire à une distance de 36 kilomètres.

Une autre installation fut ensuite réalisée pour permettre à la reine d'Angleterre résidant à Osborne House, île de Wight, de communiquer avec le prince de Galles qui se trouvait à bord de son yacht amarré dans la baie de Cowes à 2.500 mètres de distance. Malgré la faible distance, ces deux points étant séparés par des collines ne pouvaient être facilement réunis par un système de télégraphie optique. Le mât placé à Osborne House avait 30 mètres de hauteur et le fil suspendu au mât du yacht une longueur de 25 mètres. Pendant 16 jours cette installation fonctionna avec la plus grande régularité et environ 150 dépêches dont plusieurs très longues furent échangées.

Au mois de décembre 1898, M. Marconi entreprit des expériences pour établir des communications entre deux navires ; il put les réaliser, grâce au gouvernement anglais qui mit à sa disposition trois navires : le *Gull*, le *South-Goodwin* et le *East-*

Goodwin. Le fil suspendu au mât de ce dernier navire avait 24 mètres de haut ; le mât qui le soutenait était partiellement en fer sur une longueur de 18 mètres, le reste étant en bois, de nombreuses pièces métalliques et chaînes l'entouraient ; malgré cela, des signaux très distincts purent être transmis, malgré le mauvais temps, à une distance de 17 kilomètres. Le poste récepteur-transmetteur de ce navire était placé dans une cabine d'arrière et relié au fil par un conducteur soigneusement isolé traversant la paroi de la cabine. La bobine employée était, comme pour les expériences précédentes, de 25 centimètres d'étincelle et alimentée par un courant de 6 à 8 ampères et 14 volts. En deux jours, plusieurs membres de l'équipage purent apprendre à transmettre et à recevoir les messages, ce qui démontre la simplicité des opérations.

Depuis longtemps M. Marconi cherchait à établir des communications par ondes électriques entre la France et l'Angleterre et il vient d'en obtenir l'autorisation du gouvernement français. Il avait d'abord sollicité l'autorisation d'installer une station à Cherbourg pour correspondre avec une autre station établie à l'île de Wight, mais le gouvernement français ayant répondu qu'il préférait que l'on choisisse un autre point du littoral, les expériences furent exécutées entre Boulogne et la côte anglaise au commencement de l'année 1899.

« Le 27 mars 1899 deviendra une date célèbre dans les fastes de la science, écrivait à cette époque un rédacteur de l'*Industrie Électrique*, car elle marque le jour où la première dépêche télégraphique a été échangée entre la France et l'Angleterre, sans fils conducteurs, à travers l'espace, en utilisant les ondes hertziennes et le principe des radioconducteurs de Branly. Les expériences, conduites par M. Marconi, ont été effectuées entre South Foreland et Wimereux, petit village situé à 3 kilomètres de Boulogne-sur-Mer, c'est-à-dire entre deux stations éloignées

de 48 kilomètres l'une de l'autre à vol d'oiseau. Chaque poste de transmission et de réception comporte un fil de cuivre, alternativement radiateur et collecteur des ondes, disposé verticalement le long d'un mât atteignant 46 mètres de hauteur.

« Ces expériences ont démontré la possibilité d'établir une communication télégraphique permanente entre la France et l'Angleterre, à travers la Manche, sans l'emploi d'aucun câble sous-marin. Elles ont eu lieu en présence du colonel de Pontavice, du commandant Fiéron, du capitaine Ferrier et de M. Voincenat, ingénieur des télégraphes, qui ont été frappés de la netteté de ce mode de transmission des signaux. »

Au moment du Congrès des Sociétés Savantes, qui se tint à Boulogne le 24 septembre 1899, ces expériences furent répétées devant les membres du Congrès qui s'étaient rendus au poste de Wimereux. A ce sujet, permettons-nous de remarquer l'inépuisable complaisance des Français avec les étrangers. Tandis que notre gouvernement facilitait à l'Italien Marconi, soutenu par une puissante Société financière anglaise, ses expériences de transmission électrique, un constructeur français, membre du Congrès qui allait admirer les appareils étrangers, non seulement ne parvenait pas à obtenir des Anglais la moindre concession pour l'installation d'un poste de télégraphie sans fil sur un rivage du Royaume-Uni, mais même aucun encouragement, aucun aide du gouvernement français ! Tout pour les étrangers, rien pour nos nationaux, surtout si ce sont des novateurs, telle semble être la devise de notre célèbre Ad-mi-nis-tra-tion ! ...

Pour en revenir aux travaux de Marconi, rappelons que la marine italienne expérimente depuis plus d'une année ce système d'intercommunication si avantageux pour les correspondances militaires, mais les résultats qui ont été obtenus ont été, jusqu'à présent, gardés secrets. On sait seulement que plusieurs expériences ont été faites, en 1898 et 1899, à bord des navires de

guerre et le long des côtes, notamment à la Spezzia où la portée de transmission atteignit 30 kilomètres. Dans ces diverses expériences, M. Marconi put constater que la distance maximum de transmission était approximativement proportionnelle au carré de la longueur des conducteurs verticaux installés à chaque poste, toutes les autres conditions restant bien entendu égales. Si, par exemple, un conducteur de 6 mètres est nécessaire pour télégraphier à 2 kilomètres, il faudra un conducteur de 12 mètres pour correspondre à 8 kilomètres, un de 24 mètres pour 32 kilomètres et ainsi de suite. M. Ascoli est arrivé à la même conclusion, et a établi une loi, déduite de la formule de Newman, qu'il résume comme suit : l'action inductrice est proportionnelle au carré de la longueur de l'un des deux conducteurs de même dimension placés à chaque poste, et inversement proportionnelle à la distance qui les sépare. Par conséquent, l'intensité des signaux transmis ne diminue pas si la longueur des conducteurs verticaux est augmentée en proportion de la racine carrée de la distance. Cette loi a permis de déterminer la longueur des conducteurs placés à chaque station. Entre Wimereux et South-Foreland, cette longueur minimum était de 35 mètres pour une portée de 48 kilomètres.

Les résultats obtenus aux manœuvres navales récemment exécutées dans les eaux anglaises ont prouvé que la télégraphie sans conducteur, système Marconi, était en bonne voie de perfectionnement ; car, à un moment donné, la *Junon* a pu recevoir des ordres par les ondes hertziennes de l'*Europa*, distante de 68 milles.

Si l'on imagine, dit le commodore Statham, une série de cinq vaisseaux séparés les uns des autres par des distances de 60 milles, on pourra donc communiquer à un point effectivement éloigné de 300 milles, en recevoir des ordres immédiats et agir en conséquence. Ce fait est déjà acquis ; il est possible.

D'un autre côté, interviewé par un reporter du *New-York Herald*, M. Marconi a répondu : « Il y a deux ans, je croyais que la limite maximum de transmission ne pouvait être que de 10 milles. Actuellement, nous communiquons entre des stations distantes de 110 milles l'une de l'autre. Dans un très prochain avenir, les bateaux seront tous munis d'un réflecteur et d'un appareil de transmission, et pourront se guider, malgré le brouillard et la tempête, d'une façon absolument sûre. On pourra ainsi envoyer des ondes dans une seule direction, au lieu de les laisser rayonner comme on le fait actuellement. Les réflecteurs pourront tourner autour du mât, et quand les ondes émises atteindront le point où elles doivent aboutir, un indicateur sonnera, et le pilote n'aura plus qu'à gouverner avec une sécurité absolue, guidé qu'il sera par les signaux ainsi transmis du rivage. »

Le *New-York Herald* nous apprend en même temps que M. Marconi vient de faire des offres au gouvernement anglais pour la guerre du Transvaal. A ce sujet, il y a lieu de remarquer que l'Angleterre possède déjà huit navires de guerre de l'escadre de la Manche pourvus de ces appareils.

Le succès des transmissions à travers la Manche a fait naître le projet de télégraphie à des distances de plus en plus considérables. M. Marconi détient le record de la portée à la suite des expériences faites entre Wimereux et Chelmsford, à 140 kilom. de distance, et déjà certaines personnes ont parlé de télégraphier entre Londres et Paris, soit 280 kilom. à vol d'oiseau.

Naturellement la tour Eiffel est toute indiquée pour être le terminus à Paris, mais on n'a pas encore fixé l'emplacement de la station de Londres, quoique certaines revues aient déjà indiqué le monument en construction à Wembley, et qui doit être plus élevé que la tour de 300 mètres. Mais on peut penser qu'il ne tardera pas à se rencontrer des personnes qui affirmeront sérieusement que ces postes Marconi sont dangereux pour l'Angle-

terre, et de même que cela a été dit pour le tunnel sous la Manche, pourront prétendre qu'elles donneront à la France l'occasion d'une invasion. Déjà on a suggéré que le naufrage du steamer le *Stella* sur les rochers de la côte, provenait du fait que son compas fut affecté par les signaux de Marconi, qui passaient entre Wimereux et South-Foreland, qui sait si l'on ne se basera pas sur des suppositions aussi futiles et ridicules pour en traver le développement de ces procédés si avantageux de transmission !...

En attendant, M. Marconi patronné par la Société Anonyme la *Wireless Telegraph and Signal C° Ltd*, fondée pour l'exploitation de ses brevets, poursuit le cours de ses expériences et de ses succès. Les essais répétés pendant les manœuvres de la flotte dans la mer d'Irlande en 1899 ont admirablement réussi. Le problème suivant se posait : une flotte forte mais d'allure lente devait trouver et convoyer certains vaisseaux marchands, de la haute mer jusque dans un port, tandis qu'un détachement plus faible mais plus rapide, devait essayer d'intercepter les navires marchands. On démontra que les croiseurs éclaireurs de la flotte lente pouvaient très facilement tenir l'amiral au courant de la position de l'adversaire et de signaler la présence de navires de commerce sur des distances atteignant 80 kilomètres en échangeant des signaux par ondes électriques d'un bâtiment à un autre. Il est donc hors de doute à la suite de ces essais couronnés d'un entier succès, que l'Amirauté anglaise adoptera le système de correspondance de Marconi.

Tel est, à l'heure où nous écrivons, le résumé des expériences exécutées dans diverses circonstances par le célèbre expérimentateur de la télégraphie sans fil au moyen des ondes hertziennes. Il paraît évident que cette nouvelle application est complètement passée du domaine abstrait de la théorie dans celui de la pratique, et que désormais, ce progrès est certain et ne fera que se développer dans l'avenir.

CHAPITRE VII

L'appareillage de télégraphie sans fil et les expériences de M. Ducretet.

Tandis qu'en Angleterre, M. Marconi, subventionné par la puissante *Wireless Company*, procédait à ses remarquables expériences, en France, M. Ducretet, le constructeur d'instruments de physique bien connu étudiait un matériel de télégraphie sans fil qui ne le cède en rien à celui qui a été décrit dans les chapitres précédents; les résultats obtenus par M. le lieutenant Tissot le démontrent hautement. Nous examinerons donc en détail ici ce matériel et rappellerons quelles sont les expériences qu'il a permis de réaliser.

Le principal avantage des appareils établis par M. Ducretet réside dans leur fonctionnement entièrement automatique. Quand une dépêche est envoyée par le transmetteur, le récepteur se met en mouvement de lui-même sous l'action des ondes électriques qui le frappent; les signaux s'enregistrent, et lorsque la transmission est achevée, tout rentre dans l'état primitif sans le secours d'aucun opérateur.

Ce transmetteur est représenté par la figure 24; il se compose d'une bobine d'induction B^o alimentée par une batterie d'accumulateurs pourvue d'un interrupteur indépendant I ; les émissions de courant, longues et brèves, formant les signaux suivant le système Morse, sont produites par un manipulateur M ; les deux bornes i i' du circuit secondaire sont reliées en deux branches de l'oscillateur O ; une de ces branches est mise à la terre par le fil T , et l'autre est reliée à un long fil radiateur,

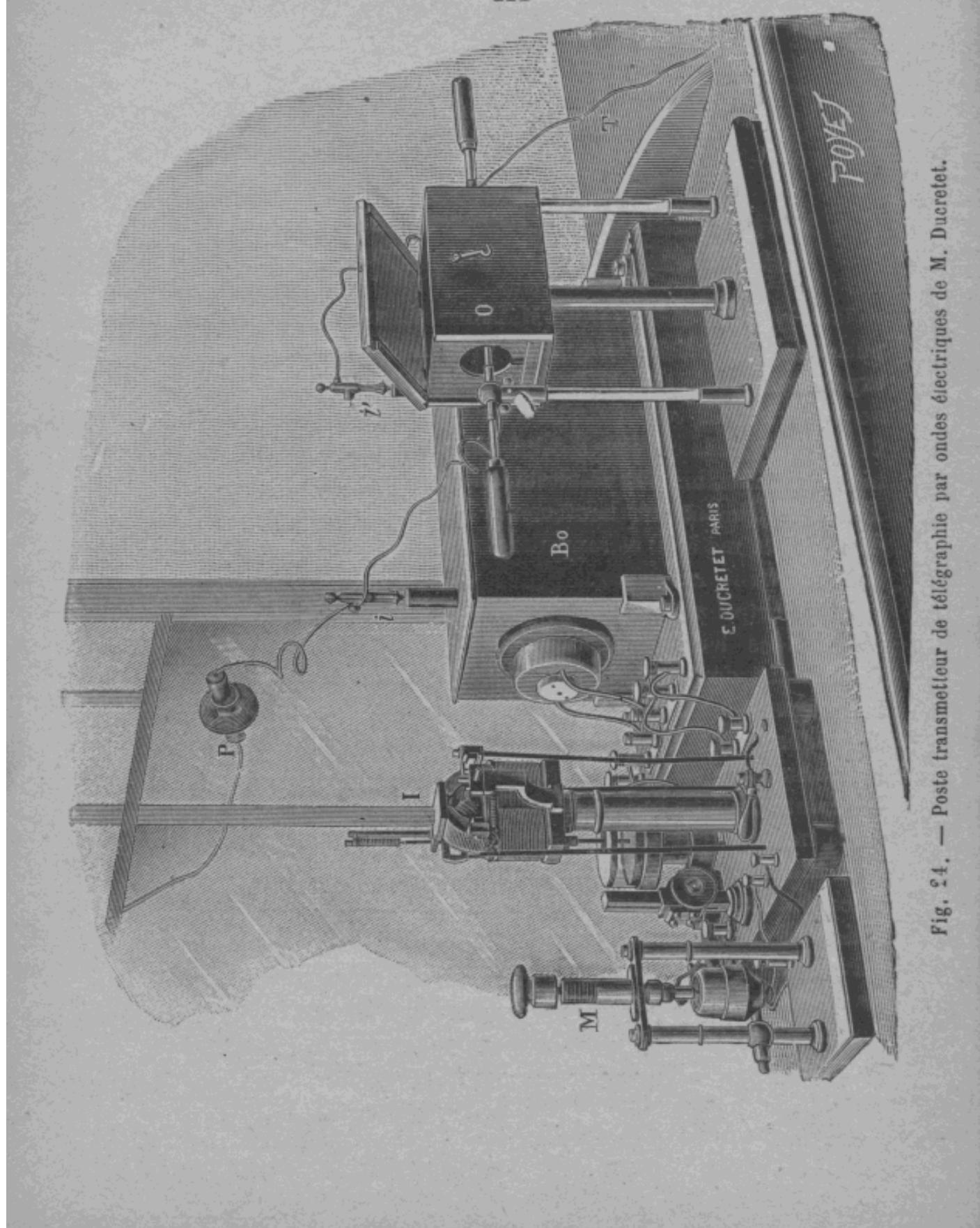


Fig. 24. — Poste transmetteur de télégraphie par ondes électriques de M. Ducretet.

supporté par un mât, et dont on aperçoit l'extrémité inférieure sur la gravure.

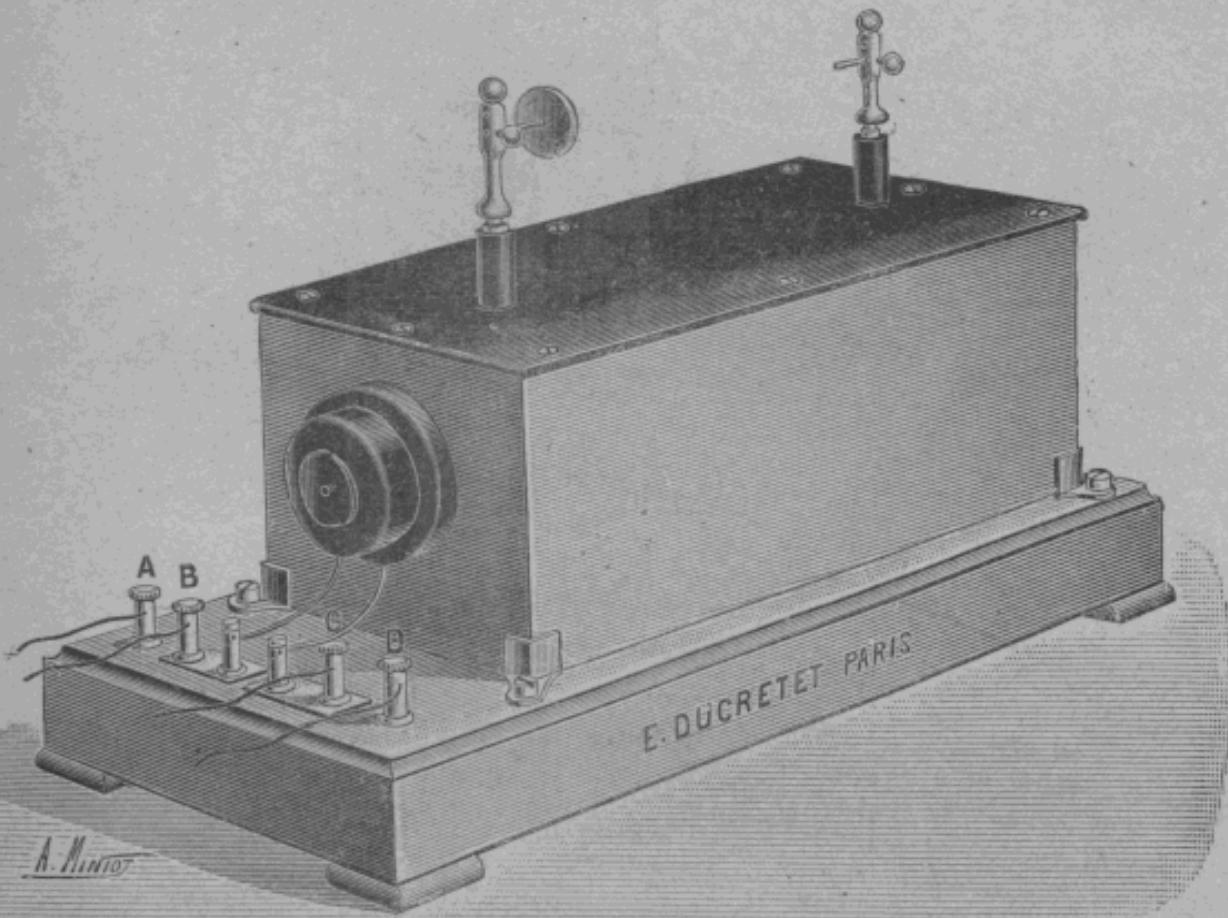


Fig. 25. — Bobine pour télégraphie sans fil.

La bobine d'induction est d'un modèle à la fois très solide et transportable (fig. 25), les deux circuits sont entièrement renfermés dans une boîte remplie d'un mélange isolant les mettant à l'abri de tout choc et les séparant complètement ; les étincelles produites par cette bobine, très appréciée pour toutes sortes d'expériences autres que la télégraphie sans fil, sont chaudes et nourries. Le condensateur enfermé dans le socle peut être à

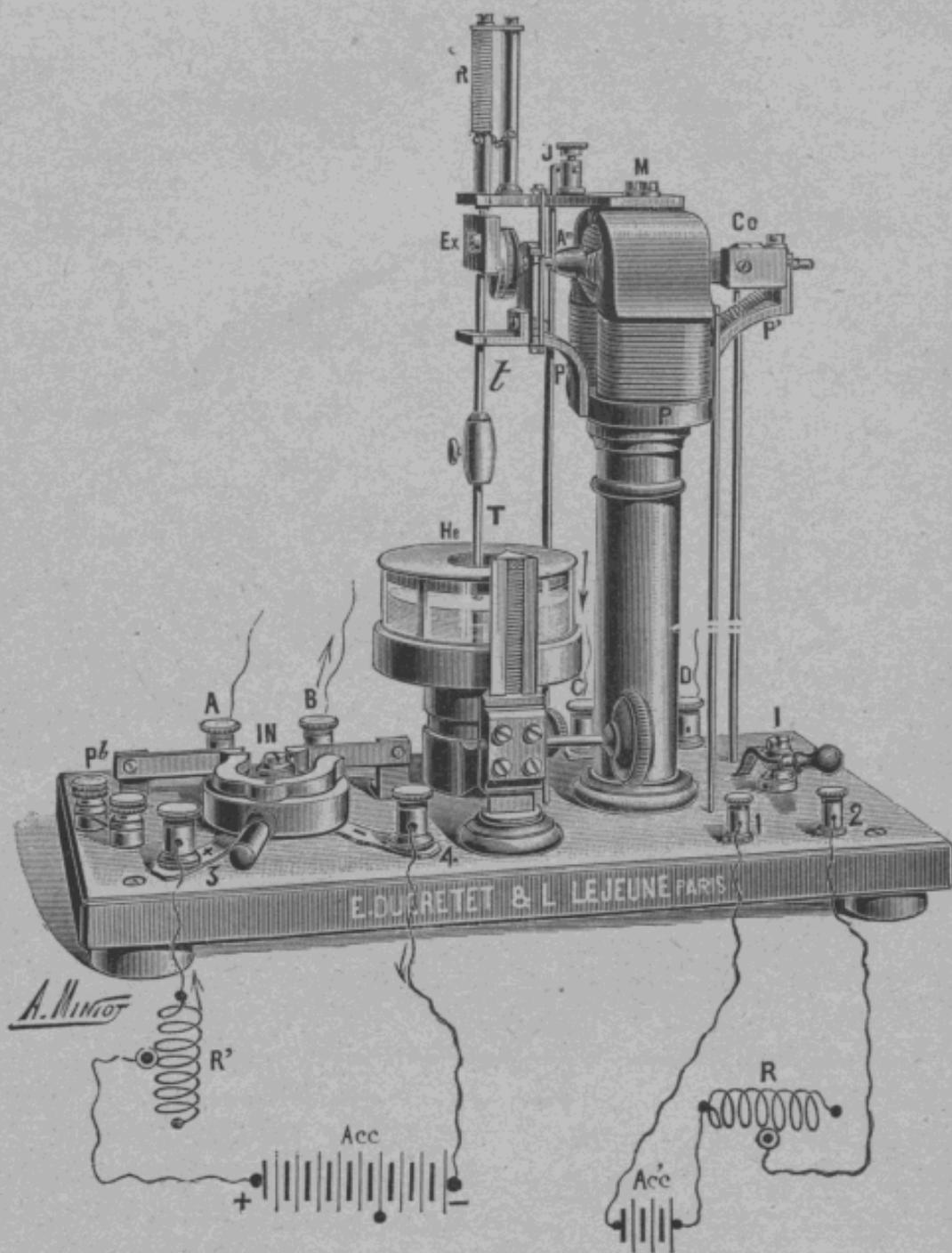


Fig. 26. — Interrupteur Ducretet.

volonté utilisé ou mis hors circuit, suivant que les fils amenant le courant primaire sont fixés aux bornes AB ou BC.

L'interrupteur, représenté figure 26 est constitué par un petit moteur à courant continu, actionnant par un excentrique une tige verticale équilibrée par un ressort R et terminée par une seconde tige mobile en platine; cette dernière plonge dans un godet Hg contenant du mercure, surmonté d'une couche de pétrole ou d'alcool; ce godet peut être plus ou moins élevé à l'aide d'une crémaillère, de manière à régler la hauteur du mercure par rapport à la tige plongeante, qui, par suite du mouvement de va-et-vient qui lui est communiqué par le moteur, ouvre et ferme successivement le circuit en plongeant et en sortant ensuite de la couche de mercure. L'appareil est complété par un inverseur IN destiné à changer le sens d'arrivée du courant dans le circuit primaire de la bobine.

Le manipulateur figure 27 a été étudié spécialement pour la télégraphie sans fils; le manipulateur Morse ordinaire ne donnant pas de très bons résultats par l'effet des étincelles de rupture, qui sont autrement nourries qu'avec tous les appareils ordinaires de télégraphie avec fils. Cet appareil est donc composé d'une tige de platine T, pouvant recevoir un mouvement de va-et-vient à l'aide d'une poignée M, dont la tige coulisse dans un manchon supporté par deux colonnettes G G'; un ressort intérieur ramène toujours la tige en haut de sa course

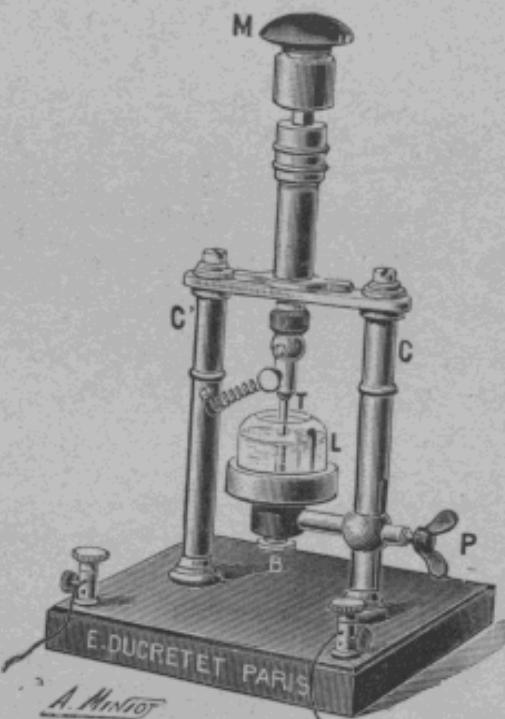


Fig. 27. — Manipulateur Ducretet.
coulisse dans un manchon supporté par deux colonnettes G G'; un ressort intérieur ramène toujours la tige en haut de sa course

aussitôt qu'on cesse d'appuyer sur la poignée. Un godet L contient le mercure qui établit le contact, et est surmonté d'une couche de liquide isolant. Le niveau de ce mercure peut être réglé en déplaçant le godet qui est mobile et peut être fixé à l'endroit voulu par la vis P. Cet appareil fonctionne absolument comme le manipulateur Morse ordinaire, en pressant plus ou moins longtemps sur la poignée M, on obtient les émissions de courant brèves ou longues nécessaires aux signaux.

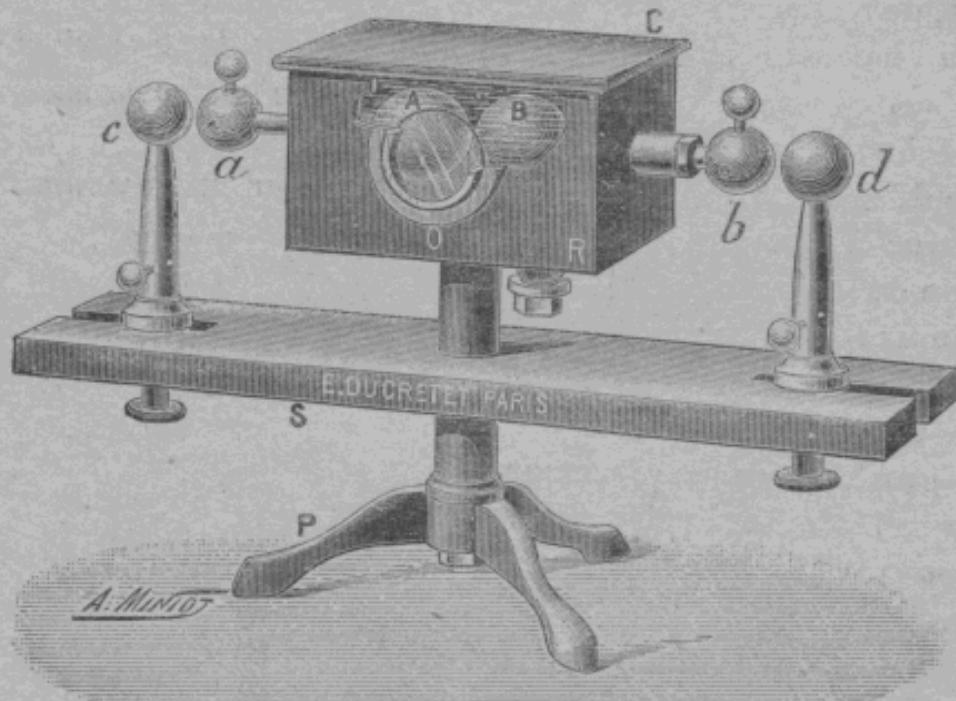


Fig. 28. — Oscillateur Ducretet.

Pour les expériences de démonstration, M. Ducretet emploie un oscillateur construit sur le principe de celui du professeur Righi ; il comporte trois sphères : une sphère centrale d'assez grand diamètre supportée par la colonne du milieu, et deux petites sphères placées de chaque côté et dont l'écartement peut être réglé à volonté ; les parties des sphères où jaillissent les décharges sont rendues inoxydables par un

dépôt de platine ; les trois sphères sont renfermées dans une

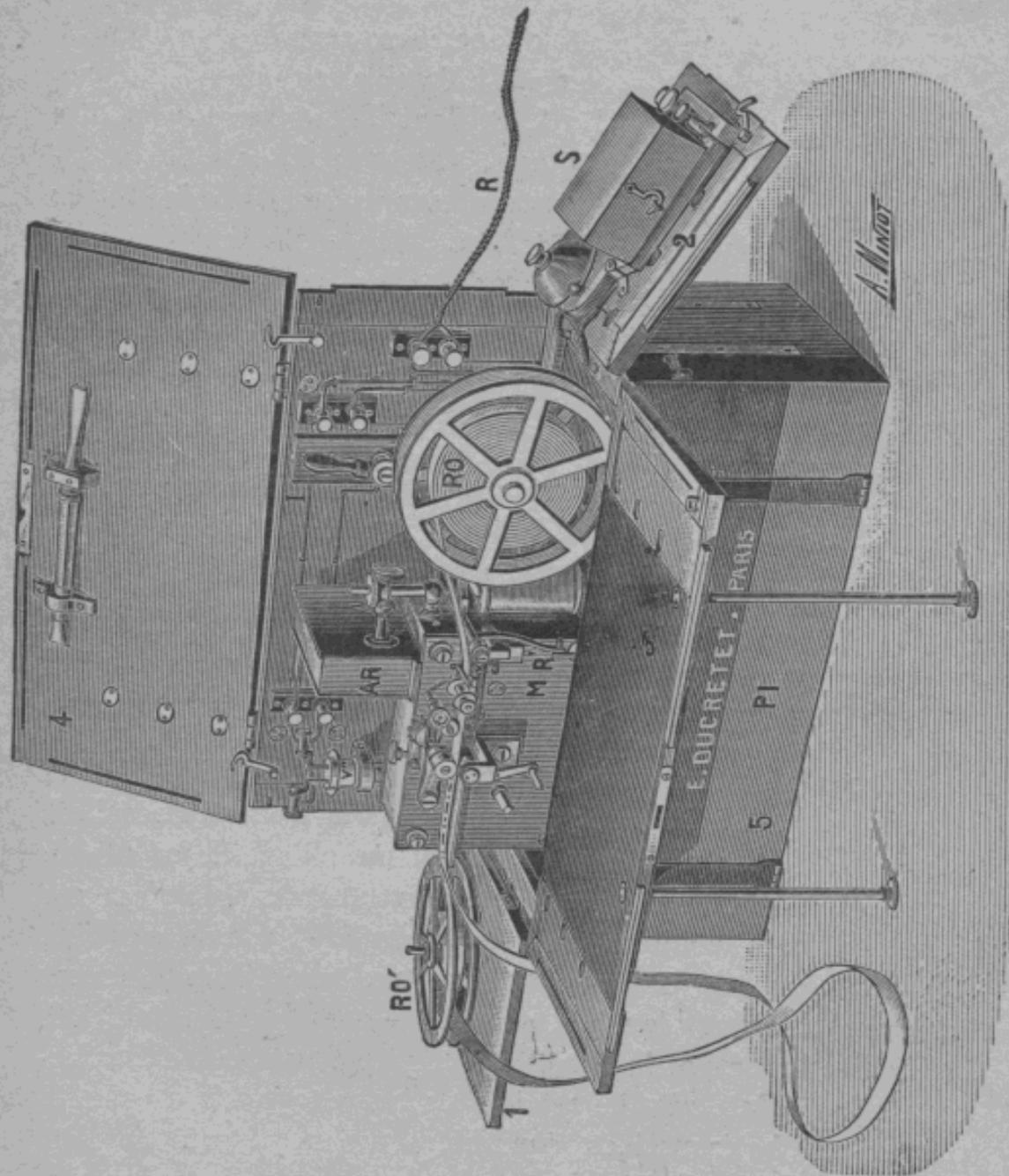


Fig. 29. — Poste récepteur Ducretet.

boîte en bois dur avec couvercle mobile ; des chicanes intérieures

masquent les étincelles, et cet ensemble ne touchant en aucun point aux tiges des sphères ne nuit pas aux décharges des fortes bobines d'induction ; ce modèle fonctionne sans liquide isolant.

La figure 28 représente ce modèle d'oscillateur à liquide isolant, Les deux sphères principales A, B, dont l'écartement peut être réglé à volonté, sont placées dans une cuve étanche G, contenant de l'huile de vaseline pouvant être enlevée à volonté par l'ouverture à bouchon fileté R. Une autre ouverture O, munie d'une glace, permet d'observer l'étincelle. Les deux sphères A et B peuvent être reliées à la bobine, soit directement par les bornes *a*, *b*, soit indirectement par les bornes *c*, *d* qui peuvent être plus ou moins éloignées des premières, en les faisant coulisser dans les rainures de la plaquette isolante S.

Pour les expériences à grande distance l'oscillateur employé par M. Ducretet est en O de la figure 24 ; il ne comporte que deux sphères et le liquide isolant n'est pas employé.

Le récepteur figure 31 est portatif. Le radioconducteur Branly, Br est d'un modèle particulier établi par M. Ducretet : c'est un petit tube d'ivoire remplie de limaille insérée entre deux conducteurs métalliques dont la pression peut être réglée par une vis ; ce réglage est très important pour obtenir le maximum de sensibilité. Les limailles qui donnent les meilleurs résultats sont celles de fer, d'acier et de nickel ou alliage de ce métal : ferro-nickel, etc. Le radioconducteur est maintenu en place par deux pinces qui facilitent son enlèvement et sa remise en place. Ces pinces sont en communication, d'une part, avec le circuit intérieur contenant le relais, et, d'autre part, par les bornes T et L, avec la terre et le fil collecteur, placé comme le fil radiateur le long d'un mât. Le relais à armatures polarisées placées sur un axe horizontal et équilibrées est représenté à part, figure 30. Il est introduit dans le circuit du radioconducteur, et sa sensibilité est extrême. Il forme, dès qu'il est actionné par

le courant traversant la limaille, un circuit local agissant sur l'électro-aimant F, dont le marteau disposé suivant Popoff frappe sur le tube pour ramener la sensibilité de la limaille, et qui agit en même temps sur l'enregistreur inscrivant les signaux. La course de la palette de fer doux peut être réglée au moyen d'un ressort antagoniste et d'une vis. Les tubes V et V' sont des résistances liquides, sans self-induction, dont le but est d'éviter l'effet des étincelles d'extra-courant de rupture, qui, non seulement altèrent la netteté des contacts du relais, mais peuvent même agir sur le radioconducteur et troubler la réception des signaux. Des piles nécessaires au fonctionnement du relais et

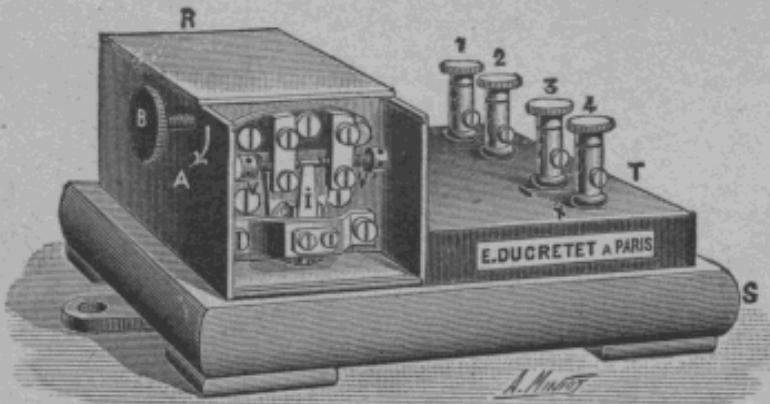


Fig. 30 — Relais pour télégraphie sans fil.

de l'électro-frappeur, sont contenues à l'intérieur de la boîte, derrière les divers appareils que l'on distingue dans la gravure. S et R sont des interrupteurs permettant de mettre hors de circuit, le cas échéant, ces piles. Une pile sèche de trois éléments travaille sur le frappeur; il suffit d'un élément pour le circuit du relais et du radioconducteur.

Quand le poste comporte un appareil transmetteur et un récepteur, il est utile d'empêcher les ondes électriques produites par le premier pour l'expédition des dépêches, d'influencer le

second qui est placé tout auprès, ce récepteur ne devant enregistrer que les télégrammes envoyés par le poste correspondant. A cet effet, le récepteur est disposé sur un support avec écrans protecteurs métalliques à larges rebords reliés à la terre. On peut également renfermer entièrement le récepteur dans une boîte

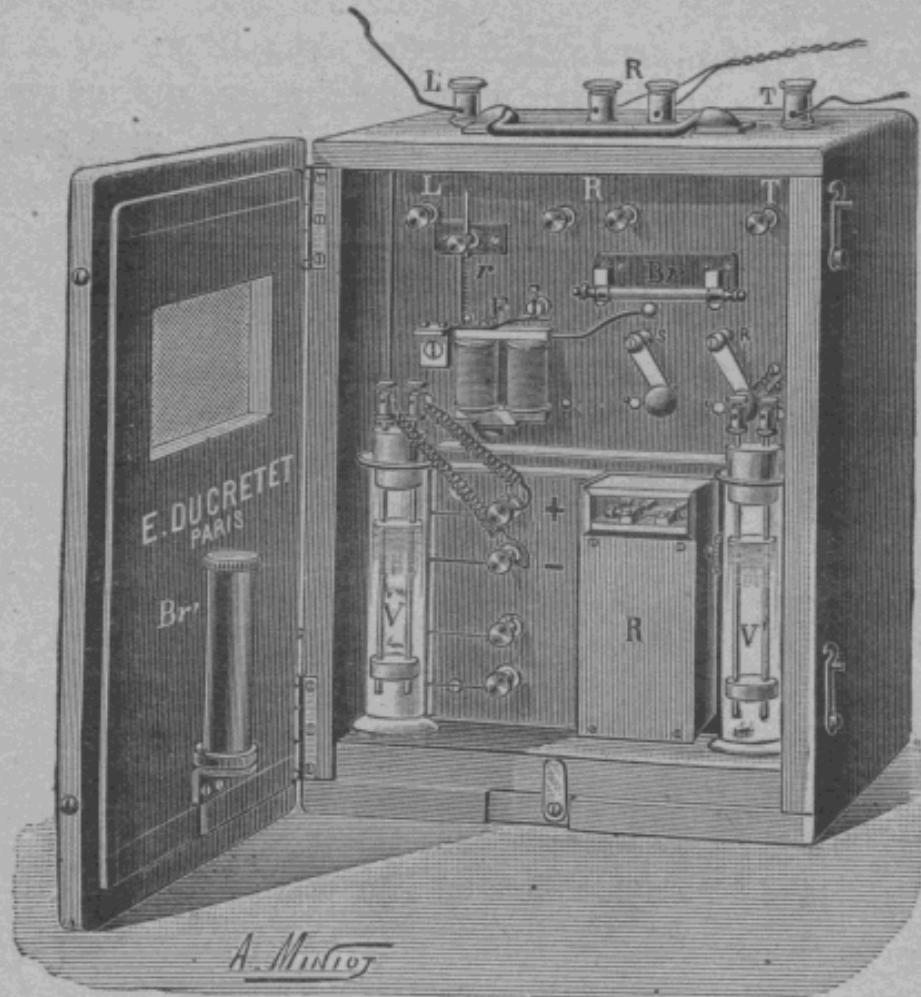


Fig. 31. — Appareil portatif Ducretet.

métallique que l'on ouvre lorsqu'on va recevoir une communication et que l'on referme, au contraire, lorsqu'on expédie une dépêche. Mais, dit M. Breton, le plus simple est encore d'enlever le radioconducteur de sa monture, où il se place simple-

ment à frottement doux, et de le placer dans un étui en métal *Br* disposé spécialement dans ce but.

L'appareil portatif Ducretet disposé comme il vient d'être dit peut servir tel quel, en faisant la lecture des signaux au son produit par les chocs du marteau frappeur sur le tube à limaille, mais il est possible de réaliser l'enregistrement en reliant cet appareil, par ses deux bornes supérieures *R*, à un appareil récepteur Morse quelconque ou mieux au modèle spécial, portatif et automatique (fig. 31) que M. Ducretet a construit en vue de cette application.

Cet appareil enregistreur (fig. 29), assez ingénieusement combiné, est, nous le répétons, d'un fonctionnement entièrement automatique, et c'est lui qui permet la suppression du télégraphiste préposé à la réception des dépêches. C'est là une disposition avantageuse, car, en raison de la grande sensibilité du radioconducteur, toutes les ondes électriques d'origine atmosphérique, agissent sur le récepteur. Il faudrait donc, surtout par les temps orageux, un employé en permanence pour mettre le transmetteur en action à chaque appel, et souvent inutilement. L'appareil automatique, au contraire, se mettant en marche et s'arrêtant de lui-même, enregistre toutes les ondes électriques, provenant, soit de dépêches transmises, soit de décharges atmosphériques ; en jetant de temps à autre un regard sur les signes inscrits, il est facile de déterminer ces deux genres d'action et de recueillir les dépêches reçues.

Dès qu'une onde électrique arrive au radioconducteur le mouvement d'horlogerie du Morse se met en marche de lui-même, inscrit les signaux et s'arrête aussitôt que les ondes cessent d'agir sur la limaille. Un espace blanc est toutefois laissé entre chaque dépêche ou réception d'ondes électriques atmosphériques, afin d'éviter toute confusion. Ce résultat est obtenu de la façon suivante.

Aussitôt que le radioconducteur devient conducteur, sous l'influence d'ondes électriques, le courant de la pile locale qui la traverse actionne le relais R (fig. 31) et celui-ci ferme le circuit d'un second courant local; ce courant, en même temps qu'il actionne le frappeur F, circule dans l'électro-aimant de l'appareil enregistreur Morse M où il est amené par les bornes R (fig. 30 et 31); cet électro-aimant attire la palette de fer doux qui forme son armature et qui commande le levier d'impression ainsi que le levier d'un second relais R'. Ce relais supplémentaire met en circuit une troisième pile locale placée dans le soubassement P I du poste portatif; le courant de cette pile agit sur l'électro-aimant du déclancheur A R qui met en mouvement le mouvement d'horlogerie, lequel provoque le déroulement du ruban de papier qui reçoit l'inscription des signaux. Ce ruban de papier, primitivement enroulé sur la roue spéciale R O, peut, après l'impression, être emmagasiné sur la roue R O'.

Dès que les ondes électriques cessent d'agir sur le radioconducteur, un dernier coup du frappeur F ramène la limaille à sa résistance primitive, les deux relais R et R' cessent d'agir, le déclancheur A r arrête le mouvement d'horlogerie et tous les organes de l'appareil, revenus à leur état initial, sont tout prêts pour repasser par la même suite d'opérations à la prochaine réception d'ondes électriques.

La sonnette d'appel S à un coup, mise en fonction par le relais R' et qui peut d'ailleurs être placée à une distance quelconque du récepteur, permet d'annoncer l'arrivée et l'enregistrement des dépêches. Les effets des étincelles d'extra-courant de rupture du relais R' sont évités comme pour le relais R par l'addition d'une résistance liquide V.

Si l'on veut assurer, par exemple, dans un fort ou à bord d'un navire, le secret des dépêches reçues, il suffit de renfermer l'appareil récepteur dans un cabinet fermé où la personne inté-

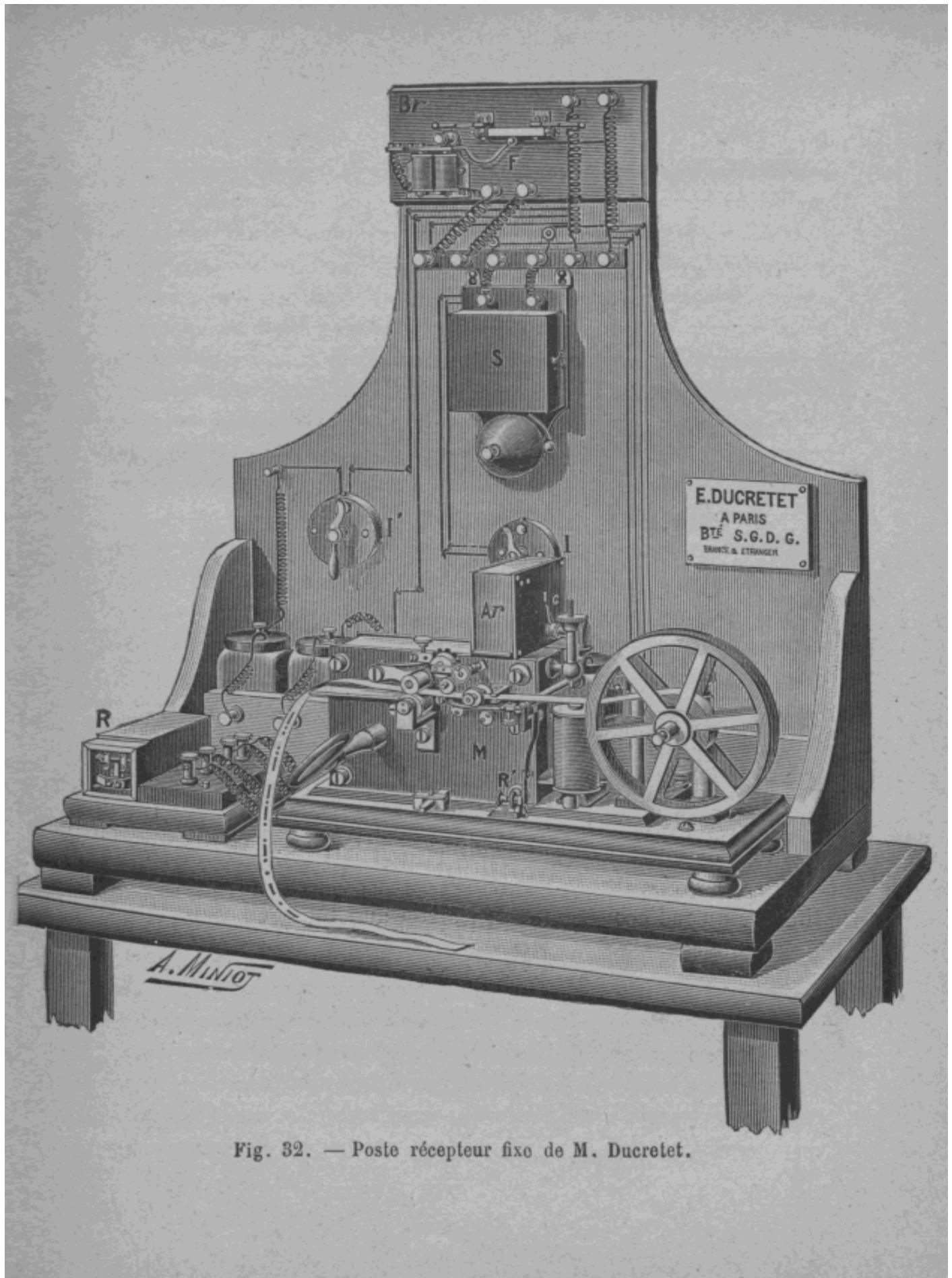


Fig. 32. — Poste récepteur fixe de M. Ducretet.

ressée pourra seule venir relever les télégrammes enregistrés automatiquement sur le ruban de papier.

L'appareil récepteur que nous venons de décrire est très bien agencé au point de vue portatif ; tel quel, il pourrait déjà rendre des services précieux pour la télégraphie militaire ; il suffirait de compléter l'installation portative par des mâts à tirage recevant les fils radiateur et collecteur ; on pourrait également organiser des voitures postes extrêmement pratiques, permettant de relier immédiatement un poste à un autre sans qu'il soit besoin d'établir aucune ligne ; ces voitures permettraient même de mettre en communication constante, pendant leur marche, deux corps d'armée distants de quelques kilomètres.

Pour les stations fixes, M. Ducretet dispose les différents appareils du poste récepteur sur une table à console comme l'indique la figure 32 ; sur cette gravure, les différentes lettres indiquant ces appareils, correspondent à celles des appareils semblables du poste portatif représenté par les figures 29 et 31 ; il est donc facile, en se reportant à la description qui vient d'être faite, de comprendre la disposition de ces postes fixes absolument identiques d'ailleurs, sauf le rangement des appareils, aux postes portatifs.

Dans certains cas, M. Ducretet supprime le mouvement d'horlogerie du Morse et le remplace par un moteur électrique alimenté par une petite batterie d'accumulateurs ; ce moteur se met en marche dès que les ondes électriques agissent sur la limaille du radioconducteur et s'arrête aussitôt que cesse l'action de ces ondes.

Pour effectuer ses expériences, M. Ducretet disposa au-dessus de son laboratoire un mât d'une vingtaine de mètres de hauteur ; ce mât recevant le fil relié tantôt à l'oscillateur, tantôt au radioconducteur et se trouvant par suite, tour à tour, radiateur ou collecteur, suivant que l'on transmet ou reçoit une dépêche ; la transmission fut parfaite entre ce mât et le sommet du Pan-

théon, et différents postes installés à grande distance, même lorsque le fil collecteur était placé sur la face opposée de ce monument, ce qui obligeait cependant les ondes électriques à traverser ou à contourner cette importante masse de pierres.

Quelque temps après, M. Ducretet transmit des dépêches par ondes hertziennes au-dessus de Paris à des distances dépassant 7 kilomètres. Dans le cas des signaux transmis du poste du Panthéon à celui de la Tour Eiffel, les signaux furent reçus avec une netteté parfaite par l'appareil récepteur du Panthéon, mais, par suite de la masse métallique de la tour, les signaux envoyés du Panthéon ne purent être perçus par l'appareil récepteur de la tour, ce qui était à prévoir. La transmission s'opéra, dans ces expériences, avec une rapidité atteignant environ le tiers de celle du Morse ordinaire ; la bobine d'induction employée ne donnait que 25 centimètres d'étincelle.

Il est bon de noter, en passant, que la longueur des fils radiateur et collecteur doit être accordée pour obtenir le maximum de sensibilité. Ces fils, au lieu d'être tendus verticalement le long d'un mât, peuvent également être disposés horizontalement à une certaine distance du sol, ainsi que M. Popoff l'a démontré. Il doivent toutefois être soigneusement isolés et bien parallèles entre eux, et alors la disposition horizontale présente l'avantage de diminuer l'influence des décharges atmosphériques sur les récepteurs. Dans les postes doubles comprenant un transmetteur et un récepteur, il est indispensable d'intercaler un commutateur, qui, par le simple déplacement d'une manette devant un cadran, relie le fil à l'oscillateur ou au radioconducteur, suivant que l'on doit envoyer ou recevoir un télégramme. Il est évident que plus la distance à franchir est considérable, plus grande doit être la longueur des conducteurs collecteur-radiateur.

Comme nous l'avons vu plus haut, les ondes électriques

atmosphériques agissent sur le radioconducteur et peuvent, par suite, être enregistrées par les appareils récepteurs que nous venons de décrire. C'est ainsi que dans un orage, le 11 juin 1898 un de ces enregistreurs Ducretet a inscrit entre 2 h.30 et 3 h.40 de l'après-midi, 311 décharges atmosphériques. M. Ducretet a néanmoins pu constater que ces décharges supplémentaires quoique embrouillant quelque peu les signaux transmis, ne les rendaient pas absolument indéchiffrables.

Par suite de cette intéressante propriété, cet enregistreur automatique a sa place indiquée dans les observatoires météorologiques. Pour les observations continues il convient, toutefois, de remplacer l'appareil enregistreur Morse par un enregistreur à marche lente avec inscriptions horaires donnant l'heure exacte où se produit et s'enregistre la décharge atmosphérique.

Le chronographe qu'emploie M. Ducretet pour cet usage comporte un cylindre faisant un tour complet en 24 heures et recevant la feuille de papier quadrillée spéciale ; une plume à encre montée sur une barre de fer doux qui se meut le long d'une vis sans fin commandée par le même mouvement d'horlogerie, trace une ligne continue en spirale le long du cylindre ; la plume parcourt ainsi en huit jours la hauteur du cylindre. Un électro-aimant actionne la plume et lui fait marquer un petit trait perpendiculaire au tracé lorsqu'un courant le traverse. Les deux bornes de cet enregistreur sont reliées par un conducteur double de longueur quelconque aux bornes R du récepteur portatif de la figure 31 ; il peut être substitué au récepteur Morse automatique ou ajouté au poste complet ; dans ce dernier cas, les deux appareils fonctionnent concurremment. Si les décharges électriques atmosphériques ne sont pas trop rapprochées, chacune d'elles est nettement marquée par un trait qui donne l'indication du jour et de l'heure où elle s'est produite. En temps d'orage, par suite de la grande fréquence des décharges, les traits se su-

perposent et il serait indispensable pour obtenir des inscriptions



Fig. 33. — Le mât et le fil collecto-radiateur employés par M. Tissot, nettes, d'employer un cylindre tournant beaucoup plus rapidement.

M. le lieutenant de vaisseau Tissot s'est livré récemment à une longue suite d'expériences pour le compte du Ministère

de la Marine avec les appareils que nous avons décrits dans ce chapitre. Installé à Brest, M. Tissot a poursuivi ses recherches

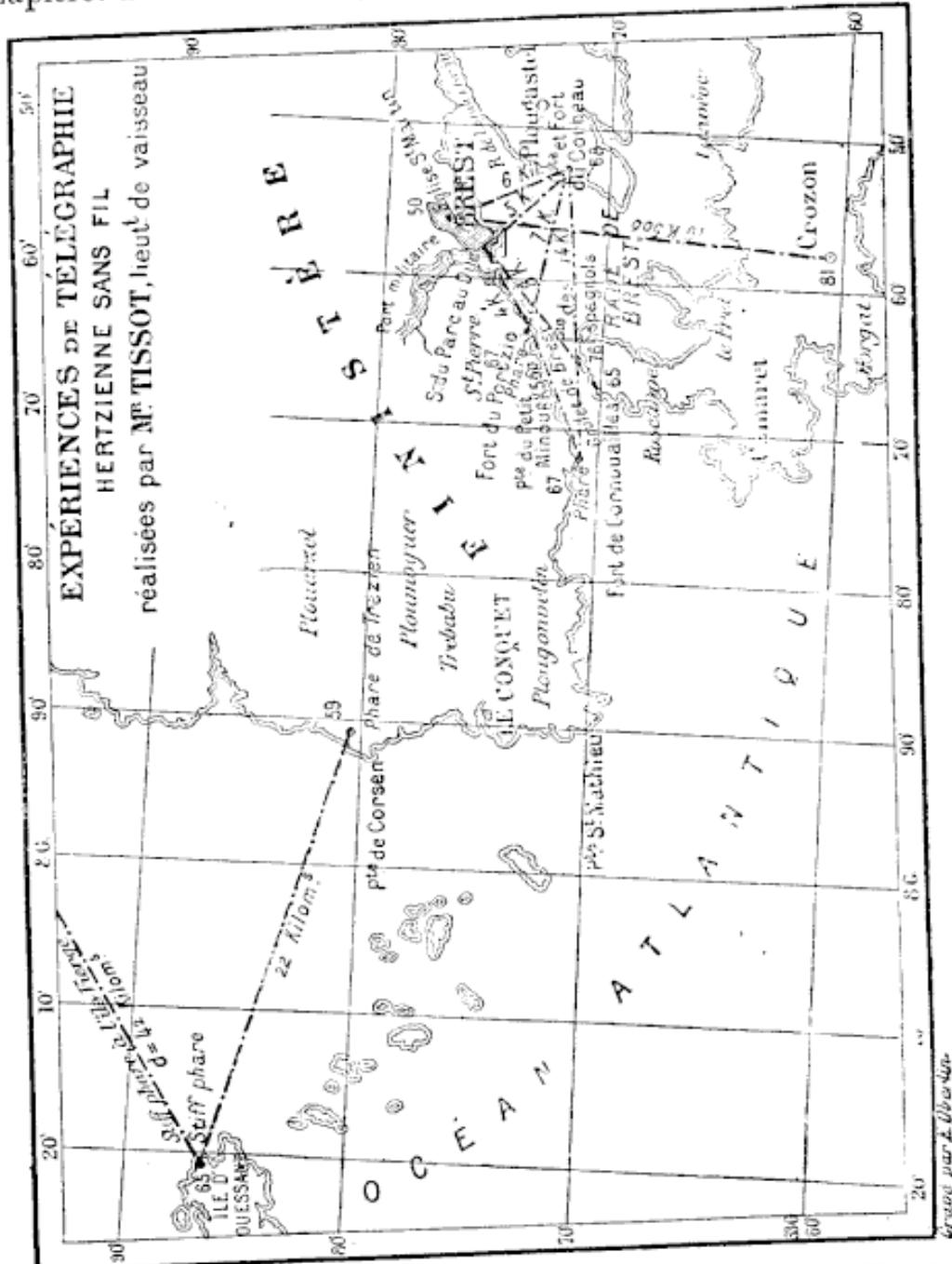


Fig. 34. — Carte des expériences de télégraphie sans fil de M. Tissot.

pendant près d'une année. La carte ci-contre, figure 34, montre les lignes établies successivement par cet officier dans la série de belles expériences qu'il a effectuées en rade de Brest et en haute mer. M. Tissot a été amené, au cours des essais, à faire quelques remarques inédites à l'époque de ses observations. Les tubes employés étaient à électrodes de platine immobilisées ; la limaille était particulièrement de la limaille d'argent sulfurée ; il y a intérêt à prendre une densité assez forte de courant, par suite des tubes semi-capillaires ; les tubes les plus sensibles, sont comme l'a d'ailleurs montré M. Branly, légèrement conducteurs, on doit donc les employer avec un relais ; pour les ramener à leur conductibilité initiale, il convient de leur donner des chocs très légers ; à cet effet, le courant du relais agit sur un signal électro-magnétique par transmission d'air. M. Tissot a fait des mesures relatives de la sensibilité des tubes par un dispositif analogue à celui de M. Branly ; diverses précautions rendent les observations toujours comparables. Les fils radiateurs et récepteurs ne sont pas munis de capacité ; il semble qu'il soit inutile de les disposer verticalement ; ils doivent être seulement dans un plan perpendiculaire à la direction de la propagation. Divers essais ont été entrepris pour déterminer expérimentalement le régime vibratoire du fil radiateur et l'influence de la nature du métal de ce fil.

Avec les appareils Ducretet, M. le lieutenant de vaisseau Tissot a pu relier entre eux le *phare du Trézien* (pointe de Corsen) (fig. 33), et celui du Stiff (île d'Ouessant) ; la distance est de 22 kilomètres ; puis le phare du Stiff et celui de l'île Vierge, soit 42 kilomètres.

A ce sujet, M. Ducretet a communiqué la dépêche suivante aux journaux :

« Avec mes appareils, M. le lieutenant de vaisseau Tissot a pu, grâce à son habileté et à sa persévérance, réaliser de belles

et définitives expériences de télégraphie sans fil et montrer que notre pays pouvait ne pas être tributaire de l'étranger. Cette distance de 22 kilomètres peut être considérablement accrue. »

Au lendemain des manœuvres navales anglaises, où la télégraphie sans fil a donné des résultats très satisfaisants, l'importance de la dépêche de M. Ducretet n'échappera à personne. Nous avons dit, en effet, qu'au cours de ces manœuvres, un croiseur de la flotte anglaise a pu, grâce aux appareils Marconi qu'il avait à bord, signaler l'ennemi au vaisseau amiral avec une rapidité jusqu'ici inconnue.

Comme le prouve la dépêche envoyée par M. le lieutenant de vaisseau Tissot, les officiers de notre marine ont, eux aussi, résolu le problème de la télégraphie sans fil appliquée à la tactique navale, et leurs expériences, pour être moins bruyantes que celles de leurs voisins d'outre-Manche, n'en sont pas moins décisives.

Depuis cette date, en Russie, M. A. Popoff, avec les appareils Ducretet, a établi, avec des mâts ordinaires une transmission régulière entre des navires de guerre (cuirassés) à la distance de 12 kilomètres et 25 kilomètres avec la côte, en pleines manœuvres.

CHAPITRE VIII

Expériences diverses de MM. Popoff, Tesla, Lecarme, Guarini-Foresio, etc., etc.

On conçoit facilement qu'il soit possible de transmettre des signaux à travers l'espace à l'aide des ondes électriques produites par un oscillateur de Hertz agissant sur un radioconducteur Branly. L'oscillateur, placé à la station de départ est actionné pendant des périodes courtes et longues de façon à produire les signaux de l'alphabet Morse ; les ondes qu'il émet se propagent à travers l'espace, viennent actionner le radioconducteur placé à la station réceptrice, et ferment un circuit local dont le courant peut actionner un appareil enregistreur quelconque.

MM. Lodge, Le Royer et Van Berchem firent une série d'expérience dans ce sens, mais c'est incontestablement à M. Popoff que revient l'honneur d'être parvenu le premier à transmettre des signaux à des distances relativement considérables par ce procédé qu'il était réservé à MM. Marconi et Ducretet de vulgariser en quelque sorte. Nous décrirons donc tout d'abord, dans ce chapitre, les appareils qui furent combinés par M. Popoff, et rappellerons les résultats qu'ils permirent à ce savant d'atteindre.

Une première difficulté se présentait tout d'abord et devait être surmontée : une fois le circuit local du poste récepteur fermé par les radiations électriques, qui agissaient sur le radioconducteur, le courant continuait à passer et il fallait, pour l'interrompre, secouer légèrement le radioconducteur. Or, MM. Branly, Lodge et autres, qui avaient expérimenté cet appareil se contentaient de secouer simplement à la main le tube contenant la larmaille ; mais pour la télégraphie ce procédé primitif ne pouvait

convenir et il était indispensable d'imaginer un dispositif automatique capable d'ouvrir le circuit dès que les ondes électriques émises par le poste expéditeur cessaient d'agir sur la limaille. Le procédé employé par M. Popoff, et qu'a repris M. Ducretet, est très simple : le radioconducteur proprement dit est formé d'un tube de verre recevant deux feuilles de platine collées sur sa paroi interne, et contenant la limaille métallique. Ce tube est supporté par un ressort, de telle sorte qu'un choc très léger suffit pour *décohérer*, suivant le terme de M. Lodge, la limaille et rompre le circuit. Le choc automatique nécessaire est obtenu par le procédé suivant :

Le courant d'une batterie de piles locales passe consécutivement par le tube et par l'enroulement d'un relais télégraphique ; tant que la limaille métallique se trouve dans l'état ordinaire, le courant qui circule dans le circuit est excessivement faible et l'armature du relais n'est pas attirée ; mais, dès qu'une onde frappe le radioconducteur, la résistance de tout le circuit diminue ; l'armature du relais est attirée et ferme le circuit d'une sonnerie. Celle-ci entre en fonctions et son marteau frappe, en même temps que le timbre, le tube contenant la limaille. Par suite, dès que les ondes électriques n'agissent plus, la limaille est ramenée par un dernier choc à son état primitif ; elle redévient très résistante, le courant cesse de passer, et l'armature des relais est ramenée en arrière par un ressort antagoniste.

M. le professeur Popoff mettait à la terre un des électrodes en communication avec un conducteur isolé dans l'espace.

Cet appareil fut construit dans le but de rechercher s'il existe dans notre atmosphère des oscillations électriques, et, dans ce cas, quelle est leur fréquence et quelles sont les causes dont elles dépendent ; en même temps M. Popoff indiquait que son appareil pourrait servir à la réception des signaux transmis dans l'espace. A cet effet, il est nécessaire de joindre au dis-

positif que nous venons de décrire un système enregistreur quelconque. On pourrait employer un récepteur Morse fonctionnant très lentement ou, de préférence, et comme l'a fait M. Popoff, un cylindre enregistreur exécutant une rotation complète en 12 heures et analogue aux cylindres dont il est fait usage dans les enregistreurs Richard.

Dès que les oscillations électriques agissent sur la limaille, l'appareil enregistreur marque un trait sur le ruban. Cet appareil a été installé par M. A. Popoff à l'Institut Forestal à Saint-Pétersbourg, au mois de juillet 1895, il sert pour les observations météorologiques et fonctionne déjà depuis plus de 3 ans. Il fut utilisé ensuite pour reproduire les expériences de Hertz sur les ondes électriques, puis pour des essais de télégraphie sans fil.

Pour arriver à la transmission à grande distance, M. Popoff chercha à augmenter d'une part l'énergie de la source des ondes électriques et d'autre part, la sensibilité du récepteur. Si l'on emploie un vibrateur de petite dimension, son énergie potentielle est petite et on ne peut l'augmenter sans faire perdre à la décharge son caractère oscillatoire. Il faut donc augmenter les dimensions de l'oscillateur de manière que, même avec une grande longueur d'étincelle, c'est-à-dire avec une différence considérable de potentiel, le caractère oscillatoire de la décharge subsiste. M. Popoff emploie un oscillateur analogue à celui construit par Hertz. Ce vibrateur possède des sphères de 30 centimètres reliées par une tige interrompue d'un peu moins d'un mètre. Les oscillations déterminées dans un tel appareil se prolongent assez longtemps ; on peut produire avec lui une longue étincelle et obtenir une différence très considérable de potentiel au commencement de l'oscillation sans aucune crainte que la décharge perde son caractère oscillatoire.

Les premières expériences de Popoff furent faites dans la cour de l'Institut ; la distance étant insuffisante on les continua dans

le port à l'aide d'un bateau supportant l'appareil récepteur. Les premiers essais démontrèrent la possibilité de signaler les ondes très distinctement à la distance de 650 mètres ; à une distance plus grande, on ne distinguait qu'une partie des décharges.

Dans ces premières expériences, Popoff employait dans le radio-conducteur, de la poudre métallique très fine, mais après plusieurs essais il trouva qu'une grande sensibilité peut être obtenue, sans nuire à la constance de l'appareil, en employant une limaille d'acier très grossière. Cette dernière a permis de communiquer à des distances 3 à 5 fois plus grandes que la limaille fine ou la poudre. L'emploi de cette limaille a permis d'atteindre la distance de 700 mètres environ avec une petite bobine d'induction donnant 4 à 5 centimètres d'étincelle. En employant une bobine plus forte la distance atteint d'un seul coup plus d'un kilomètre. Si

l'on munit le récepteur d'un conducteur vertical très long, ce qu'il est très facile de faire sur un bateau, la distance de transmission augmentera encore ; en effet, en augmentant la longueur du fil récepteur on reçoit les ondes dispersées sur de plus grands espaces. On peut également accroître la sensibilité du récepteur, en augmentant la sensibilité du relais intercalé dans le circuit avec le tube à limaille. En ayant appliqué ce moyen M. Popoff a atteint des distances de plus de 1.500 mètres.

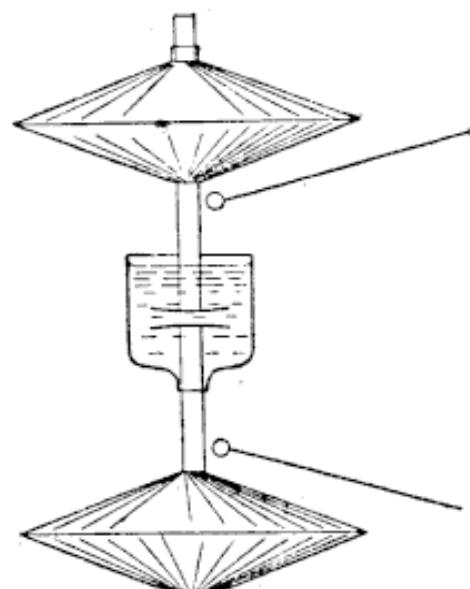


Fig. 35.

Il construisit alors un vibrateur susceptible de donner une énergie originelle encore plus grande et permettant, par suite,

d'atteindre des distances plus considérables. Dans ce nouvel oscillateur les sphères sont remplacées par deux plateaux constitués par deux troncs de cônes par la base comme l'indique la figure 35. La distance entre les disques était d'environ un mètre et leur diamètre d'un peu moins d'un mètre. Au point d'interruption de la tige sont fixés des disques de 10 centimètres environ de diamètre, entre lesquels jaillit l'étincelle. Cette modification a donné à M. Popoff les résultats suivants : le vibrateur fut

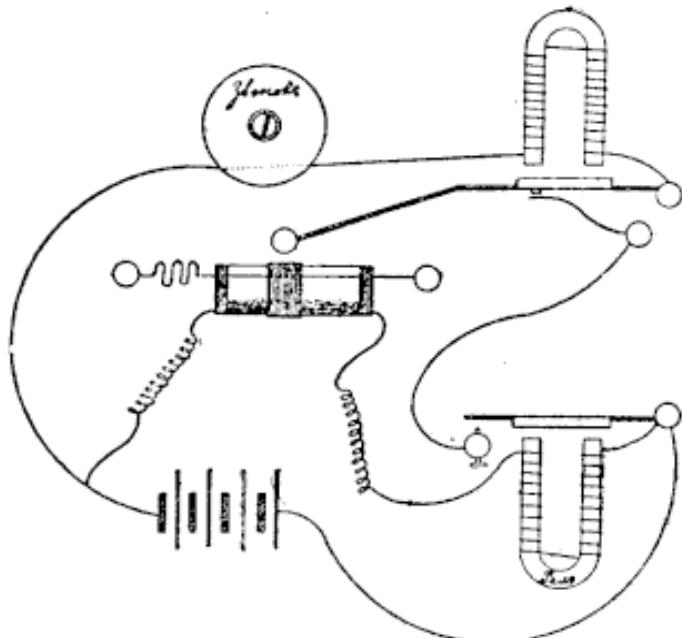


Fig. 36. — Schéma du récepteur de M. Popoff.

placé sur une rive de la mer et le récepteur sur un bateau possédant un mât de 9 mètres de hauteur auquel était suspendu un fil isolé relié à l'une des électrodes du radioconducteur, l'autre électrode étant mise à terre ; en éloignant lentement le bateau de l'oscillateur on a pu déterminer la distance maximum de transmission, on la trouva supérieure à 3 kilomètres. En employant un mât d'une hauteur plus grande on atteint une distance plus considérable ; c'est ainsi qu'avec un mât de 18 à 20 mètres on put transmettre des signaux à 5 kilomètres.

Il existe donc entre les expériences réalisées par M. Popoff et celles de M. Marconi relatées dans le précédent chapitre une grande analogie. L'appareillage employé par ces deux physiciens ne présente que des différences de détail, mais il faut reconnaître que M. Marconi a poussé beaucoup plus loin ses investigations, puisqu'il a obtenu la plus grande portée qui ait été constatée jusqu'à présent, c'est-à-dire près de 150 kilomètres entre Wimereux et Chelmsford.

Le célèbre électricien américain, bien connu par ses recherches sur les courants de haute tension et grande fréquence, Nicolas Tesla, a inventé un nouveau système de télégraphie sans fil, dans le transmetteur duquel les radiations se comportent comme les rayons X passant par les milieux les plus denses: le sol, la pierre, l'eau, etc. D'après M. Tesla, l'éther n'oppose aucune résistance à la transmission des vibrations de natures diverses qui s'y propagent, et le travail d'un cheval-vapeur est plus qu'insuffisant pour lancer des signaux de Londres à New-York à 5.000 kilomètres de distance; la diminution des effets d'induction, avec l'augmentation de la distance est due simplement au rayonnement dans tous les sens de l'espace, de telle façon qu'en s'éloignant de plus en plus du centre d'émission, un fil ou une surface métallique reçoit un nombre de radiations de plus en plus restreint. Un faisceau cylindrique de radiations électriques manifesterait, s'il ne rencontrait aucun espace sur sa route presque les mêmes effets à mille kilomètres de distance qu'à un mètre. Ce n'est donc pas un paradoxe que de soutenir que les ondes électriques peuvent être expédiées à une distance quelconque, même jusqu'aux planètes telles que Mars et Jupiter. M. Tesla, dans sa communication, annonce qu'il sera installé avant la fin de l'année 1900 une station de télégraphie sans fil par ses procédés, à New-York, et une autre à Londres. On se servira, paraît-il, de ballons captifs, retenus par des câbles en fil métallique et lancés à 5000

pieds de haut, de manière à atteindre les couches supérieures d'air raréfié, à travers lesquelles les ondes électriques se transmettront plus facilement. Ces câbles seront ancrés à des tours en acier. Au-dessous de chaque ballon pendra un disque de large surface, et les oscillateurs seront placés au sommet des tours. Une fois le mouvement électrique mis en activité dans ces oscillateurs, ainsi disposé, le courant s'élancera jusqu'aux disques sous les ballons et de là jailliront, tel un éclair, des vibrations qui traverseront l'Atlantique. De même, il y aura des courants qui descendront dans le sol par des fils et actionneront des vibrateurs similaires à ceux suspendus dans l'air libre. Analysons ce projet en détail :

Etant donnée la distance entre New-York et Londres, les deux fils verticaux formeront entre eux un angle de 75° . Supposons un instant le radiateur à New-York : le fil vertical émettra un cylindre de radiations, dont l'axe est le fil lui-même, la hauteur celle du fil et dont le diamètre peut être considéré infini. La base de ce cylindre de rayons (les radiations sont perpendiculaires au fil) est tangente à la surface de la terre. Par la position des deux fils, ce cylindre de rayons ne rencontrera pas le fil de la station de Londres : le fil vertical est donc inutile. Il reste les radiations des deux disques, l'un mis sous terre et l'autre suspendu au ballon. Ces deux disques émettent presque toutes leurs radiations sous forme de deux cylindres, l'un sur le prolongement de l'autre et perpendiculaires à eux-mêmes. Pour que les radiations de ces deux disques produisent des effets à la station de Londres, il faut que les disques, aux deux stations, soient parallèles et que les cylindres de rayons émis par les disques de New-York rencontrent ceux de Londres. Pour les deux disques mis sous le sol, cela n'est pas impossible, mais le faisceau de rayons ne subira-t-il de nombreuses réflexions et dispersions dans le sol de façon qu'au disque, mis sous le sol à Londres,

n'arriveront pas de radiations ? Il reste le disque pendu sous le ballon : il n'est pas difficile de placer les deux disques parallèles dans les stations, mais il faut encore que le cylindre de rayons rencontre l'autre disque de façon que, en les supposant égaux, ces deux disques forment les bases d'un cylindre droit. Mais comment obtenir cela à l'aide d'un ballon, soumis au caprice du vent, quand un petit déplacement suffit pour que le cylindre de radiation ne rencontre plus le disque ? Si, au lieu du disque plein on emploie une spirale plane de fil à section ronde comme le voudrait M. Guarini-Foresio, il suffira que les deux spirales se trouvent dans deux plans parallèles ou presque pour avoir toujours des effets d'induction. Ici il faut remarquer que, lorsqu'on emploie deux spirales planes, à fil à section ronde, placées dans une position quelconque, mais dans deux plans parallèles, on a toujours des effets d'induction remarquables, chaque moitié de la spirale induisante produiront les plus grands effets sur la moitié de la spirale induite où la courbure du fil a la même direction. On peut, d'autre part, augmenter les effets d'induction en interceptant les radiations émises selon des secteurs déterminés du disque (de la spirale plane induisante). Peut-être que seulement les radiations émises dans tous les sens par l'oscillateur placé sur la tour produisent des effets d'induction.

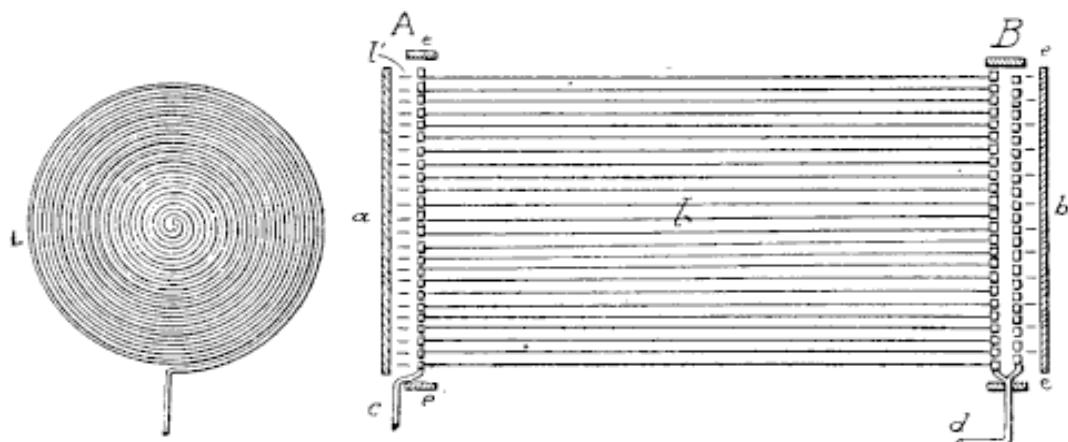


Fig. 37 et 38. — Disques-spirales de Guarini-Foresio.

Guarini-Foresio, il suffira que les deux spirales se trouvent dans deux plans parallèles ou presque pour avoir toujours des effets d'induction. Ici il faut remarquer que, lorsqu'on emploie deux spirales planes, à fil à section ronde, placées dans une position quelconque, mais dans deux plans parallèles, on a toujours des effets d'induction remarquables, chaque moitié de la spirale induisante produiront les plus grands effets sur la moitié de la spirale induite où la courbure du fil a la même direction. On peut, d'autre part, augmenter les effets d'induction en interceptant les radiations émises selon des secteurs déterminés du disque (de la spirale plane induisante). Peut-être que seulement les radiations émises dans tous les sens par l'oscillateur placé sur la tour produisent des effets d'induction.

tion dans le fil ou les disques de Londres. Il faudrait placer les deux fils dans une direction telle qu'ils soient parallèles pour que les radiations du fil induisant rencontrent le fil induit. Mais les fils ne pourront-ils impressionner des appareils mis dans les environs ? Et si on veut employer des réflecteurs ou limiter l'espace où on envoie les radiations, comment le faire avec des fils d'une longueur de 5.000 pieds ?

La chose paraît donc fort difficile, mais il ne faudrait pas toutefois, la taxer d'impossible, M. Tesla a déjà réalisé bien d'autres merveilles et résolu d'autres problèmes paraissant aussi irréductibles ; attendons donc, un avenir prochain nous montrera ce que nous devons croire de ces audacieuses affirmations.

Si nous revenons maintenant en Europe, nous devons mentionner, au nombre des expériences les plus intéressantes tentées dans ces derniers temps, celles qui ont eu lieu au mont Blanc et ont fait l'objet d'un rapport à l'Académie des Sciences.

Aucune démonstration satisfaisante n'ayant encore établi que la télégraphie sans fil fût possible entre deux points d'altitude différente et dans les hautes régions atmosphériques, MM. Jean et Louis Lecarme ont procédé, du 15 au 25 août 1899, à des expériences entre Chamonix et le mont Blanc.

Le poste transmetteur (observatoire Vallot, station de Chamonix, altitude 1.080 m.) et le poste récepteur (observatoire Vallot, station des Bosses, altitude 4.500 m.) sont distants de 12 kilomètres environ, à vol d'oiseau : la différence de niveau est de 3.350 mètres. Quant à la nature du sol entre ces deux points, on ne trouve que des mica-schistes, dont la partie supérieure est entièrement recouverte de glace, sauf à l'emplacement de l'observatoire, et la partie inférieure de moraines et d'alluvions.

Le but des expériences était de savoir : 1^o si le télégraphe sans

fil est pratiquement possible en montagne ; 2° si l'électricité atmosphérique ne nuirait pas aux communications ; 2° si le rôle du fil de terre persiste malgré l'absence d'eau à l'état liquide sur le sol ; 4° on avait également l'intention d'étudier des orages situés à de grandes distances, mais le temps n'a pas été favorable.

Poste transmetteur. Station de Chamonix. — Le poste transmetteur se composait d'un transformateur à haute tension, provenant de la maison Seguy, actionné directement par le courant continu d'une dynamo de 50 volts, interrompu par un trembleur de Neef. Un manipulateur à contacts de platine permettait d'envoyer à volonté le courant dans le primaire du transformateur, qui donnait dans ces conditions des étincelles de 18 centimètres entre deux pointes. Cette longueur d'étincelle se trouvait réduite à 2 centimètres lorsque les pôles du transformateur étaient réunis, l'un au sol et l'autre au mât : celui-ci se composait d'un fil de cuivre de 2,5 millimètres de diamètre, tendu obliquement à 30° environ sur une longueur de 25 mètres. On a employé un oscillateur à boules de 2 centimètres de diamètre, fonctionnant dans l'air.

Poste récepteur. Station des Bosses (4.350 m.). — Le poste récepteur léger et portatif comprenait un radioconducteur Branly à limaille d'or très sensible, une pile sèche ($E=1,9$ volt) et un relais télégraphique. Celui-ci commandait une sonnerie à un coup, un frappeur et un galvanomètre. Le frappeur était disposé de façon à interrompre automatiquement le courant traversant le radioconducteur, avant le choc qui se produisait de bas en haut sur le support du tube. Grâce à cette disposition, un faible choc suffisait pour décohérer la limaille, et la sensibilité du radioconducteur demeurait identique pendant toute la durée des expériences.

L'appareil ainsi disposé est sensible, sans mât ni fil de terre,

à une étincelle de 1 millimètre de longueur éclatant à une distance de 100 mètres et produite bien entendu par une petite bobine donnant son maximum. Le poste étant placé à l'intérieur de l'observatoire était préservé de toute perturbation extérieure par l'enveloppe de cuivre dont est revêtu le bâtiment. La mise au sol était établie par la communication avec les paratonnerres : le mât se composait d'un fil de fer isolé placé parallèlement à celui de Chamonix et tendu entre le refuge Vallot et un poteau planté dans la neige sur la paroi nord de la Grande-Bosse : ce fil était relié à l'observatoire par un conducteur isolé de 50 mètres de longueur. Les deux postes étaient visibles l'un de l'autre et des signaux optiques permettaient la vérification des expériences par le beau temps.

Résultats. — 1° Les expériences ont eu lieu tous les jours à 11 heures du matin jusqu'au 25 août. En voici les résultats d'après les *Comptes rendus* de l'Académie des Sciences. Les signaux n'ont été bien nets que pour un écartement des boules de l'oscillateur égal à 2 centimètres.

2° L'absence d'eau à l'état liquide n'a pas empêché les communications.

3° Des nuages interposés entre les deux postes n'ont pas empêché les signaux.

4° L'électricité atmosphérique, bien qu'ayant fait fonctionner l'appareil à plusieurs reprises, n'a pas produit une action capable de nuire à la télégraphie pratique.

5° On a observé également que le fonctionnement de l'éclairage électrique à Chamonix agissait avec intensité sur l'appareil et que, pendant toute la durée de l'éclairage, il était impossible de communiquer. La lumière électrique est fournie par une dynamo à courants triphasés ($E=2.500$ volts); le circuit primaire étant fermé sur lui-même sans production d'étincelles.

En réalité, il ne s'agit donc pas là de télégraphie sans fil, mais

de transmission à petite distance d'ondes hertziennes, ce qui est fort différent et ramène à de justes proportions les essais de MM. Lecarme.

D'autres expériences, qui ont permis de faire des remarques d'un plus grand intérêt sont celles auxquelles s'est livré le docteur Della Ricia à l'Institut électrotechnique Montefiore à Liège. Ce physicien a pu constater, en effet, que les radiations électriques, avant de parvenir au récepteur, avaient dû traverser une épaisseur totale de murailles de plus de 10 mètres, ce qui prouve que l'interposition d'obstacles naturels : collines, etc., ne constitue pas un empêchement radical à la transmission de ces ondes.

On avait déjà constaté, au moment des expériences faites en Italie qu'au moment où le bateau remorqueur qui portait l'appareil récepteur se trouva masqué par d'autres navires qui s'interposèrent entre lui et la station, il devint nuisible pour cette station, et la réception se trouva interrompue.

Ce fait tendrait à confirmer l'observation précédente, d'après laquelle la transmission peut se continuer malgré l'interposition d'obstacles entre la station transmettante et la station recevante. Un autre jour, à la Spezzia même, en répétant les expériences, pour affirmer le fait important du passage des rayons électriques à travers les obstacles, il fut encore vérifié qu'à peine le navire perdit-il de vue la station transmettante, qui était à San Bartolomeo, en passant à l'ouest du Tino, à 8 kilomètres de la station transmettante, la correspondance s'interrompit. Pendant que le navire poursuivait sa route vers le nord-ouest, peu de signaux purent être encore recueillis dans des points où, peut-être, de la sommité du conducteur de réception on aurait vu la sommité du conducteur d'émission, en procédant d'abord entre Tino et Palmaria et puis entre Palmaria et Muzzerone ⁽¹⁾.

« Ces faits qui, à première vue, semblent contradictoires,

1. D'après M. Della Ricia.

trouvent une explication facile dans le fait désormais assuré que les rayons électriques traversent les diélectriques, qui cependant absorbent une partie de l'énergie de ces rayons. M. Righi a trouvé que le verre, le marbre et le bois (et celui-ci en proportions différentes, selon les dispositions de ses fibres à l'égard de la direction des vibrations) prennent une partie de l'énergie des rayons de force électrique. En général, on peut dire que, tandis que les substances diélectriques plus homogènes (comme le spath d'Islande, le quartz fondu, etc.) présentent une absorption minime, dans tous les autres diélectriques, l'absorption est plus grande. Ainsi les collines, les maisons, les arbres, etc., absorbent une certaine quantité d'énergie, quantité d'autant plus considérable que leur épaisseur est plus grande.

« Nous pouvons comparer les diélectriques (qui laissent passer les rayons électriques en absorbant une partie de l'énergie) sont pour la lumière à ce que sont les corps translucides (qui laissent passer les rayons lumineux, en absorbant une partie de l'énergie). Tandis qu'une feuille mince de papier, frappée d'un faisceau de rayons lumineux, se laisse traverser par une certaine quantité de lumière, deux feuilles, superposées en laissent passer une quantité plus petite que la première. Et, en continuant à superposer les feuilles, on arrivera à un point où l'ensemble de ces feuilles constituera un corps opaque et la lumière ne passera plus. Ajoutons que les rayons de force électrique, en rencontrant un obstacle, subissent une première réflexion, sur la surface de l'obstacle, et que la partie transmise subit encore plusieurs réflexions internes, qui sont en proportion des différentes faces des rochers ou autre que ce soit et en proportion encore de l'épaisseur de l'obstacle même ».

Telle est la théorie exposée par un autre chercheur, M. Guarini-Foresio dans une brochure fort intéressante consacrée à l'étude de la télégraphie sans fil par les méthodes de Hertz,

Marconi et Popoff. Nous ne suivrons pas cet auteur dans ses considérations sur les modes d'action et de propagation des radiations électriques, car certaines des ses opinions nous paraissent au moins hasardées dans l'état actuel de nos connaissances

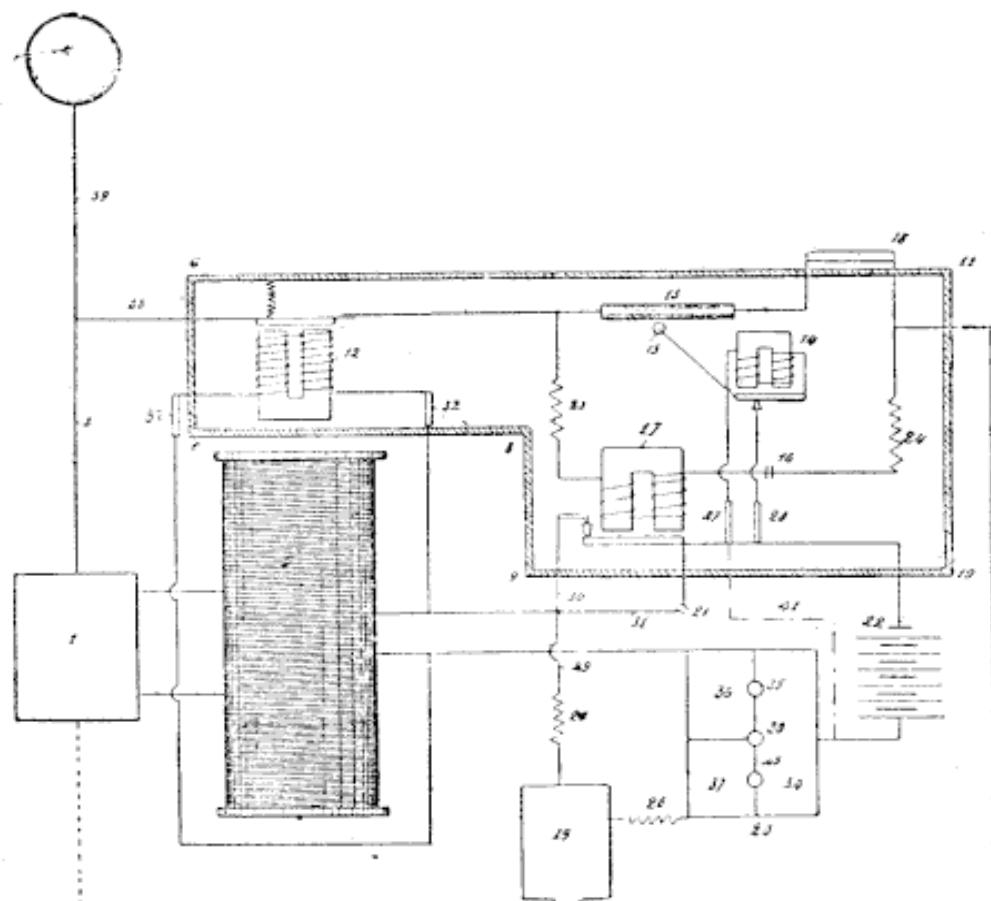


Fig. 39. — Schéma du répétiteur Guarini-Foresio.

en physique. Nous nous bornerons à donner la description d'un appareil de relais, que M. Guarini-Foresio appelle *répétiteur*, et qui semble susceptible de fournir de bons résultats.

De même que les relais employés dans la télégraphie électrique usuelle, ce relais peut répéter les signaux pour les transmettre avec une nouvelle intensité à un poste suivant. Cet appareil doit

donc être disposé entre les deux stations à desservir ; il recevra de l'une de ces stations des radiations très faibles qu'il pourra transmettre en les amplifiant à l'autre station ; son utilité est donc indéniable.

Les connexions de ce relais sont représentées schématiquement dans la figure 39.

Cet appareil est destiné, d'après son auteur, à servir de répétiteur pour les postes mobiles par exemple pour la communication entre trois navires dont l'un sert de station intermédiaire.

Dans le cas où l'appareil doit servir deux postes A et B situés sur la terre ferme, ou dans celui où l'on serait obligé d'employer plusieurs relais entre ces postes, ce qui amènerait forcément de la confusion dans l'expédition et l'enregistrement des signaux, on emploierait la disposition indiquée par la figure ; le récepteur est séparé du transmetteur par une cloison métallique ; le récepteur doit être disposé du côté du poste expéditeur extrême, et l'appareil transmetteur sera lui, tourné du côté du poste récepteur terminus.

La cloison, qui peut être faite d'une substance quelconque arrêtant les radiations électriques empêche que les radiations du transmetteur de la station intermédiaire retourne sur la station transmettante extrême ou sur celle intermédiaire précédente, où il y en ait plusieurs et, en même temps, lorsque cela est nécessaire, empêche que le récepteur de la station intermédiaire ne soit impressionné par ces mêmes radiations. La cloison, le cas échéant, peut être un réflecteur qui réfléchira les radiations du transmetteur du répétiteur sur la station suivante de réception.

Ce *relais* ou *répétiteur*, tel qu'il est, est applicable surtout aux communications mobiles. Dans le cas où il doit desservir deux stations fixes, en terre ferme, voici comment il faut disposer les choses : Au lieu d'un fil vertical, il y en aura quatre,

deux en communication avec le fil, qui conduit au tube sensible, et deux en communication avec deux plots d'un commutateur, dont le troisième est en communication avec l'oscillateur. Les quatre fils sont entourés par des surfaces métalliques de façon qu'ils laissent l'espace du côté de la station suivante libre. Pour les fils en communication avec le tube sensible, les surfaces métalliques doivent empêcher que ce tube soit impressionné par les radiations que le radiateur émet; pour les fils en communication avec l'oscillateur, ils doivent faire converger les radiations dans la direction de la station suivante et en même temps empêcher qu'on ait des radiations en d'autres directions. Si nous appelons intermédiaire cette station et si nous supposons que les deux autres se trouvent l'une à gauche et l'autre à droite, les choses doivent être disposées de façon qu'un des fils, en communication avec le tube sensible, soit impressionné seulement par les radiations qui viennent de la station de gauche, par exemple, et l'autre seulement par celles qui viennent de la station de droite. De même un des fils, en communication avec l'oscillateur, doit envoyer toutes ses radiations à la station à droite : le commutateur met en communication selon le cas, l'oscillateur avec un fil ou avec l'autre. On peut aussi employer une disposition à l'aide de laquelle, si les radiations viennent de la station de gauche, l'oscillateur les envoie à celle de droite ou *vice-versa*.

Il va sans dire que, si toutes les radiations, émises par une des stations, celle à gauche ou celle à droite, sont convergées sur un des fils de la station intermédiaire et le courant induit en celui-ci est de *telle intensité* et de *telle nature* qu'il puisse actionner directement l'appareil télégraphique, les choses restent presque les mêmes : il suffit de supprimer le circuit de secours avec le tube sensible. On peut aussi supprimer l'oscillateur dans le cas où c'est le courant variable de la bobine qui produit des effets d'in-

duction à l'autre station : dans ce cas les circuits des fils doivent être fermés. Si toutes les choses sont arrangées de la façon que nous venons d'indiquer, si, au lieu d'un appareil, on en a deux à chaque station, on pourra avoir la communication en même temps, en sens opposé. Et, en augmentant le nombre des appareils, on peut avoir la télégraphie *multiple*, comme dans les lignes télégraphiques ordinaires (').

4. Guarini-Foresio.

CHAPITRE IX.

Les applications de la télégraphie sans fil.

On a pu se convaincre, par le compte rendu que nous avons donné dans ce livre des brillantes expériences de Marconi, Ducretet et leurs émules, que la télégraphie sans fil par ondes électriques est désormais entrée dans le domaine de la pratique. Ses usages seront très nombreux on n'en saurait maintenant douter, en raison des immenses avantages que présentent ces nouvelles méthodes, surtout pour les communications maritimes.

Déjà la télégraphie sans fil pourrait rendre à jamais impossibles ces effroyables catastrophes résultant de la rencontre de deux de ces immenses paquebots modernes lancés à toute vitesse, catastrophes qui ne jettent que trop souvent hélas la consternation et le deuil dans le monde entier. En effet, si tous les bâtiments qui traversent les mers étaient pourvus d'un oscillateur et d'un radioconducteur, il suffirait de mettre cet oscillateur en fonction la nuit et par les temps de brouillard pour que ces bâtiments soit avertis, même à une très grande distance, de leur approche réciproque. Ainsi mutuellement avertis de leur présence ils pourraient communiquer ensemble sans même se voir et s'indiquer l'un l'autre la direction suivie, de telle façon que toute collision serait rendue impossible.

On peut penser qu'il reste une légère difficulté à résoudre : c'est d'empêcher le radioconducteur de chaque vaisseau d'être influencé par les ondes électriques émises par l'oscillateur placé à côté de lui. Cependant, nous avons vu que l'on obtient ce résultat en disposant ces deux appareils l'un au-dessus de

l'autre et en les séparant par un écran métallique interceptant les ondes produites par l'oscillateur fonctionnant à côté du radio-conducteur. Ce dernier demeure sensible aux seules radiations électriques émises d'un autre point quelconque de l'espace entourant le navire.

Dans ce cas, les fils radiateurs et collecteurs seraient supprimés, mais la portée des appareils demeurerait encore bien suffisante pour éviter tout danger de collision ; d'ailleurs, même en utilisant ces fils, on pourrait, à l'aide d'écrans métalliques convenablement disposés, arriver au même résultat tout en permettant les communications à grande distance. En réalité, la seule difficulté sérieuse, qu'il s'agira de vaincre ou de tourner, réside dans la construction métallique des coques et des mâts des paquebots actuels, masse métallique qui apporte une forte perturbation dans la réception des signaux.

De même, les phares, dont les feux sont souvent invisibles par les temps d'hiver et de brouillard, pourraient être avec avantage munis d'un oscillateur fonctionnant automatiquement, de façon à répéter constamment les mêmes indications nécessaires : nom du phare, emplacement exact qu'il occupe, passages dangereux, etc. ; ces indications seraient recueillies par les récepteurs placés à bord des navires passant à proximité et dans le rayon d'action de l'oscillateur. On voit immédiatement quels services inappréciables, la télégraphie sans fil pourrait rendre dès maintenant à la navigation ; aussi ne doutons-nous pas un instant que ces nouvelles méthodes d'intercommunication auront pris une grande extension avant qu'il soit longtemps et que les marines des diverses nations n'hésiteront pas à adopter dans une très large mesure ces appareils de protection et de sécurité.

Rappelons à ce sujet, et en passant, qu'un de nos députés, ami du progrès scientifique, M. J.-L. Breton, auteur de la *Revue Scientifique de l'année 1899* à laquelle nous avons fait divers

emprunts dans le cours de cet ouvrage, a posé à la tribune de la Chambre le 21 mars 1899, une question au Ministre de la Marine, pour savoir, à propos de la discussion du budget de ce département et de la catastrophe, toute récente alors, du paquebot-poste la *Bourgogne*, si nos amiraux se préoccupaient de l'utilisation de ces nouvelles méthodes de communication.

De la réponse du ministre, il résulte que le Ministère ne se désintéresse pas, bien au contraire, de cette application si utile de la science ; il en suit de très près le développement, des appareils ont été commandés, et le succès des expériences faites pendant toute une année à Brest par M. le lieutenant de vaisseau Tissot avec les appareils perfectionnés de Ducretet, est un acheminement à l'emploi universel à bord des navires et des phares des appareils de télégraphie par ondes hertziennes.

Aussitôt que le problème de la communication entre les navires aura été résolu d'une manière satisfaisante, le Gouvernement français provoquera une conférence internationale afin d'arrêter d'une manière définitive, conjointement avec les représentants des autres nations, le rôle de la télégraphie électrique maritime, et donner, si possible, aux navigateurs le moyen d'éviter ces collisions qui ont causé tant de désastres et de naufrages.

Attendons donc que l'initiative de nos ministres se révèle, et espérons que ces promesses ne seront pas seulement de vaines paroles, mais qu'au contraire, la France tiendra à remplir son rôle civilisateur et donnera la vigoureuse impulsion nécessaire pour que ces utiles mesures de préservation soient adoptées par toutes les puissances maritimes, au plus grand bénéfice de l'art de la navigation en général !

De même que l'industrie des transports, l'art militaire trouvera dans la télégraphie sans fil une importante ressource pour transmettre, par tous les temps — ce qui ne peut être obtenu avec les procédés optiques, — et sans établir aucune ligne de fils, des

dépêches entre différents corps d'armée, avec des forts, des villes assiégées, etc. Même étant en marche, des corps d'armée pourront rester constamment en communication télégraphique, sans aucun impedimenta. Toutefois il ne faut pas oublier que les signaux qui seront ainsi échangés d'une place forte ou d'un quartier général à l'autre, à travers l'espace, pourront être surpris et lus par n'importe quelle personne ayant intérêt à surprendre ces messages, et qui aura établi un mât avec un fil collecteur et un radioconducteur. C'est là, en vérité, l'inconvénient.

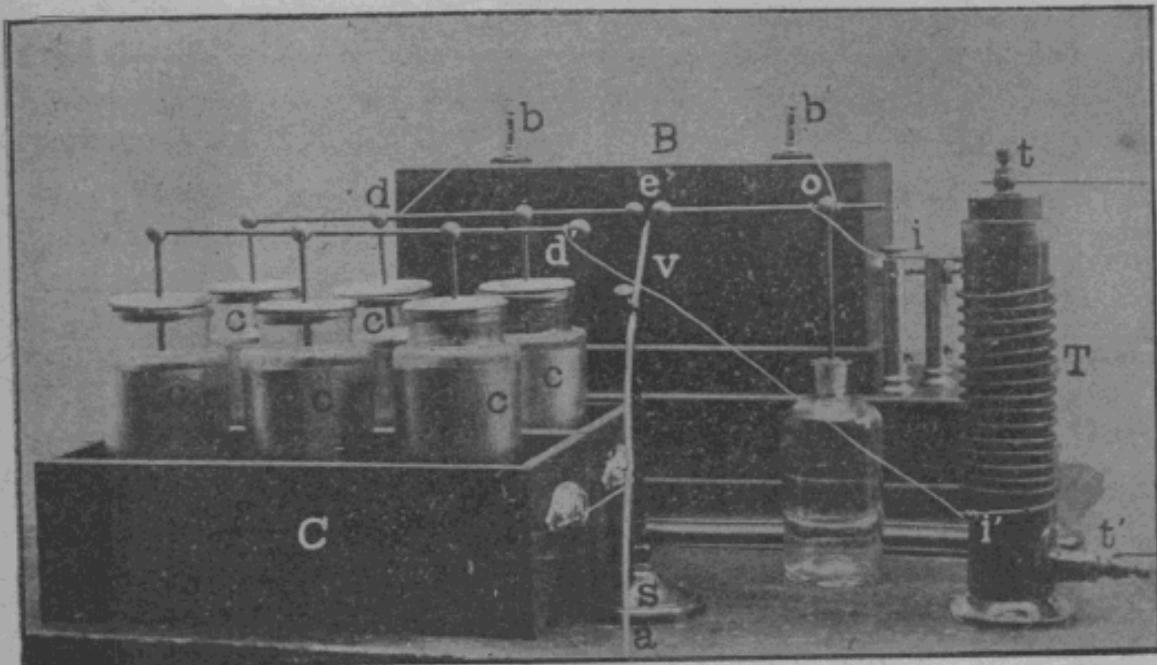


Fig. 40. — Dispositif de M. Breton pour produire les courants de haute fréquence utilisables pour la télégraphie sans fil.

nient capital de la télégraphie sans fils par ondes électriques, et il a été démontré par le fait qu'en 1899, le poste de télégraphie Marconi installé à Vimereux lut le télégramme suivant qui passait d'une station anglaise à l'autre : « Nous parlerons à Boulogne à cinq heures après-midi ».

Il paraît donc malheureusement trop évident que l'adoption

général du système de télégraphie à travers l'espace sera susceptible de produire une grande confusion entre les signaux échangés entre différents postes, mais il est à espérer que l'on parviendra

par la suite à accorder convenablement les appareils de transmission et de réception, de façon à éviter les fâcheux effets du mélange des ondes émanant de différentes sources.

Toutefois, il y a un autre côté de la question qui est infiniment moins avancé et qui cependant a une importance capitale ; sa solution seule permettra l'extension de la télégraphie par ondes électriques.

Actuellement, en effet, les ondes électriques, lancées dans l'espace par un appareil transmetteur quelconque, peuvent être recueillies par un récepteur à limaille également quelconque, de telle sorte que, d'une part, le secret des correspondances ne peut être assuré et, que d'autre

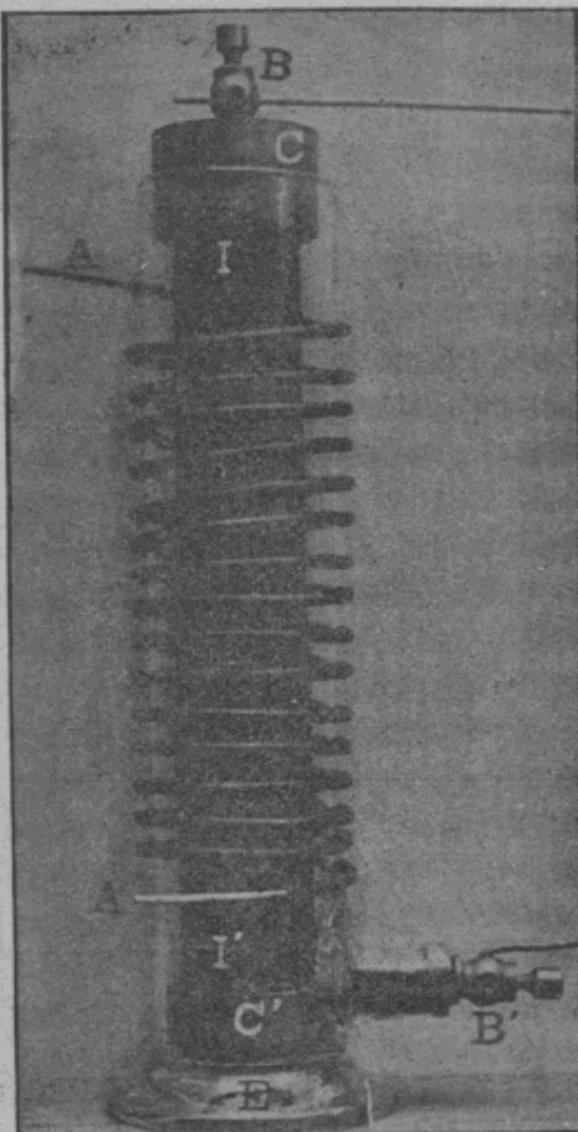


Fig. 41. — Résonateur de M. Breton.

part, si plusieurs postes fonctionnent ensemble dans un rayon donné, leurs signaux s'entremêlent et s'embrouillent réciproquement. On conçoit l'importance considérable de ce fait ; dans

bien des cas, en effet, et principalement pour la télégraphie militaire, le secret des correspondances est indispensable ; quant à l'action réciproque des différents postes agissant les uns sur les autres, elle rendrait matériellement impossible l'emploi de plus d'un appareil dans son rayon d'action.

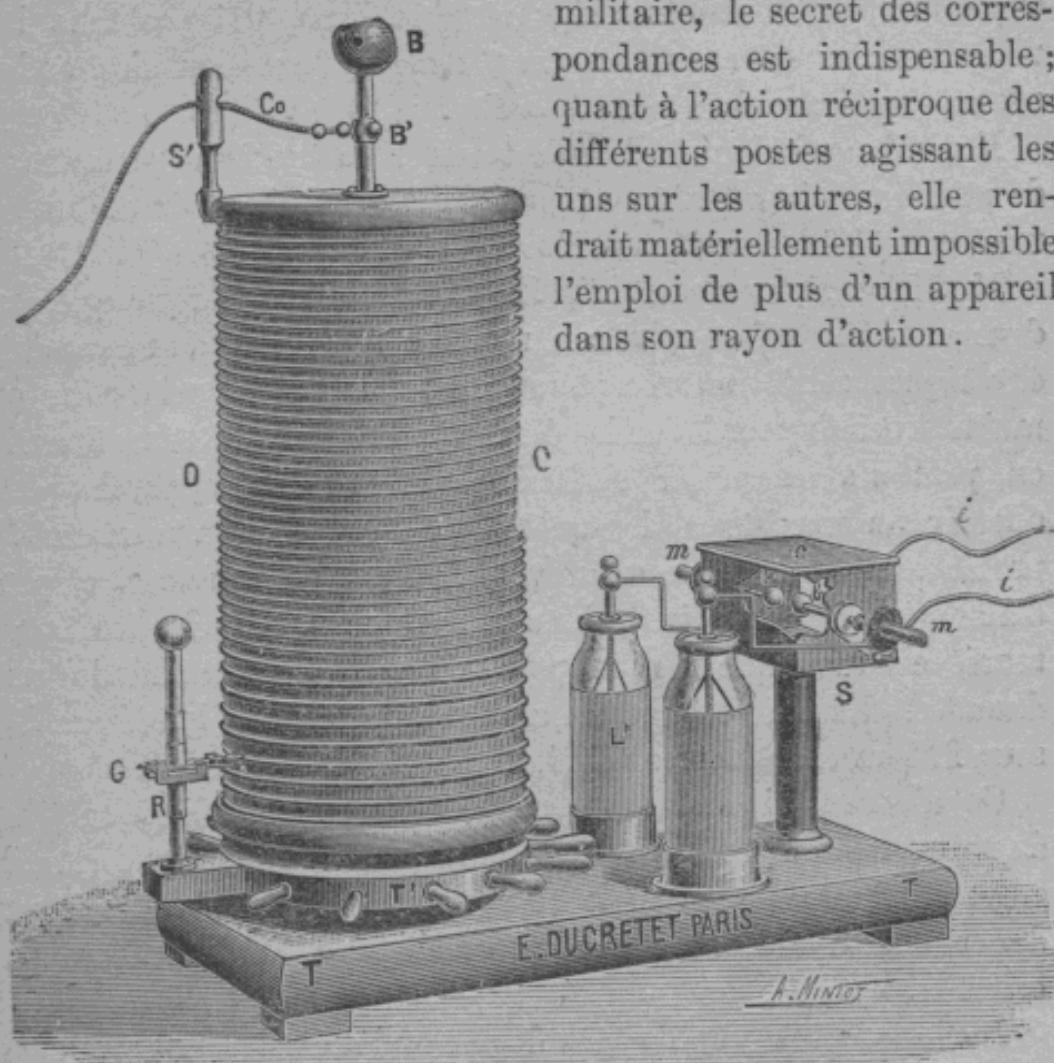


Fig. 42. — Résonateur du Dr Cudin construit par Ducrelet.

On peut déjà diminuer ce grave inconvénient en n'envoyant les ondes que dans une seule direction et en interceptant celles émises dans les autres directions à l'aide d'écrans métalliques ; mais si cette méthode est facile dans le cas de transmission directe par l'oscillateur, elle devient particulièrement difficile, quand on emploie un long fil radiateur disposé le long d'un mât.

D'ailleurs, ce système ne peut simplement qu'atténuer, sans le supprimer, l'inconvénient signalé plus haut, puisque tous les récepteurs qui se trouveront dans l'angle d'émission des ondes seront tous influencés par ces ondes.

Il est donc indispensable de trouver un système permettant de ne faire agir certaine catégorie d'ondes émises par un transmetteur spécial que sur un récepteur approprié.

M. Marconi, et avant lui, M. Hertz ont remarqué que, en donnant une surface plus ou moins considérable aux capacités électriques reliées au récepteur, on rendait ce dernier plus ou moins sensible pour les ondes émanant d'un transmetteur donné ; on peut ainsi accorder électriquement les deux appareils pour obtenir un maximum de sensibilité. Peut être la solution du problème est-elle dans cette voie ? C'est, en tout cas, ce problème que doivent principalement chercher à résoudre les inventeurs, car tant que l'on ne pourra rendre indépendant les uns des autres les différents postes le développement de la télégraphie sans fil sera extrêmement limité.

Ce n'est certainement pas une question insoluble, le tout est de trouver le moyen d'accorder électriquement les deux appareils correspondants pour que le récepteur puisse être influencé par des ondes d'une longueur déterminée et uniquement par celles-là.

Lorsque la télégraphie sans fil par ondes électriques sera ainsi perfectionnée, combien seront grands les résultats pratiques que l'on pourra tirer d'une semblable invention. Tandis que maintenant il faut établir une ligne coûteuse, et dont l'installation demande une longue période de temps, pour réunir télégraphiquement deux points, il suffira bientôt d'y simplement disposer deux appareils appropriés. Les navires pourront rester en communication constante entre eux et avec la terre ; impossible désormais de supprimer toute communication entre une ville

assiégée et le pays environnant, comme il fut fait pour Paris en 1870 ; en voyage, une personne ayant emporté l'appareil nécessaire, pourra à tout moment télégraphier à ses amis ou parents qu'elle se trouve en chemin de fer, en bateau, voire même en ballon ?

Dans quelques années, les explorateurs s'enfonçant dans des terres inconnues, comme Andrée s'envolant vers le pôle Nord, pourront peut-être rester en communication constante avec le monde civilisé et lui donner sans cesse des renseignements intéressants sur les péripéties de leur périlleux voyage ; il y a là le germe d'un nouveau système de reportage qui, n'en doutons pas, aura un grand succès chez nos descendants ; les journaux de cette époque paieront alors bien cher pour avoir leur appareil récepteur accordé à l'unisson électrique du transmetteur des futurs explorateurs !

Telles sont les suppositions que fait M. J.-L. Breton pour les applications de la télégraphie par ondes électriques ; il est encore dépassé dans ses prédictions par M. Guarini-Foresio qui s'écrie dans un accès de lyrisme bien transalpin :

Les efforts des inventeurs seront dressés à utiliser, dans la meilleure manière possible, les forces naturelles : marées, cascades, ondes de la mer, vent et qui sait ce que l'on pourra encore utiliser !

Toutes ces énergies seront transformées en énergie électrique, qui, d'une station de production, se trouvant là où se trouve la force naturelle, sans fil de ligne, à travers l'éther, sous la forme d'un cylindre invisible, sera transportée en de lointaines stations de réception, où elle sera transformée en lumière, chaleur et mouvement. Peut-être en ce temps-là on ne verra plus la fumée des machines à vapeur : tout sera électricité. Plus de feu pour le réchauffement, plus de gaz ou autre pour l'illumination. Les établissements industriels seront activés par l'énergie électrique,

les villes éclairées à la lumière électrique, réchauffeurs électriques : tout par l'électricité et à bon marché.

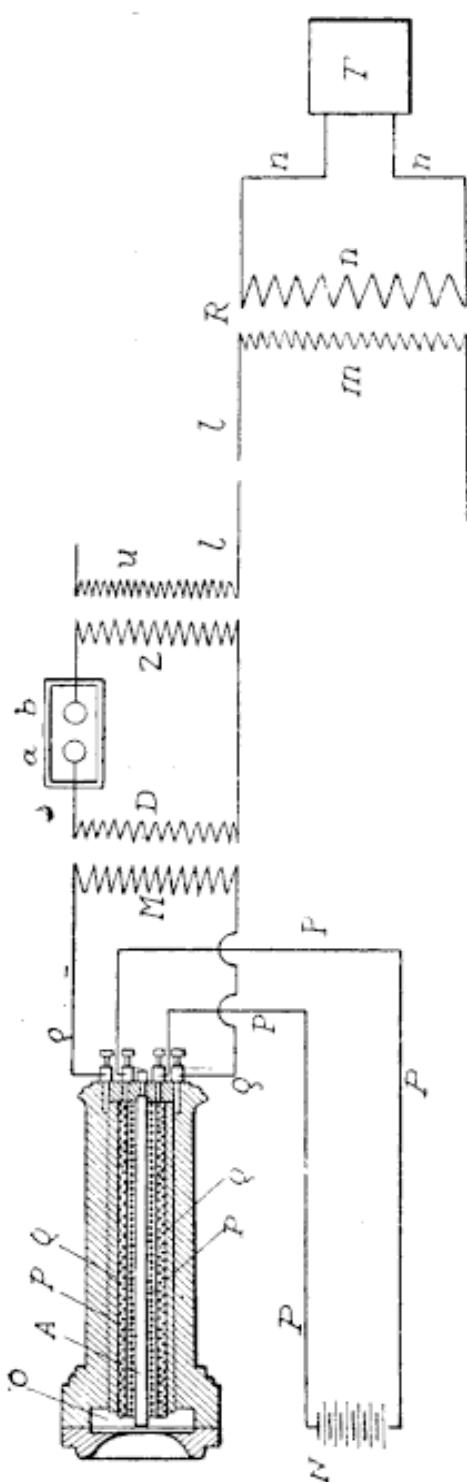


Fig. 43. — Schéma du téléphone sans fil d'après M. Guarini-Foresio.

On pourra avoir de vraies lignes télégraphiques et téléphoniques sans fil, accélérées et sûres.

L'on songera, peut-être, au téléphone sans fil. Et il sera trouvé. Et quand celui-ci sera inventé, quel grandiose dessein surgira dans l'esprit humain ?

Lorsque les hommes pourront se parler, se voir, sur toute la surface de la terre, sans que les obstacles naturels soient un empêchement, sans que des fils les mettent en communication, lorsque les énergies naturelles seront utilisées et distribuées au monde entier, quel but s'érigera devant l'homme ? Nous ne pouvons pas ou, mieux, nous ne voulons pas le prévoir. Mais quel qu'il soit, il sera atteint. Si quelque cataclysme ne vient anéantir les pays civilisés, devant l'homme de l'avenir s'érigera toujours un nouveau but, but qu'on s'efforcera toujours de rejoindre et qu'on rejoindra.

Certes, le jour est bien éloigné où notre rêve se réalisera, le jour dans lequel le monde présentera un aspect nouveau : ce jour est éloigné, mais il viendra.

Certainement ce que l'on a fait n'est

pas beaucoup. Cependant c'est un pas vers la télégraphie de l'avenir, c'est toujours un exode glorieux de cette nouvelle ère que l'on proclame pour l'électricité.

Toutes ces merveilles, conclurons-nous avec M. Breton, ne sont pas encore réalisables dans l'état actuel de la science ; ce ne sont que des rêves d'avenir ; mais qui oserait dès maintenant affirmer que ce ne sera jamais ? Qui sait même si l'on ne trouvera pas moyen de remplacer les transmissions télégraphiques sans fil par des transmissions téléphoniques du même genre, permettant la conversation entre deux personnes situées à des points très distants, et simplement munies d'appareils accordés électriquement ; on n'en est pas encore là avec les appareils actuels, on en est même très loin, mais aucune impossibilité absolue ne s'y oppose. On peut alors prévoir, dans un avenir plus ou moins lointain, un temps où les transmissions téléphoniques seront absolument généralisées et où chacun, possédant un appareil particulier, pourra se mettre en rapport avec n'importe quelle autre personne ; il n'y aura plus même besoin de s'adresser à un bureau central pour obtenir une communication et il suffira d'harmoniser, d'accorder électriquement son appareil avec celui de la personne avec laquelle on désirera se relier, pour être entendu par elle et elle seule ; un damier aux combinaisons innombrables permettra d'établir cette harmonie d'appareils, en se reportant aux indications d'un répertoire approprié !

Ainsi seront réalisés par la science les rêves les plus chimériques, les conceptions les plus fantastiques des inventeurs, ce qui démontre que les choses qui, aujourd'hui, paraissent les plus invraisemblables, pourront être demain si vulgaires qu'on n'y attachera plus aucune importance. Cela s'est produit pour les aérostats, les chemins de fer, le téléphone, les rayons X, et c'est le sort de la télégraphie sans fil dont les ondes formeront avant qu'il soit longtemps un invisible réseau de vibrations autour du globe !

TABLE DES CHAPITRES

	Pages
PRÉFACE	5
Chapitre I. — Le Mouvement dans la Nature	9
» II. — Historique de l'art des signaux	19
» III. — Télégraphie sans fil par ondes lumineuses .	29
» IV. — Télégraphie sans fil par ondes électro-magnétiques	60
» V. — Télégraphie sans fil par ondes électriques .	72
» VI. — Les expériences de Marconi	97
» VII. — L'appareillage de télégraphie sans fil et les expériences de M. Duceret	13
» VIII. — Expériences diverses : Popoff, Tesla, etc. .	33
» IX. — Applications de la télégraphie sans fil .	150



Courbevoie. — Imprimerie E. Bernard et Cie, 14, rue de la Station.
Bureaux : 29, Quai des Grands-Augustins. — Paris.

Bicyclette Automobile

MOTEUR A PÉTROLE DE 1 CHEVAL 1/2

SYSTÈME LABRE

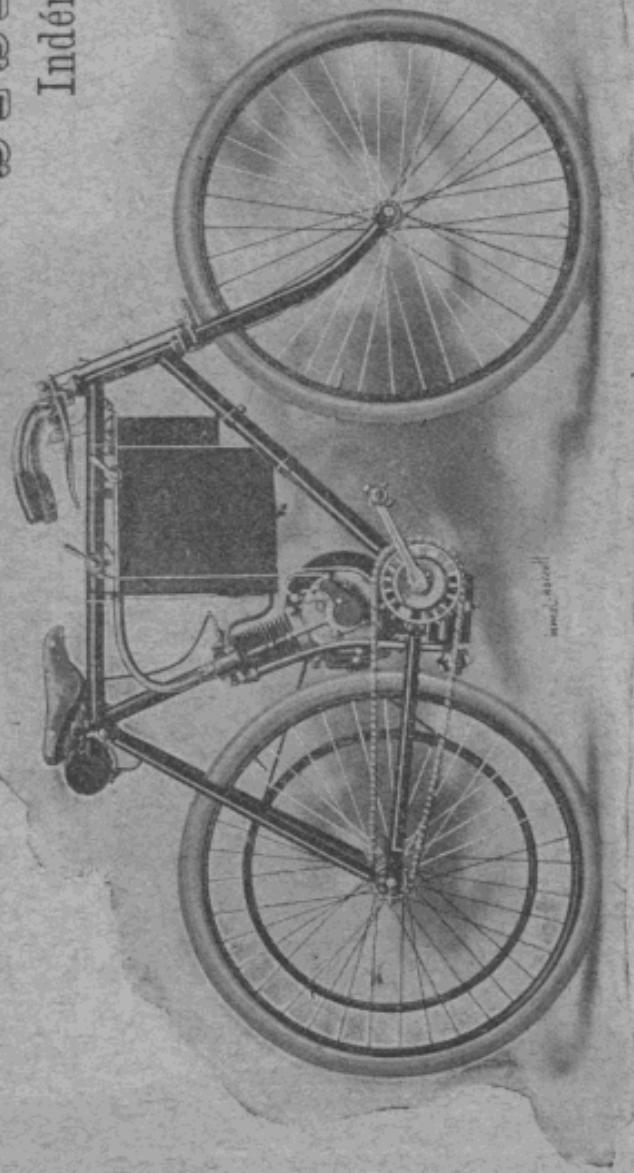
Indéréglable et sans bruit

LA PLUS LÉGÈRE

Poids de la *Bicyclette* avec son moteur en ordre de marche et chargé d'essence :

30 Kilogrammes

Le **Moteur** à allumage électrique du poids de 8 kilogrammes peut s'appliquer à tous les motocycles.



LAMAUDIÈRE & LABRE

Siège Social : 41, Rue du Bois, à Levallois-Perret (Seine)

Maison de Vente : 27, Avenue de la Grande-Armée — PARIS

G. NAUDET. — Formules et recettes de l'électricien. 8^e volume de la *Petite Encyclopédie d'Electricité pratique*. Paris, H. DESFORGES, éditeur, 41, Quai des Grands-Augustins, un volume broché.

1 fr. 50

L'Auteur a réuni dans ce petit volume les formules usuelles, les recettes, procédés et tours de main dont l'amateur électricien a besoin à tout instant. La première partie, réservée aux Formules, contient la définition, aussi claire que possible, de tous les termes techniques. Les renseignements pratiques relatifs aux piles et aux accumulateurs font l'objet de deux chapitres très développés où l'on trouve tout ce qui concerne le montage et l'entretien de ces appareils ; un autre chapitre est réservé à la galvanoplastie et à la galvanisation. Enfin, dans le dernier chapitre, sont réunies des recettes diverses, telles qu'enduits résistant aux acides, mastics, isolants, fabrication de bacs et vases pour piles et accumulateurs, fabrication du papier-pôle, traitement des accidents causés par l'électricité, etc., etc.

Compagnie Française d'Exploitation des
LAMPES ÉLECTRIQUES À ARC

Système

HEGNER

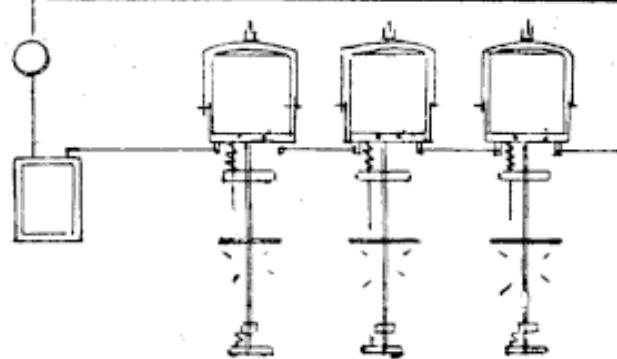
Société Anonyme au Capital de 200.000 francs versés

PARIS : 26, Rue Cadet

LYON : 13, Rue Saint-Dominique

Téléphone 460-43 et 3-97 — Adresse télégraphique : Arclamp-Paris

ÉCONOMIE



SÉCURITÉ

LAMPES à ARC marchant par TROIS

en tension sur distribution à 110 volts,

AVEC RHÉOSTAT AUTOMATIQUE

Système **HEGNER**, BREVETÉ EN TOUS PAYS

LAMPES POUR COURANTS ALTERNATIFS

Lampes à arc en vase clos

LAMPES À INCANDESCENCE

VENTILATEURS ÉLECTRIQUES

INSTALLATIONS COMPLÈTES D'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

FILS — CABLES — APPAREILLAGE — LUSTRERIE

DYNAMOS & MOTEURS

Étude de toutes Inventions relatives à l'Électricité